

Prospective des besoins en eau mondiaux à l'horizon 2025

Vazken Andréassian et Jean Margat

Pourquoi essayer de prévoir les besoins en eau ?

■ Des enjeux cruciaux

Avec l'accroissement démographique très important attendu dans les trente prochaines années – près de trois milliards d'êtres humains supplémentaires entre 1990 et 2025 (ONU, 1988) – une forte pression sera exercée au niveau de chacun des secteurs d'utilisation de l'eau afin d'accroître les prélèvements et les consommations. Comme l'a rappelé la Conférence internationale sur l'eau et l'environnement de Dublin (OMM, 1992), les ressources en eau des pays sont limitées et il semble inévitable que des conflits d'usage importants se développent dans les années à venir. Seule une vision réaliste des besoins futurs permettra d'anticiper les problèmes et les conflits d'usage à venir, et facilitera leur solution (Shabman, 1987). Cela ne nécessitera pas seulement des investissements et des transformations techniques, mais surtout un investissement humain, un changement des mentalités, un effort d'éducation très important. Il est probable que des changements de cette ampleur demanderont beaucoup de temps pour passer dans les mœurs ; il faut donc avoir dès aujourd'hui une vision aussi exacte et détaillée que possible des problèmes qui se poseront dans le domaine de l'eau d'ici trente ans dans le monde.

■ Prospective : un exercice difficile

Une étude prospective à l'échelle mondiale, qui essaie de couvrir tous les pays, est limitée pour au moins trois raisons. La première est liée au fait que l'étude se base sur des indicateurs qui ne sont pas disponibles pour tous les pays. Il faut donc

recalculer ou extrapoler les paramètres manquants en utilisant des données existantes pour d'autres pays comparables. L'absence de données sûres et cohérentes – notamment dans les pays en développement, là même où les conflits d'usage risquent d'être les plus importants – est l'une des principales difficultés de cette prospective.

La seconde raison est l'échelle de l'étude qui est également une source de simplification excessive. De nombreux pays sont hétérogènes pour ce qui est du climat, de l'agriculture et de la population. Dans un pays étendu, des ressources peuvent être inutilisables parce que trop éloignées des centres de consommation. Pour cette raison, il serait sans doute préférable de travailler à l'échelle de bassins, au moins pour les plus grands pays. Malheureusement, en raison du manque de données détaillées, cela n'a été possible que dans le cas des États-Unis.

Enfin, comme le note Shabman (1987), les facteurs techniques, sociaux, économiques et politiques, qui interagissent tous pour définir ce que sera la future demande en eau dans les différents secteurs, sont susceptibles d'évoluer de manière assez imprévisible. Cette étude prospective des besoins en eau dans le monde n'aura donc pour ambition que de préciser la répartition géographique des principaux problèmes et des pressions qui devraient affecter les ressources en eau dans le premier quart du XXI^e siècle.

■ Le cadre général de l'étude

Il est important de préciser ici quelles sont les limites des scénarios d'évolution utilisés à but prospectif. En premier lieu, il n'a pas été tenu compte d'un

Vazken Andréassian
Division hydrologie
Cemagref
BP 121
92185 Antony
Cedex
Jean Margat
BRGM
BP 6009
45060 Orléans
Cedex 2

éventuel changement climatique, qui pourrait affecter les besoins de l'agriculture irriguée ou les ressources en eau. Cela se justifiait par les grandes incertitudes planant encore sur les conséquences hydrologiques de l'hypothèse du réchauffement général de la planète, ainsi que par l'échéance relativement courte de la prospective. Il est peu probable qu'une modification notable du climat soit sensible d'ici trente ans. Par ailleurs, nous avons tenté une prospective des *besoins en eau*, et non pas de la *demande en eau*. Ces deux approches diffèrent dans le sens où la première ne considère pas explicitement la limitation de l'« offre » (la ressource « mobilisable »). Une prospective de la demande, au contraire, tiendrait compte du nécessaire équilibre avec l'offre (Ciriacy-Wantrup, 1965).

1. Cette consommation finale est à distinguer de la consommation nette, quantité d'eau rejetée après usage qui peut être inférieure, car une partie des rejets peut être déversée en mer ou dans des aires d'évaporation en zone aride. Les consommations considérées ici seront plutôt les consommations nettes, au risque de sous-estimer parfois leur pression sur les ressources naturelles.

Réciproquement, l'estimation de la ressource pose elle aussi des problèmes. La ressource renouvelable potentielle prend en compte l'ensemble du volume écoulé annuellement sur le territoire du pays, auquel on adjoint le volume affluent de pays limitrophes. Cependant, il est clair que l'écoulement annuel varie d'année en année. La *ressource naturelle renouvelable estimée* (correspondant à une année « moyenne »), présentée au tableau 1, doit donc être utilisée avec beaucoup de précautions, d'autant plus que toute l'eau écoulée ne pourra être mobilisée à cause de sa répartition spatiale et temporelle. Il serait préférable de considérer une ressource « exploitable », à condition de pouvoir définir clairement les critères d'exploitabilité. Cela n'était pas l'objet de cette étude.

Quelles sont les études prospectives disponibles ?

Relativement peu d'études prospectives des besoins en eau au-delà de l'an 2000 sont disponibles dans la littérature scientifique ou économique. Il a donc semblé intéressant de présenter dans le tableau 1 les principales études publiées et leurs résultats. Ces chiffres sont issus de divers documents : rapports nationaux sur l'utilisation de l'eau, documents de synthèse reprenant des rapports nationaux (tels que ceux établis par les Nations-Unies et l'OCDE), travaux prospectifs plus élargis et plus homogènes comme ceux du Plan Bleu (Margat, 1988 et 1992) pour le bassin méditerranéen, ou de l'Institut d'hydrologie de Russie (Shiklomanov, 1990 et 1995), au niveau mondial.

L'analyse des études prospectives existantes de demande en eau pose avant tout le problème de la définition des termes que l'on cherche à estimer. On constate que la plupart des chiffres rencontrés ne sont pas accompagnés de définitions précises des différents postes de prélèvement pris en compte, ou encore des hypothèses qui ont servi à leur élaboration et des méthodes de calcul employées. Ces renseignements seraient très utiles pour comprendre les différences entre prévisions et rendre les chiffres comparables.

La distinction entre besoin et demande (voir le chapitre « Le cadre général ») est rarement faite. La consommation¹, qui représente le volume d'eau non restitué aux cours d'eau ou aux nappes, est

Tableau 1. – Résultats de quelques études publiées concernant les prélèvements et les consommations en eau projetés en fonction des besoins. ▼

Pays	Horizon de prospective	Source	Ressource naturelle renouvelable estimée (km ³ an ⁻¹)	Prélèvement par secteur (C, I, A, E) (km ³ an ⁻¹)	Prélèvement total (km ³ an ⁻¹)	Consommation par secteur (C, I, A, E) (km ³ an ⁻¹)	Consommation totale (km ³ an ⁻¹)
Monde entier	2010	Shiklomanov (1995)	42 655		4 360		2 551
	2025				5 188		2 878
Asie	2010	Shiklomanov (1995)	13 508		2 483		1 721
	2025				3 104		1 971
Amérique du Sud	2010	Shiklomanov (1995)	12 030		213		113
	2025				257		123
Australie	2010	Shiklomanov (1995)	352		32		18
	2025				35		20
Océanie	2010	Shiklomanov (1995)	2 050		4		3
	2025				4		3

Prospective des besoins en eau mondiaux à l'horizon 2025

Pays	Horizon de prospective	Source	Ressource naturelle renouvelable estimée (km ³ an ⁻¹)	Prélèvement par secteur (C, I, A, E) (km ³ an ⁻¹)	Prélèvement total (km ³ an ⁻¹)	Consommation par secteur (C, I, A, E) (km ³ an ⁻¹)	Consommation totale (km ³ an ⁻¹)
Europe	2010 2025	Shiklomanov (1995)	2 900		578 619		202 217
Inde	2025 2025	Central Water Commission (1988) Singh (1989)	2 000	C 52 A 770 E 71 C 40 I 120 A 630 E 4	1050 1 050		
Israël	2025	Mintzker (1987)	1,67	C 1,3 - 1,4 I 0,15 - 0,20 A 1,05 - 1,24	2,05 - 2,84		
Syrie	2010 2030	Wakil (1993) Wakil (1993)	36,2 36,2	C 2,10 A 17,4 C 4,72 A 20,68	20,08 26,5		
Jordanie	2010	Gärber et Salameh (1992)	1,135	C+I 0,42 A 0,75			
Afrique du Sud	2010	Department of Water Affairs (1986)		C 4,5 I 3,6 A 12 E 0,9 Divers 21			
Algérie	2025	Garadi (1992)	14,1	C 3,1-4,9 I 1,1-1,9 A 5,7-8,8	9,9-15,6		
Égypte	2025	Abou-Zeid et Rady (1992)	58,3	C 3,1 I 9,6-14,6 A 43,5-49,7	53,1-64,3		
Maroc	2020	Anonyme (1992)	30	A 17,0	21,2		
Libye	2025 2025	Margat (1988) Salem (1992) Khouri (1990)	 2,67	C 0,2-1,27 A 2,4-2,9 C 4,82		C 0,31-0,43 A 2,06-2,55	
Angleterre et Pays de Galles	2021	Wiseman (1992)		C 7,7			
Espagne	2012	Minist. obras Publicas y Transportes/ España (1993)	114	C 6,28 I 2,43 A 27,64 E 40	40,35		
Italie	2025	Ministro dell' Agricoltura e delle Foreste (1990)	110	C 7,6 I 3,3 A 26,2 E 6,4			

Notes : C : Collectivités - I : Industrie - A : Agriculture - E : Énergie (refroidissement des centrales thermiques).
La « Ressource naturelle renouvelable » inclut les ressources d'origine intérieure et extérieure.

rarement objet de prospective, qui se limite souvent aux prélèvements. Or, dans le secteur du refroidissement des centrales thermiques, il est aussi (sinon plus) intéressant de connaître la consommation, puisque les prélèvements varient beaucoup suivant le système de refroidissement utilisé, alors que les consommations sont moins variables.

Dans le tableau 1, on trouve parfois de fortes différences dans les estimations concernant un même pays, mais issues de sources différentes. Ces différences peuvent s'expliquer par la difficulté à définir ou à estimer le besoin de chaque secteur :

- les utilisations d'eau des collectivités groupent l'ensemble des volumes délivrés par les réseaux publics de distribution. Ils incluent donc aussi une part des utilisations industrielles, part qui peut varier fortement suivant les pays ;

- l'utilisation industrielle, ou plus exactement celle des industries non raccordées à un réseau de distribution, prend en compte pour certains auteurs les centrales thermiques ;

- dans certaines prospectives, on a pu prendre en compte les centrales thermiques refroidies à l'eau de mer, ce qui n'est pas cohérent dans une étude concernant l'utilisation des eaux douces ;

- enfin, certaines prospectives tiennent compte des volumes d'eau nécessaires aux loisirs ou à l'environnement (Department of Water Affairs, 1986 ; Plan hidrológico de España, 1992).

Tableau 2. – Comparaison des prévisions et des valeurs réelles de l'utilisation d'eau aux États-Unis en 1985. ▼

Secteur d'utilisation	Prévision (US Water Resources Council, 1978)		Recensement (Solley et al., 1988)	
	Prélèvement (km ³ an ⁻¹)	Conso. (km ³ an ⁻¹)	Prélèvement (km ³ an ⁻¹)	Conso. (km ³ an ⁻¹)
Industries	33	12	39	6
Agriculture	231	129	190	102
Énergie thermique	132	6	182	6
Mines	12	4	4	1
Collectivités	45	11	34	8

■ Un regard rétrospectif sur quelques projections passées

Un regard rétrospectif sur les prospectives anciennes met en évidence les principales difficultés de cette étude. Shiklomanov (1990) a comparé des prospectives de prélèvement, établies à trois dates différentes aux États-Unis et en URSS. Son étude montre que les études les plus anciennes (réalisées entre 1965 et 1970) adoptaient un modèle de croissance exponentielle pour l'évolution des prélèvements. Les études les plus récentes considèrent plutôt une évolution en « S », avec une croissance ralentie ou même une décroissance aux États-Unis (figure 1, Margat, 1994). Le tableau 2 présente pour l'année 1985 les prévisions de l'US Water Resources Council (1978), et les chiffres fournis par l'USGS (Solley et al., 1988).

Ce tableau montre que les prélèvements ont été plus généralement surestimés que sous-estimés. Quant aux consommations, elles ont été toutes surestimées (sauf celle concernant l'énergie thermique qui est tombée juste, mais qui représente un cas particulier facile à prévoir à court terme). D'autres sources (Herrington, 1987) montrent que ce phénomène de surestimation est assez général dans les études prospectives. Ceci peut s'expliquer pour deux raisons : d'une part, les études ne sont pas toujours neutres et servent bien souvent à justifier des investissements importants, et les chiffres sont parfois « gonflés » pour avoir plus de poids auprès des décideurs politiques. Les surestimations peuvent, d'autre part, s'expliquer par des coefficients de sécurité très importants, adoptés par les planificateurs en raison de la grande incertitude qui existe quant aux besoins futurs.

Comment estimer les prélèvements d'eau actuels et futurs ?

Une approche sectorielle des besoins est seule pertinente pour différencier les facteurs réels de leur évolution.

■ Les quatre secteurs d'utilisation

On répartit conventionnellement les prélèvements selon quatre grands secteurs d'utilisation (OCDE, 1989 ; Margat, 1991) : les collectivités, les industries, l'agriculture et les centrales thermiques.

- Les prélèvements des collectivités correspondent principalement à l'alimentation en eau potable des

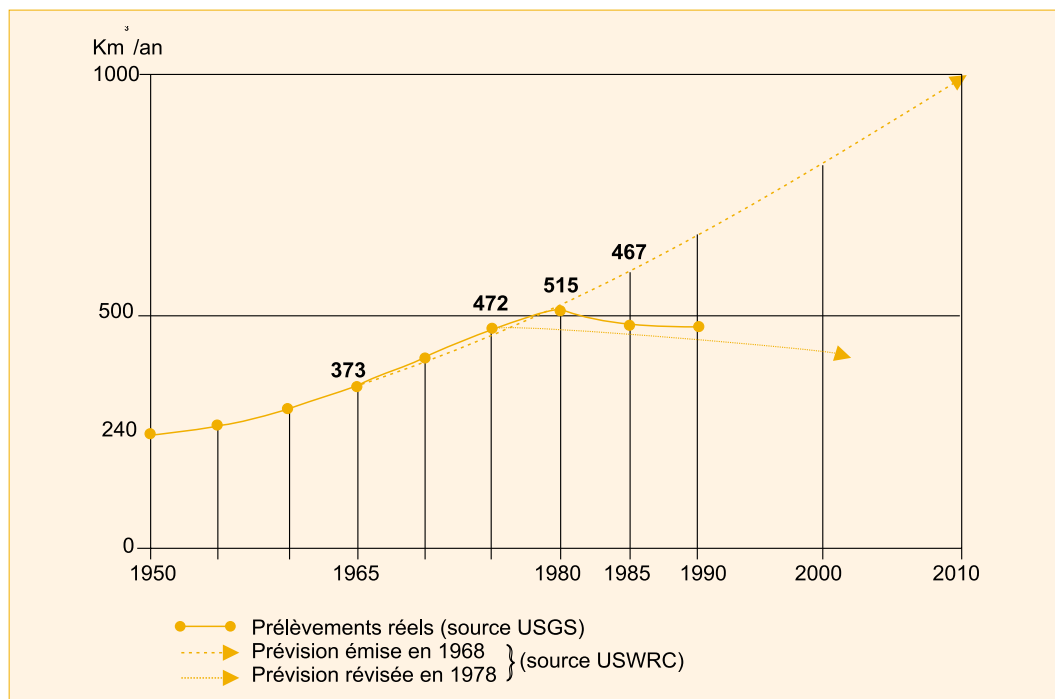


Figure 1. – Évolution des prélèvements d'eau douce depuis 1950 aux États-Unis et divergence des prévisions successives.

ménages et des lieux de travail. Mais, ils couvrent aussi une part variable des besoins des petites industries et des activités tertiaires raccordées au réseau public d'adduction d'eau.

– Les prélèvements des industries « non desservies » servent à l'alimentation de toutes les industries, qui assurent elles-mêmes le prélèvement nécessaire à leur activité.

– Les prélèvements de l'agriculture servent à satisfaire les besoins d'irrigation des cultures, auxquels sont parfois agrégés ceux de l'élevage.

– Les prélèvements des centrales thermiques satisfont les besoins de refroidissement des réacteurs classiques et nucléaires.

Comme la revue des prospectives existantes l'a montré, cette division en quatre secteurs de consommation n'est pas universelle : certaines estimations présentent des chiffres groupant des prélèvements industriels et des prélèvements pour le refroidissement des centrales thermiques. D'autres documents ajoutent des secteurs tels que l'évaporation des réservoirs (Shiklomanov, 1990), la dilution des eaux usées (Banque mondiale, citée par Traoré, 1992), la conservation de la nature, la réduction de l'écoulement due au boisement, et

les besoins des lacs et des estuaires (Department of Water Affairs, 1986). Ces approches sont intéressantes, car elles isolent des prélèvements qu'il est difficile d'imputer à un secteur en particulier (un réservoir peut servir à la fois pour la production d'énergie électrique, l'irrigation, l'adduction d'eau et les activités de loisir, toutes ces activités étant responsables pour une part des pertes par évaporation), et elles permettent d'introduire la notion de débit réservé, pour une meilleure prise en compte des besoins de conservation de l'environnement.

■ Une méthode de prévision pour chaque secteur d'activité

La prévision a été réalisée en choisissant des variables déterminantes de l'utilisation de l'eau dans chacun des quatre secteurs. Les valeurs initiales de ces variables furent obtenues à partir de l'utilisation estimée au temps présent (fin des années 80, début des années 90). Les équations explicatives utilisées pour chacun des secteurs sont présentées dans le tableau 3.

Aucune équation explicative n'a été développée pour les prélèvements de l'industrie, en raison du manque de données disponibles sur les prélève-

Secteur d'utilisation	Équation explicative	Légende
Collectivités	Pays développés : $PC = H \times PUH$	PC = Prélèvement des collectivités H = Population (<i>t</i> : totale, <i>u</i> : urbaine, <i>r</i> : rurale)
	Pays en développement : $PC = Hu \times PUHu + Hr \times PUHr$	PUH = Prélèvement unitaire par habitant (<i>u</i> : urbain, <i>r</i> : rural)
Agriculture	$Pa = Airr \times PUirr$	Pa = Prélèvement de l'agriculture Airr = Surface irriguée PUirr = Prélèvement unitaire par hectare irrigué

▲ Tableau 3. – Équations explicatives du prélèvement en eau de chaque secteur.

ments unitaires (par emploi industriel ou par produit) et de la grande hétérogénéité de ce secteur. Enfin, en ce qui concerne le secteur des centrales thermiques, seule la consommation a fait l'objet d'une prospective.

Les consommations ont été calculées sur la base des prélèvements de chacun des secteurs, sauf dans le cas des centrales thermiques, dont la consommation a été calculée directement (tableau 4).

Tableau 4. – Équations de calcul de la consommation de chaque secteur.

Secteur d'utilisation	Équation explicative	Légende
Collectivités	Pays développés : $Cc = PC \times 0,25$	Cc = Consommation des collectivités
	Pays en développement : $Cc = PC \times 0,66$	
Industrie	$Ci = Pi \times 0,10$	Ci = Consommation de l'industrie Pi = Prélèvement de l'industrie
Agriculture	$Ca = Pa \times 0,75$	Ca = Consommation de l'agriculture
Centrales thermiques	$Cth = Prcl \times CUcl + Prnu \times CUnu$	Cth = Consommation des centrales thermiques Pr = production d'électricité thermique (<i>cl</i> : centrale classique, <i>-nu</i> : centrale nucléaire) CU = consommation unitaire par kWh (<i>cl</i> : centrale classique, <i>-nu</i> : centrale nucléaire)
	avec : $CUcl = 1,8 \text{ l (kWh)}^{-1}$ $CUnu = 3,0 \text{ l (kWh)}^{-1}$	

■ **Problèmes posés par la distinction entre consommation et prélèvement**

Mis à part le cas des centrales thermiques, où la consommation peut être facilement estimée en faisant un bilan énergétique, il a fallu se contenter d'estimations simples pour évaluer la consommation à partir du prélèvement. Ces estimations sont détaillées par Andréassian et Gaume (1993).

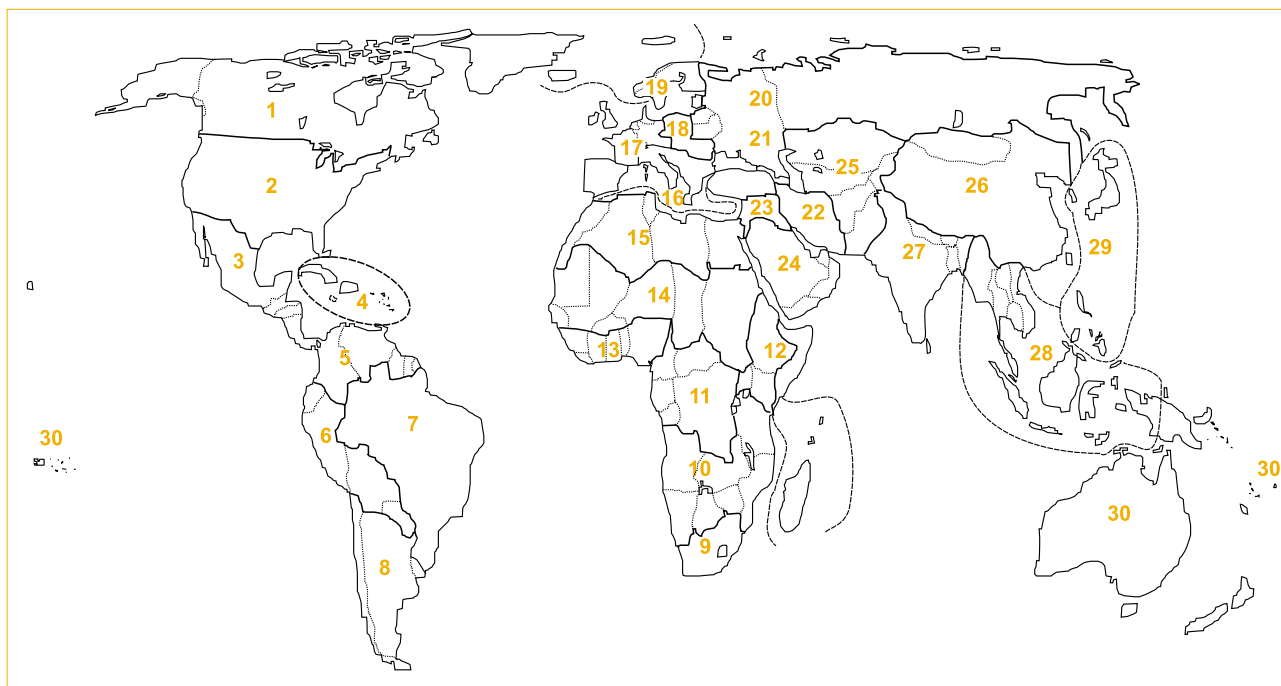
■ **Une nécessaire extrapolation des valeurs manquantes**

L'étude a été conduite sur la base d'agrégats régionaux, plutôt que par pays, pour les raisons suivantes :

– il n'était pas possible de trouver dans la littérature des valeurs pour tous les indicateurs de consommation d'eau, il fallait donc pouvoir les extrapoler sur une base géographique ;

– pour l'étude prospective, étant donné l'incertitude planant sur les scénarios d'évolution nationaux, il apparaissait également préférable de travailler sur de petits groupes de pays, au niveau desquels il était plus facile de définir une tendance globale.

Sur la base du climat et du niveau de développement des pays, on a formé 30 agrégats géographiques présentés dans la figure 2. Les agrégats ont servi comme unité d'extrapolation, mais tous les calculs relatifs à l'état actuel et à la prospective des besoins en eau ont été faits à l'échelle du pays. La



méthode d'extrapolation des indicateurs est présentée en détail par Andréassian et Gaume (1993).

■ **Scénarios employés pour la prospective des prélèvements**

Les scénarios employés dans la prospective des prélèvements sont résumés dans le tableau 5.

Résultats

■ **Les résultats globaux par agrégat**

Les résultats par secteur de la prospective des consommations sont rassemblés dans le tableau 6 (on a omis de présenter dans cet article le tableau des prélèvements par souci de concision). Les valeurs hautes et basses proposées correspondent aux scénarios hauts et bas élaborés pour les secteurs agriculture et collectivités. Les valeurs correspondantes ont été combinées pour évaluer le besoin total, en considérant que les deux secteurs auraient une évolution indépendante l'un de l'autre. Une mise en garde s'impose quant aux chiffres présentés dans ce tableau : deux valeurs hautes et basses très proches ne doivent pas donner une illusoire impression de précision, cette proximité est simplement due au fait que les scénarios correspondants diffèrent peu pour le pays concerné.

Comme les scénarios le laissaient prévoir, les tableaux 6 et 7 montrent que l'essentiel de l'accroissement des consommations et des prélèvements est attendu dans les pays en développement, surtout en Asie. L'évolution projetée pour le monde entier est illustrée dans la figure 3.

Les besoins totaux devraient connaître une augmentation rapide d'ici 2010. Au-delà de cet horizon, on pourrait assister à une stabilisation, voire à une décroissance des besoins, ou à une poursuite de leur croissance rapide. Comme la figure 3 le montre, cela dépendra essentiellement de l'infléchissement des besoins du secteur agricole, qui ne pourra être atteint qu'au prix d'une amélioration notable de l'efficacité des irrigations.

Il est très instructif de comparer les tendances projetées entre 1990, 2010 et 2025 avec les projections de Shiklomanov (1995). Rappelons que seule une comparaison au niveau des consommations a un sens, car nous avons délibérément exclu le secteur du refroidissement des centrales thermiques de la prospective des prélèvements. Les projections d'évolution mondiale des consommations sont présentées dans le tableau 8.

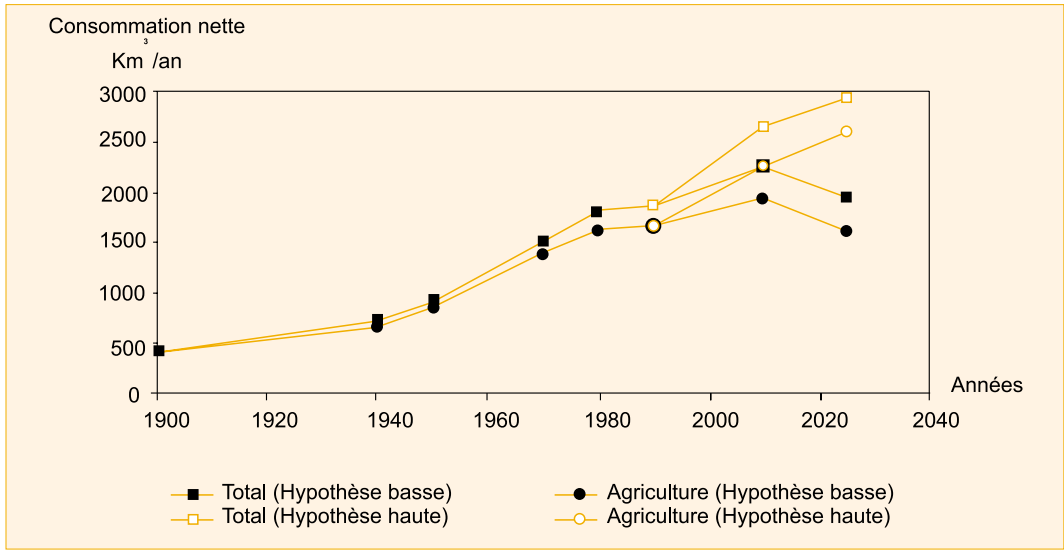
Au niveau mondial, notre fourchette d'estimations entoure bien le chiffre proposé par Shiklomanov,

▲ Figure 2. – Trente agrégats servant de base pour la prospective.

SECTEUR	PRÉLÈVEMENT		CONSOMMATION	
	Hypothèse haute	Hypothèse basse	Hypothèse haute	Hypothèse basse
Collectivités	<ul style="list-style-type: none"> • PD : PU_H stable • Afrique subsaharienne : augmentation des taux de desserte • Autres PVD : augmentation de PU_{Hr} et de PU_{Hu} : + 10 % d'ici 2010 + 30 % d'ici 2025 	<ul style="list-style-type: none"> • PD : PU_H stable • Afrique subsaharienne : stagnation des taux de desserte • Autres PVD : augmentation de PU_{Hr} et de PU_{Hu} : + 5 % d'ici 2010 + 15 % d'ici 2025 		
Industrie	<ul style="list-style-type: none"> • PD sauf États-Unis : diminution de P_i - 40 % d'ici 2010 - 50 % d'ici 2025 • États-Unis : P_i stable • PVD : P_i suit l'évolution de la population 		Pour tous les pays : C_i suit l'évolution de la population	
Agriculture	<ul style="list-style-type: none"> • A_{irr} suit l'évolution de la population • PU_{irr} stables 	<ul style="list-style-type: none"> • A_{irr} suit l'évolution de la population • Diminution des PU_{irr} : <ul style="list-style-type: none"> • PD : - 10 % d'ici 2010 - 25 % d'ici 2025 • PVD : - 15 % d'ici 2010 - 40 % d'ici 2025 		
Centrales thermiques	Pas de prévision		<ul style="list-style-type: none"> • Pays membres de l'AIE : accroissement selon les prévisions de l'AIE • Pays non-membres de l'AIE : accroissement au taux moyen des pays membres 	

▲ Tableau 5. – Récapitulation des scénarios prospectifs adoptés par secteur (source : Andréassian et Margat).

Figure 3. – Consommation d'eau dans le monde passée et projetée (les chiffres passés ont été empruntés à Shiklomanov, 1990).



Prospective des besoins en eau mondiaux à l'horizon 2025

Tableau 6. – Prospective des consommations d'eau par agrégat pour 2025 (tous secteurs, centrales thermiques incluses).

(source Andreassian et Margat)

Note : C : Collectivités, I : Industrie, A : Agriculture, E : Énergie (centrales thermiques). La composition des agrégats est présentée en figure 2. ▼

CONSOMMATION D'EAU EN $KM^3 AN^{-1}$													
Agrégat	« 1990 » (État initial)					2025							
	C	I	A	E	Total	C (bas)	C (haut)	I	A (bas)	A (haut)	E	Total (bas)	Total (haut)
1	1,4	1,4	2,8	0,4	6,1	1,7	1,7	1,7	2,6	3,5	2,3	8,4	9,2
2	9,3	6,8	102,2	6,0	124,3	11,9	11,9	8,5	92,4	123,2	15,0	127,7	158,5
3	6,4	0,5	46,4	0,1	53,4	14,1	15,9	0,9	52,2	87,0	0,5	68,5	103,4
4	2,5	0,1	10,5	0,0	13,1	5,1	5,8	0,1	9,0	14,9	0,0	14,5	20,5
Amérique du Nord	19,6	8,7	161,9	6,6	196,9	32,8	35,3	11,2	156,1	228,6	17,8	220,7	293,2
5	1,4	0,1	4,5	0,0	6,1	2,8	3,2	0,2	4,8	7,9	0,2	8,2	11,3
6	2,8	0,1	8,1	0,0	11,1	6,9	7,8	0,2	10,5	17,5	0,0	18,0	25,0
7	4,1	0,3	10,5	0,0	15,0	7,8	8,8	0,5	10,4	17,3	0,6	19,7	26,7
8	2,9	0,6	31,3	0,1	34,9	4,9	5,6	0,8	27,2	45,4	0,1	33,4	51,5
Amérique du Sud	11,4	1,1	54,5	0,1	67,1	22,5	25,4	1,7	52,8	88,0	0,9	79,2	114,6
9	1,3	0,1	7,1	0,2	8,7	3,2	3,6	0,3	11,3	15,0	0,2	15,1	18,9
10	0,6	0,0	2,1	0,0	2,8	1,7	3,9	0,1	3,9	6,4	0,0	6,4	9,8
11	0,9	0,0	0,1	0,0	1,1	2,3	2,4	0,1	0,2	0,3	0,0	2,6	2,8
12	1,3	0,0	16,2	0,0	17,5	3,6	4,5	0,1	23,4	39,0	0,0	27,5	43,1
13	1,4	0,1	2,4	0,0	3,9	4,0	8,5	0,2	3,9	6,5	0,0	9,1	14,3
14	0,9	0,0	18,4	0,0	19,3	2,1	2,8	0,0	24,9	41,4	0,0	27,3	43,9
15	4,5	0,5	53,4	0,1	58,6	9,2	10,5	1,0	56,3	93,8	0,2	67,3	104,8
Afrique	11,0	0,9	99,7	0,2	111,8	26,2	36,1	1,8	123,7	202,4	0,4	156,7	236,1
16	4,0	2,4	57,0	0,5	63,9	4,8	4,9	2,7	47,5	64,0	0,7	55,8	72,3
17	5,7	4,7	3,8	2,9	17,1	5,5	5,5	4,3	2,9	3,8	3,2	15,9	16,8
18	2,0	0,9	19,4	0,6	22,8	2,3	2,3	1,0	18,0	24,1	1,4	22,7	28,8
19	0,6	0,5	0,3	0,3	1,6	0,6	0,6	0,5	0,2	0,2	0,4	1,6	1,6
20	5,2	13,5	31,0	2,4	52,0	6,6	6,6	17,2	29,6	39,5	5,4	58,8	68,7
Europe	17,5	21,9	111,4	4,4	155,2	19,8	20,0	25,7	98,2	131,6	5,6	149,4	182,8
21	0,5	0,4	17,6	0,1	18,6	0,7	0,8	0,6	13,4	22,4	0,2	14,9	23,9
22	4,1	1,0	39,2	0,1	44,4	7,9	8,9	1,7	40,6	67,6	0,3	51,0	78,0
23	1,1	0,1	28,0	0,1	29,3	3,2	3,6	0,3	39,6	65,1	0,2	43,4	69,0
24	0,8	0,1	15,8	0,0	16,7	1,9	2,1	0,2	27,9	37,2	0,0	30,1	39,4
25	3,7	1,7	275,2	0,3	281,0	8,3	9,4	3,3	322,4	537,3	0,7	335,3	550,2
26	21,8	3,4	301,5	0,6	327,3	32,9	37,2	4,6	237,8	396,3	1,5	278,9	437,5
27	21,6	1,3	386,4	0,3	409,6	37,8	42,7	1,9	341,1	568,5	0,3	383,5	610,9
28	10,3	0,8	113,9	0,0	125,0	18,5	20,9	1,2	106,1	176,8	0,1	127,1	197,8
29	7,4	4,6	69,6	0,5	82,1	9,8	10,4	5,5	61,2	91,8	0,5	77,3	107,8
Asie	71,3	13,4	1247,2	2,0	1333,9	120,9	136,0	19,2	1190,1	1963,0	3,8	1341,4	2114,5
Océanie (30)	1,1	0,1	6,3	0,1	7,6	1,5	1,5	0,2	6,3	8,4	0,1	8,0	10,1
Monde	131,9	46,2	1681	13,2	1872,3	223,7	254,2	59,7	1627,2	2621,9	28,2	1955,4	2950,6

Tableau 7. – Prospective des prélèvements d'eau par agrégat pour 2025 (tous secteurs sauf centrales thermiques) (source Andréassian et Margat)
 Note : C : Collectivités, I : Industrie, A : Agriculture, E : Énergie (centrales thermiques). La composition des agrégats est présentée en figure 2. ▼

Agrégat	1990 (tat initial)				2025							
	C	I	A	Total	C (bas)	C (haut)	I	A (bas)	A (haut)	Total (bas)	Total (haut)	
1	5,5	14,2	3,8	23,5	6,8	6,8	7,0	3,5	4,7	17,3	18,5	
2	42,6	42,4	187,9	272,8	54,7	54,7	42,4	171,0	228,1	266,9	323,9	
3	9,6	4,7	61,9	76,1	21,0	23,7	8,8	69,6	116,0	100,7	147,2	
4	4,8	0,6	14,1	19,4	9,3	10,6	0,8	12,0	20,0	22,7	30,8	
AmØrique du Nord	62,4	61,8	267,6	391,8	91,8	95,8	59,0	256,7	368,7	407,7	520,3	
5	2,1	1,0	6,0	9,2	4,3	4,8	1,7	6,4	10,6	12,6	16,8	
6	4,2	0,8	10,8	15,9	10,3	11,6	1,6	14,0	23,3	26,5	35,9	
7	6,2	3,0	14,0	23,2	11,7	13,2	4,9	13,8	23,0	31,1	40,4	
8	4,4	5,7	41,8	51,9	7,3	8,3	8,4	36,3	60,5	52,5	76,7	
AmØrique du Sud	17,0	10,6	72,7	100,2	33,5	37,9	16,7	70,4	117,3	122,7	169,8	
9	2,0	1,5	9,4	12,8	4,8	5,4	3,2	15,0	20,0	23,2	28,3	
10	0,9	0,4	2,8	4,1	2,6	5,8	1,1	5,1	8,6	9,8	14,5	
11	1,4	0,3	0,2	1,9	3,4	3,6	0,7	0,3	0,4	4,4	4,7	
12	1,9	0,3	21,6	23,8	5,3	6,8	0,8	31,2	51,9	38,0	58,8	
13	2,1	0,7	3,2	5,9	6,0	12,7	1,9	5,2	8,6	14,4	21,9	
14	1,4	0,1	24,5	26,0	3,2	4,1	0,2	33,1	55,2	37,0	59,2	
15	6,7	5,4	71,3	83,4	13,8	15,6	10,1	75,0	125,0	99,8	149,8	
Afrique	16,4	8,6	133,0	158,0	39,1	54,0	18,0	164,9	269,9	228,9	334,9	
16	15,2	24,0	76,0	115,2	17,2	17,4	12,2	63,4	85,4	92,9	114,9	
17	22,7	46,6	5,8	75,2	22,1	22,1	23,3	4,4	5,8	49,8	51,2	
18	7,9	9,1	25,8	42,8	9,3	9,3	4,5	24,1	32,1	37,9	45,9	
19	2,3	4,8	0,3	7,4	2,2	2,2	2,4	0,2	0,3	4,8	4,9	
20	20,8	134,8	41,3	196,9	26,5	26,5	67,4	39,5	52,6	133,4	146,5	
Europe	68,9	219,3	149,2	437,5	77,3	77,4	109,9	131,5	176,2	318,8	363,5	
21	2,0	4,5	23,4	29,9	3,0	3,3	5,7	17,9	29,8	26,8	38,7	
22	6,1	9,9	52,3	68,2	11,7	13,3	16,9	54,1	90,1	83,4	119,5	
23	1,8	1,3	37,4	40,5	5,0	5,6	3,0	52,8	86,8	61,1	95,2	
24	2,2	0,7	21,1	24,0	5,6	6,4	1,6	37,2	49,6	44,8	57,2	
25	9,9	16,7	367,0	393,6	22,4	25,3	33,2	429,9	716,4	486,9	773,5	
26	32,6	34,4	401,9	468,9	49,1	55,5	46,0	317,1	528,4	415,3	626,8	
27	32,3	12,9	515,2	560,4	56,4	63,7	18,8	454,8	758,0	533,6	836,8	
28	15,3	8,0	151,8	175,2	27,6	31,2	12,2	141,4	235,7	183,0	277,4	
29	23,2	45,8	92,8	161,9	27,6	28,5	34,8	81,7	122,4	144,4	185,2	
Asie	125,4	134,2	1663,0	1922,6	208,4	232,8	172,1	1586,8	2617,3	1979,3	3010,2	
Océanie (30)	4,4	1,3	8,5	14,2	5,9	5,9	0,7	8,5	11,4	15,1	18,0	
Monde	294,6	435,9	2294,0	3024,4	456,0	503,8	376,4	2218,3	3560,8	3072,9	4416,3	

	Consommation en km ³ /an					
	«1990 » (état initial de la projection)		2010		2025	
	Cette étude	Shilklomanov (1995)	Cette étude	Shilklomanov (1995)	Cette étude	Shilklomanov (1995)
Monde	1872	2196	2269/2656	2551	1955/2950	2878
Asie	1334	1529	1592/1855	1721	1341/2115	1971
Europe	155	183	168/225	202	179/183	217

◀ Tableau 8. – Comparaison des résultats de cette étude avec ceux de Shilklomanov (1995).

qui reste cependant toujours assez proche du scénario « haut ». La tendance est la même pour l'Asie, mais pour l'Europe, la valeur de Shilklomanov dépasse notre scénario le plus pessimiste : Shilklomanov a en effet considéré une progression continue des prélèvements industriels, alors que nous avons pensé que l'Europe suivrait d'ici 2025 l'exemple des États-Unis, avec une stabilisation des consommations. Une partie de la différence observée avec Shilklomanov tient probablement à une différence de méthode d'estimation : notre état initial est en effet inférieur de près de 15 % à celui de Shilklomanov, une différence qui pourrait être en partie causée par sa prise en compte de l'évaporation des réservoirs, qu'il estime pour le monde à 164 km³ en « 1990 ». En résumé, la projection de Shilklomanov (1995) reste une projection des *besoins* au sens strict, ayant pour principal facteur explicatif l'évolution de la population, sans tentative d'inclure l'effet de la limitation de la ressource. Notre projection, si elle ne prétend pas représenter la *demande*, a essayé de s'en rapprocher.

En ce qui concerne la prise en compte de l'évaporation des réservoirs, cette différence traduit en fait une différence dans le concept de « ressource en eau » : comme l'écrit Frederiksen (1996), « la seule quantité d'eau qui peut satisfaire les besoins sociaux, économiques et en partie environnementaux d'un pays, est la quantité utilisable (*ressource utilisable*), et non les précipitations totales, ni l'écoulement total. La quantité utilisable varie annuellement et saisonnièrement, elle peut être augmentée par la construction de réservoirs [...] ». Il semble donc que l'évaporation des réservoirs devrait plutôt être déduite de la ressource utilisable, car elle représente le « prix à payer » en nature pour transfor-

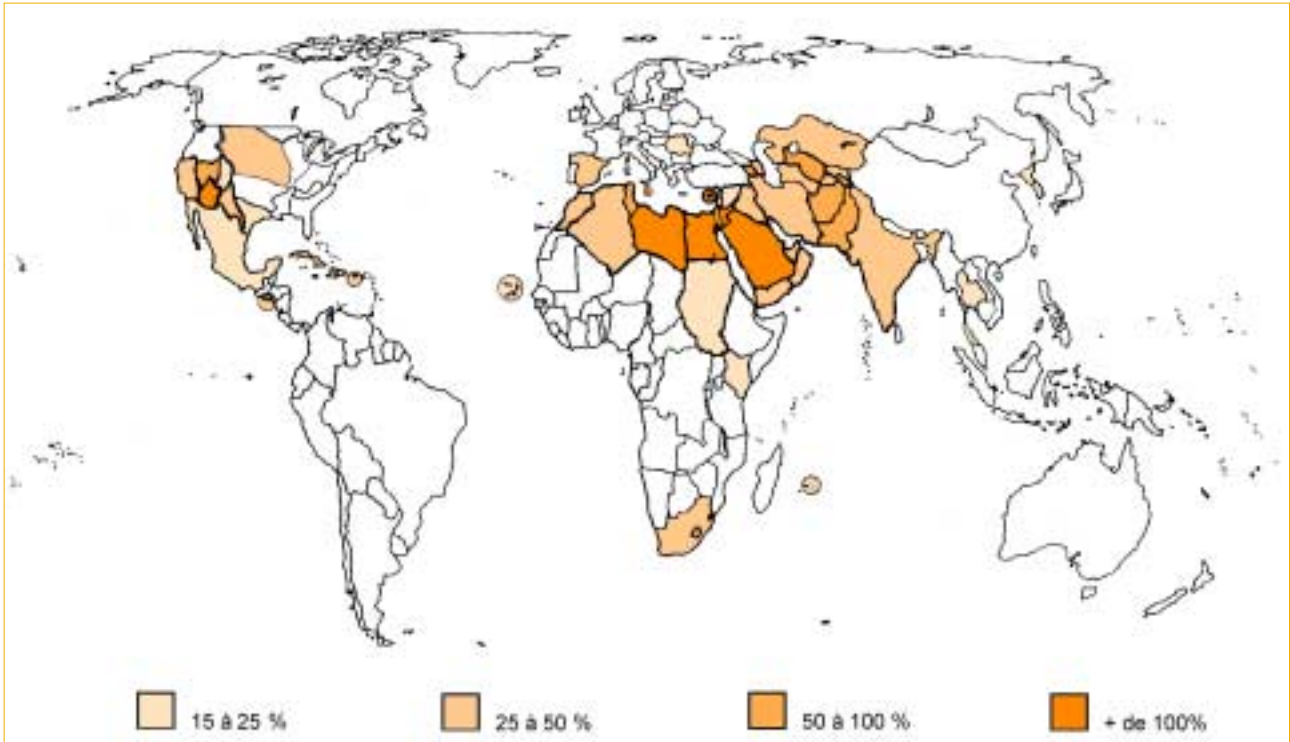
mer une partie de l'écoulement total en écoulement utilisable.

Interprétation des résultats prospectifs et conséquences pour la mobilisation des ressources

■ Comparaison des besoins à la ressource existante

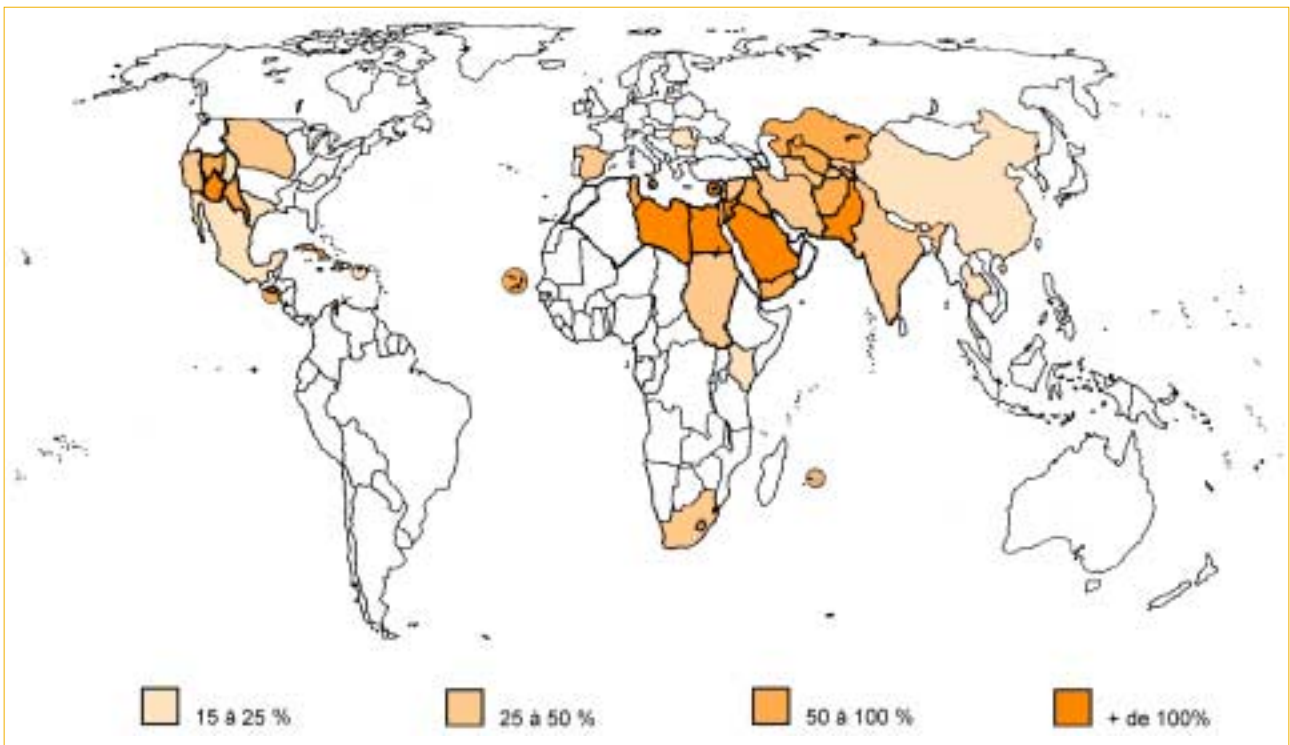
L'objectif de cette étude prospective était non seulement d'essayer de prévoir l'évolution dans le temps des besoins mondiaux, mais aussi de les comparer aux ressources pour prévoir les zones où des problèmes (c'est-à-dire une nécessité d'adapter la demande) apparaîtraient ou seraient susceptibles de s'aggraver. Les figures 4 et 5 présentent le *ratio* (besoin/ressource totale) par pays ; elles montrent une nette tendance vers une progression de l'indice de consommation des ressources en eau. Rappelons que l'on peut définir deux indices d'utilisation de la ressource : un indice d'exploitation (prélèvement/ressource) et un indice de consommation (consommation/ressource). Le premier n'a qu'un sens au niveau local, une même molécule d'eau pouvant être mobilisée plusieurs fois à l'échelle d'un bassin versant. Le second indice est sans doute préférable à l'échelle macroscopique, à l'échelle nationale par exemple.

Les très forts indices de consommation de la ressource en eau se rencontrent principalement en Asie et en Afrique du Nord, mais aussi dans certaines régions des États-Unis, au Mexique et en Afrique du Sud. Un seul nouveau pays au-dessus de 15 % entre 2010 et 2025, mais on observe une aggravation continue de la situation des pays déjà en difficulté. La géographie des problèmes d'eau



▲ Figure 4. – Carte du niveau potentiel d'utilisation des ressources en eau en 2010 (hypothèse haute)(source Andréassian et Margat).

▼ Figure 5. – Carte du niveau potentiel d'utilisation des ressources en eau en 2025 (hypothèse haute)(source Andréassian et Margat).



dans le monde ne devrait pas se modifier notablement au début du 21^e siècle, mais les problèmes déjà existants devraient s'aggraver. Le tableau 9 indique l'évolution du nombre de pays ayant un indice de consommation très élevé.

Il est probable que tous les pays dont l'indice de consommation des ressources totales excèdera 25 % connaîtront de graves problèmes pour satisfaire leurs besoins, car (1) une consommation de cette importance sous-entend des prélèvements encore plus importants ; (2) on raisonne ici uniquement sur l'aspect quantitatif des ressources, mais un tel niveau d'utilisation aura forcément des conséquences sur la qualité des eaux, ce qui compliquera la gestion de la ressource : comme le remarque Shiklomanov (1990), l'acuité des manques d'eau présents et futurs est causée non seulement par une insuffisance quantitative, mais surtout par la détérioration continue de la qualité des eaux. Enfin (3), nos calculs concernent des pays entiers, et les chiffres globaux masquent des situations régionales plus difficiles encore. Un tel niveau d'exploitation pourrait se traduire par une pression accentuée sur l'environnement naturel (qualité des eaux, saisonnalité des débits, débits d'étiage, etc.). Cette conclusion s'applique aussi aux régions les moins favorisées de pays globalement plus riches en eau.

■ **Les limites liées à l'agrégation géographique**

La présentation de résultats agrégés par groupes régionaux, ou même présentés par pays – lorsque ces derniers sont grands – pose des problèmes d'interprétation. Quand l'unité géographique utilisée est trop grande, les résultats sont moins significatifs. L'exemple des États-Unis est très utile pour illustrer ce point : dans son ensemble, le territoire des États-Unis (48 États contigus) est relativement riche en eau. Le taux de consommation de la ressource intérieure estimé pour l'ensemble du territoire en 1985 n'est que de 7,7 %. Cependant, à l'échelle des *Water Resources Regions*, on observe des situations plus contrastées (figure 6) : si les bassins de l'Est des États-Unis ont tous des taux de consommation inférieurs à 10 %, le Sud-Ouest a des taux bien plus élevés, qui dépassent même 100 % dans le bassin du Bas-Colorado, et atteignent 33 % en Californie et 42 % dans le bassin du Rio Grande.

On peut généraliser cette observation pour dire

Indice de consommation de la ressource naturelle totale	Nombre de pays estimé pour		
	1990	2010	2025
25 à 50 %	15	19 - 21	17 - 22
50 à 100 %	4	7 - 9	5 - 12
> 100 %	3	5 - 8	6 - 8
Total	22	31 - 38	28 - 42

Note : les deux chiffres proposés pour 2010 et 2025 correspondent aux scénarios « haut » et « bas ».

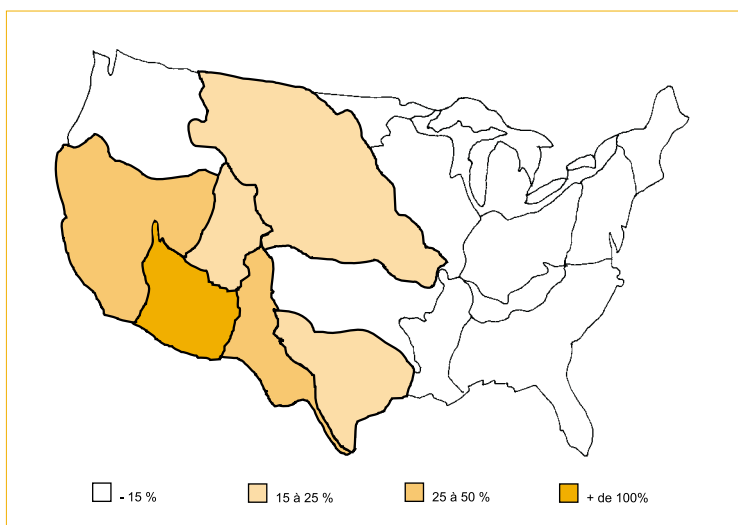
qu'une situation globale satisfaisante peut cacher des disparités locales, quelle que soit la taille du pays. Cependant, plus le pays sera grand et hétérogène, plus les différences régionales seront accentuées. Il faut donc être modeste pour un pays tel que la Chine, pour lequel seules des données nationales étaient disponibles. Le taux de consommation pour ce pays en 1990, 16 %, cache donc certainement de très larges disparités régionales.

■ **Une ressource totale et une ressource intérieure**

La connaissance des zones où le taux de consommation de la ressource totale devrait atteindre des valeurs élevées permet d'estimer la pression qui sera exercée sur les ressources en eau. Cependant, comme l'a recommandé la Conférence internationale sur l'hydrologie du 21^e siècle (Paris, mars 1993), l'attention doit être attirée sur le problème des res-

▲ Tableau 9. – Évolution du nombre de pays à fort indice de consommation (source Andréassian et Margat).

Figure 6. – Taux de consommation de la ressource hydrique dans les différentes *Water Resources Regions* des États-Unis en 1985 (Source USGS). ▼



sources transfrontières. En effet, si les besoins doivent s'accroître dans des pays qui ont en commun une même ressource, il est possible que les accords (tacites ou explicites) concernant le partage de la ressource soient remis en cause, le pays situé à l'amont considérant souvent qu'il peut se servir en priorité. Il a donc semblé intéressant d'exprimer la dépendance des pays sur des ressources d'origine externe (figure 7).

Tous les pays très dépendants se trouvent dans les bassins de grands fleuves internationaux tels que le Rhin et le Danube en Europe, le Tigre et l'Euphrate au Moyen-Orient, le Nil en Égypte et au Soudan, le Syr-Daria et l'Amou-Daria en Asie Centrale ex-soviétique. Parmi ces pays, certains ne connaissent aucun problème d'alimentation en eau (si ce n'est parfois des problèmes de qualité, comme c'est le cas des Pays-Bas), et il n'y a pas lieu de penser que des problèmes devraient apparaître d'ici 2025 : les pays de l'Europe rhénane et danubienne, qui ont une faible croissance démographique et irriguent relativement peu (sauf la Bulgarie et la Roumanie), entrent dans cette catégorie.

Mais, lorsqu'un fort indice d'exploitation des ressources se conjugue à un fort taux de dépendance, des problèmes sont à prévoir. En effet, dans la « ressource en eau totale » qui a été utilisée pour le tableau 9, une ressource transfrontière a été comptée

aussi bien pour les pays en aval que les pays en amont. Si les premiers accroissent leur prélèvement, ce sera au détriment des autres. La seule part de la ressource complètement contrôlable par un pays est formée dans son propre territoire. L'Ouzbékistan consommait en 1990 un volume équivalent à 45 % de sa ressource totale, ce qui correspond à 484 % de sa ressource intérieure. Il est donc clair que ce pays ne peut vivre sur sa ressource intérieure uniquement.

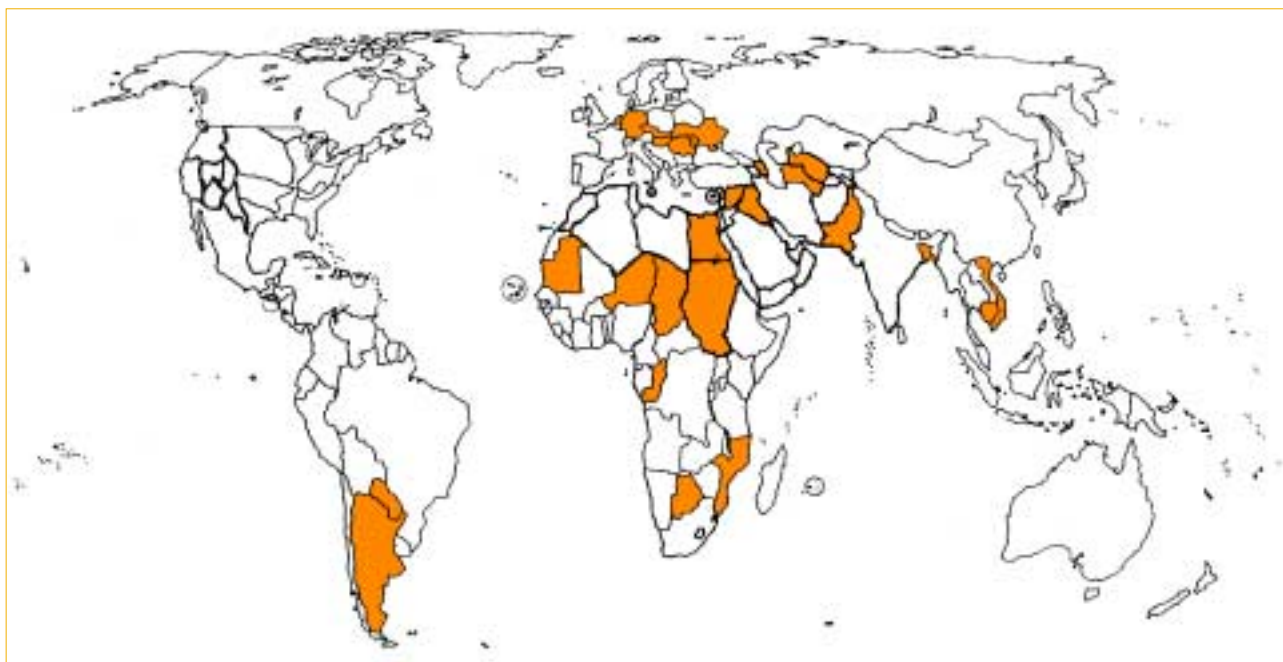
Si le Tigre et l'Euphrate, le Jourdain, le Syr- et l'Amou-Daria ne font pas l'objet de traités réglementant clairement et justement la répartition de leurs eaux, il y a fort à parier que les pays concernés entreront en conflit tôt ou tard (Potier, 1992). Seule la concertation et la coopération entre états, même si elles n'effaceront pas les pénuries, pourraient permettre une gestion non conflictuelle des ressources.

Conclusion

■ *Quelle sera la consommation réelle d'eau en 2025 ?*

L'étude des prélèvements et des consommations d'eau concernait les *besoins potentiels* d'eau dans le monde pour les quatre grands secteurs de consommation. Nous avons rappelé qu'une limite

Figure 7. – Carte de dépendance sur les ressources en eau d'origine extérieure (pays où cette ressource constitue plus de 50 % de la ressource totale). ▼



de cette étude était qu'un besoin ne tient pas compte directement des restrictions concernant l'offre (la ressource) d'eau. Mais même avec cette limitation, les chiffres proposés sont intéressants, car ils peuvent permettre d'identifier les grandes zones de pression sur les ressources et sur l'environnement, et d'anticiper les problèmes à venir. Parmi les grandes questions qui se posent concernant les ressources en eau, deux sont à souligner : va-t-on vers un conflit entre différents secteurs d'utilisation de l'eau ? L'eau peut-elle être à l'origine de conflits régionaux ?

Va-t-on vers un conflit entre différents secteurs d'utilisation de l'eau ?

La répartition des quantités d'eau consommées par les différents secteurs est très inégale. L'agriculture est au niveau mondial le principal utilisateur, avec 90 % des consommations nettes, et 76 % des prélèvements (hors centrales thermiques) en 1990. Selon nos projections, la part de l'agriculture devrait passer à 83-89 % et 78-80 % respectivement en 2025. Si les surfaces irriguées peuvent continuer à s'accroître, l'agriculture consommera à peu près la même part de l'eau mondiale en 2025 qu'en 1990. Cela ne sera peut-être pas le cas en raison des limites existantes quant à la ressource en eau et/ou en sol, ainsi que de la compétition des autres secteurs. En effet, dans les conflits opposant l'agriculture aux autres secteurs, c'est le plus souvent la première qui cède devant les pressions financières et politiques, les utilisateurs ruraux ne pouvant pas indéfiniment résister aux pressions des grands centres de décision urbains. Les droits d'eau devraient être définis clairement partout où cela n'a pas encore été fait, pour garantir les droits de chacun tout en laissant des possibilités de transferts, à la condition d'assurer une indemnisation équitable des agriculteurs. Il semble par conséquent urgent de transcrire dans le droit « moderne » les droits d'eau traditionnels, qui régissent encore l'irrigation dans de nombreux pays en développement.

L'eau peut-elle être à l'origine de conflits régionaux ?

Les conflits internationaux sur les ressources en eau sont d'apparition récente : ils n'existent en effet que depuis que l'évolution des techniques a rendu possible la construction de grandes retenues pouvant permettre de stocker ou de détourner une part importante des débits. Les problèmes sont posés le

plus souvent par des fleuves transfrontières. Les conflits graves sont principalement recensés au Moyen-Orient, entre Israël, la Palestine et la Jordanie, au sujet des eaux superficielles et souterraines du bassin du Jourdain, entre Israël et la Syrie, au sujet des eaux du plateau du Golan et du contrôle du lac de Tibériade, et entre l'Irak, la Syrie et la Turquie au sujet des eaux de l'Euphrate (Potier, 1992). Il n'y a là rien de nouveau, mais la mise en service du Projet d'Anatolie Centrale accentuera probablement les tensions. Des problèmes similaires sont à prévoir au Pakistan, dépendant de l'Inde pour plus de 70 % de sa ressource, et dans l'ex-Asie centrale soviétique, où des pays tels que le Turkménistan et l'Ouzbékistan dépendent de ressources en eau extérieures à plus de 90 % (figure 7). Même au sein de pays à structure fédérale, des conflits peuvent apparaître entre états : c'est le cas dans le différent qui a opposé et qui oppose encore l'Arizona et la Californie pour le partage des eaux du fleuve Colorado.

Comment résoudre et prévenir ces conflits ? Des exemples de traités réglementant le partage des eaux existent, par exemple entre le Mexique et les États-Unis pour le Colorado, et l'Égypte et le Soudan pour le Nil (Nations-Unies, 1978). Mais parmi les traités existants, de nombreux sont trop anciens et à présent obsolètes. Certains n'intègrent pas tous les états du bassin versant : le traité entre l'Égypte et le Soudan, conclu en 1959, partage le débit moyen entre les deux États. Mais l'Éthiopie, qui contrôle le bassin du Nil bleu, n'est pas partie prenante. Il semble que seul un partage clair et reconnu par traité, fondé sur les règles d'Helsinki sur l'usage des rivières internationales (Nations-Unies, 1975) permettra d'harmoniser l'usage des eaux dans les différents états et d'éviter des crises graves.

■ Comment préparer l'avenir ?

Quelques recommandations paraissent importantes pour prévenir certains des problèmes à venir :

– l'efficacité des irrigations et la gestion de tous les périmètres irrigués doit être améliorée. Sans cela, il ne sera pas possible de faire suivre aux productions irriguées la progression démographique des pays en développement (Verdier, 1992). Cependant, si cet effort aura pour effet une économie en ce qui concerne le prélèvement, l'économie concernant les consommations sera faible (Frederiksen, 1996) ;

– des solutions juridiques durables et équitables doivent être trouvées pour régler le partage des eaux, aussi bien au niveau national (transcription du droit coutumier) qu'international (établissement ou modernisation de traités en accord avec les règles d'Helsinki sur l'usage des rivières internationales) ;

– la lutte contre la pollution des eaux doit être intensifiée. En effet, si l'on a déjà pu prévoir des tensions sur les ressources en n'abordant que l'aspect quantitatif, il est clair que toute dégradation de la qualité aggravera considérablement les problèmes. La préservation ou l'amélioration de la qualité des eaux doit être un objectif prioritaire pour les décennies à venir ;

– enfin, dans la mesure où leurs conséquences sur l'environnement sont acceptables, les investisse-

ments doivent se poursuivre pour transformer un plus grande part de l'écoulement total en ressource utilisable. Les pays à fort besoin ne pourront donc pas échapper à la nécessité de poursuivre la construction de réservoirs. ■

Remerciements

Cette étude a été réalisée alors que le premier auteur travaillait à l'École Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts. La participation d'Eric Gaume, actuellement au CERGRENE, a été précieuse dans la première phase. Cette recherche a bénéficié d'un financement (contrat n° 91 Z 7009) du ministère de la Recherche et de l'Espace.

Résumé

Une méthode simple a été utilisée pour explorer l'avenir des besoins en eau des collectivités, de l'industrie, de l'agriculture et des centrales thermiques à l'horizon 2025. Ces besoins sont comparés aux ressources en eau totales pour tous les pays, afin d'identifier les zones susceptibles de connaître les pénuries d'eau les plus graves à l'avenir. Les résultats de cette étude soulignent le besoin d'efforts urgents pour (1) améliorer l'efficacité des irrigations, (2) trouver des solutions juridiques équitables aux problèmes de répartition des ressources, aux niveaux national et international, et (3) arrêter la dégradation des ressources par la pollution des eaux.

Abstract

A simple approach was used to forecast municipal, industrial, agricultural and power station water requirements up to the year 2025. These potential requirements were compared against the total water resources of all countries to identify areas that might face the most serious water shortages in the future. The results of this study highlight the need for urgent measures (1) to help to improve irrigation efficiency, (2) to find fair legal solutions for water allocation problems at national and international level and (3) to stop degradation of water resources by pollution.

Bibliographie

- ABOU-ZEID, M.-A., RADY, M.-A., 1992. Water resources management and policies in Egypt. *In* : Le Moigne et al., eds. *Country experiences with water resources management*. Economic, institutional, technological and environmental issues, Washington, *World Bank technical paper*, n°175.
- ANDRÉASSIAN, V., GAUME, E., 1993. Prospective des besoins en eau dans le monde. *Rapport ENGREF*, Paris, ENGREF, 46 p.
- ANONYME, 1992. *Rapport National du Maroc*, Deuxième conférence méditerranéenne de l'eau, Rome, 28-30 oct.
- BUSTARRET, J., BOS, M., 1992. Évolution des consommations d'eau domestique. *In* : *Société Hydrotechnique de France, Actes des 22^e journées de l'hydraulique*, Paris, SHE.
- CENTRAL WATER COMMISSION, 1992. Water resources of India. New Delhi, *CWC publication*, n° 30-88, 58 p.
- CIRIACY-WANTRUP, S.-V., 1965. Water policy. *In* : Chow, V.T. *Handbook of applied hydrology*, New York, McGraw-Hill ; 28.1-28.25.
- COMMISSION des Nations-Unies pour l'Europe, 1989. *Utilisation des ressources en eau et lutte contre la pollution de l'eau : tendances, politiques et perspectives*, New York, ONU.
- DAVIS, G.-H., 1985. *Water and energy : demand and effects*, Paris, UNESCO, 129 p.
- DEPARTMENT OF WATER AFFAIRS, 1986. Management of the Water Resources of the Republic of South Africa, Johannesburg, Department of Water Affairs.
- FREDERIKSEN, H.-D., 1996. Water crisis in developing world : misconceptions about solutions. *Journal of Water Resources, Planning and Management*, 122(2) : 79-87.
- GARADI, A., 1992. Prospective des besoins en eau et anticipation de la demande, de la théorie à la modélisation. Application à l'Algérie, *Thèse de Doctorat*, Grenoble, Université Pierre Mendès-France, 359 p.
- GÄRBER, A., SALAMEH, E., 1992. *Jordan's water resources and their future potential*, Al Kutba, Amman, 122 p.
- HERRINGTON, P., 1987. Préviation de la demande en eau dans les pays de l'OCDE. *Monographies sur l'environnement*, Paris, n° 7, OCDE, 50 p.
- IEA, 1992. Energy Policies of IEA countries - 1991 review, Paris, IEA/ OECD, 562 p.
- KEDDY, M.-S., 1992. Country Paper of the Government of India. Document non publié présenté à la conférence internationale de Dublin sur l'eau et l'environnement, Janvier 1992, 16 p.
- KHOURI, J., 1990. Arab water security, a regional strategy, horizon 2030. Alger, CCE/ ministère de l'Équipement algérien / CEFIGRE, 68 p.
- KULGA, D., ADANALI, K., 1990. Country report on water resources development in Turkey. Document non publié présenté à la conférence d'Alger, Mai 1990, 19 p.
- MARGAT, J., 1988. L'eau dans le bassin méditerranéen, Prospective des besoins et des ressources, Sophia-Antipolis, France, Centre d'activités régionales du plan Bleu pour la Méditerranée, 397 p.
- MARGAT, J., 1991. *Bases conceptuelles de la prospective des demandes en eau, structures des demandes et système d'utilisation d'eau*, Orléans, France, BRGM.
- MARGAT, J., 1992. L'eau dans le bassin méditerranéen, *Fascicule du Plan Bleu*, Paris, Economica, n° 6, 196 p.
- MARGAT, J., 1994. Les utilisations d'eau dans le monde : état présent et essai de prospective, Paris, *Contribution au projet M-1-3 du PHI-IV/UNESCO*, 87 p.
- MINIST. obras Publicas y Transportes/España, 1993. Plan Hidrologico Nacional - Memoria. Madrid, Secr. Est. para las Politicas del Agua y del Medio Ambiente, 253 p.

- MINISTERO dell' Agricoltura e delle Foreste, 1990. I problemi delle acque in Italia, aggiornamento al 1989 dei risultati della conferenza nazionale delle acque, Rome, Edizioni Agricole, 398 p.
- MINTZKER, N., 1987. Water in Israël - Towards the future. In : Tahal, ed. Scénarios du Plan Bleu pour Israël, Sophia-Antipolis, Plan Bleu.
- MOUSSIÉ, B., 1986. Carte de potentialité des ressources en eau souterraine de l'Afrique Occidentale et Centrale à 1/5 000 000, Notice d'explication et d'utilisation, Orléans, France, BRGM.
- NACE, R.-L., 1978. World water balance and water resources of the earth, *Studies and reports in hydrology*, Paris, UNESCO, n° 25, 663 p.
- NATIONS-UNIES, 1975. *Management of international water resources : institutional and legal aspects*, New York, Nations-Unies, 271 p.
- NATIONS-UNIES, 1978. *Register of international rivers*, Oxford, Pergamon press, 57 p.
- OCDE, 1989. *Environmental data compendium*, Paris, OCDE, 326 p.
- OMM, 1992. *The Dublin statement and report of the conference*, Genève, OMM, 55 p.
- OMS, 1986. *Décennie internationale de l'eau potable et de l'assainissement, examen des données de référence des pays*. Genève, OMS, 169 p.
- ONU, 1988. *World demographic estimates, 1950-2025*. New York, United Nations, 386 p.
- POTIER, M., 1992. Un enjeu majeur du XXI^e siècle : la gestion des ressources en eau partagées, source de conflit ou de paix, *Compte rendu des 22^e journées de l'hydraulique*, Paris, SHF.
- PROGRAMME des Nations-Unies pour le Développement, 1992. *Rapport mondial sur le développement humain*, Paris, Economica, 229 p.
- SALEM, O.-M., 1992. The great manmade river project. A partial solution to Libya's future water supply, *Water resources development*, 8(4) : 270-278.
- SHABMAN, L., 1987. Water-use forecasting. Benefits and capabilities, In : USGS, National Water Summary 1987 : 117-122.
- SHIKLOMANOV, I.-A., 1990. Les ressources mondiales en eau. *Nature & Resources*, vol. 26, n° 3 : 34-43.
- SHIKLOMANOV, I.-A., 1995. *Assessment of water resources and water availability in the world*. St. Petersburg, State Hydrological Institute, 82 p.
- SINGH, R., 1989. Status and trends of water resources development in India. In : UN Economic and social commission for Asia and the Pacific. *Water Use : statistics in the long term planning of water resources development*, Bangkok, United Nations, .
- SOLLEY, W.-B., MERCK, PIERCE Ch.-F., PIERCE R.-P., 1988. Estimated use of water in the U.S. in 1985. *USGS Circular 1004*, Denver, USGS.
- SOLLEY, W.-B., PIERCE, R.-P., PERLMAN, H.-A., 1993. Estimated use of water in the U.S. in 1990, *USGS Circular*, 1081, Denver, USGS.
- U.S. Water Resources Council, 1978. The Nation's water resources 1975-2000. Volume 1 : Summary U.S., Washington, Government Printing Office, 83 p.
- VERDIER, J., 1992. Management et performances des périmètres irrigués dans les pays en développement, présentation de l'IIMI. In : *Compte rendu des journées d'étude AFEID-SHF-RNED du 18 novembre 1992*, Paris, Société Hydrotechnique de France.
- WAKIL, M., 1993. Analysis of future water needs for different sectors in Syria, *Water international*, 18(1) : 18-22.
- WISEMAN, R., 1992. Options for UK water resources. In : Wiseman R., *Water management Europe 1993*, Londres, Sterling publications : 27-30.
- WORLD RESOURCES INSTITUTE, 1992. *World Resources 1992-1993*, New York, Oxford University Press.