



République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد الصديق بن يحيى- جيجل
Université Mohammed Seddik Benyahia-Jijel



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences de la Terre et de l'Univers

كلية علوم الطبيعة

والحياة

قسم علوم الأرض و الكون

Gestion Intégrée des Ressources en Eau

Polycopié de cours

2^{ème} année de Master Hydrogéologie

MEF.5.2

Préparé par D^r Hocine Kiniouar

Maître de Conférences "B "

2022/2023

Ref.....

SOMMAIRE

Préambule	v
CHAPITRE I. INTRODUCTION A LA GIRE.....	6
I.1. Introduction.....	6
I.2. Planification et gestion.des ressources en eau.....	6
1. Approches de gestion des ressources en eau... ..	6
1.1. Planification et gestion de haut en bas	7
1.2. Planification et gestion de bas en haut	7
1.2.2. De la gestion fragmentée à la gestion intégrée	8
1.3. Gestion intégrée des ressources en eau.....	9
1.3.1. Le concept moderne de la GIRE.....	9
1.3.3. L'Agenda 21, chapitre 18.....	11
1.3.4. Définition de la GIRE.....	11
1.3.5. Les piliers de la GIRE	13
1.3.9. Statut de mise en œuvre de la GIRE.....	13
1.3.10. Dimension humaine de la GIRE	13
 CHAPITRE II. ÉVALUATION DES RESSOURCES EN EAU	 14
Transfert d'eau... ..	14
Origine de l'eau sur Terre	18
Cycle interne de l'eau... ..	15
Le cycle de l'eau.....	15
Moteur du cycle et bilan radiatif	15
Répartition de l'eau... ..	18
Notion de "bassin versant"	20
Bassin versant topographique.....	20
Bassin versant hydrogéologique.....	21
Le petit cycle de l'eau, cycle domestique.....	21
Notion d'écosystème.....	23
Définitions préliminaires	24
L'écosystème — un réseau d'interactions	24
Notion d'écocomplexes.....	24
4.2. Quelques exemples d'écosystèmes	24
4.3. Composition d'un écosystème.....	27
Interactions biotope biocénose	27
Écosystèmes terrestres.....	27

Écosystèmes aquatiques	26
Un étang est un écosystème aquatique	26
Changement climatique.....	27

CHAPITRE III. EVALUATION DE LA DEMANDE EN EAU33

1.1.3. L'eau en méditerranée	33
1.1.4. L'eau en Algérie	36
1.1.4.1. Ressources en eau exploitables.....	36
1.1.4.2. Deamande en eau.....	37
1.1.4.3. Changement climatique.....	37
1.1.4.4. Politique algérienne de l'eau... ..	37
Demande en eau pour l'agriculture	38
Irrigation par bassins	39
Irrigation par sillons / à la raie	40
Irrigation par planches.....	41
1.3 Irrigation au goutte a goutte	41
La qualité des eaux	42
1. Caractéristiques naturelles	42
2. Contaminants naturels	43
2.1. Dissolution et altération	43
2.2. Biseau salé.....	44
2.3. Milieux confinés.....	44
2.4. Matière organique naturelle	44
3. Pollutions anthropiques	44
3.1. Pollution domestique.....	44
3.2. Pollution urbaine	44
3.3. Pollution industrielle	45
3.4. Pollution agricole	45

CHAPITRE IV. EAUX USEES46

IV.1. INTRODUCTION	46
IV.2. Usages de l'eau	46
IV.3. Composition des eaux usées.....	47
Paramètres de qualité	47
IV.4. Sources d'eaux usées dans les systèmes municipaux et urbains	49
IV.4.1. Assainissement et production d'eaux usées dans les bidonvilles	49
IV.5. Étendue de la production d'eaux usées industrielles	50
IV.5.1. Nature des eaux usées industrielles.....	50
IV.5.2. Défis du recyclage.....	51
IV.6. Agriculture comme source de pollution de l'eau.....	51
IV.6.1. Polluants agricoles : sources et impacts.....	51
IV.6.1.1. Nutriments.....	51
IV.6.2. Pesticides.....	52
IV.6.3. Sels.....	52
IV.6.4. Sediments et autres polluants.....	52

CHAPITRE . V GOUVERNANCE DE L’EAU	53
Probleme de l’eau.....	53
1.1.1. L’eau en Afrique	53
1.1.2. L'eau au Moyen-Orient et en Afrique du Nord....	54
Questions clés dans la gestion de l'eau.....	56
Crise de gouvernance de l'eau... ..	56
Garantir l'eau pour les populations.....	56
Garantir l'eau pour la production alimentaire	56
Protection des écosystemes indispensables.....	57
Disparités Genre.....	57
Cadre Politique et juridique	60
Cadre institutionnel	60
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	61
ANNEXES.....	64

Préambule

Ce document est un support de cours de la matière : « Gestion Intégrée des ressources en eau » de l'UEF5, destiné aux étudiants de Master 2, option : Hydrogéologie. Il a été réalisé en faisant une recherche bibliographique principalement sur la gestion de l'eau et plus particulièrement sur le nouveau paradigme de la « Gestion Intégrée des Ressources en eau » qui a été acceptée à l'échelle internationale comme la voie à suivre pour un développement et une gestion efficace, équitable et durable des ressources en eau limitées du monde et pour faire face aux demandes contradictoires et cela dans son premier chapitre.

Ensuite le second chapitre du présent document va aborder « l'Évaluation des ressources en eau », en décrivant le transfert d'eau avec son cycle interne et externe, et en définissant les écosystèmes terrestres et aquatiques, tout en abordant des notions d'écologie générale.

Cependant, le troisième chapitre s'intéresse à « l'évaluation de la demande en eau », sur toutes ses formes et plus particulièrement au principal consommateur de l'eau qui est l'agriculture, avec ses différentes techniques d'irrigation.

Le chapitre suivant abordera un aperçu sur les eaux usées et surtout leurs sources urbaines, agricoles et industrielles.

Et enfin, le dernier chapitre concernera « la Gouvernance de l'eau : Gouvernance et Ethique, Participation Communautaire » qui abordera des notions sur la crise de gouvernance, sur le rôle du Genre dans la gestion de l'eau ainsi que les avantages de la GIRE, tout en décrivant ses quatre principes fondamentaux établis lors de la fameuse conférence de Dublin.

Dr Hocine Kiniouar
Mai 2023

CHAPITRE I. INTRODUCTION A LA GIRE

I.1. Introduction

Au cours des siècles, les eaux de surface et souterraines ont été une source d'approvisionnement en eau pour les consommateurs agricoles, municipaux et industriels.

Les rivières ont fourni l'énergie hydroélectrique et des moyens peu coûteux de transporter des marchandises en vrac entre les différents ports le long de leurs rives, ainsi que les possibilités de loisirs, et ont été une source d'eau pour la faune et son habitat. Ils ont également servi de moyen de transport et la transformation des déchets qui sont rejetés dans ces eaux.

Les professionnels des ressources en eau ont appris à planifier, concevoir, construire et exploiter des structures, avec des mesures non structurelles, à accroître les avantages que les gens peuvent obtenir des ressources en eau des rivières et leurs bassins versants.

Les gestionnaires des bassins versants, des estuaires et des zones côtières - les responsables de la gestion des ressources dans ces domaines - sont attendus pour les gérer effectivement et efficacement, pour satisfaire les besoins ou les attentes de tous les utilisateurs et de concilier les besoins divergents.

I.2. Planification et gestion des ressources eau

La Gestion est employée dans son sens le plus large. Elle souligne que nous devons non seulement nous concentrer sur la mise en valeur des ressources en eau mais que nous devons gérer consciemment la mise en valeur de l'eau de manière à assurer son utilisation durable à long terme pour les générations futures.

Quand la responsabilité de l'eau potable repose sur une agence, pour l'eau sur une autre pour l'irrigation et encore une autre pour l'environnement, le manque de relations intersectorielles entraîne une gestion et une mise en valeur non coordonnées des ressources en eau, ayant pour résultat des conflits, du gaspillage et des systèmes non durables (Loucks & Van Beek, 2005).

I.2.1. Approches de gestion des ressources eau

Il existe deux approches générales de la planification et de la gestion.

L'un est de haut en bas, souvent appelé commandement et de contrôle. L'autre est de bas en haut, souvent appelé une approche locale.

Les deux approches peuvent conduire à un plan intégré et de la politique de gestion (Loucks & Van Beek, 2005).

I.2.1.1. Planification et gestion de haut en bas

Pendant une bonne partie du demi-siècle passé, les professionnels des ressources en eau ont été engagés dans la préparation des plans polyvalents «maîtres» de développement intégré, pour un grand nombre de bassins versants du monde.

Ces plans sont généralement constitués d'une série de rapports, complétés avec de nombreuses annexes, décrivant tous les aspects de la gestion et de l'utilisation des ressources en eau. Dans ces documents, les options de gestion alternative structurelle et non structurelle sont identifiées et évaluées. Sur la base de ces évaluations, le plan préféré est présenté.

Cet exercice de planification de maîtrise a été généralement une approche de haut en bas que les professionnels ont dominée. En utilisant cette approche, il est généralement peu probable qu'il y ait une participation active des parties prenantes intéressées.

L'approche suppose que l'une ou plusieurs institutions ont la capacité et le pouvoir d'élaborer et mettre en œuvre le plan, en d'autres termes, qui supervise et gère le développement coordonné et l'exploitation des activités du bassin qui touchent les eaux superficielles et souterraines du bassin.

Dans le contexte actuel, où le public demande moins de contrôle gouvernemental, la réglementation et le contrôle, et augmenter la participation à des activités de planification et de gestion, les approches top-down sont de moins en moins souhaitables ou acceptables (Loucks & van Beek, 2005).

I.2.1.2. Planification et gestion de bas en haut

Dans les processus de la dernière décennie, de planification et de gestion des ressources en eau, on voit de plus en plus appel à la participation active des parties prenantes intéressées- les personnes concernées en aucune manière par la gestion des ressources en eau et la terre.

Des plans sont en cours de création à partir du bas vers le haut plutôt que de haut en bas. Les citoyens concernés et les organisations non gouvernementales, ainsi que des professionnels dans les agences gouvernementales, collaborent de plus en plus vers la création d'adaptation globale de gestion de l'eau des programmes, des politiques et des plans.

Les expériences de mise en œuvre des plans élaborés principalement par les professionnels sans participation citoyenne significative ont montré que, même si ces plans sont techniquement impeccables, ils ont peu de chances de succès si elles ne prennent pas en considération les préoccupations des parties prenantes locales concernées et ne pas avoir leur soutien.

Pour obtenir cela, les acteurs concernés doivent être inclus dans le processus de prise de décision le plus tôt possible. Ils doivent faire partie de ce processus, non seulement en tant que spectateurs ou des conseillers à elle. Cela vous aidera à obtenir leur coopération et l'engagement aux plans adoptés. Parties prenantes participantes auront un sentiment d'appartenance, et en tant que tel nous efforcerons de rendre le travail des plans.

Ces plans, si elles sont mises en œuvre avec succès, doivent également intégrer dans les programmes existants législatif, permettant, d'exécution et de suivi. Participation des parties prenantes améliore les chances que le système géré sera durable (Loucks & van Beek, 2005).

I.3. De la gestion fragmentée à la gestion intégrée

En règle générale, dans le passé, avec des populations plus petites, une activité économique moins intense et des sociétés moins riches exigeant beaucoup moins d'eau, l'offre de la ressource était généralement beaucoup plus importante que la demande.

Dans de telles circonstances, l'eau destinée à l'agriculture, à l'industrie, à des usages domestiques et autres pourrait être gérée séparément, l'eau étant suffisante pour répondre à tous les besoins et la concurrence entre les utilisateurs et entre les utilisateurs étant faible.

De plus, l'utilisation de l'eau par les humains n'a pas indûment empiéter sur l'environnement naturel et les écosystèmes comme c'est le cas aujourd'hui. Il était donc courant et c'est toujours le cas, qu'au sein des gouvernements, aux niveaux national et sous-national, des ministères distincts soient mis en place pour chaque utilisation pour laquelle l'eau est nécessaire.

Au fur et à mesure que les populations ont augmenté, que la production alimentaire a augmenté, que l'activité économique s'est développée et que les sociétés sont devenues plus prospères, la demande en eau a augmenté. Le changement climatique ajoute encore plus de pression sur nos ressources en eau limitées.

Dans de très nombreux endroits, la demande a largement dépassé l'offre - ceci peut être particulièrement le cas lorsque l'offre peut être sévèrement limitée ou pendant des années de sécheresse ou lorsque la demande est particulièrement forte, par exemple lorsque la demande d'eau pour l'irrigation est élevée.

Ainsi, les gestionnaires, que ce soit dans le gouvernement, le secteur privé ou les communautés locales doivent prendre des décisions difficiles sur l'allocation de l'eau. Ils se trouvent dans des pays et des régions qui ont des caractéristiques physiques très différentes et qui se trouvent à des stades très différents du développement économique et social : il est donc nécessaire que les approches soient adaptées aux circonstances individuelles du pays et de la région locale.

De plus en plus souvent, les gestionnaires doivent répartir les ressources entre des demandes de plus en plus importantes, en tenant compte des voix plus faibles des pauvres et de l'environnement naturel.

L'approche traditionnelle fragmentée ou purement sectorielle n'est plus viable et une approche plus holistique est essentielle.

C'est la raison d'être de l'approche de gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) qui a été acceptée à l'échelle internationale comme moyen d'assurer un développement et une gestion efficaces et durables des ressources en eau limitées du monde et de faire face aux demandes contradictoires.

La définition la plus largement acceptée de la GIRE est celle donnée par le Partenariat mondial pour l'eau : «La GIRE est définie comme un processus qui favorise le développement et la gestion coordonnés de l'eau, des terres et des ressources connexes afin de maximiser le bien-être économique et social de manière équitable sans compromettre la durabilité des écosystèmes vitaux " (CSD, 2008).

I.4. Gestion intégrée des ressources en eau

I.4.1. Le concept moderne de la GIRE

Un premier exemple d'approche intégrée a eu lieu dans les années 1930 aux États-Unis d'Amérique, avec l'élaboration de plans d'ensemble pour l'utilisation des ressources naturelles (par exemple, Tennessee Valley Authority). Depuis lors, l'ONU et d'autres organisations internationales ont développé différentes formes d'intégration dans le cadre du concept de GIRE, qui a évolué au fil des décennies (Khan et al., 2009).

La GIRE est un concept empirique qui a été construit à partir de l'expérience des praticiens sur le terrain. Bien que plusieurs parties du concept existent depuis plusieurs décennies - en fait depuis la première conférence mondiale sur l'eau à Mar del Plata en 1977 où a été proposée la Décennie internationale de l'eau (1980-1990) (Hassing et al., 2009).

"Une approche telle que présentée dans la figure.1.6, pourrait être un bon modèle de développement durable. Dans cette approche, la gestion des ressources en eau est stimulée par des déclencheurs issus de l'environnement et du bien-être socio-économique de la société, agissant à la fois sur l'offre et sur la demande pour un système équilibré entre impacts et capacité de charge.

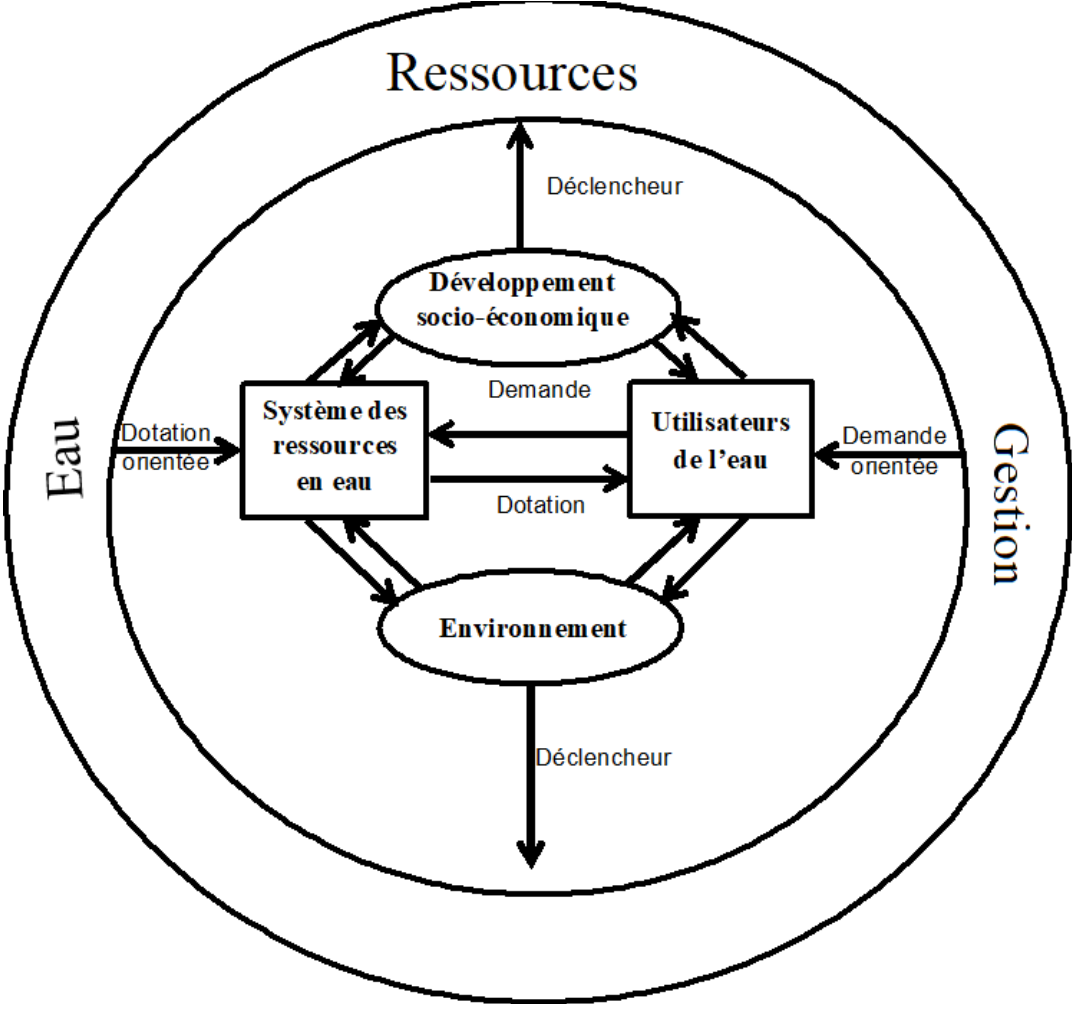


Figure.1.Représentation schématique de la gestion intégrée des ressources en eau
(adapté de Koudstaal et al., 1992)

Les principales caractéristiques de la nouvelle approche étaient :

1. La capacité de charge de l'environnement naturel est le point de départ logique, plutôt que l'approche traditionnelle dans laquelle la détérioration de la qualité de l'environnement est considérée comme un coût inévitable du développement économique;
2. La gestion de la demande, impliquant la formulation et l'application d'incitations visant à limiter la demande d'eau en augmentant l'efficacité et en réduisant les déchets, devrait être considérée comme l'une des composantes les plus importantes de la GIRE ;
3. La gestion intégrée au sens nouveau fait référence au fait que les ressources en eau doivent être gérées comme faisant partie intégrante du développement social et économique d'une nation.

Le document d'orientation intitulé: L'eau et le développement durable de Koudstaal, Rijsberman & Savenije, préparé pour la Conférence de Dublin de 1992, contient presque toutes les caractéristiques de la GIRE telle qu'elle se présente aujourd'hui (Snellen & Schrevel, 2004).

Ce n'est qu'après l'Agenda 21 et le Sommet Mondial sur le Développement Durable (SMDD) en 1992 à Rio que le concept a fait l'objet de longues discussions sur ce que cela signifie dans la pratique. Le concept a été largement adopté par les gestionnaires de l'eau, les décideurs et les politiciens du monde entier.

I.4.2. Principes clés de la GIRE - Les principes de Dublin

- L'eau douce est une ressource limitée et vulnérable, essentielle pour soutenir la vie, le développement et l'environnement
- Le développement et la gestion de l'eau devraient être basés sur une approche participative impliquant les utilisateurs, les planificateurs et les décideurs à tous les niveaux.
- Les femmes jouent un rôle central dans la fourniture, la gestion et la protection de l'eau
- L'eau a une valeur économique dans tous ses usages concurrents et devrait être reconnue comme un bien économique (Hassing et al., 2009).

I.4.3. L'Agenda 21, chapitre 18

L'Agenda 21, chapitre 18 adopté au Sommet de la Terre de Rio en 1992, traite en détail de la question de l'eau. Trois objectifs ont été définis et comportent des éléments de qualité dans la gestion de l'eau.

Les trois principaux objectifs de la gestion intégrée des ressources en eau sont :

- Donner aux femmes, aux hommes et aux communautés les moyens de décider de leur niveau d'accès à l'eau potable et aux conditions de vie hygiéniques, ainsi que des types d'activités économiques qu'ils utilisent, et de s'organiser pour les atteindre.
- Produire plus de nourriture et créer des moyens de subsistance plus durables par unité d'eau appliquée (plus de cultures et d'emplois par goutte) et assurer l'accès de tous à la nourriture nécessaire pour maintenir une vie saine et productive.
- Gérer l'utilisation humaine de l'eau de manière à conserver la quantité et la qualité des écosystèmes d'eau douce et terrestres qui fournissent des services aux humains et aux êtres vivants.

Cinq actions principales sont nécessaires pour atteindre ces objectifs:

- Impliquer toutes les parties prenantes dans la gestion intégrée.
- Passer à la tarification intégrale des services d'eau pour tous les usages humains.
- Augmenter le financement public de la recherche et de l'innovation dans l'intérêt public.
- Reconnaître la nécessité d'une coopération en matière de gestion intégrée des ressources en eau dans les bassins fluviaux internationaux.

- Augmenter massivement les investissements dans l'eau. (Conseil Mondial de l'Eau, 2000, p 2-3)

Depuis lors, les principes de Dublin et de Rio ont été adoptés au niveau international et constituent la base du débat sur la gestion des ressources en eau. Puis, en moins de dix ans, plusieurs organisations internationales de l'eau ont été créées: le Conseil de concertation pour l'eau et l'assainissement, le Partenariat mondial pour l'eau, le Réseau international des organismes de bassin, le Conseil mondial de l'eau.), l'Office international de l'eau (IOW) et le Secrétariat international de l'eau (ISW) pour n'en citer que quelques-uns. Au cours de la même période, les grandes conférences internationales ont contribué à soutenir le débat sur les questions relatives à l'eau.

Le Premier Forum Mondial de l'Eau organisé à Marrakech en 1997 est un jalon dans la relance du débat international sur l'eau. Suite à ce forum, le CME a initié une tâche internationale innovante, le développement de la Vision Mondiale de l'Eau; cet exercice a guidé le débat en 1998 et 1999 pour culminer au deuxième Forum mondial de l'eau à La Haye en mars 2000 (Burton, 2003)

I.4.4. Définition de la GIRE d'après le Partenariat Mondial pour l'Eau

Le Partenariat mondial pour l'eau - après avoir observé qu '«il n'existe pas actuellement de définition non ambiguë de la GIRE» - a présenté en 2000 une définition de la GIRE :

« La GIRE est un processus qui favorise le développement et la gestion coordonnée de l'eau, des terres et des ressources connexes, afin de maximiser le bien-être économique et social qui en résulte d'une manière équitable, sans compromettre la pérennité des écosystèmes vitaux»

Cette définition est la première définition faisant autorité sur la GIRE. Il convient de noter que la gestion des ressources en eau est définie comme un processus. C'est aussi un processus d'apprentissage (Snellen & Schrevel, 2004).

I.4.5. Les piliers de la GIRE

La mise en œuvre d'un processus de GIRE est une question de mise en place des «trois piliers»:

1. évoluer vers un environnement favorable de politiques, stratégies et législations appropriées pour le développement et la gestion durables des ressources en eau
2. mettre en place le cadre institutionnel par lequel les politiques, stratégies et législations peuvent être mises en œuvre
3. mettre en place les instruments de gestion requis par ces institutions pour faire leur travail (Hassing *et al.*, 2009).

I.4.6. Dimension humaine de la GIRE

La dimension humaine caractérise alors, comment les êtres humains s'intègrent à la GIRE ?

L'eau est caractérisée par les Nations Unies comme un « bien primaire » (La Déclaration des Nations Unies sur les droits de l'homme, l'article 25/1 adoptée par l'Assemblée générale des Nations Unies en 1948 sans une seule voix contre), et en tant que tel, il entretient une relation privilégiée et indispensable avec nos sociétés.

Les produits primaires peuvent être définis comme étant les produits dont les êtres humains nécessitent pour leur survie. La disponibilité en eau et la qualité sont des influences importantes sur notre santé et notre bien-être, notre économie, notre environnement et notre vie quotidienne.

Ainsi une gestion de l'eau efficace et durable, il faut comprendre les différentes relations entre l'eau (à la fois des matières premières et des ressources naturelles) et les contextes sociaux, économiques, technologiques et environnementales dans lesquelles il est exploité.

Alors que de nouveaux procédés, de technologies, d'outils juridiques et économiques, et des cadres de gestion sont des éléments clés d'un avenir sûr en eau, leur développement et leur application doit être informé par l'examen du rôle de l'eau dans la société.

Dans de nombreux cas, les communautés humaines sont à la fois la cause et la résolution du problème, une source de connaissances et les utilisateurs de ces connaissances. Nos communautés sont de plus en plus socialement diversifiées en fonction de leur composition ethnique, culturelle et religieuse. Les réseaux institutionnels chargés de la création de connaissances et d'exploitation sont de plus en plus spécialisés et nombreux.

Malgré les efforts louables de beaucoup de gens pour promouvoir une plus grande intégration et une participation et une plus grande participation dans le secteur de l'eau, nous sommes toujours confrontés au défi de combler les interfaces et résoudre les tensions entre le général (principes, la justice, la connaissance) et le spécifique (problèmes, les circonstances, les personnes) (Jeffrey, 2006).

CHAPITRE II. ÉVALUATION DES RESSOURCES EN EAU

1. Transfert d'eau

La circulation et le séjour de l'eau dans le sous-sol sont une étape d'un processus sans fin, le cycle de l'eau. Par les précipitations et le ruissellement, une fraction de l'eau entraînée dans ce cycle s'infiltré sous terre.

L'infiltration, en renouvelant l'eau des réservoirs souterrains, alimente les circulations profondes à l'origine des sources. Mais il existe aussi un cycle interne de l'eau, dans lequel une fraction est entraînée en profondeur dans les zones de subduction et restituée par l'intermédiaire du volcanisme (Gilli *et al.*, 2011).

1.1. Origine de l'eau sur Terre

Les données recueillies, en particulier par le télescope infrarouge de l'Agence spatiale européenne ISO (Infrared Spatial Observatory) et le satellite américain SWAS (Submillimeter Wave Astronomy Satellite), montrent que l'eau existe un peu partout dans notre galaxie. Elle est largement répartie dans l'univers.

La Terre est née, il y a environ 4,5 milliards d'années, d'agrégats de gaz et poussières contenant déjà des silicates hydratés et de glace. Ces grains ont pu former, par accréation, des corps kilométriques, puis des planètes telluriques au sein desquelles le volcanisme et les impacts ont permis le dégazage de l'eau sous forme de vapeur.

L'apport d'eau par les comètes a aussi pu jouer un rôle important. La glace est en effet un constituant majeur des comètes, confirmé par ISO sur la comète Hale Bopp.

Trois propriétés remarquables permettent à l'eau liquide d'être présente à la surface de la Terre :

- la Terre est placée à une distance du Soleil qui permet l'existence de l'eau sous ces trois états ;

la présence de l'atmosphère induit un effet de serre sans lequel la température moyenne au sol serait de -15°C ;

- l'eau en gelant se dilate et peut donc flotter. Elle forme une couche isolante qui protège l'eau liquide du gel. Dans le cas contraire elle coulerait au fond des océans et de la Terre pourrait être beaucoup plus froide.

On estime que vers 4,4 milliards d'années la Terre possédait déjà sa taille actuelle, avec une atmosphère et une hydrosphère (Gilli *et al.*, 2011).

1.1. Cycle interne de l'eau

L'eau du manteau est partiellement restituée en surface par les magmas basaltiques ou directement par des sources chaudes et des fumerolles très minéralisées comme les fumeurs noirs et les diffuseurs blancs des dorsales médio-océaniques. L'analyse des produits issus de la partie supérieure du manteau atteste de la présence d'eau.

Les laves d'Hawaï (Etats-Unis) peuvent contenir jusqu'à 0,45 % d'eau et celles des Trappes du Dekkan (Inde) jusqu'à 0,6 %. De même, de l'eau est- elle présente dans les fragments de péridotite, d'origine mantellique plus profonde.

Au fond des océans, l'eau de mer s'infiltré dans la croûte et hydrate les roches. La teneur en eau de la croûte altérée atteint 1 à 2 %. Dans les zones de subduction, la croûte est entraînée vers le manteau qui s'enrichit ainsi en eau.

On estime que la quantité d'eau rejoignant la profondeur est comprise entre 5 et 16.1011 Kg par an.

Le bilan est difficile à quantifier. Il est considéré comme équilibré puisque le niveau des océans est relativement stable. La présence d'eau dans le manteau est très importante et joue certainement un rôle dans les mécanismes de convection responsables de la tectonique des plaques (Gilli *et al.*, 2011).

1.2. Le cycle externe de l'eau

1.2.1. Moteur du cycle et bilan radiatif

Depuis son dégazage de l'intérieur du globe vers l'hydrosphère, l'eau passe sans cesse d'un réservoir à l'autre. Entraînée dans un cycle sans fin dont les moteurs sont le Soleil et le flux géothermique.

Une partie de l'énergie rayonnée est absorbée par la Terre (océans inclus) et par l'atmosphère, l'autre partie est réfléchiée par ces deux dernières vers l'espace.

Sous l'effet du rayonnement solaire, l'eau des océans et des surfaces terrestres passe en phase gazeuse, et s'élève dans l'atmosphère où elle se condense sous forme de gouttelettes. Elle retombe dans les océans et sur Terre sous forme de précipitations liquides ou neigeuses. Leur volume annuel est estimé à 557000 km³.

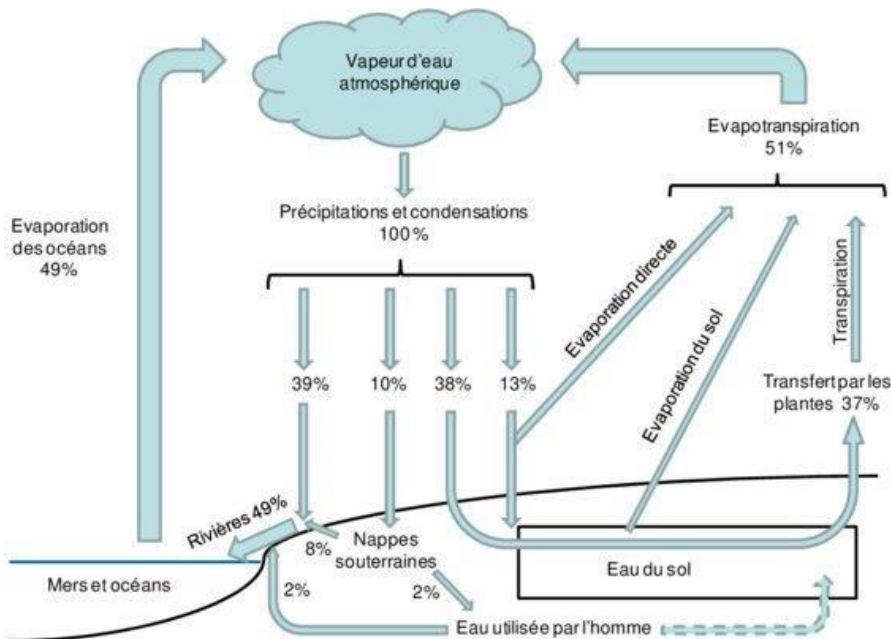


Figure 2 : Schéma global du cycle de l'eau en milieu tempéré océanique (d'après Keller, 1980). Ce schéma correspond à une zone modérément boisée, mais fortement cultivée et urbanisée (Boyer, 2009)

Une partie des précipitations peut être interceptée par la végétation et rejoindre l'atmosphère par évaporation ou sublimation. Dans les zones chaudes, la pluie non interceptée par la végétation fournit les eaux de ruissellement qui, en se réunissant, forment les cours d'eau. Elles sont utilisées par le règne vivant et forment l'eau biologique. Une partie des précipitations pénètre dans le sous-sol et constitue les eaux d'infiltration, domaine de l'hydrogéologie.

En effet, lorsque l'eau atteint un terrain perméable, elle peut s'infiltrer. L'infiltration est partielle et diffuse dans la plupart des cas ou quasi nulle lorsque la roche est imperméable (argiles), mais elle peut être concentrée et totale dans certains systèmes karstiques, où des cours d'eau se jettent dans des cavités souterraines

L'hydrogéologie s'intéresse principalement à la partie souterraine du cycle entre l'infiltration et la restitution. Cette dernière pouvant être rapide mais aussi très lente, comme dans le cas des aquifères fossiles du Sahara, pour lesquels le transit de l'eau peut prendre plusieurs milliers d'années (Gilli *et al.*, 2011).

Tableau 1 : Ordre de vitesse de transit dans les différents réservoirs (Gilli *et al.*, 2011).

Milieu naturel	Temps de transit
Atmosphère	Quelques heures à quelques jours
Glaces continentales	Quelques centaines à quelques milliers d'années
Surface du sol	Quelques jours à quelques mois
Aquifères	Quelques Semaines à plusieurs centaines de milliers d'années

Les aquifères et les glaces jouent donc un rôle de régulateur à long terme des eaux qui transitent sur les continents.

Hormis les eaux infiltrées, protégées du rayonnement, les autres classes d'eau sont à nouveau soumises au changement de phase par :

- sublimation des glaces et des neiges ;
- évaporation des eaux douces de surface et des océans ;
- utilisation et transpiration de l'eau par les organismes vivants et plus particulièrement la végétation.

Ces trois termes sont regroupés sous le nom d'évaporation ET. Cette dernière peut affecter une tranche de sol de quelques mètres à quelques dizaines de mètres, variable selon les climats. Dans les milieux à surface d'eau libre ou dépourvus de végétation, évaporation et évapotranspiration sont confondues.

Sur une portion de territoire :

$$P = Q + I + ET + \Delta R$$

Avec:

P : précipitations, Q: lame d'eau écoulee ; I : lame d'eau infiltrée ; ET : évapotranspiration, ΔR : variation des réserves.

Les valeurs sont généralement exprimées en mm.

Les précipitations ; efficaces PE correspondent à l'eau réellement disponible pour alimenter ruissellement et infiltration.

$$PE = P - ET$$

1.3. Répartition de l'eau

L'eau existe sous forme gazeuse dans l'atmosphère, sous forme liquide dans les océans, les cours d'eau et les aquifères, sous forme solide dans les neiges, glaciers, calottes et banquises, mais elle est aussi présente dans la plupart des roches :

- eau de constitution qui entre dans la formule des minéraux ;
- eau présente dans les pores fermés (ponces, tourbes ...) ;
- eau adsorbée, fixée électriquement aux surfaces ioniques, et extractible ou non par les racines des plantes ;
- enfin eau gravitaire qui peut circuler dans les pores et discontinuités ouverts des roches. C'est le domaine de l'hydrogéologie. Elle peut occuper d'importants volumes souterrains et constituer des réserves de plus en plus sollicitées.

Le tableau ci-dessous présente une estimation de la répartition de l'eau sur le globe. Il ne s'agit que d'un ordre d'idée, car l'évaluation des réserves souterraines est très variable selon les auteurs, entre 7 et 30.106 Km³ (Gilli *et al.*, 2011).

Tableau 2 : Estimation de la répartition de l'eau sur Terre (Gilli *et al.*, 2011).

Océans et banquises salées	Volumes d'eau stockés		
	totaux	Eaux douces	
	En 10 ³ km ³	En 10 ³ km ³	En % des eaux douces totales
	1350000		
Lacs salés	100		
Glace: calottes, glaciers, neiges, pergélisol	23000	23000	60
Eaux souterraines			
Aquifères	8000	16000	39
Tranche 0 - 800 m	8000		
Tranche >800 m			
Humidité du sol	16	16	
Eau de surface des continents			
Lacs	176	176	1
Lits des cours d'eau	2	2	
Atmosphère	13	13	
Eau biologique	1	1	
Hydrosphère	1390000	40200	100
Globe (0,3 % du manteau)	2000000		

2. Notion de "bassin versant"

Le bassin versant en une section d'un cours d'eau est défini comme la surface drainée par ce cours d'eau et ses affluents en amont de la section. Tout écoulement prenant naissance à l'intérieur de cette surface doit donc traverser la section considérée, appelée exutoire, pour poursuivre son trajet vers l'aval. Selon la nature des terrains, nous serons amenés à considérer deux définitions.

2.1. Bassin versant topographique

Si le sous-sol est imperméable, le cheminement de l'eau ne sera déterminé que par la topographie. Le bassin versant sera alors limité par des lignes de crêtes et des lignes de plus grande pente comme le montre la figure ci-jointe.

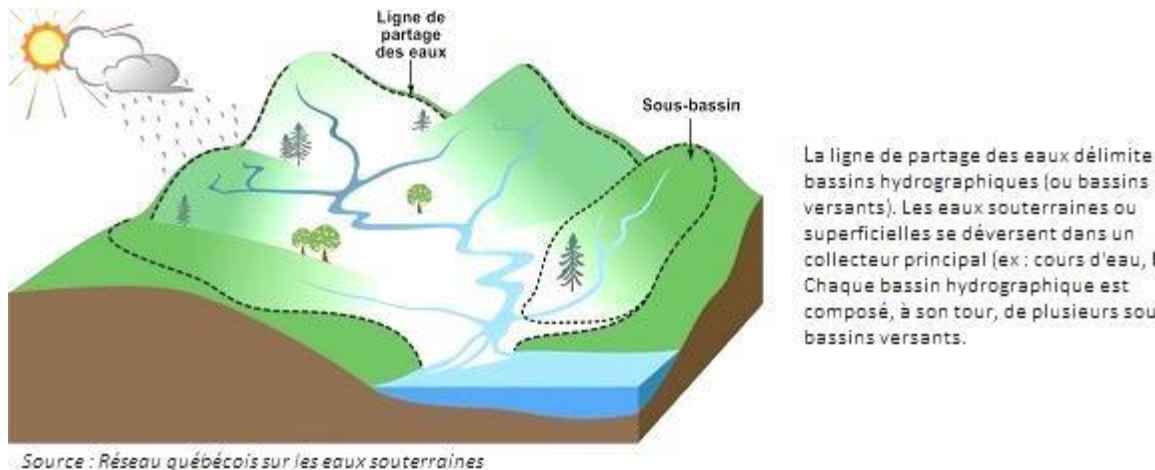


Figure 3 : Schéma de bassin hydrographique

(source : sigesaqi.brgm.fr)

2.2. Bassin versant hydrogéologique

Dans le cas d'une région au sous-sol perméable, il se peut qu'une partie des eaux tombées à l'intérieur du bassin topographique s'infilte puis sorte souterrainement du bassin (ou qu'à l'inverse des eaux entrent souterrainement dans le bassin). Dans ce cas, nous serons amenés à ajouter aux considérations topographiques des considérations d'ordre géologique pour déterminer les limites du bassin versant.

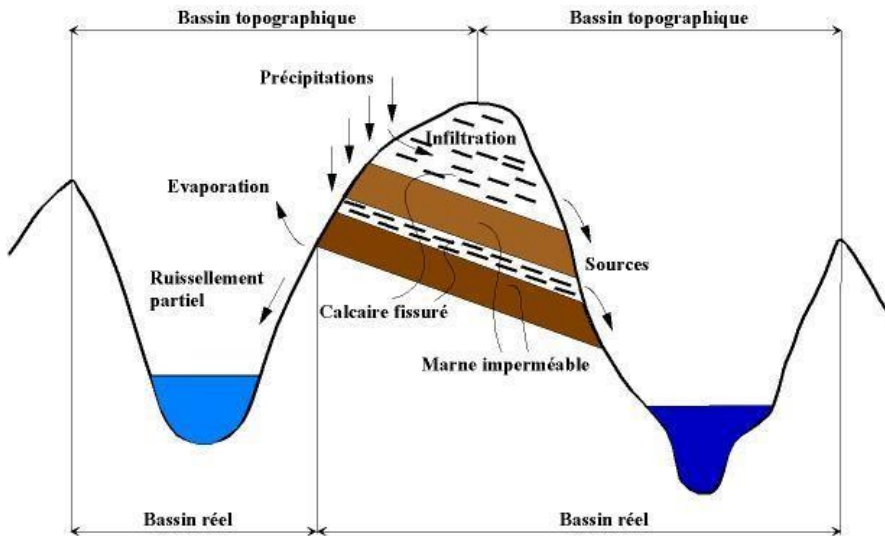


Figure 4 : Distinction entre bassin versant réel et bassin versant topographique (d'après Roche, 1963)

Le petit cycle de l'eau, cycle domestique

Dès le XIX^e siècle, l'homme a élaboré un système pour capter l'eau, la traiter si nécessaire afin de la rendre potable et pouvoir en disposer à volonté dans son domicile, en ouvrant simplement son robinet.

Depuis, il a aussi établi un système d'assainissement pour gérer cette eau une fois salie.

Cela consiste à la collecter et la traiter pour la restituer suffisamment propre au milieu naturel. Ceci permet de ne pas altérer l'état des cours d'eau et d'éviter tout problème d'insalubrité pouvant provoquer des maladies.

Ce cycle, totalement artificiel, est appelé « petit cycle de l'eau ». L'existence d'un tel cycle est un véritable indicateur du niveau de développement d'un pays.

3. L'eau sous toutes ses formes

L'eau recouvre 72 % de la surface du globe. Elle est un des éléments fondamentaux de notre planète. Liquide, solide ou gazeuse, elle est présente partout autour de nous sous des formes très variées :

- les océans et les mers ;
- les fleuves et les rivières qui s'enrichissent des eaux de pluie venant ruisseler sur la terre ;
- les lacs et les plans d'eau, étendues d'eau douce immobiles ;
- les nuages ;
- les glaciers et la neige ;
- les zones humides, comme les tourbières, les marécages et les landes humides ;
- les eaux souterraines qui sont alimentées par les infiltrations d'eau de pluie et d'eau des rivières ;
- la vapeur d'eau présente en permanence dans l'atmosphère.



Figure 5 : petit cycle de l'eau, cycle domestique (Source : Communauté Urbaine Grand Paris Seine & Oise)

4. Notion d'écosystème

La notion 'écosystème est née de notre esprit cartésien, qui nous conduit à subdiviser tout système complexe, en l'occurrence la planète, en sous-ensembles d'apparence homogène.

Nous identifions ainsi les systèmes forêts, prairie, lacs, rivières, océans... pourtant, parmi ceux-ci, beaucoup ne présentent pas le caractère d'homogénéité que nous leur attribuons rivières et océans par exemple).

Le terme présente toutefois un intérêt conceptuel évident, dans la mesure où il nous est impossible du globe terrestre (Faurie et al. 2006).

Définitions préliminaires

Dans tout système naturel, il est possible de distinguer deux grandes composantes:

- un ensemble de conditions physiques et chimique, relativement homogènes sur une aire géographique donnée, à un instant (les conditions climatiques, par exemple, variant bien évidemment selon les heures de la journée et des saisons), qui constitue le biotope.
- Un certain nombre d'êtres vivants peuplant ce biotope, bactéries, champignons, végétaux, animaux. Que nous dénommerons biocénose.

Pour l'écologie, l'unité de base de cet ensemble est constituée par la population, celle-ci étant définie comme l'ensemble des organismes appartenant à la même espèce (Faurie et al. 2006).

4.1.1. L'écosystème — un réseau d'interactions

Dans un milieu naturel, les biocénoses n'ont à leur disposition que l'énergie solaire et les ressources alimentaires locales.

C'est grâce à l'instauration de multiples interactions, entre biotope et biocénose, et au sein de la biocénose entre organismes, que se met en place un système fonctionnel où écosystème pouvant être décrit dans le schéma suivant (Faurie et al. 2006)

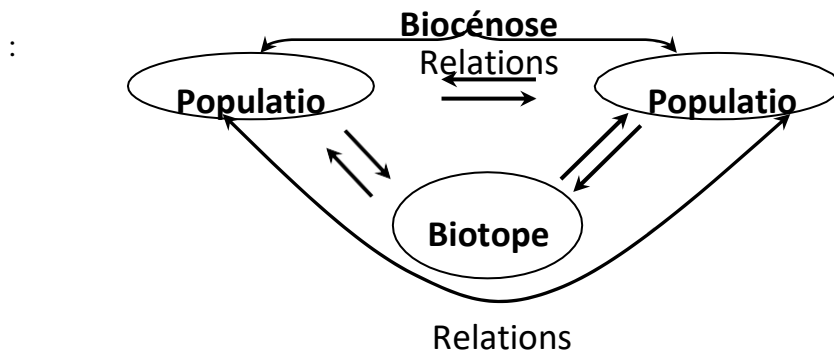


Figure 6 : Schéma du fonctionnement d'un écosystème (Faurie et al. 2006)

4.1.2. Notion d'éco complexes

Cette notion de réseau fonctionnel d'interactions se retrouve, en fait, à tous les niveaux d'organisation de la matière vivante.

Une cellule n'est pas la simple addition de macromolécules; un organisme la somme de cellules ou d'organes, une population la seule juxtaposition d'individus n'ayant aucune relation entre eux ni avec les populations avoisinantes.

L'écosystème n'est d'ailleurs pas le plus haut niveau d'intégration connu dans la nature. Les écosystèmes sont en effet très largement interdépendants. A titre d'exemple, envisageons le cas d'un lac, écosystème d'eau stagnante et le bassin versant qui l'entoure. Sur ce dernier, il est possible de distinguer deux types d'écosystèmes :

- des écosystèmes terrestres (prairies, forées, landes,...)
- un ou des écosystèmes aquatiques d'eau courante (un ou plusieurs rivières affluents (Faurie et al. 2006).

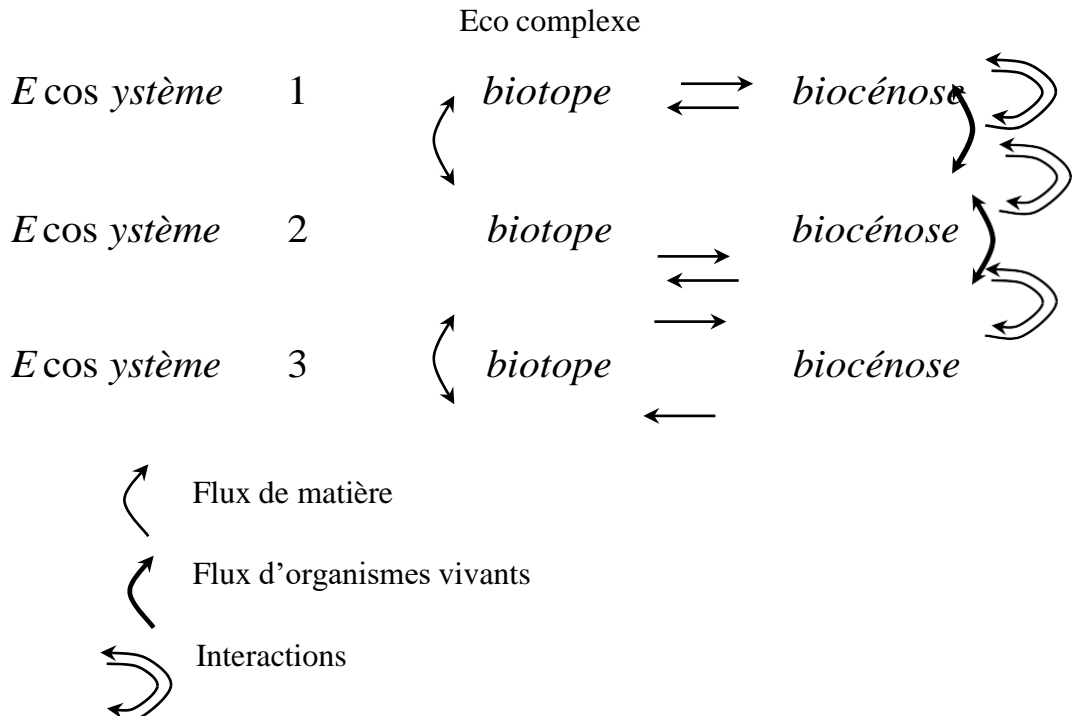


Figure 7 : Notion d'écocomplexes (d'après Faurie et al. 2006)

Les divers écosystèmes qui se répartissent sur un territoire ne sont pas totalement indépendants les uns des autres...les interactions entre écosystèmes n'en existent pas moins en ce qui concerne les facteurs physiques et chimiques (d'après Blandin et Lanotte, 1988).

4.2. Quelques exemples d'écosystèmes

On distingue :

- Un micro écosystème : Une roche et ce qu'il y a dessous : terre, humidité, vers, algues, amibes, fourmis...
- Un méso écosystème : La forêt avec ses arbres, ses arbustes, ses marécages et ses éclaircies.
- Un macro écosystème : une région et son bassin versant (Faurie et al. 2006)

4.3. Écosystèmes aquatiques

Un écosystème aquatique qualifie un écosystème ayant trait à l'eau, surtout à l'eau douce. Un écosystème aquatique marin peut être constitué par des lagons, les mangroves, des zones lagunaires (eaux saumâtres), etc. En milieu dulcicole, l'écosystème aquatique est le résultat d'un équilibre entre un milieu naturel et un ensemble d'espèces animales et végétales qui y vivent.

Les écosystèmes peuvent ainsi constituer un milieu aquatique, les lacs, les étangs, les cours d'eau (torrents, ruisseaux, rivières, fleuves) mais aussi les zones inondables ou humides (marais et tourbières), les nappes souterraines, les estuaires.

L'écosystème aquatique marin couvre environ 71% de la surface de la Terre et 97% de l'eau de la planète, ainsi que 32% de la production nette primaire du monde.

4.3.1. Un étang est un écosystème aquatique

Un étang est un écosystème aquatique, un biotope complet qui dispose d'une interaction entre la faune aquatique (poissons, invertébrés, larves), les plantes aquatiques incluant les plantes de surface, et les micro-organismes comme les bactéries.

La quantité, les variations et la régularité des eaux d'une rivière sont d'une grande importance pour les plantes, les animaux et les personnes qui vivent le long de son cours. La faune des rivières est composée d'amphibiens, de poissons et d'une variété d'invertébrés aquatiques.



Figure 8 : Image d'un petit étang (source : wiktionnaire.com)

5. Changement climatique

5.1. Effet de serre

L'effet de serre est un processus naturel de réchauffement de l'atmosphère qui intervient dans le bilan radiatif de la Terre. Il est dû aux gaz à effet de serre (GES) contenus dans l'atmosphère, à savoir principalement la vapeur d'eau (qui contribue le plus à l'effet de serre), le dioxyde de carbone CO₂ et le méthane CH₄.

Lorsque le rayonnement solaire arrive sur notre planète, 30% est directement réfléchi vers l'espace, par les nuages (20%), les diverses couches de l'atmosphère (6%), et la surface de la terre (4%), qui comporte notamment une part non négligeable de glace – les calottes polaires – qui sont particulièrement réfléchissantes.

Le reste est absorbé par les divers composants de notre planète (sol, océans, atmosphère, cf. schéma ci-dessous), puis finalement réémis vers l'espace sous forme de rayonnement infrarouge. En effet, tout comme notre peau chauffe si on la met au soleil, la surface de la Terre et l'atmosphère chauffent lorsqu'elles sont exposées à la lumière (en captant son énergie), et en retour émettent des infrarouges.

Les gaz à effet de serre, qui avaient laissé passer la lumière sans encombre, ont par contre la propriété d'absorber une partie de ces infrarouges. Cefaisant, ils en récupèrent l'énergie et chauffent. Tout comme la surface de la terre, ils vont dissiper cette énergie en émettant eux aussi infrarouges, dont une partie retourne vers le sol, le chauffant donc une deuxième fois après que le soleil l'ait fait une première.

Cette interception de chaleur conduit donc ces gaz à effet de serre, puis l'atmosphère basse (on parle de troposphère), puis la surface de la Terre, à être plus chauds que si le rayonnement infrarouge passait à travers l'atmosphère sans être intercepté. Bien sûr, le système finit toujours par s'équilibrer, mais il s'équilibre avec une température de surface supérieure à celle qu'il aurait si ces gaz n'étaient pas là.

Il existe au sein de notre atmosphère des gaz (les « gaz à effet de serre »), présents en petite quantité, qui jouent pour notre planète exactement le même rôle que les vitres de la serre dans l'exemple ci-dessus. Ce gaz n'empêchent pas la lumière du soleil d'arriver jusqu'à nous (ils sont très transparents au

rayonnement solaire), mais empêchent le rayonnement infrarouge émis par le sol de repartir vers l'espace. Ils font ainsi office de « couvercle » en retenant prisonnière, en quelque sorte, l'énergie – donc une température élevée – près du sol.

Cependant, l'analogie avec la serre ne vaut que pour la partie « opacité aux infrarouges » : les gaz à effet de serre n'empêchent pas physiquement le déplacement de l'air !

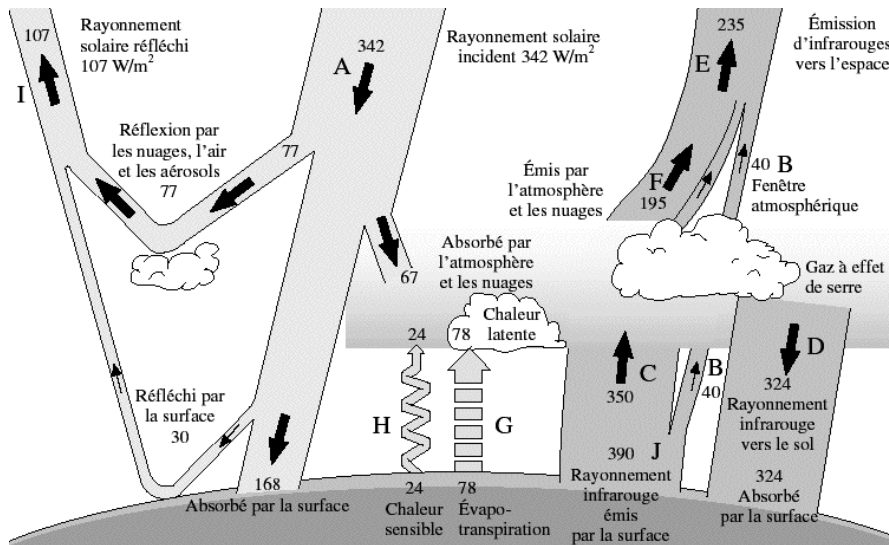


Figure 9 : Fonctionnement général simplifié de l'atmosphère. Les chiffres représentant la valeur moyenne, temporelle (sur l'année) et géographique (sur la surface de la planète) en Watts par mètre carré, de chaque flux d'énergie représenté (Jancovici, 2002).

Les deux gaz à effet de serre les plus importants (mais il y en a d'autres) sont parfaitement naturels et présents de longue date dans notre atmosphère :

la vapeur d'eau, qui occupe environ 0,3% de l'atmosphère, y est présente depuis qu'il y a de l'eau à la surface de la terre, c'est à dire 4 milliards d'années,

le gaz carbonique, qui occupe actuellement 0,037% de l'atmosphère, mais cette proportion a beaucoup varié au cours des âges.

Si le chauffage supplémentaire du sol lié à cet effet de serre n'existait pas, la surface terrestre aurait une température moyenne de -18°C plutôt que de $+15^{\circ}\text{C}$, rendant notre planète tout à fait inhospitalière pour les bipèdes que nous

sommes. L'effet de serre de notre atmosphère est donc un **phénomène bénéfique**.

Le danger qui est désigné par le terme « effet de serre » correspond à un abus de langage. Il faut lui préférer le terme de « **réchauffement climatique** », ou mieux encore de « **changement climatique** ». **Ce qui est dangereux n'est pas le phénomène lui-même, parfaitement naturel et essentiel à notre existence, mais sa modification rapide du fait de l'homme**, modification qui elle est porteuse de graves dangers potentiels (Jancovici, 2002).

CHAPITRE III. EVALUATION DE LA DEMANDE EN EAU

1. L'eau en méditerranée

Dans les pays autour du bassin méditerranéen, les ressources en eau sont limitées et inégalement réparties. Les pays de la rive sud ne reçoivent que 10% des précipitations totales. Les ressources en eau renouvelables naturelles sont estimées, en moyenne annuelle, à 1080 km³ / an dont 118 km³, soit 11% du total, proviennent de pays non méditerranéens.

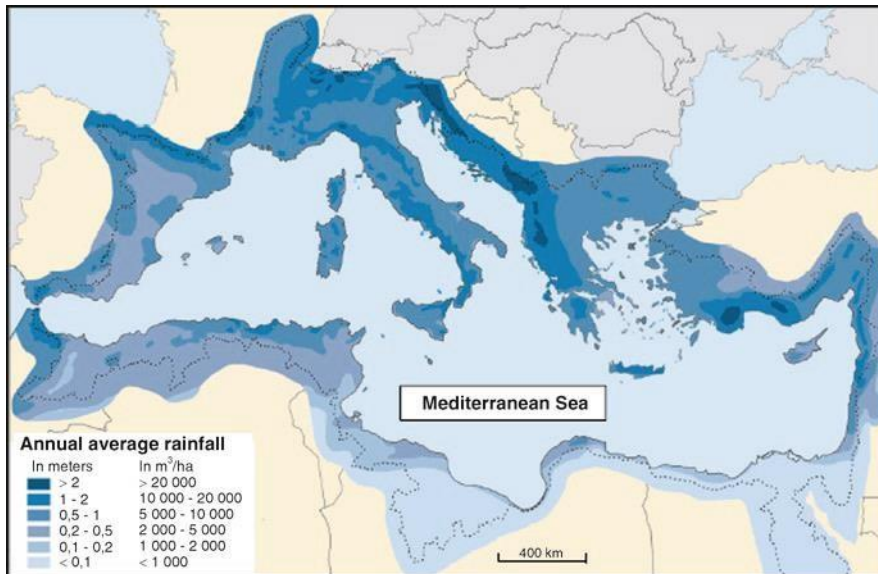


Figure.10 : Distribution des précipitations moyennes en méditerranée (Plan Bleu, 2009).

Les stratégies nationales continuent à se concentrer sur l'augmentation de l'approvisionnement en eau, par la mise en œuvre de grands projets hydrauliques, le développement de transferts interrégionaux et internationaux, l'exploitation de ressources non conventionnelles non renouvelables telles que la réutilisation des eaux usées traitées, l'utilisation de l'eau de drainage agricole (Egypte), le dessalement de l'eau de mer ou des eaux saumâtres en plein essor.

Ces politiques ont donc atteint des limites physiques, économiques et environnementales.

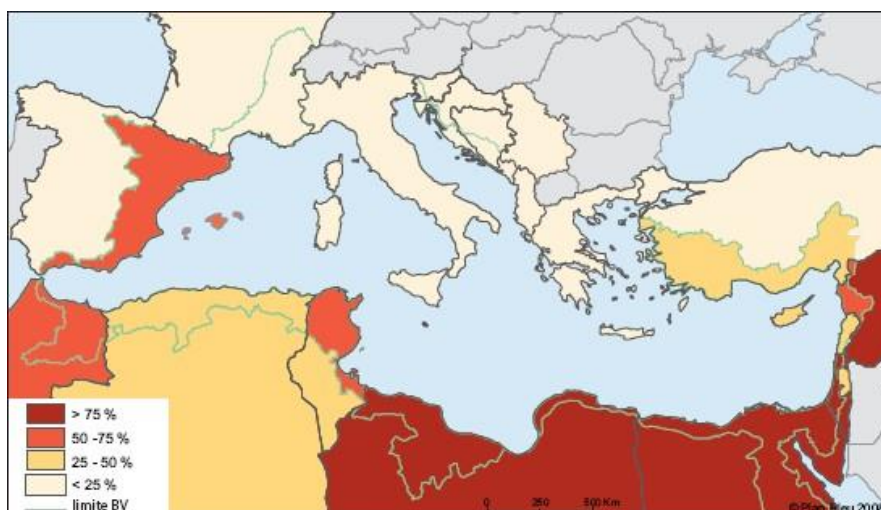


Figure 11 : Indice d'exploitation des ressources en eau renouvelables (pays entiers, et bassins versants, 2005) (Plan Bleu, 2009).

L'agriculture, qui reste le plus grand consommateur d'eau, absorbe 82% des volumes sur les rives sud et est du bassin. Les surfaces irriguées pourraient ainsi augmenter de 38 % au Sud et de 58 % à l'Est pour atteindre respectivement 9 millions ha et 8 millions ha d'ici 2030 (FAO). Les pressions quantitatives sur les ressources s'ajoutent aux impacts des rejets d'eaux usées urbaines, industrielles et agricoles (Plan Bleu, 2009).

Face à la croissance démographique et au développement économique, la demande en eau, c'est-à-dire la somme des prélèvements de ressources, y compris les pertes pendant le transport et l'utilisation et la production non conventionnelle telle que le dessalement ou la réutilisation des eaux usées, ont doublé depuis 1950 et atteint, en 2007, 280 km³ / an pour tous les pays riverains.

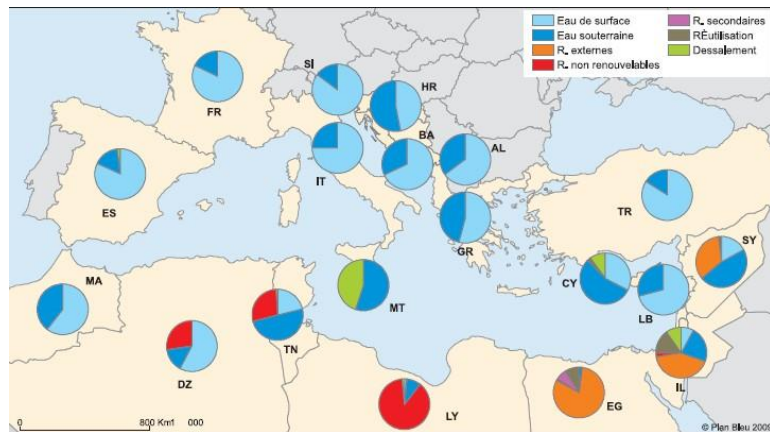


Figure. 12 : Sources d'approvisionnement en eau actuelles des pays méditerranéens (Plan Bleu, 2009).

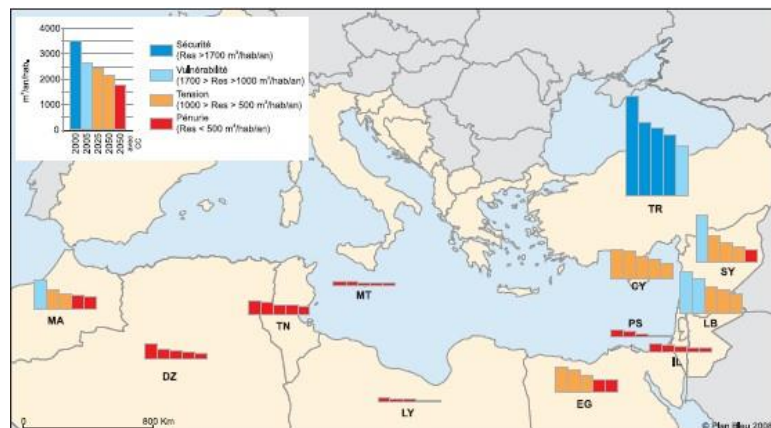


Figure.13 : Evolution des ressources en eau par habitant dans les pays de Sud et de l'Est de la méditerranée entre 2000 et 2050 (Plan Bleu, 2009).

Actuellement, 400 millions de personnes vivent dans toute la région méditerranéenne et constituent un lourd fardeau pour les approvisionnements en eau. Le problème est aggravé par près de 200 millions de visiteurs internationaux chaque année, dont la majorité séjourne dans des zones côtières riveraines (Howard, 2011).

Actuellement, 8 des 12 pays du Sud et de l'Est (Algérie, Chypre, Egypte, Jordanie, Liban, Libye, Maroc, Territoires palestiniens, Syrie, Tunisie et Turquie) utilisent plus de 50% de leurs ressources en eau renouvelables. , avec deux pays (Territoires palestiniens et Libye) dépassant 100% (Howard, 2011).

2. L'eau en Algérie

2.1. Ressources en eau exploitables

Selon le rapport 2002 du Plan Cadre du UNDAF (2002-2006), les ressources en eau exploitables en Algérie sont estimées à 12,9 milliards de m³, dont 6,9 millions d'eaux souterraines et 6 milliards de m³ en eaux de surface. Les ressources souterraines et de surface mobilisées dans le nord du pays pendant les précipitations normales sont estimées à 3,8 milliards de m³, dont 55% pour l'agriculture, 34% pour l'eau potable et 11% pour l'industrie (UNDAF, 2002).

D'après la Conférence de haut niveau de 2008, les ressources en eau renouvelables internes s'élèvent à 12 milliards de m³ par an.

Les ressources exploitables sont estimées à 7 500 millions de m³/an. La capacité totale des barrages dans les cinq bassins versants du pays, au nombre de 60 en 2008, est 6450 millions de m³. Le dessalement de l'eau de mer est pratiqué dans 23 stations d'une capacité de 127 millions de m³/an.

La capacité de traitement des eaux usées installée est de 370 millions de m³/an. Ce chiffre passera à 600 millions de m³ / an en 2009, représentant une capacité d'élimination de 82%. Le volume total collecté en 2007 est estimé à 7 575 millions de m³, dont 65% pour l'irrigation (Conférence de haut niveau, 2008)

2.1.1. Demande en eau

En Algérie, au cours des trente dernières années, la forte croissance démographique, la croissance rapide des villes et la prolifération des activités industrielles ont conduit à des besoins en eau toujours croissants, créant des situations concurrentielles et parfois conflictuelles entre la ville l'industrie et l'agriculture (Mutin, 2000)

2.1.2. Changement climatique

Vulnérable au changement climatique, l'Algérie a souffert au cours des 30 dernières années d'une sécheresse intense et persistante, caractérisée par un déficit pluviométrique estimé à 30% (Conférence de haut niveau, 2008).

Elle fait partie du point chaud de la Méditerranée, est très vulnérable aux changements climatiques. Dans son rapport de 2007, le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat (GIEC) a combiné 25 modèles climatiques mondiaux pour évaluer les impacts du changement climatique en 2050 et 2100 et prévoit une augmentation de la température moyenne de 0,8 ° C à 1,1 ° C, et une réduction des précipitations de 10% d'après les modèles régionaux avec les scénarios appliqués à l'Algérie pour la période 1990-2020.

L'augmentation de l'évaporation et la diminution des précipitations accentueront la diminution de l'eau mobilisée dans les barrages et les eaux souterraines (Sahnoune et al., 2013).

2.1.3. Politique algérienne de l'eau

La nouvelle politique algérienne de mobilisation, de transfert et de gestion des ressources en eau fait partie de la politique de développement régional, qui se fixe comme objectif de rééquilibrer le territoire de manière dynamique. c'est-à-dire le développement durable des hauts plateaux et du Sud. Atteindre cet objectif nécessite d'importants transferts et des ressources non conventionnelles, en particulier le dessalement de l'eau de mer (Conférence de haut niveau, 2008).

3. Demande en eau pour l'agriculture

La desserte adéquate en eau est essentielle pour la croissance ou le développement végétatif des cultures.

Lorsque les précipitations sont insuffisantes, l'irrigation serait nécessaire pour couvrir les besoins en eau des cultures. Il existe actuellement plusieurs méthodes d'irrigation pour la desserte en eau des cultures.

Chaque méthode présente en même temps des avantages et des désavantages, qui doivent être pris en considération lors de la sélection de la méthode qui s'adapte le mieux aux conditions locales.

La méthode d'irrigation la plus élémentaire consiste à transporter l'eau à partir de la source d'alimentation, e.g. un puits, à chaque plante avec un seau ou un arrosoir (voir figure 14).



Figure 14 : Arrosage des plantes avec un arrosoir goutte (FAO, 1990).

Cette méthode nécessite une main-d'œuvre importante, un long travail et un grand effort. Cependant, elle est fortement convenable pour l'irrigation des petits jardins de légumes, à proximité immédiate de la source d'eau.

L'irrigation des grandes superficies, ou des périmètres d'irrigation, nécessite le recours à d'autres méthodes d'irrigation plus perfectionnées.

Les trois techniques les plus couramment utilisées sont: l'irrigation de surface, l'irrigation par aspersion, et l'irrigation au goutte à goutte (FAO, 1990).

3.1. Irrigation de surface

L'irrigation de surface consiste à amener l'eau au point le plus haut du terrain et à la laisser s'écouler par gravité.

L'eau est ensuite distribuée au champ, soit par submersion (irrigation par bassins), soit dans des sillons en terre (irrigation par sillons) ou bien par ruissellement à la surface d'une planche d'arrosage (irrigation par planches).

3.1.1. Irrigation par bassins

Les bassins sont constitués de cuvettes en terre, à fond à peu près plat, entourées de diguettes de faible hauteur ou levées.

Ces levées sont conçues pour empêcher le passage de l'eau aux champs adjacents. Cette technique est utilisée, d'une façon générale, pour l'irrigation des rizières sur terrain plat, ou des terrasses à flanc de coteau (voir figure 15 a).

La méthode par bassins est aussi utilisée pour l'irrigation des arbres fruitiers; dans ce cas une petite cuvette (bassin) est aménagée autour de chaque arbre (figure 15 b).

En général, cette technique d'irrigation s'applique à toutes les cultures qui peuvent tolérer la submersion par les eaux pour une longue durée (e.g. 12-24 heures).



a) Irrigation par bassins à flanc de coteau (source : gvsprinklers.com)



b) Irrigation par bassins pour les arbres fruitiers(FAO, 1990).

Figure 15 : Irrigation par bassins

3.1.2. Irrigation par sillons

Les sillons sont des petites rigoles en terre, aménagées dans le sens de la pente du terrain, pour transporter l'eau entre les rangées de cultures. L'eau s'infiltre dans le sol, principalement par les côtés du sillon, tout le long de son trajet dans le sens de la pente du terrain.

Généralement, les plantes sont cultivées sur les billons séparant les sillons (voir figure 16). Cette technique est valable pour l'irrigation de toutes les cultures en lignes et pour toutes les cultures qui ne tolèrent pas la submersion par les eaux de leur feuillage ou de leur collet pour une longue durée (e.g. 12-24 heures).

Les sillons sont alimentés par des prises d'eau aménagées sur les berges du canal d'amenée. Ces ouvrages de prise peuvent être soit de simples ouvertures aménagées sur les berges du canal d'amenée, soit des siphons, ou bien des tuyaux d'alimentation passant à travers la berge du canal d'amenée.



Figure 16 : Alimentation des sillons par siphons (Bjorneberg, 2005)

3.1.3. Irrigation par planches

Les planches sont des bandes de terrain, aménagées en pente douce et séparées par des diguettes. Elles sont aussi appelées calants ou planches d'arrosage.

L'alimentation en eau des planches est faite de plusieurs façons: soit à l'aide de prises d'eau aménagées sur le canal d'amenée et équipées d'une vannette, soit par des siphons, ou bien par des tuyaux d'alimentation passant à travers les berges du canal d'amenée. La lame d'eau introduite ruisselle en descendant la pente de la planche, guidée par les diguettes des deux côtés de celle-ci (voir figure 17) (FAO, 1990).



Figure 17 : Alimentation des planches par siphons (FAO, 1990).

3.2. Irrigation par aspersion

La technique d'irrigation par aspersion est conçue sur le modèle de la pluie naturelle. L'eau est refoulée sous pression dans un réseau de conduites, ensuite elle est diffusée par des asperseurs rotatifs sous la forme d'une pluie artificielle (FAO, 1990).



Figure 18 : Irrigation par aspersion (source : gvsprinklers.com)

3.3. Irrigation à la goutte à goutte

L'irrigation au goutte à goutte consiste à amener l'eau sous pression dans un système de canalisations, généralement en PVC; cette eau est ensuite distribuée en gouttes au champ par un grand nombre de goutteurs répartis tout le long des rangées des plantations. La zone humidifiée du sol est celle située au voisinage immédiat des racines des plantes. Par conséquent, cette méthode d'irrigation a un haut degré d'efficacité de distribution d'eau (figure 6). L'irrigation au goutte à goutte est aussi appelée micro-irrigation (FAO, 1990).



Figure 19 : Irrigation à la goutte à goutte (source : gvsprinklers.com)

1. Qualité des eaux

La qualité des eaux souterraines est le résultat d'une acquisition naturelle de minéralisation (bruit de fond biogéochimique) à laquelle se surajoutent les apports anthropiques (pollution).

4.1. Caractéristiques naturelles

Les eaux souterraines ont acquis leurs caractéristiques physico-chimiques à la traversée des différents compartiments du cycle de l'eau : atmosphère ; sol ; eaux de surface ; zone non saturée ; aquifère noyé.

L'atmosphère apporte, entre autres, chlorures et sulfates, sodium et potassium en provenance des aérosols marins mais aussi des composés portés par la pollution atmosphérique (sulfates, nitrates, hydrocarbures,...) provenant de la combustion des énergies fossiles (charbon, pétrole), centrales thermiques, chauffage domestique, circulation automobile, ou des poussières arrachées aux sols nus (zones cultivées ou désertiques).

Le sol, ainsi que les terrains altérés de surface (altérés, épi karst), sont le bien d'action de l'évaporation, capable d'y concentrer les traceurs conservatifs des précipitations, la réserve facilement utilisable (RFU ou RUUNAx) est non seulement un réservoir d'eau, mais elle stocke aussi chlorures, nitrates, sodium, potassium... que l'évaporation concentre dans le sol et que les pluies efficaces suivantes vont lixivier en direction de la zone non saturée.

4.2. Contaminants naturels

4.2.1. Dissolution et altération

Du fait d'une cinétique lente, les réactions d'altération des silicates produisent généralement, avec des temps de réaction n'excédant pas quelques mois ou années, une minéralisation modérée.

Cependant, l'altération de certains schistes primaires de l'Anti-Atlas (Maroc) contenant 40000ppm de Cl⁻ à l'état frais, peut fournir à l'eau 4300 mg/l de Cl⁻.

La dissolution des carbonates, contrôlée par l'équilibre calco-carbonique (limitation par la solubilité de la calcite et de la dolomie), n'engendre pas non plus de minéralisation excessive.

En revanche, les évaporites (sulfates, chlorures, nitrates, borates,...), dont la cinétique de dissolution très rapide alliée à une grande solubilité des minéraux (gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, anhydrite CaSO_4 , halite NaCl , sylbite KCl , caliche NaNO_3 , nitre ou salpêtre KNO_3 , borax $\text{Na}_2\text{B}_2\text{O}_7 \cdot \text{SOH}_2\text{O}$...) sont susceptibles d'apporter à l'eau tous leurs ions constitutifs comme contaminants naturels : teneurs de plusieurs g/l de SO_4^{2-} de plusieurs centaines de g/l de Cl^- dans les régions semi arides (y compris les régions méditerranéennes) ou arides, ces ions rendent inutilisables de nombreuses ressources en eau de surface ou souterraines.

4.2.2. Biseau salé

Une autre cause de contamination naturelle est la présence d'une interface souterraine eau douce/eau salée.

Bien qu'en régime statique, les lentilles d'eau douce « flottent » sur l'eau salée de la mer ou des estuaires, l'écoulement souterrain peut amener le mélange de ces deux composantes, en milieu hétérogène.

4.2.3. Milieux confinés

Les aquifères captifs, dans lesquels le potentiel redox est bas du fait de la consommation de l'oxygène dissous, puis de celle des nitrates... par les réactions d'oxydation des sulfures ou de la matière organique, sont le siège de la mise en solution de métaux indésirables (fer et manganèse). Si la réduction est plus poussée, peuvent apparaître ammonium, sulfures et méthane.

4.2.4. Matière organique naturelle

Les nappes alluviales, dans lesquelles les cours d'eau ont apporté divers éléments organiques (bois, feuilles...) peuvent avoir des teneurs en carbone organique total (COT) ou en hydrocarbures élevées, du même ordre de grandeur que celles induites par des pollutions anthropique faibles.

4.3. Pollutions anthropiques

L'activité humaine engendre des rejets gazeux, liquides et solides dans le milieu (atmosphère, eau de surface, sol, nappes) qui directement (rejets) ou indirectement, vont affectée les eaux souterraines. L'infiltration verticale (recharge) ou latérale (limites à flux entrant : berges de cours d'eau), la lixiviation de l'atmosphère et des sols vont contribuer à la dégradation qualitative des ressources.

4.3.1. Pollution domestique

Les principaux polluants apportés sont salins (chlorure de sodium de régénération des régimes échangeuses d'ions des adoucisseurs d'eau, des fers à repasser ou des lave-vaisselle) tensioactifs (borates, polyphosphates des détergents), bactériologiques (*Escherichia coli*, entérocoques fécaux,...) hormonaux (pilule anticonceptionnelle...). Outre les ions apportés en solution, la pollution domestique émet des matières en suspension, en particulier organiques. Il faut y ajouter les déchets de bricolage (solvants des peintures, huiles de vidange...), engrais et pesticides utilisés à forte dose dans les jardins privés.

4.3.2. Pollution urbaine

La pollution urbaine se compose des eaux des surfaces imperméabilisées appelées abusivement eaux pluviales, des résidus de traitement de la pollution domestique collectée, ainsi que les résidus de traitement des ordures ménagères.

Les toits recueillent la fraction imbrulée des fiouls domestiques (hydrocarbures, sulfates), la voirie (routes, parkings) des hydrocarbures (lubrifiants) des matières en suspension (poussières de plaquettes de freins et de disques d'embrayage), des métaux lourds (zinc des peintures, autrefois plomb...) du sel en période de gel. Les pluies consécutives à une période de sécheresse lessivent les polluants de voirie.

4.3.3. Pollution industrielle

Diverse dans sa composition, la pollution industrielle comprend des effluents liquides, des fuites de stockage ou de canalisations, des résidus solides qui, souvent dans le passé, ont été utilisés comme remblais.

Si les effluents liquides subissent aujourd'hui des traitements spécifiques efficaces, les fuites sont toujours difficiles à détecter et à maîtriser, et l'abandon des sites donne des friches industrielles dont les sols sont pollués et susceptibles de contaminer les nappes qu'ils recouvrent.

Ainsi, dans tels remblais, produit pour un syndicat alimentant 200000 consommateurs, des eaux polluées par du méthyl benzène et des solvants chlorés.

.3.4. Pollution agricole

L'agriculture peut produire une pollution ponctuelle, comme les fuites de stockage des sous-produits de l'élevage jus de fumiers ou d'ensilage, ou les fuites d'engrais ou de produits phytosanitaires, lors de la préparation des solutions à épandre ou lors rinçage du matériel.

De plus, les engrais et pesticides épandus constituent une source de pollution diffuse, la végétation et le sol constituant un réservoir de polluants facilement mobilisable par l'eau d'infiltration.

Cette pollution est mise en circuit lorsque les conditions météorologiques sont défavorables, par exemple lorsqu'une pluie de 30 mm suit l'épandage.

D'autre part, si le stade phénologique de la culture n'est pas consommateur d'azote, le stock accumulé dans le sol sera intact au moment de la pluie.

Ainsi, l'épandage de lisier de vache en période de neige dans le haut Doubs se traduit par un pic de pollution dans les eaux souterraines karstiques sous-jacentes, alors que le même apport sur la prairie en cours de croissance est écrêté.

CHAPITRE IV. EAUX USEES

IV.1. INTRODUCTION

La présence de diverses impuretés dans l'eau est due à ses propriétés de solvant et à sa capacité à transporter des particules. Ces impuretés sont un indicateur de la qualité de l'eau. Cette qualité est influencée à la fois par des phénomènes naturels et par des actions humaines.

En général, la qualité de l'eau dépend de l'utilisation des terres dans le bassin versant. Plusieurs facteurs entrent en jeu :

- **Les conditions naturelles** : même si le bassin versant est préservé dans son état naturel, la qualité des eaux de surface est affectée par le ruissellement et l'infiltration causés par les précipitations. L'impact de ces phénomènes dépend de l'interaction de l'eau avec les particules, les substances et les impuretés présentes dans le sol.
- **L'intervention humaine** : l'activité humaine peut se manifester de manière concentrée, par exemple par le rejet d'eaux usées domestiques ou industrielles, ou de manière diffuse, par l'utilisation d'engrais ou de pesticides sur le sol.

IV.2. Usages de l'eau

Les principaux usages de l'eau sont :

- approvisionnement domestique
- fourniture industrielle
- irrigation
- alimentation animale
- préservation de la vie aquatique
- récréation et loisirs
- élevage d'espèces aquatiques
- production d'électricité
- la navigation
- harmonie du paysage
- dilution et transport des déchets

En règle générale, seuls les deux premiers usages (distribution domestique et distribution industrielle) sont couramment associés à un traitement préalable

de l'eau en raison de leurs exigences de qualité plus élevées.

Il existe une corrélation directe entre l'utilisation de l'eau et la qualité requise. Parmi les utilisations énumérées, l'approvisionnement en eau domestique peut être considéré comme le plus exigeant, nécessitant la satisfaction de divers critères de qualité. En revanche, les utilisations les moins exigeantes sont la simple dilution et le transport des déchets, qui ne présentent pas d'exigences spécifiques en termes de qualité. Cependant, il est important de rappeler que les masses d'eau sont généralement utilisées à des fins multiples, ce qui implique la nécessité de satisfaire à différents critères de qualité. C'est le cas, par exemple, des réservoirs construits pour l'approvisionnement en eau, la production d'électricité, les loisirs, l'irrigation, etc.

IV.3. Composition des eaux usées

Paramètres de qualité

Les eaux usées domestiques sont principalement composées d'eau à hauteur de 99,9%. Le reste est constitué de solides organiques et inorganiques, de micro-organismes ainsi que de substances en suspension et dissoutes. C'est cette infime proportion de 0,1% qui entraîne la pollution de l'eau et nécessite donc le traitement des eaux usées.

La composition des eaux usées varie en fonction de leur utilisation. Ces usages, ainsi que leur forme, diffèrent selon le climat, la situation sociale et économique, ainsi que les habitudes de la population.

Lors de la conception d'une station d'épuration, il n'est généralement pas nécessaire de déterminer précisément les différents composés présents dans les eaux usées. Cela s'explique non seulement par la difficulté de réaliser des tests en laboratoire, mais aussi par le fait que les résultats obtenus ne peuvent pas être directement utilisés pour la conception et l'exploitation de la station. Il est donc préférable d'utiliser des paramètres indirects qui permettent d'évaluer le caractère polluant des eaux usées. Ces paramètres se divisent en trois catégories : les paramètres physiques, chimiques et biologiques, qui définissent la qualité des eaux usées.

Tableau 2.12. Flux moyens spécifiques de certaines industries

Type	Activité	Unité	Consommation d'eau par unité (m3/unité) (*)
<i>Nourriture</i>	Fruits et légumes en conserve	1 tonne de produit	4–50
	Bonbons	1 tonne de produit	5–25
	Canne à sucre	1 tonne de sucre	0,5 – 10,0
	Abattoirs	1 vache ou 2,5 cochon	0,5–3,0
	Produits laitiers (lait)	1000 L de lait	1–10
	Produits laitiers (fromage ou beurre)	1000 L de lait	2–10
	Margarine	1 tonne de margarine	20
	Brasserie	1000L de bière	5–20
	Boulangerie	1 tonne de pain	2–4
	Boissons non alcoolisées	1000 L de boissons gazeuses	2–5
<i>Textiles</i>	Coton	1 tonne de produit	120–750
	Laine	1 tonne de produit	500–600
	Rayonne	1 tonne de produit	25–60
	Nylon	1 tonne de produit	100–150
	Polyester	1 tonne de produit	60–130
	Lavage de la laine	1 tonne de laine	20–70
	Teinture	1 tonne de produit	20–60
<i>Cuir / tanneries</i>	Tannerie	1 tonne de peau	20–40
	Chaussure	1000 paires de chaussures	5
<i>Pâte et papier</i>	Fabrication de pâte	1 tonne de produit	15–200
	Blanchiment de la pâte	1 tonne de produit	80–200
	Fabrication de papier	1 tonne de produit	30–250
	Pâtes et papiers intégrés	1 tonne de produit	200–250
<i>Chimique les industries</i>	Peindre	1 employé	110 L/j
	Verre	1 tonne de verre	3–30
	Savon	1 tonne de savon	25–200
	Acide, base, sel	1 tonne de chlore	50
	Caoutchouc	1 tonne de produit	100–150
	Caoutchouc synthétique	1 tonne de produit	500
	Raffinerie de pétrole	1 baril (117 L)	0,2–0,4
	Détergent	1 tonne de produit	13
	Ammoniac	1 tonne de produit	100–130
	Gaz carbonique	1 tonne de produit	60–90
	Pétrole	1 tonne de produit	7–30
	Lactose	1 tonne de produit	600–800
	Soufre	1 tonne de produit	8–10
	Produits pharmaceutiques (vitamines)	1 tonne de produit	10–30

IV.4. Sources d'eaux usées dans les systèmes municipaux et urbains

La composition des eaux usées municipales peut varier considérablement, reflétant la gamme de contaminants rejetés par les différentes combinaisons de sources domestiques, industrielles, commerciales et institutionnelles.

La forme urbaine précise et l'environnement législatif/ institutionnel dictent généralement la manière dont ces eaux usées sont collectées et traitées. Cependant, dans la plupart des pays, seule une partie des eaux usées est formellement collectée. Une grande partie, principalement issue de milieux à faible revenu, est généralement évacuée vers le drain d'eau de surface ou le canal de drainage informel le plus proche.

Dans les économies fortement industrialisées ou en voie de développement et où les cadres législatifs sont faibles, une grande partie des eaux usées est mélangée avant d'être traitée et déchargée. Là où les égouts d'origine hydrique sont la norme, ce que l'on appelle « les égouts combinés » restent courants. Il s'agit d'une approche parfaitement logique si de grands volumes d'eau sont utilisés pour le rinçage, ce qui entraîne des eaux usées diluées combinées à quelques autres sources d'eaux usées (ONU-Habitat, nd).

Il est important de noter que, dans de nombreux cas, de grands volumes d'eaux usées qui sont légalement rejetés dans des réseaux d'égouts en décomposition et/ou mal exploités, tant combinés que séparés, n'atteignent jamais une station d'épuration. Une grande partie est perdue en cours de route à la suite de ruptures de conduites ou se retrouve dans les égouts de surface, polluant à la fois les eaux souterraines et les cours d'eau de surface. Il existe également de nombreux cas de réutilisation illégale de l'eau par des communautés qui altèrent délibérément les systèmes d'égouts principaux.

IV.4.1. Assainissement et production d'eaux usées dans les bidonvilles

La croissance des établissements informels dans les pays en développement pose un défi majeur en termes de production d'eaux usées. Bien que la proportion de personnes vivant dans des bidonvilles ait légèrement diminué depuis 2000, le nombre total d'habitants de bidonvilles a augmenté en 2012 par rapport à 2000. En Afrique subsaharienne, plus de la moitié de la population urbaine vit dans des bidonvilles. Les pays sortant d'un conflit et l'Asie occidentale sont particulièrement touchés, avec une augmentation significative du nombre de personnes vivant dans des bidonvilles.

Les bidonvilles présentent des variations en termes de type, de forme et de densité de population. Cependant, la plupart d'entre eux se caractérisent par un manque d'infrastructures de base telles que des routes pavées, des logements durables, des systèmes d'approvisionnement en eau et d'assainissement, ainsi que des systèmes de drainage. Cette situation entraîne un rejet élevé de matières fécales et de déchets solides dans les canaux et les fossés de drainage des eaux de surface. La mauvaise gestion des déchets solides entraîne des obstructions dans les systèmes de drainage, provoquant ainsi des inondations.

IV.5. Étendue de la production d'eaux usées industrielles

Comme le volume des eaux usées industrielles est rapporté sur une base limitée et sporadique, l'étendue réelle de cette ressource potentielle est largement inconnue. Globalement, les données et les informations concernant le volume d'eaux usées produites par l'industrie sont très insuffisantes. Par ailleurs, il convient de distinguer le volume global d'eaux usées produites et le volume effectivement rejeté, généralement inférieur du fait du recyclage. Une estimation suggère que les volumes d'eaux usées industrielles doubleront d'ici 2025 (UNEP FI, 2007).

Certaines informations consolidées sont disponibles pour les pays développés. Dans l'UE, par exemple, des données limitées montrent que la production d'eaux usées a généralement diminué (Eurostat, nd). Les données montrent également que la fabrication est le plus grand générateur d'eaux usées parmi les principaux secteurs industriels. En outre, les données de quelques pays indiquent que l'industrie est un pollueur majeur, car seule une partie des eaux usées a été traitée avant d'être rejetée.

Un exemple atypique d'informations assez détaillées au niveau national est disponible au Canada, qui mène des enquêtes biennales sur l'eau industrielle qui incluent des données provenant des industries manufacturières, minières et de production d'électricité thermique.

IV.5.1. Nature des eaux usées industrielles

Les informations sur les caractéristiques générales et la qualité des eaux usées industrielles sont largement accessibles. La toxicité, la mobilité et la charge des polluants industriels ont des impacts potentiellement plus importants sur les ressources en eau, la santé humaine et l'environnement que les volumes réels d'eau. Cette réalité est reflétée dans les registres des rejets et transferts de polluants (RRTP), qui contiennent des données provenant des pays développés sur les quantités de substances polluantes sélectionnées (dépassant certains seuils) rejetées par l'industrie dans l'eau, le sol et l'air (OCDE, nd). Ces bases de données pourraient être analysées pour obtenir une vision globale du potentiel de ressources récupérables parmi les nombreux contaminants indésirables.

Diverses activités industrielles génèrent des eaux usées contenant une grande variété de polluants. La technologie permet d'éliminer (ou "extraire") ces polluants et est limitée uniquement par sa rentabilité dans des contextes industriels spécifiques. De cette manière, deux produits sont créés : l'eau traitée et les matériaux récupérés. L'eau peut être recyclée à l'intérieur de l'usine ou par une autre industrie connexe, ou simplement rejetée pour retourner dans le cycle hydrologique et être utilisée par d'autres. Aux États-Unis, il a été estimé que pour certains grands fleuves, l'eau est utilisée et réutilisée plus de 20 fois avant d'atteindre la mer (TSG, 2014). Des matériaux précieux peuvent être récupérés, tels que des minéraux (phosphates) et des métaux. L'eau de refroidissement peut également être source de chaleur. Les boues résiduelles peuvent produire du biogaz ou être éliminées sans autre utilisation.

IV.5.2. Défis du recyclage

En cas d'acceptation des eaux usées comme une entrée positive, plutôt qu'un sous-produit indésirable, d'une activité industrielle nécessitant une élimination, il est possible de suivre un processus logique et préféré allant de leur élimination à une utilisation et un recyclage proactifs (Voir tableau 1 annexe).

IV.6. Agriculture comme source de pollution de l'eau

Au cours des cinquante dernières années, l'agriculture s'est développée et intensifiée pour répondre à la demande croissante en nourriture, principalement due à la croissance démographique et aux changements alimentaires. La superficie équipée pour l'irrigation a plus que doublé, passant d'environ 1,4 million de km² en 1961 à environ 3,2 millions de km² en 2012 (AQUASTAT, 2014). Le cheptel total a plus que triplé, passant de 7,3 milliards d'unités en 1970 à 24,2 milliards en 2011 (FAOSTAT, nda). L'aquaculture, en particulier l'aquaculture continentale et surtout en Asie, a été multipliée par plus de vingt depuis les années 1980 (FAO, 2012).

L'intensification de l'agriculture s'accompagne souvent d'une érosion accrue des sols, de charges sédimentaires plus élevées dans l'eau et d'une utilisation excessive (ou abusive) d'intrants agricoles (pesticides et engrais, par exemple) pour augmenter la productivité. Lorsque l'utilisation de ces produits dépasse la capacité d'assimilation des systèmes agricoles, cela entraîne une pollution environnementale plus importante. L'utilisation excessive d'eau d'irrigation augmente également le retour des eaux usées agricoles dans les plans d'eau sous forme de percolation profonde vers les aquifères et de ruissellement vers les eaux de surface.

IV.6.1. Polluants agricoles : sources et impacts

Les activités agricoles entraînent le rejet de divers types de polluants dans l'environnement. Ces polluants ont un impact sur les écosystèmes aquatiques en raison de leur exportation depuis les exploitations agricoles, de leur transport le long du cycle hydrologique et de leur concentration dans les masses d'eau. Les principales voies de pollution sont les suivantes : i) la percolation vers les eaux souterraines ; ii) le ruissellement en surface, les eaux de drainage et les débits vers les cours d'eau, les rivières et les estuaires ; et iii) l'adsorption sur les sédiments dus à l'érosion naturelle ou provoquée par l'activité humaine, qui se retrouvent ensuite dans les cours d'eau riches en sédiments (FAO/CGIAR WLE, à paraître).

IV.6.1.1. Nutriments

Depuis le XIX^e siècle, l'utilisation d'engrais a été ajoutée aux sources naturelles de nutriments (et au recyclage des nutriments) afin d'augmenter la production agricole. Cependant, cette mobilisation excessive des nutriments a maintenant dépassé les limites planétaires (Rockström et al., 2009).

Dans le domaine de la production végétale, la pollution de l'eau par les éléments nutritifs se produit lorsque les engrais sont utilisés en quantité supérieure à ce que les cultures peuvent absorber, ou lorsqu'ils sont lessivés de la surface du sol avant d'être assimilés par les plantes.

Un excès d'azote et de phosphates peut entraîner une infiltration dans les eaux souterraines ou

un ruissellement de surface dans les cours d'eau. Alors que les nitrates et l'ammoniac sont très solubles, le phosphate ne l'est pas et a tendance à se fixer sur les particules du sol. Il se retrouve ensuite dans les masses d'eau, attaché aux sédiments résultant de l'érosion des sols.

Ces excès de nutriments peuvent entraîner l'eutrophisation des lacs, des réservoirs et des étangs, ce qui provoque une prolifération d'algues qui étouffe les autres plantes et animaux aquatiques (FAO, 2002). Une accumulation excessive de nutriments peut également avoir des effets néfastes sur la santé, tels que le syndrome du bébé bleu, qui peut être causé par des niveaux élevés de nitrate dans l'eau potable (OMS, 2006a) (Voir tableau 2 en annexes).

IV.6.2. Pesticides

Actuellement, l'agriculture utilise des millions de tonnes d'ingrédients actifs de pesticides (FAOSTAT, ndb) et les cas d'intoxication aiguë aux pesticides sont responsables d'une morbidité et d'une mortalité considérables à travers le monde, notamment dans les pays en développement (OMS, 2008). Dans ces pays, les agriculteurs défavorisés ont souvent recours à des pesticides extrêmement dangereux.

IV.6.3. Sels

Au fil des dernières décennies, la production d'eau saumâtre provenant du drainage et de la lixiviation d'origine agricole a augmenté en proportion de l'augmentation de l'irrigation. Les sels accumulés dans les sols peuvent être mobilisés par l'irrigation (fractions lessivées), transportés par les eaux de drainage et entraîner la salinisation des masses d'eau réceptrices. De plus, une irrigation excessive peut entraîner une remontée des nappes phréatiques des aquifères salins, ce qui peut favoriser l'infiltration des eaux souterraines salines dans les cours d'eau et augmenter leur salinité. L'intrusion d'eau de mer salée dans les aquifères est une autre cause majeure de salinisation des ressources en eau dans les zones côtières. Cette intrusion est souvent le résultat d'extractions excessives d'eau souterraine pour l'agriculture (Mateo-Sagasta et Burke, 2010).

IV.6.4. Sédiments et autres polluants

L'érosion des sols causée par une utilisation non durable des terres et des pratiques agricoles inappropriées est un problème majeur qui entraîne le ruissellement des sédiments dans les cours d'eau, les lacs et les réservoirs. Ces sédiments, composés de matières minérales et organiques, peuvent entraîner l'envasement des réservoirs, perturber les écosystèmes aquatiques en modifiant les habitats et en obstruant les branchies des poissons. De plus, ces sédiments peuvent transporter des polluants chimiques tels que les pesticides ou les phosphates, ce qui aggrave encore la qualité de l'eau.

CHAPITRE V. GOUVERNANCE DE L'EAU : GOUVERNANCE ET ETHIQUE, PARTICIPATION COMMUNAUTAIRE

1. Problème de l'eau

A l'échelle mondiale, la consommation est répartie (UNICEF, 2002) entre agriculture (75%), industrie (20%) et l'eau potable domestique (5%). Selon les spécialistes de l'UNESCO (UNICEF, 2002), quand la dotation décline au-dessous de 1000 m³/habitant et par an (tous usages confondus), l'eau devient rare et on parle de pénurie. Selon la banque mondiale (Banque Mondiale, 1995), les pays du Maghreb et du Moyen Orient sont les plus pauvres en ressources hydrauliques naturelles renouvelables.

L'eau est une ressource essentielle et limitée en particulier dans la région semi-aride méditerranéenne. Atteindre une gestion des ressources en eau durable est un objectif global commun dans cette région (Jalala, 2005).

En matière de gestion des ressources en eau, l'approche traditionnelle, sectorielle et fragmentée, a souvent poussé les instances gouvernantes à représenter des intérêts antagoniques.

Trop souvent, des objectifs d'action ont été définis sans prendre en compte les implications pour les autres usagers de l'eau et sans consultation au-delà des limites sectorielles et institutionnelles (Global Water Partnership, 2000).

Les causes typiques de ces défaillances comprennent les infrastructures dégradées, les prélèvements excessifs de débits fluviaux, la pollution due aux activités industrielles et agricoles, l'eutrophisation due aux charges excessives d'éléments nutritifs, la salinisation due au retour de flux d'irrigation, les infestations de plantes et d'animaux exotiques, la pêche excessive de poissons, la modification de l'habitat et des plaines inondables par les activités de développement, et les changements dans les régimes d'écoulement de l'eau et des sédiments.

La planification, le développement et la gestion des systèmes de ressources en eau pour assurer l'approvisionnement et la qualité adéquate, peu coûteuses et durable de l'eau pour les populations et les écosystèmes naturels, peut être réussie, seulement si elles répondent aux facteurs socio-économiques déterminants, tels que le manque d'éducation, les pressions démographiques et la pauvreté.

2. L'eau en Afrique

L'Afrique est un continent avec de grandes disparités dans la disponibilité de l'eau au sein et entre les pays.

La fréquence des sécheresses a augmenté au cours des 30 dernières années, entraînant des coûts sociaux, économiques et environnementaux importants.

Il n'est pas surprenant que l'approvisionnement en eau dans les terres arides, qui occupent environ 60% de la superficie totale de l'Afrique, soit soumis à des contraintes croissantes.

taux d'accroissement de la population en Afrique, qui est encore exacerbé par le déplacement de la population vers les villes, est une question fondamentale qui constitue une menace majeure pour l'élimination de la pauvreté en eau (Mwanza, 2003, Jones *et al.*, 2004)

3. L'eau au Moyen-Orient et en Afrique du Nord

Les États exportateurs de pétrole, notamment l'Arabie saoudite, les petites cités et les émirats du Golfe et la Libye, ont dépassé leurs ressources en eau douce renouvelables il y a quelques décennies et comptent sur une combinaison de dessalement, d'eaux usées réutilisées et d'exploration des eaux souterraines fossiles.

Les autres États de la région se répartissent principalement en deux groupes: ceux dotés de ressources en eau douce de surface plus importantes comme la Turquie, l'Égypte, le Soudan, l'Iran, l'Irak et le Liban et ceux qui dépendent des eaux souterraines, mais luttent pour mobiliser le type d'investissements nécessaires pour sécuriser de «nouvelles» sources d'eau à grande échelle comme la Jordanie, le Yémen, la Tunisie et l'Algérie.

Cependant, certains pays comme le Maroc et la Syrie, sont basés à la fois sur les ressources en eau de surface et les eaux souterraines (Puri *et al.*, 2008).

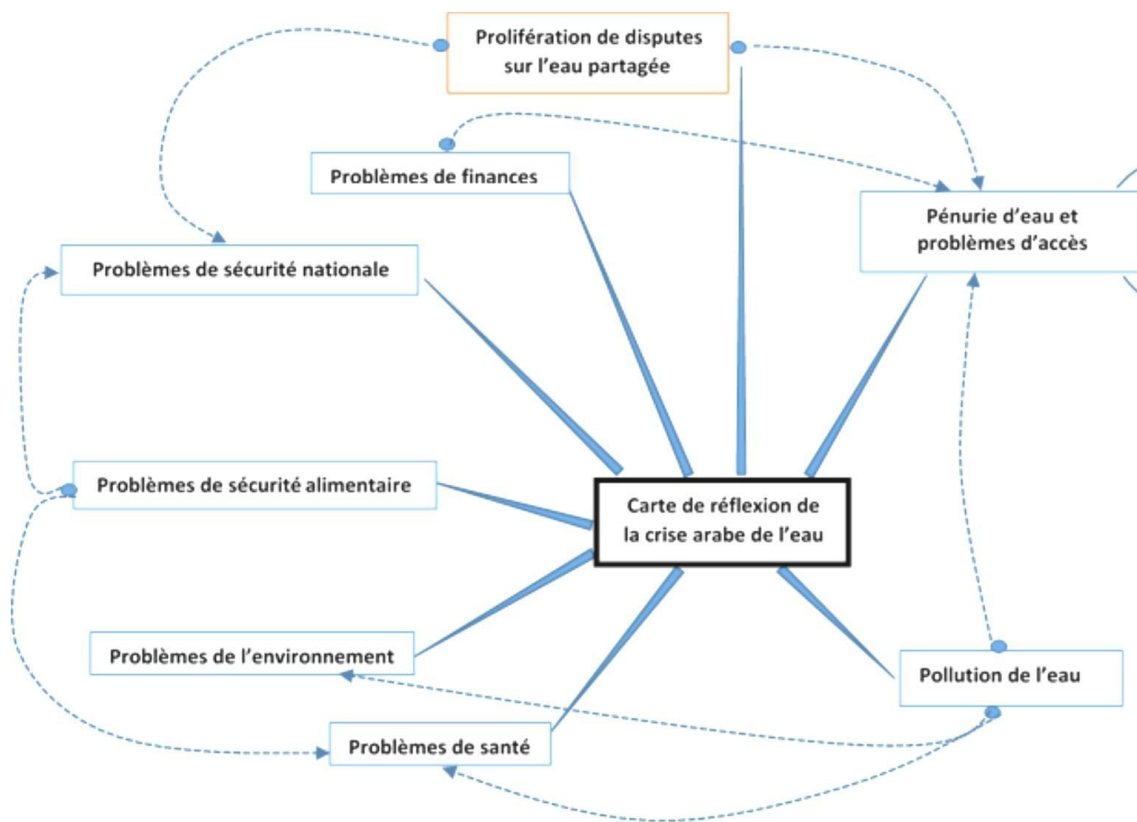


Figure. 20 :cartographie mentale complexité des problèmes de leau dans le monde arabe
[notre traduction] (Hefny, 2006) (modifiée)

Questions clés dans la gestion de l'eau

3.1. Crise de gouvernance de l'eau

Les approches sectorielles à la gestion des ressources en eau ont prévalu par le passé et règnent encore. Ceci aboutit à une gestion et à une mise en valeur non coordonnées et fragmentées de la ressource. D'ailleurs, la gestion de l'eau se fait habituellement par les institutions du sommet à la base, des institutions dont la légitimité et l'efficacité ont été de plus en plus remises en question. Ainsi, une gouvernance insuffisante aggrave la concurrence accrue pour une ressource finie. La GIRE apporte une coordination et une collaboration parmi les différents secteurs, en plus d'une stimulation à la participation des parties prenantes, la transparence et une gestion locale rentable (CN & GWP., 2005).

3.2. Garantir l'eau pour les populations

Bien que la plupart des pays accordent la priorité à la satisfaction des besoins humains fondamentaux en eau, un cinquième de la population du monde n'a pas accès à l'eau potable saine et la moitié de la population n'a pas accès à un assainissement adéquat.

Ces insuffisances de service affectent principalement les segments les plus pauvres de la population des pays en développement.

Dans ces pays, la satisfaction des besoins d'approvisionnement en eau et de l'assainissement en faveur des zones rurales et urbaines représente un des défis les plus sérieux pour les années à venir.

La réduction de moitié de la proportion de population qui ne dispose pas de services d'eau et d'assainissement d'ici 2015 est un des Objectifs du Millénaire pour le Développement¹.

Pour ce faire, il faudra une réorientation substantielle des priorités d'investissements, ce qui sera réalisé beaucoup plus aisément dans ces pays qui mettent aussi la GIRE en œuvre (CN & GWP., 2005).

3.3. Garantir l'eau pour la production alimentaire

Les projections de population indiquent qu'au cours des 25 années à venir, il faudra de la nourriture pour encore 2 ou 3 milliards de personnes.

L'eau est de plus en plus perçue comme une contrainte majeure pour la production alimentaire, équivalent sinon plus cruciale que la pénurie de terre.

L'agriculture irriguée est déjà responsable de plus de 70% de toutes les extractions d'eau. Même avec une estimation de 15-20% de besoins additionnels d'eau d'irrigation au cours des 25 années à venir- ce qui est probablement minoré – de sérieux conflits sont susceptibles d'arriver entre l'eau pour l'agriculture irriguée et l'eau pour les autres utilisations des hommes et de l'écosystème.

La GIRE offre la perspective d'une plus grande efficacité de conservation de l'eau et de gestion de la demande équitablement partagées entre les utilisateurs de l'eau, et une plus grande réutilisation et un plus grand recyclage des eaux usées pour compléter la mise en valeur de ressources nouvelles (CN & GWP., 2005).

3.4. Protection des écosystèmes indispensables

Les écosystèmes terrestres dans les zones en amont d'un bassin sont importants pour l'infiltration des eaux pluviales, la recharge des eaux souterraines et des régimes de débit des fleuves.

Les écosystèmes aquatiques produisent une gamme d'avantages économiques, y compris des produits tels que le bois de construction, le bois de chauffage et les plantes médicinales, et ils fournissent également des habitats à la faune et des lieux de reproduction.

Les écosystèmes dépendent des écoulements de l'eau, du caractère saisonnier et des fluctuations de la nappe phréatique et ils sont menacés par la mauvaise qualité de l'eau (CN & GWP., 2005).

3.5. Disparités Genre

La gestion formelle de l'eau est à dominance masculine. Bien que leur nombre commencent à grandir, la représentation des femmes dans les institutions du secteur de l'eau est toujours très faible. Ceci est important parce que la manière dont les ressources en eau sont gérées affecte les femmes et les hommes différemment.

Comme gardiennes de la santé et de l'hygiène familiales et comme fournisseuses de l'eau et de l'alimentation domestiques, les femmes sont les parties prenantes primaires de l'eau et de l'assainissement du ménage.

Cependant, les décisions sur les technologies de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement, les emplacements des points d'eau, l'exploitation et l'entretien des systèmes sont surtout assurés par les hommes.

L'Alliance du Genre et de l'Eau cite l'exemple d'une ONG bien intentionnée qui a aidé les villageois à installer des latrines à chasse d'eau pour améliorer l'assainissement et l'hygiène, sans avoir interrogé au préalable les femmes sur les deux litres supplémentaires d'eau qu'elles devraient transporter depuis des sources éloignées pour chaque chasse.

Un élément crucial de la philosophie de la GIRE est que les utilisateurs de l'eau, riches et pauvres, hommes et femmes, peuvent influencer les décisions qui affectent leurs vies quotidiennes (CN & GWP., 2005).

Une réunion à Dublin en 1992 a donné naissance à quatre principes qui ont servi de base à une grande partie de la réforme suivante du secteur de l'eau :

Principe 1. *L'eau douce est une ressource finie et vulnérable, essentielle au maintien de la vie, au développement et à l'environnement.*

La notion que les eaux douces sont une ressource finie survient alors que le cycle hydrologique produit en moyenne une quantité d'eau fixe par intervalle de temps.

Cette quantité globale ne peut pas encore être altérée sensiblement par les actions humaines, bien qu'elle puisse l'être, et soit fréquemment, épuisée par la pollution humaine. La ressource en eau douce est un capital qui doit être maintenu pour s'assurer que les services désirés qu'elle fournisse, soient durables.

Ce principe reconnaît que l'eau est nécessaire à des fins, des fonctions et des services variés ; la gestion, doit donc être holistique (intégrée) et implique une prise en compte des demandes de cette ressource et les menaces qui pèsent sur elle (CN & GWP., 2005).

Principe 2. La mise en valeur et gestion de l'eau devrait se baser sur une approche participative, impliquant les utilisateurs, les planificateurs et les décideurs politiques à tous les niveaux.

L'eau est un sujet dans lequel chacun est partie prenante. La vraie participation n'a lieu seulement que quand les parties prenantes font partie du processus de prise de décision. Le type de participation dépendra de l'échelle spatiale concernant les décisions particulières de gestion et d'investissement de l'eau. Elle sera surtout affectée par la nature de l'environnement politique dans lequel ces décisions ont lieu.

L'approche participative est le meilleur moyen pour réaliser un consensus et un accord durable et commun. La participation concerne la prise de responsabilité, l'identification de l'effet des actions sectorielles sur les autres utilisateurs de l'eau et les écosystèmes aquatiques et l'acceptation de la nécessité du changement pour améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau et permettre le développement durable de la ressource. La participation ne permet pas toujours d'aboutir au consensus, des processus d'arbitrage ou autres mécanismes de résolution de conflits doivent également être mis en place (CN & GWP., 2005).

Principe 3. Les femmes jouent un rôle central dans l'approvisionnement, la gestion et la sauvegarde de l'eau.

Le rôle central des femmes comme fournisseurs et utilisatrices de l'eau et comme gardiennes du cadre de vie a été rarement reflété dans les dispositions institutionnelles pour la mise en valeur et la gestion des ressources en eau.

On reconnaît largement que les femmes jouent un rôle majeur dans la collecte et la sauvegarde de l'eau pour les utilisations domestiques et – dans de nombreux cas – l'utilisation agricole, mais qu'elles ont un rôle beaucoup moins influent que les hommes dans la gestion, l'analyse de problème et les processus de prise de décisions relatifs aux ressources en eau.

La GIRE exige une conscience Genre. En développant la participation entière et efficace des femmes à tous les niveaux de la prise de décision, il faudra prendre en compte la manière dont les différentes sociétés affectent des rôles sociaux, économiques et culturels particuliers aux hommes et aux femmes.

Il y a une synergie importante entre l'équité Genre et la gestion durable de l'eau. Faire participer les hommes et les femmes dans les rôles influents à tous les niveaux de la gestion de l'eau peut accélérer la réalisation de la pérennité ; et la gestion de l'eau de manière intégrée et durable contribue significativement à l'équité Genre en améliorant l'accès des femmes et des hommes à l'eau et aux services connexes à l'eau pour la satisfaction de leurs besoins essentiels (CN & GWP., 2005).

Principe 4. *L'eau a une valeur économique dans toutes ses utilisations concurrente et devrait être reconnue aussi bien comme bien économique que bien social.*

Dans ce principe, il est essentiel de reconnaître d'abord le droit fondamental de tous les êtres humains à avoir accès à l'eau potable et à l'assainissement à un prix accessible.

La gestion de l'eau en tant que bien économique est une manière importante de réaliser les objectifs sociaux tels que l'utilisation efficace et équitable, et encourager la conservation et la protection des ressources en eau. L'eau a une valeur en tant que bien économique de même que bien social. Beaucoup d'échecs passés dans la gestion des ressources en eau sont attribuables au fait que la pleine valeur de l'eau n'a pas été reconnue CN & GWP., (2005).

La valeur et les charges sont deux choses différentes que nous devons distinguer clairement. *La valeur* de l'eau dans les utilisations alternatives est importante pour une allocation raisonnable de l'eau comme ressource rare, par des moyens de régulation ou des moyens économiques.

Facturer (ou ne pas facturer) l'eau s'applique à un instrument économique pour soutenir les groupes désavantagés, peut affecter le comportement envers la conservation et l'utilisation efficace de l'eau, offrir des incitations pour la gestion de la demande, assurer un recouvrement des coûts et signaler la volonté des consommateurs à payer des investissements additionnels dans des services de l'eau (CN & GWP., 2005).

3.6. Cadre Politique et juridique

Les attitudes changent pendant que les responsables se rendent compte de la nécessité de gérer les ressources efficacement.

Ils voient aussi que la construction de nouvelles infrastructures doit tenir compte des impacts environnementaux et sociaux et la nécessité fondamentale de viabiliser les systèmes économiquement à des fins d'entretien.

La législation de l'eau convertit la politique en loi et devrait :

- Clarifier le droit et les responsabilités des utilisateurs et des fournisseurs de l'eau ;
- Clarifier les rôles de l'état par rapport aux autres parties prenantes ;
- Formaliser le transfert des allocations de l'eau ;
- Offrir un statut juridique aux institutions de gestion de l'eau du gouvernement et des groupes d'utilisateurs de l'eau ;
- Assurer l'utilisation durable de la ressource.

3.7. Cadre institutionnel

Pour de nombreuses raisons, les gouvernements de pays en développement considèrent la planification et la gestion de ressources en eau comme une partie centrale de la responsabilité du gouvernement.

Cette vision est cohérente avec le consensus international qui favorise le concept du gouvernement comme facilitateur et régulateur, plutôt que de réalisateur de projets.

Le défi consiste à réaliser un accord mutuel sur le niveau auquel dans toute situation spécifique, la responsabilité du gouvernement devrait cesser, ou être accompagnée des structures autonomes et/ ou organisations communautaires de gestion des services d'eau.

Le concept de la gestion intégrée des ressources en eau a été accompagné de la promotion du bassin fluvial comme unité géographique logique pour sa réalisation pratique.

Afin de mettre la GIRE en œuvre, des arrangements institutionnels sont nécessaires pour permettre :

- Le fonctionnement d'un consortium de parties prenantes impliquées dans la prise de décision, avec la représentation de toutes les sections de la société, et un bon équilibre Genre ;
- La gestion des ressources en eau basée sur les frontières hydrologiques ;
- Aux structures organisationnelles aux niveaux de bassin et de sous bassin de permettre la prise de décision au niveau approprié le plus bas ;
- Au gouvernement de coordonner la gestion nationale des ressources en eau à travers les secteurs d'utilisation de l'eau.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- D.L. Bjorneberg, R.E. Sojka, (2005). « Irrigation Methods ». Encyclopedia of Soils in the Environment.
- Boyer, C, (2009). « Étude des transferts du tritium atmosphérique chez la laitue: étude cinétique, état d'équilibre et intégration du tritium sous forme organique lors d'une exposition atmosphérique continue ». Thèse DE Doctorat. Physique. Université de Franche-Comté, . Français.
- Burton, J., (2003). "Integrated water resources management on a basin level: a training manual. UNESCO. ISBN: 9292200038, 9789292200039, 240 pages.
- Commission on Sustainable Development (CSD) survey on the status of IWRM planning. GWP presented its findings at the CSD-16 meeting in May 2008.
- Conférence de haut niveau sur l'eau pour l'agriculture et l'énergie en Afrique : "les défis du changement climatique," Sirte, Jamahiriya arabe libyenne, 15-17 décembre 2008 ; Rapport d'investissement par pays.
- Cap Net & Global Water Partnership (CN & GWP)., (2005) "Plans de gestion intégrée des ressources en eau," Training Manual and Operational Guide. Cap-Net and Global Water Partnership.
- Eric Gilli, Christian Mangan et Jacques Mudry, Hydrogéologie : Objets, méthodes, applications, Paris, Dunod, 2011, 3e éd.
- FAO, 1990. « GESTION DES EAUX EN IRRIGATION ». Manuel de formation n° 5. Méthodes d'irrigation. Division de la mise en valeur des terres et des eaux.
- Faurie, C., C. Ferra, P. Médori, J. Dévaux et J.L. Hemptinne, 2011, *Écologie Approche scientifique et pratique*, 6e édition, Lavoisier, 488 p.
- Global Water Partnership, (2000). "Towards Water Security: A Framework for Action," Global Water Partnership: Stockholm, Sweden
- Hefny, M., (2006), "Actualizing water ethics in the regional context of the arab world," In: Dura G., Kambourova V., Simeonova F. (eds) Management of Intentional and Accidental Water Pollution. NATO Security through Science Series. Springer, Dordrecht
- Hassing, J., Ipsen, N., Clausen, T.J., Larsen, H. & Lindgaard-Jørgensen, P., (2009). "Integrated water resources management in action," The United Nations world water assessment program dialogue paper. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Howard, K.W.F., (2011). "Implications of climate change on water security in the Mediterranean region," In: Baba, A., et al., (eds.) (2011). Climate Change and its

- Effects on Water Resources. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security 3, 9-16.
- Jalala, S., (2005). "Characterizing the multi-criteria parameters of integrated water management model in the semi-arid Mediterranean region: application to Gaza Strip as a case study," PhD Univ. Sciences and Technology of Lille (France), 2005, 1-244
- Jeffrey, P., (2006). "The human dimensions of IWRM: interfaces between knowledge and ambitions," In: Hlavinek P, Kukharchyk T, Marsalek J, Mahrikova I (Eds) Integrated urban water resources management—NATO security through science series. Springer, Dordrecht, pp 11–18
- Jancovici, J.M., (2002). "L'avenir climatique – *Quel temps ferons-nous ?*, édition Seuil Science ouverte, (284 pages)
- Keller, R., 1980. Water-balance in the Federal-Republic of Germany, Geographical Institute, University of Freiburg, Eir
- Khan, S., Sonoda, T., Okamine, N., MLIT ; Hiroki, K., Okazumi, T., Moriyasu, K., Okada, T., JWA ; Ota, S., Yoshioka, T., Ochii, Y., Takano, K., CTI Engineering ; Toyama, M., Fujiwara, N., Yoneyama, K. & Sagara, J. (2009). "IWRM guidelines at river basin level, part 1: principles," 2009 - unesdoc.
- Koudstaal, R., Rijsberman, F.R., & Savenije, H., (1991). "Water and Sustainable Development," International Conference on Water and the Environment (ICWE). In: Keynote Papers by ICWE Secretariat, c/o World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
- Loucks, D.P. & Van Beek. E., "Water Resources Systems Planning and Management," United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Paris, France, 2005.
- Mutin, G., (2000). "L'eau dans le monde arabe: enjeux et conflits," Ed. Ellipses, Paris. Mwanza,
- D.D., (2003). "Water for sustainable development in Africa," Environment, Development and Sustainability, 5: 95–115.
- Plan Bleu, (2009). "Environnement et Développement en Méditerranée," Report of : Les Notes du Plan Bleu, No 11.
- Puri, S. & Aureli, A. & Stephan, R.M., (2008) "Shared Groundwater Resources: Global Significance for Social and Environmental Sustainability," Overexploitation and Contamination of Shared Groundwater Resources, C.J.G. Darnault, ed., Springer Science.
- Sahnoune, F., Belhamel, M., Zelmat, M., Kerbach, R., (2013). "Climate Change in Algeria: Vulnerability and strategy of mitigation and adaptation," Energy Procedia: 36: 1286-1294.

Snellen, W.B. & Schrevel, A., (2004). "IWRM: for sustainable use of water 50 years of international experience with the concept of integrated water management,"
FAO/Netherlands Conference on Water for Food and Ecosystems.

Plan cadre des Nations unies pour le développement (UNDAF), (2002-2006). "Plan Cadre des Nations Unies pour la Coopération au Développement - Algérie,"

ROCHE, M. (1963). Hydrologie de Surface. Gauthier-Villars, Paris, France, 430 p

Annexes

Tableau .1. Contenu des eaux usées typiques dans certaines grandes industries

Industrie	Teneur typique de l'effluent
Pâte et papier	<ul style="list-style-type: none"> • Acides lignosulfoniques chlorés, acides résiniques chlorés, phénols chlorés et hydrocarbures chlorés – environ 500 composés organiques chlorés différents identifiés • Composés colorés et halogènes organiques résorbables (AOX) • Polluants caractérisés par DBO, DCO, solides en suspension (MES), toxicité et couleur
Fer et acier	<ul style="list-style-type: none"> • Eau de refroidissement contenant de l'ammoniac et du cyanure • Produits de gazéification – benzène, naphthalène, anthracène, cyanure, ammoniac, phénols, crésols et hydrocarbures aromatiques polycycliques • Huiles hydrauliques, suif et particules solides • Eau de rinçage acide et acide usé (chlorhydrique et sulfurique)
Mines et carrières	<ul style="list-style-type: none"> • Coulis de particules de roche • Tensioactifs • Huiles et huiles hydrauliques • Minéraux indésirables, c'est-à-dire arsenic • Slimes avec des particules très fines
Industrie alimentaire	<ul style="list-style-type: none"> • Niveaux élevés de concentrations de DBO et de SS • DBO et pH variables selon les légumes, les viande et la saison fruits ou la • Traitement des légumes - particules élevées, quelques matières organiques dissoutes, tensioactifs • Viande – substances organiques fortes, antibiotiques, hormones de croissance,

	<p>pesticides et insecticides</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cuisson – matières organiques végétales, sel, arômes, colorants, acides, alcalis, huiles et graisses
Brassage	<ul style="list-style-type: none"> • DBO, DCO, MES, azote, phosphore - variables selon les processus individuels • pH variable en raison des agents nettoyants acides et alcalins • Haute température
Laitier	<ul style="list-style-type: none"> • Sucres dissous, protéines, graisses et résidus d'additifs • DBO, DCO, MES, azote et phosphore
Produits chimiques organiques	<ul style="list-style-type: none"> • Pesticides, produits pharmaceutiques, peintures et colorants, produits pétrochimiques, détergents, plastiques, etc. • Matières premières, sous-produits, matériaux de produit sous forme soluble ou particulaire, agents de lavage et de nettoyage, solvants et produits à valeur ajoutée tels que les plastifiants
Textiles	<ul style="list-style-type: none"> • DBO, DCO, métaux, solides en suspension, urée, sel, sulfure, HO, NaOH • Désinfectants, biocides, résidus d'insecticides, détergents, huiles, lubrifiants à tricoter, apprêts de filage, solvants usés, composés antistatiques, stabilisants, tensioactifs, auxiliaires de traitement organiques, matériaux cationiques, colorants • Acidité ou alcalinité élevée • Chaleur, mousse • Matières toxiques, déchets de nettoyage, taille
Énergie	<ul style="list-style-type: none"> • Production de combustibles fossiles - contamination par les puits de pétrole et de gaz et la fracturation hydraulique • Eau de refroidissement chaude

Sources : D'après IWA Publishing (nd) ; PNUE (2010) ; et Moussa (2008).

Tableau 2. Catégories des principaux polluants de l'eau provenant de l'agriculture et contribution relative des systèmes de production agricole

Polluant catégorie	Indicateurs / Exemples	Contribution relative de		
		La production agricole		
			Bétail	Aquaculture
Nutriments	Principalement de l'azote et du phosphore présents dans les engrais chimiques et organiques, les excréments d'animaux et présents dans l'eau sous forme de nitrate, d'ammoniac ou de phosphate	* * *	* * *	*
			-	-
Pesticides	Herbicides, insecticides, fongicides et bactéricides, y compris organophosphorés, carbamates, pyréthroïdes, pesticides organochlorés et autres (beaucoup, comme le DDT, sont interdits dans la plupart des pays mais leur utilisation illégale persiste)	* * *	-	-
Sels	Dont sodium (Na ⁺), chlorure (Cl ⁻), potassium (K ⁺), magnésium (Mg ²⁺), sulfate (SO ₄ ²⁻), calcium 4 (Ca ²⁺) et bicarbonate (HCO ₃ ⁻) 3 ions, entre autres*	* * *	*	*
Sédiment	Mesuré dans l'eau sous forme	* * *	* * *	*

	de solides en suspension totaux ou d'unités de turbidité néphélométrique - en particulier à partir du drainage de l'étang pendant la récolte			
Matière organique	Substances chimiques ou biochimiques qui nécessitent de l'oxygène dissous dans l'eau pour se dégrader (matières organiques, telles que les matières végétales et les excréments du bétail)**	*	* * *	* *
Agents pathogènes	Indicateurs de bactéries et d'agents pathogènes, y compris E. coli, coliformes totaux, coliformes fécaux et Entérocoques	*	* * *	*
Les métaux	Y compris le sélénium, le plomb, le cuivre, autres le mercure, l'arsenic, le manganèse et	*	*	*
Émergent polluants	Résidus de médicaments, hormones, additifs alimentaires, etc.	-	* * *	* *

* Mesuré dans l'eau, directement en tant que solides dissous totaux, ou indirectement en tant que conductivité électrique

* * Mesuré dans l'eau en DCO et DBO

Source : FAO/CGIAR WLE (à paraître).