

CHAPITRE 4

L'IRRIGATION : MULTIPLICATION DES RÉCOLTES, CONCENTRATION DES NUISANCES

*Le puits que nous avons atteint ne ressemblait
Pas aux puits sabariens. Les puits sabariens sont
De simples trous creusés dans le sable.
Celui-là ressemblait à un puits de village.
Mais il n'y avait là aucun village, je croyais rêver*

Le Petit Prince, Antoine de Saint-Exupéry

L'irrigation est connue pratiquement depuis les débuts de l'agriculture, étant donné que celle-ci est apparue dans ou aux alentours des régions arides, dans les berceaux de civilisations du Proche et du Moyen Orient ainsi que du pourtour méditerranéen, toutes régions où la période végétative est aussi la saison sèche. Ces régions sont

Le mieux étant l'ennemi du bien, on a recours aujourd'hui à l'irrigation dans des régions où on n'en avait *a priori* pas forcément besoin, du fait d'une pluviométrie autorisant les cultures sous pluie (Europe de l'Ouest, Grandes Plaines américaines). Cette technique permet en effet, moyennant des investissements conséquents, d'assurer de bonnes récoltes chaque année.

L'âge de ses artères : grandeur et déclin des civilisations

Avant les progrès de la palynologie (étude des pollens) on pouvait attester de l'ancienneté de l'irrigation bien plus facilement que de celle de l'agriculture, du fait des témoignages laissés dans le paysage par les travaux de contrôle des eaux. Elle est en effet très ancienne. De Villiers³ l'estime « *vieille de 5000 ans en Asie centrale et beaucoup plus en Mésopotamie* ». Pour Sandra Postel⁴, « *au moins une demi-douzaine de civilisations majeures fondées sur l'irrigation surgissent entre 2000 et 6000 BP (before present), dont plusieurs, les Sumériens, les Babyloniens et les Assyriens, dans les bas cours du Tigre et de l'Euphrate, sur le territoire actuel de l'Irak* ». Cette auteure cite aussi l'Égypte, la plus ancienne de ces civilisations (encore présente de nos jours), les cultures de l'Indus (sur l'actuel Pakistan), du Fleuve Jaune en Chine du Nord, et enfin les trois « américaines », celle du plateau de l'Anahuac, celle du Pérou côtier et celle du Sud-Ouest des Etats-Unis actuels. La plupart de ces cultures ont fini par tomber, ruinées par des ennemis souvent complètement naturels et dont la puissance a été exacerbée par l'action de l'Homme. Elles ont aussi pu être fragilisées par l'affaiblissement de ce qui faisait leur cohésion, une société de classes fortement hiérarchisée étant peut-être seule à même de « tenir » un système hydraulique sophistiqué ; cela implique que la rupture du lien social ou de l'équilibre sociétal peut entraîner un défaut d'entretien de l'équipement hydraulique et faire basculer un système de production agricole au moment où la pression démographique s'accroît ou reste forte.

Les plus anciens systèmes irrigués ont été installés il y a 6000 ans par les Sumériens entre le Tigre et l'Euphrate. La crue y arrive en avril-mai, au moment des récoltes, donc quand les eaux sont les moins utiles ; par contre, au moment des plus fortes températures, qui correspondent aux semis, et de la pousse des cultures à partir d'août-septembre, les fleuves

ont bien moins d'eau. Il fallait donc contrôler la crue et prévoir des stockages pour les semis. La société hydraulique qui a réussi ce premier exemple de gestion des eaux a aussi apporté la roue et l'écriture, avant de s'effondrer, peut-être à cause d'une période de sécheresse de 300 ans qui aurait commencé vers 4200 BP. En même temps, des remontées salines dans les sols ont commencé à entraîner des baisses de rendement au moment où la population continuait à croître, ce qui a conduit à un déficit alimentaire.

A partir de 3 800 BP, l'empire de Babylone a pris le relais et relevé le défi de « l'avancée du désert », en construisant un long canal à travers toute la basse Mésopotamie jusqu'au Golfe Persique. Ceci a permis d'accroître considérablement le périmètre irrigué, tout en protégeant des crues les villes les plus exposées. Babylone déclina après l'invasion des Cassites. Les Assyriens, à leur tour, vers 3 000 BP, construisirent un canal maçonné de 80 km pour alimenter leur capitale Ninive. Il en est résulté une très forte croissance démographique, et le maintien d'une riche civilisation dans la Mésopotamie jusqu'au VII^{ème} siècle après J.-C.

Le déclin serait venu à ce moment-là à la fois du fait de la désorganisation du pouvoir et de la société par l'invasion arabe (639), et des problèmes de gestion des sols et des eaux : les forts transports de limons par l'Euphrate ont conduit à un exhaussement des lits des bras du fleuve, et par suite à des inondations et des défluviations (changements de cours). De plus, une grande partie du périmètre irrigué était envahi par les remontées salines.

La première civilisation hydraulique hors du Proche Orient a vu le jour dans la vallée de l'Indus vers 5500 BP, probablement influencée par la Mésopotamie assez proche. Là aussi, une société stratifiée a permis l'émergence d'une civilisation puissante ; celle-ci s'effondra pour des raisons inconnues à peine 500 ans plus tard. Sandra Postel⁵ avance l'hypothèse que l'usage de la brique cuite pour les constructions, a pu conduire à un déboisement important des bassins, aggravant les transports solides et facilitant les inondations.

C'est il y a environ 4000 ans que, suite à une grave inondation due au débordement du Huang He (Fleuve Jaune), les Chinois ont commencé à entreprendre des travaux hydrauliques dans cette vallée : construction

de digues, déblaiement des limons des lits des cours d'eau ; mais les travaux furent sans cesse très importants dans la vallée de ce fleuve très irrégulier et les défluviations ont continué régulièrement à se produire malgré de coûteux travaux ; de ce fait, le Yangze a remplacé le fleuve Jaune comme centre économique du pays et surtout comme grenier à blé au sixième siècle de notre ère.

L'Égypte est sans conteste possible, l'exemple le plus réussi de gestion des eaux d'irrigation, puisque non contente d'avoir permis l'instauration de plusieurs puissants empires, elle représente aujourd'hui le seul milieu et la seule société à supporter depuis 5000 ans sans interruption un système de production agricole irrigué à forte intensité de main d'œuvre. Les anciens y ont depuis des millénaires profité de la crue assez régulière en date mais très irrégulière en intensité, d'un fleuve entièrement allochtone. Ils se sont adaptés, tout en cherchant à en tirer le maximum de profit, au rythme naturel des crues et décrues du Nil. Ces deux derniers siècles ont vu la population du pays passer de 3 à 66 millions d'habitants et l'intensification de l'irrigation comme l'amélioration de la gestion de l'eau ont permis d'augmenter considérablement la production, même si elle ne garantit plus depuis longtemps l'autosuffisance du pays ; il faut rappeler que seuls 3% de la surface du pays sont cultivables. Il est possible que le système décentralisé de gestion des eaux (beaucoup de dérivations, une utilisation maximale des zones de décrue, etc.) soit la raison expliquant la « durabilité » du système agricole le plus vieux du monde.

En Amérique, les systèmes irrigués précolombiens ont fait preuve d'une gestion technique et administrative extrêmement complexe, mais n'ont pas concerné d'aussi grandes aires, ni d'aussi longues périodes. Les sociétés les plus remarquables ont commencé à se développer vers 4000 BP⁶ ; en particulier au Pérou côtier, où l'Empire Chimú a créé une société complexe entièrement basée sur l'irrigation (on est dans le désert côtier, l'un des plus secs du monde) autour de 3 000 BP, qui a perduré jusqu'à la conquête hispanique. Plus au Nord se sont épanouies les cités de la vallée de Tehuacan (entre Puebla et Oaxaca) où la construction des canaux a commencé il y a 2 300 ans. La civilisation Hohokam, dans la basse vallée de l'Arizona, disparut quelques décennies avant l'arrivée des Espagnols, après 1 000 ans de culture irriguée. Un vaste réseau de canaux a longtemps quadrillé le

désert de Sonora, nourrissant jusqu'à 200 000 personnes. On suppose qu'une sécheresse vers la fin du XIII^{ème} siècle est à l'origine du déclin de cette société hydraulique.

Les méthodes de l'irrigation

Le monde arabe et proche-oriental reste imprégné des vestiges paysagers, culturels et sociaux de systèmes d'irrigation pluri-séculaires ; la plupart continuent à fonctionner et sont entretenus comme auparavant, assurant des récoltes dans des zones arides. Les réseaux de ghettaras, foggaras, qanats, acequias et de seguias courent sur des centaines de kilomètres dans les déserts d'Afrique du Nord, de l'Andalousie et de l'Ouest de l'Asie.

Les trois principaux types d'irrigation sont : ⁷

- **L'irrigation gravitaire** : c'est de loin la technique la plus répandue. Elle consiste à dévier l'eau d'un cours d'eau ou d'un canal dans des parcelles aplanies bordées de bourrelets (voir chapitre 2) ; on inonde plusieurs fois dans la saison chaque casier de manière à ce que le sol soit humidifié sur tout son profil, constituant des réserves jusqu'à l'épandage suivant. Cette technique est très bien maîtrisée depuis longtemps ; néanmoins, les pertes en « conduction » et en évaporation y sont énormes, étant donné la longueur de linéaire de canal nécessaire pour chaque parcelle. Le bétonnage des canaux permet d'accroître très sensiblement l'efficacité du système (c'est à dire la proportion de l'eau prélevée qui arrive effectivement à la parcelle). Par contre, il peut entraîner une chute de la nappe phréatique en la coupant de son alimentation par les fuites des canaux ; dans la Laguna, périmètre irrigué de 160 000 hectares du Nord Mexique, le bétonnage des canaux en 1968 a simultanément augmenté de 50 % l'efficacité du réseau d'amenée et provoqué un abaissement de 20 mètres de la nappe en quelques années. Cette irrigation gravitaire peut se faire au sillon, au bassin, ou par déversement sur des casiers ou des parcelles en pente.⁸

Les pertes par évaporation sont également énormes du fait de la surface évaporatoire que représentent des grandes planches planes. Du fait de la chaleur diurne de la plupart des zones arides, l'évaporation peut représenter 10 à 20 mm par jour. De plus, dans ces pays arides (les plus dépendants de l'irrigation), on procède souvent à une sur-

irrigation qui permet d'éviter la salinisation des sols : les sels sont entraînés en profondeur ou vers les drains aménagés pour éviter l'hydromorphie (sursaturation en eau), par une surcharge en eau qui permet leur lessivage et limite leur remontée (liée à la capillarité, à l'évaporation et à la remontée de la nappe). On appelle « coefficient de lessivage » la valeur par laquelle il faut multiplier la tranche d'eau apportée pour éviter une hausse de la teneur en sels de l'eau du sol ou du sol lui-même ; ce coefficient est fréquemment de 1,5 à 2 en zone aride.

- **L'irrigation par aspersion** : elle s'est développée plus récemment, et essentiellement dans les pays du Nord ; elle consiste à distribuer au mieux l'eau mise sous pression, sur l'ensemble de la parcelle (voir le chapitre 2) :
 - soit par des lances fixes et, de plus en plus, mobiles, dont le déplacement d'un bout à l'autre de la parcelle sur un support roulant est assuré par la pression de l'eau elle-même ;
 - soit par des asperseurs roulants déplacés par des moteurs linéairement soit, quand l'espace ne manque pas, autour d'un pivot central. L'avantage de ce système est de permettre un arrosage vers le bas et de limiter les pertes par évaporation.
- **L'irrigation au goutte-à-goutte** : plus sophistiquée et coûteuse, cette technique permet de sérieusement réduire les pertes tant par évaporation que par infiltration dans les nappes profondes (voir le chapitre 2). Le principe est de n'apporter que la quantité d'eau nécessaire à la plante par tout un réseau de tuyaux percés ou munis de petits gicleurs ; seuls la plante et le sol contenant son système racinaire sont mouillés. Par contre, l'irrigation se fait alors presque en permanence du fait que l'on ne reconstitue pas les réserves en eau du sol. On diminue avec cette technique de 20 à 30% la consommation d'eau par rapport à un système d'aspersion, et jusqu'à 80-90% par rapport à l'épandage gravitaire.

Les deux techniques « améliorées » permettent aussi une gestion en temps réel de la teneur en eau du sol : des capteurs, ou des informations issues de l'imagerie satellitaire, peuvent renseigner en continu sur cette teneur en eau, de manière à envoyer plus d'eau là où un déficit apparaîtrait, et moins là où il y a un risque d'hydromorphie. L'irrigation au goutte à goutte permet, de plus, de procéder à une « fertirrigation »

qui consiste à inclure les intrants (engrais, produits phyto-sanitaires, etc.) dans l'eau d'arrosage de manière à limiter le nombre d'interventions et à pallier le fait de ne pouvoir labourer et entrer avec le tracteur sur la parcelle pour répandre ces intrants.

La progression des surfaces irriguées, de la nécessité à la sécurité

La progression des surfaces irriguées a été spectaculaire depuis le début du XX^{ème} siècle. On est ainsi passé de 8 millions d'hectares irrigués en 1800 à 40 millions en 1900, 100 millions en 1950 et enfin 255 millions en 1995⁹. Plus de la moitié de ces surfaces se trouvent dans les 4 principaux pays concernés : l'Inde (19,6% du total), la Chine (19,5%), les États-Unis d'Amérique (8,4%) et le Pakistan (6,7%). On remarque que seul le Pakistan, dans ces pays, est un pays essentiellement aride. Les autres, bien plus étendus, ont des climats beaucoup plus humides globalement, et comportent des régions arides. Mais les pays qui sont le plus dépendants de cette irrigation sont bien sûr les pays entièrement ou presque concernés par l'aridité : l'Égypte a ainsi la totalité de son terroir agricole sous irrigation, l'Ouzbékistan 89%, le Pakistan 80% et l'Irak 61%. La Chine suit avec 52% des terres agricoles irriguées, ce qui constitue la plus grande proportion parmi les grandes nations.

Par ailleurs, « l'agriculture représente 70% des prélèvements d'eau (90% dans les zones sèches) et 93,4% de la consommation totale d'eau. Moyennant quoi les secteurs irrigués fournissent 40% de la production agricole mondiale sur 17% seulement des surfaces cultivées. Ce volume consommé représente 11% des eaux superficielles qui sont ainsi détournées et utilisées pour l'irrigation »¹⁰.

Dans les pays d'Europe non-méditerranéenne et aux États-Unis, l'irrigation a surtout permis de garantir un certain niveau de récoltes d'année en année, en permettant des rendements minima à peu près assurés. Ainsi, on a constaté en 1976 en France que des régions productrices de blé avaient été touchées par la sécheresse en recevant des quantités d'eau permettant des rendements corrects de cette céréale. En fait, la politique agricole européenne en avait fait depuis quelques années des terres à maïs, mais le maïs réclame 200 mm de pluie de plus par an et s'accommode très mal de la sécheresse.

La réaction n'a pas été un retour au blé, mais l'installation de lacs collinaires et de systèmes d'irrigation dans de larges secteurs du Bassin Parisien et de l'Ouest où il pleut de 600 à 800 mm, soit largement de quoi assurer une bonne récolte de blé. En plus de permettre d'avoir des rendements garantis, l'irrigation autorise un élargissement de la gamme des productions possibles, ou de l'aire d'une culture donnée.¹¹

La mode des grands périmètres est finie

On a assisté à la création de grands périmètres irrigués, grâce aux progrès du génie civil qui ont permis la construction de barrages ou de digues sur des cours d'eau très importants. Le premier grand périmètre irrigué « moderne » est probablement le Pendjab, ce que la puissance coloniale britannique maîtresse de l'ensemble du bassin-versant pouvait réaliser grâce aux cinq fleuves qui traversent cette vaste plaine aujourd'hui à cheval sur le Pakistan et l'Inde : lors de leur partition, ces deux pays se sont partagés les 30 millions d'hectares de la plaine équipée en barrages et canaux susceptibles de répartir les 175 kilomètres cubes disponibles en année moyenne dans l'Indus et ses affluents de gauche venus de l'Himalaya.

La grande crise américaine est indirectement à l'origine de l'aménagement du plus grand secteur irrigué des États-Unis, celui du bassin du Colorado. La maîtrise du béton armé alliée à une forte volonté politique (le New Deal) issue d'une stratégie visant à lutter contre une crise économique-sociale grave, ont conduit à la construction du barrage Hoover et à l'équipement des premiers périmètres modernes dans la basse vallée du Gila et du Colorado (sur le site de la civilisation de Hohokam, la plus vieille société hydraulique sur le territoire actuel du pays). Ce barrage de 220 mètres de haut est un réservoir qui permet l'irrigation de 3 millions d'hectares dès 1952 dans ce secteur. La construction postérieure du barrage Glen Canyon, et de 171 autres barrages a permis le stockage de 63 kilomètres cubes d'eau soit trois années et demie de module moyen du fleuve.

La croissance démographique et le fait que l'intégralité de la surface agricole égyptienne était déjà utilisée en forte intensité sont à l'origine du projet et de la construction du Grand barrage d'Assouan sur le Nil. Ce chantier a été dès le début l'objet de fortes controverses, les Américains ayant refusé de contribuer à son financement du fait que le

dirigeant égyptien Gamal Abdel Nasser n'avait pas l'heur de leur plaire. Dans une logique de blocs, les Soviétiques se devaient d'accomplir ce que les Américains avaient refusé de faire. Et par juste retour des choses, ces derniers se sont acharnés à démontrer les erreurs et les horreurs entraînées par le dit barrage ; certains des impacts négatifs qu'ils ont mis en exergue tant avant et pendant les travaux qu'après la mise en eau du barrage étaient prévisibles et réels. Les Américains étaient fort bien placés pour en parler, du fait des énormes problèmes écologiques et hydrologiques causés par l'aménagement du Colorado commencé 30 ans auparavant.

Toujours est-il qu'en 1970 fut mis en eau ce barrage de 111 mètres de haut permettant de stocker deux années du module du fleuve et d'arriver à un total de 3,3 millions d'hectares irrigués ; depuis, cette surface ne s'est pratiquement pas étendue. Malgré une hausse certaine des rendements agricoles, l'Égypte est aujourd'hui le plus grand importateur de céréales au monde ; il faut dire que sa population a plus que doublé depuis le début de la construction du barrage passant de 30 millions en 1966 à 70 millions en 2000. Le barrage, malgré toutes les tares qui lui sont attribuées à tort ou à raison, permet une certaine sécurité alimentaire en maintenant de hauts rendements agricoles dans toute la vallée du Nil et les appendices irrigués qui lui ont été ajoutés.

Bien d'autres pays ont mené des politiques fortes et volontaristes de grande hydraulique : le Mexique a construit dès 1936 et sa Réforme Agraire de grands barrages permettant la constitution de grands périmètres irrigués. Ainsi dans le seul Nord Ouest du pays, région aride voire hyper-aride, la Sierra Madre Occidentale sert de château d'eau à plusieurs districts d'irrigation en bordure du désert de Chihuahua ou de celui du Sonora. (voir le tableau des espaces alimentés par les eaux de la Sierra Madre Occidentale page suivante).

C'est ainsi plus d'un million d'hectares qui sont équipés et alimentés par les seules eaux provenant de la Sierra Madre Occidentale grâce au stockage de plus de 20 km³ d'eau.¹²

Le Maroc plus récemment a décidé de mener une politique de « grands barrages », afin de faire passer le volume stocké à 13 km³, les surfaces irriguées de 600 000 à 1 150 000 hectares. Sur ce total, les 550 000 redevables de la grande hydraulique représentent une

multiplication par 14 des surfaces équipées depuis l'indépendance du pays en 1956. Le pays se trouve, comme l'Égypte et ses voisins du Maghreb, confronté à une forte croissance démographique : la surface agricole utile par habitant est passée de 0,51 hectare en 1967 à 0,22 à l'heure actuelle.¹³

« Plus une goutte d'eau à la mer » est le slogan (déjà entendu en Tunisie au sujet de la petite hydraulique et de l'intense politique des « petits barrages »). Le Maroc compte désormais 9 grands périmètres et 5 barrages de plus d'un kilomètre cube de capacité totale (voir tableau des grands barrages, page suivante).

**Les principaux barrages et périmètres irrigués alimentés par des eaux
provenant de la Sierra Madre Occidentale.**

Nom du barrage	cours d'eau	État	année	superficie bassin km ²	capacité totale en millions de m ³	superficie irriguée en hectares ²
La Boquilla	Conchos	Chihuahua	1916	28 000	3 990	39 700
Cardenas Lazaro	Nazas	Durango	1946	19 000	4 400	160 000
A. L. Rodriguez	Sonora	Sonora	1948	21 900	253	10 000
Sanalona	Tamazula	Sinaloa	1949	3 250	1 095	95 000
Alvaro Obregon	Yaqui	Sonora	1953	73 500	3 000	220 000
Miguel Hidalgo	Fuerte	Sinaloa	1956	29 600	3 290	230 000
A. Lopez Mateos	Humaya	Sinaloa	1964	11 000	3 160	126 100
J. Lopez Portillo	San Lorenzo	Sinaloa	1981	8 200	3 400	260 000

Source : CNA (*Comisión Nacional del Agua*), Mexico.

Fort coûteux, cet équipement voit sa rentabilité contestée dans la mesure où il a aggravé les contrastes sociaux dans les campagnes (il y a ceux qui irriguent et ceux qui n'irriguent pas) et n'a pas réduit la dépendance alimentaire du pays, au contraire. En gros, ces périmètres « *produisent ce qu'on ne consomme pas au Maroc ; et on consomme ce qu'on ne produit pas* » ; les périmètres se consacrent effectivement en priorité aux

cultures à fortes valeurs ajoutées, c'est à dire les cultures d'exportation (fruits, primeurs) pour rentabiliser les investissements, négligeant les produits les plus consommés par les Marocains.¹⁴

Les grands barrages marocains

Nom du barrage	bassin	année	capacité totale (millions de m ³)
Bine el Ouidane	Oum er Rbia	1956	1400
Idriss 1 ^{er}	Sébou	1970	1207
Oued el Makhazine	Loukkos	1985	1000
Al Massira	Oum er Rbia	1991	2774
Al Wahda	Sébou	1999	3800

Source : *Mutin*, 2000

La France elle-même a eu durant un demi-siècle une politique volontariste et dynamique d'équipement en grande hydraulique. Il s'agissait surtout de pallier le manque d'énergie fossile sur le territoire national par une production hydro-électrique (barrages, alpins, pyrénéens et auvergnats ; barrages au fil de l'eau sur le Rhône et le Rhin). Mais dans le Sud-Est, cela s'est accompagné de la volonté d'irriguer des terres ingrates en particulier la plaine de la Crau. L'escalier de barrages de la Durance et du Verdon a été édifié à partir de la fin des années 1950, le barrage de Serre-Ponçon étant la première pièce du plan comme, toutes proportions gardées, le barrage Hoover l'avait été 30 ans auparavant pour le Reclamation Bureau du Colorado. Ce barrage et celui de Sainte Croix ont les plus grandes capacités de stockage du pays (1 km³ chacun environ). Le bassin de la Durance est complètement équipé, ce qui a permis l'irrigation de 300 000 hectares dans la vallée et, à son débouché, dans la Crau et le Comtat. Mais l'élan a été stoppé depuis une vingtaine d'années par le fait que presque tout ce qui était aménageable l'a été. Ainsi, le dernier équipement, le barrage de Saint Sauveur, sur le Buëch, n'a pu être rentabilisé que grâce à l'appui des collectivités locales intéressées par l'aménagement de bases de loisir. De plus, la pluviométrie dans le Sud de la France est suffisante pour assurer une agriculture pluviale de toutes les cultures méditerranéennes ; enfin, la pression de la société, des perceptions écologiques et environnementales, et le renchérissement des terrains ont rendu vaine la poursuite d'un tel effort.

Les abus et leurs conséquences

Les grands périmètres irrigués ne sont plus du tout au goût du jour à l'échelle mondiale. La réduction drastique de la surface de la mer d'Aral fait partie des catastrophes écologiques potentielles majeures de l'ère moderne (se reporter au tome 2, chapitre sur le désastre de la mer d'Aral). L'assèchement de plus en plus fréquent du Huang he depuis 1977 et sur des durées de plus en plus longues, dans le pays le plus peuplé du monde, est également un fait qui atteste indéniablement d'une surexploitation des eaux de surface (voir tome 2, chapitre sur la Chine du Nord). Les eaux profondes sont elles aussi trop sollicitées, comme dans le cas de la nappe de l'Ogallala, qui alimente en eau 20% de la surface irriguée des Etats-Unis (tout le centre Ouest) et dont le volume diminue de 12 km³ par an (se reporter dans le tome 2 au chapitre sur l'Australie : le poison du sel).

Les difficultés qu'ont rencontrées l'Inde (vallée de la Narmada¹⁵) et la Chine (projet des Trois Gorges¹⁶) pour obtenir des financements des organismes internationaux témoignent d'une désaffection officielle et généralisée envers la grande hydraulique en général. Celle-ci est accusée d'être trop coûteuse par rapport aux gains attendus, de provoquer des catastrophes écologiques, d'aggraver les tensions sociales, d'exacerber les inégalités socio-économiques et de ne pas pouvoir remplir le rôle de régulation que l'on attend d'elle, quand elle ne cause pas des conflits ou des tensions internationales.

A partir des années 1980, le rythme effréné de constructions de nouveaux barrages qui caractérisait les trente glorieuses s'est essoufflé ; *« ce taux d'expansion ne pouvait se poursuivre, le volume d'eau disponible avait ses limites, et tous les barrages sur des fleuves faciles à maîtriser avaient déjà été construits »*.¹⁷ Des bilans décevants, des coûts d'installation des périmètres et ensuite des coûts de production agricole bien trop élevés et en tout cas supérieurs aux cours mondiaux, en particulier dans les pays du Sud où l'irrigation n'est pas une pratique traditionnelle, sont, d'après Béthemont¹⁸ certains des éléments expliquant cet actuel désintérêt pour les grands barrages et leurs périmètres créés de toutes pièces. Le même auteur souligne que les statistiques officielles sont parfois faussées, comme par exemple dans le cas du Sénégal : *« figurent dans les statistiques prises en compte comme surfaces irriguées*

des périmètres mis en eau depuis un petit nombre d'années mais qui sont pour partie ou même en totalité improductifs » : nivellement défectueux, prolifération de plantes parasitaires, salinisation, hydromorphie des sols ont ruiné des terres mais celles-ci n'ont pas été retirées des statistiques des zones irriguées.

Le taux de croissance annuelle de la surface irriguée à l'échelle mondiale est passé de 2% par an entre 1970 et 1982 à 1,3% par an de 1982 à 1994 et devrait encore s'abaisser aux alentours de 0,6% par an dans les prochaines décennies. La population mondiale augmentant de près de 1% par an, cela fait 20 ans que la superficie irriguée per capita baisse à l'échelle mondiale¹⁹. Les retours sur investissements sont en baisse très nette, et l'installation de nouveaux périmètres est devenue bien trop onéreuse. De plus, un grand nombre de périmètres n'ont pas fait l'objet des travaux d'entretien réguliers qui étaient nécessaires au seul maintien de la capacité de production.

Des tendances lourdes de dégradation sont venues altérer la confiance que l'on a pu avoir dans la pérennité des systèmes d'irrigation.

- **Salinisation** (se reporter aussi au tome 2, chapitre sur l'Australie) : elle constitue en effet le fléau à craindre en priorité dans les périmètres irrigués des régions sèches ; Postel²⁰ a montré que ce phénomène avait pu contribuer à ruiner des sociétés hydrauliques. Elle est due au fait que les sols eux-mêmes sont parfois salins, en particulier ceux des zones basses situées sur d'anciens lacs, d'anciens bras de fleuves, des fonds de dépressions endoréiques, etc., nombreuses et irriguées en priorité du fait de la facilité d'équiper ces secteurs rigoureusement plats. Elle est souvent due aussi à la salinité de l'eau apportée ; même les eaux provenant des montagnes bordières des déserts ont une charge dissoute en sels ; et même si cette charge est faible, elle finit toujours par intégrer le sol puis la nappe. En effet, comme l'indique un bulletin du Laboratoire américain d'étude de la salinité (cité par De Villiers²¹) : *« L'utilisation d'eau d'irrigation entraîne l'addition de sels solubles – sodium, calcium, magnésium, potassium, sulfates et chlorures – provenant des formations géologiques avec lesquelles ces eaux ont été en contact. L'évaporation et l'évacuation dans l'atmosphère (transpiration de la végétation) de l'eau d'irrigation finissent par provoquer une accumulation excessive de sels dans le sol à moins de bons systèmes d'assainissement et de lessivage »*. On peut remédier

à cette sur-salure en sur-irriguant, comme cela a été indiqué plus haut. Une gestion des flux d'eau et de sels entrant dans les sols est donc indispensable pour assurer la pérennité du système, en particulier en aménageant un bon drainage sous le système racinaire et une évacuation-traitement des eaux de colature issues des périmètres irrigués. Le phénomène de salinisation des sols est encore accentué dans les dépressions fermées, très fréquentes dans les zones arides et semi-arides, du fait que l'eau et les sels dissous n'ont aucune possibilité d'être drainés et évacués.

Quoiqu'il en soit, de grandes étendues de terrains irrigués ont dû être abandonnées, que ce soit au Pakistan, où 2 millions d'hectares ont d'ores et déjà été perdus, ou en Égypte, dans l'Imperial Valley en Californie, ou encore dans la Laguna (État de Durango, Mexique).

Localement, l'abaissement des nappes d'eaux profondes a conduit aussi à l'oxydation et la mise en solution de l'arsenic normalement réduit et peu dangereux dans l'eau des nappes des aquifères au moment de l'exhaure. Il y a de ce fait des sites où l'eau de boisson comporte des doses d'arsenic létales à long terme (d'autant que son oxydation accroît sa toxicité) et où l'irrigation conduit à l'accumulation d'arsenic dans les horizons du sol directement en contact avec les racines ; ceci pose de graves problèmes sanitaires par exemple dans le désert d'Atacama, non loin d'Antofagasta, au Chili, ou encore à Tlahualilo de Zaragoza, au sud du désert de Chihuahua au Mexique (voir aussi dans le tome 2 le chapitre sur la mer d'Aral).

- **Assèchements** : les périmètres irrigués sont de gros consommateurs d'eau ; lors d'années particulièrement sèches (et plus encore lors de successions d'années sèches), il arrive que le barrage réservoir situé en amont s'assèche, ce qui peut empêcher toute culture pendant une ou plusieurs années.

- Assèchements de cours d'eau : le cas le plus frappant est celui du Fleuve Jaune, le Huang he sur lequel se sont bâtis les prémices de toutes les civilisations chinoises (voir tome 2, chapitre sur la Chine du Nord). Ce fleuve a un bassin de près de 2 millions de km² mais un faible débit spécifique (2 l/s/km², soit dix fois moins que le Rhône). Mais son module mensuel

moyen varie de 520 à 36 000 m³/s²². Il est connu pour être le premier pourvoyeur de sédiment de toute l'Asie, du fait que lui et ses affluents drainent les plateaux de loess du centre Nord du pays. Au Xinjiang (Asie centrale Chinoise), le Tarin He (Talimu), alimenté par les montagnes du Karakoram, a vu son débit annuel total passer de 5 milliards à moins de 1 milliard de m³ en quelques décennies.

- Assèchements de lacs : la mer d'Aral (voir plus haut) a perdu les deux tiers de sa surface et 95% de son volume en 40 années (1960-2000). Le premier canal a été inauguré en 1956, et dès 1962, on a noté une sensible baisse du niveau du lac²³. Aujourd'hui, il faudrait réduire de plus de moitié la surface irriguée pour seulement espérer stopper la diminution du plan et du volume d'eau (se reporter dans le tome 2 au chapitre sur la Chine du Nord).

Elle ne constitue pas le seul cas d'assèchement d'un plan d'eau, loin s'en faut. Cosandey et Robinson citent le cas de nombreux lacs qui sont en voie d'assèchement dans diverses régions de Chine, du fait de prélèvements trop importants ; ainsi le lac de Luobuzhuang, au Xinjiang est-il passé de 1900 km² en 1943, à 530 km² en 1962 ; il est à présent à sec.

- Assèchements de nappes phréatiques : c'est exactement dans la région de la nappe de l'Ogallala que se situe le Dust Bowl dont l'apparition avait aggravé les effets de la crise dans l'Ouest des États Unis (se reporter dans le tome 2 au chapitre sur L'Amérique). Entre-temps on a coupé les haies qui avaient été aménagées après la Grande dépression pour limiter les effets de futures tempêtes de poussière, afin d'installer des systèmes d'irrigation mobiles. Depuis 40 ans, clairement, une ressource a été surexploitée. Un peu plus au Sud, dans le Bolson de Mapimi (au sud du désert de Chihuahua), l'aquifère de la Laguna (se reporter dans le tome 2 au chapitre sur les conflits du Nord Mexique) subit un abattement de 2 mètres par an depuis près de 50 ans du fait de sa surexploitation. Ici, par manque d'études sur le volume de l'aquifère, on ne sait pas combien de temps pourra perdurer ce sur-pompage. Mais il a déjà entraîné une nette dégradation des eaux d'exhaure et par voie

de conséquence, des sols ; en même temps, du fait de la profondeur d'exhaure, la plupart des communautés paysannes (ejidos) ont fait faillite ; seules les grosses exploitations privées (qui rachètent au fur et à mesure terres et droits d'eau aux ejidos en disparition) ont les moyens d'extraire de l'eau à 200 mètres de profondeur. Mais le plus gigantesque des systèmes d'exhaure est celui qui a été mis en chantier par la Libye en 1983 et aujourd'hui en voie d'achèvement²⁵. La « Grande Rivière Artificielle » est en même temps un des plus grands systèmes de transfert d'eau au Monde. Il s'agit de pomper de l'eau des nappes fossiles du Sahara pour la transférer, par 4 000 km de canalisations, vers le littoral pour alimenter les villes et surtout plusieurs périmètres irrigués ; une conduite de 4 mètres de diamètre permet déjà le transfert de 1 milliard de m³ par an sur 2000 km depuis 1996. A terme, 250 000 hectares seront irrigués grâce à l'eau venue du désert. Le pays dépend aujourd'hui à 70% d'eaux non renouvelables, d'une nappe dont la durée de vie est estimée entre 50 et 100 ans. Et après ?

- **Pollutions** : il ne passe pas un jour sans que les conséquences de l'agriculture intensive sur la qualité de l'eau des nappes ne soient mises en exergue. Si les nappes de Bretagne, région où il pleut suffisamment pour ne pas avoir recours à l'irrigation, sont dans un tel état que peu de bretons peuvent encore boire l'eau du puits ou du robinet sans risques à long terme pour leur santé, on peut imaginer ce que sont les conséquences de ce type d'agriculture dans les périmètres irrigués des zones arides, où les pluies ne sont pas suffisantes pour lessiver les sols, où l'évaporation tend à concentrer tous les produits dissous dans les eaux et les sols. De Villiers²⁶ remarque qu'en plus de la salinisation, on constate que « *les pesticides et les engrais chimiques comportent leurs propres effets préjudiciables* » et que « *la concentration croissante de substances nocives dans l'eau constitue le point vulnérable de l'irrigation* ». Mutin²⁷ signale que le drainage des eaux qui ont servi à l'irrigation est très souvent mal assuré ; de ce fait, « *des eaux de drainage fortement chargées de nitrates et de sels divers polluent les nappes phréatiques. La multiplication des élevages industriels de volailles est aussi un important facteur de pollution* ». On a déjà évoqué plus haut le problème posé par la contamination des très faibles volumes d'eaux

du Colorado laissés au Mexique en aval et les traités internationaux qui ont été signés pour limiter un tant soit peu cette pollution (en fait, même divisée par 10, les teneurs en produits contaminants restent énormes et l'eau est toujours impropre à l'usage agricole) ; Postel²⁸ affirme que « *aujourd'hui le delta est un secteur desséché de boues, de sels et de sables d'étangs pollués* » ; par ailleurs, « *il n'y a virtuellement plus d'eau qui coule à travers le delta en direction de la mer, ce qui a décimé le milieu naturel de ce delta* ». Par ailleurs, Béthemont²⁹ signale qu'il y a également dégradation des eaux dans les barrages de stockage, du fait de la stratification thermique qui peut aggraver la désoxygénation de l'eau profonde. Cet auteur ajoute qu'on assiste aussi au niveau des réservoirs à l'accumulation de substances dissoutes allant des phosphates et des silicates aux pesticides. Cela est encore plus vrai à l'aval des périmètres irrigués, qui sont souvent les secteurs où l'agriculture est la plus « technicisée », surtout dans les pays du Sud où l'agro-industrie est peu présente, et où se retrouvent à la fois les plus fortes consommations d'intrants (engrais, produits phyto-sanitaires, etc.) et les plus fortes doses d'eau épandues par l'irrigation avec leurs sels dissous.

Quel avenir pour l'irrigation ?

L'agriculture demeure le principal secteur consommateur d'eau au Monde. Pourtant, la valeur ajoutée et la productivité d'un travailleur de l'industrie ou du tertiaire sont bien plus élevées que celles d'un paysan, fût-il un riche farmer du Middle West ou un grand céréalier beauceron. Sandra Postel³⁰ fait justement remarquer en conclusion de son ouvrage que 1000 m³ d'eau utilisés pour produire des céréales contribuent à une valeur ajoutée de 100 à 200 dollars ; les mêmes 1000 m³ utilisés dans l'industrie contribuent à créer une valeur ajoutée 100 fois plus élevée. Ces derniers aideront aussi à créer plus d'emplois. Certes, mais manger est un besoin impératif de l'Homme et la dernière phrase de son livre fait le parallèle entre le déséquilibre actuel et la fin des civilisations anciennes ruinées par une déstructuration des systèmes hydrauliques et de la cohésion sociétale.

Toujours est-il que la part du volume total d'eau disponible dans le Monde consacrée à l'agriculture va forcément décroître, du fait de la hausse inéluctable de la consommation d'eau industrielle et plus encore,

domestique. La concurrence pour l'utilisation de l'eau ne peut donc que croître, même en tenant compte des progrès de l'optimisation de l'usage de l'eau, du recyclage et de la dépollution, par le simple fait de la croissance démographique. La multiplication des piscines à Los Angeles, des golfs en Arizona, la croissance urbaine très forte des villes-oasis du Sud-Ouest des États-Unis et le développement des zones irriguées en plein désert³¹ semblent être le résultat d'un progrès social qui a conduit aussi à détruire de nombreux milieux naturels. Du coup, l'humanité s'est accaparée plus de la moitié des ressources renouvelables et accessibles d'eau douce pour ses divers usages.

En bref, rendre l'agriculture à la fois productive et soutenable est une partie non négligeable du défi que représente le rééquilibrage du bilan entre la demande des sociétés et les nécessités biologiques des milieux naturels.

À propos de l'irrigation dans les pays arabes, l'un des ensembles géopolitiques les plus menacés de pénurie d'eau, Mutin³² suggère qu'il faut lutter contre les énormes gaspillages et pertes diverses, travail de longue haleine mais pouvant conduire à de substantielles économies. Le recours aux eaux retraitées est aussi une voie à suivre. Concluant sur le risque « hydropolitique » et de « guerre de l'eau », cet auteur insiste sur l'urgence d'économiser la ressource ; ceci est valable pour l'ensemble de l'humanité.

L'idée de la « marchandisation » ou de « privatisation » de l'eau s'oppose à celle suggérée par Petrella³³ de « Contrat mondial pour l'eau », fondée sur le principe que l'eau appartient aux habitants de la Terre, que la ressource doit être accessible à tous, qu'elle doit être gérée de manière solidaire et durable, « impliquant des devoirs de solidarité, de cohérence pour ne pas mettre en péril les libertés et les droits des générations futures, et de protections et de respect envers l'écosystème Terre ».

Les saumons avant tout ! ou l'effacement des barrages

Les barrages ont été longtemps (et le sont encore dans bien des circonstances) vénérés en tant que réservoirs d'eau et fournisseurs d'hydro-électricité, de régulateurs des cours d'eau (leur rôle peut alors être d'écrêter les crues et/ou de soutenir les étiages). Ces ouvrages ont aussi été l'objet d'admiration en tant que merveilles du génie civil. Ils ont donné lieu à la réalisation de véritables prouesses technologiques. Ils ont parfois drastiquement changé les paysages, et apporté en plus des fonctions pour lesquels ils ont été bâtis, une fonction récréative ou paysagère indéniable ; c'est le cas du barrage Hoover sur le Colorado ou des barrages de Serre-Ponçon (sur la Durance) et de Sainte-Croix (sur son affluent le Verdon), dans les Alpes Françaises du Sud. Dans les dernières décennies, plusieurs barrages, de petite taille, ont été construits, en Europe, pour des fonctions uniquement récréatives.

Cependant, comme le constate Gleick³⁴, la construction de grands ouvrages a fortement ralenti ces deux dernières décennies et en particulier depuis le début des années 1990. Entre les deux séries de cinq années 1966-70 et 1991-95, le nombre de nouveaux barrages construits a été divisé par près de 10 (passant de 9401 à 1044) et le volume supplémentaire d'eau stockée a été lui divisé par 30 (passant de 180 km³ à 6 km³).

Mais depuis plusieurs années, un nouveau courant d'idée, poussé par la meilleure prise de conscience de l'importance et de l'intérêt de la richesse de l'Environnement, pousse à l'arrêt de la construction de nouveaux barrages, d'où les levées de boucliers contre le projet en cours des Trois Gorges en Chine³⁵, ceux de la vallée de la Narmada en Inde³⁶ ou les fréquentes mises en cause de « catastrophes » écologiques ou sociales produites par les grands barrages de l'Amazonie brésilienne ou des bordures du désert marocain, ou celles que l'on prédit encore sur les rares réalisations en cours.

Toujours est-il qu'on en vient aujourd'hui de plus en plus à prôner « l'effacement » pur et simple des barrages, c'est à dire leur destruction afin de rendre leur liberté aux rivières (voir aussi l'encart sur ce thème). Paradoxalement, on envisage de détruire des barrages aussi pour établir des espaces de récréation ; il s'agit en fait de restaurer des cours d'eau dans leur lit antérieur, le plus souvent pour préserver ou essayer de faire revenir certaines espèces de poissons.

En l'occurrence, c'est le saumon qui fait « sauter » les barrages, justement parce que ceux-ci lui barraient le chemin, et que tous les artifices (échelles à poissons, transport des poissons par barges) prévus pour « contourner » l'obstacle n'ont jamais donné entière satisfaction. Le déclin des populations de saumon, tant en Amérique qu'en Europe, s'est conjugué au besoin d'espaces sauvages préservés comme aires récréatives, aux coûts annexes élevés des équipements nécessaires à la préservation de l'environnement et au faible coût des énergies fossiles (rendant moins « indispensable » l'hydroélectricité³⁷⁾³⁸ pour mettre à la mode cette idée d'effacement des barrages qui aurait été complètement taboue il y a seulement quelques années (notamment en Europe où les énergies fossiles étant plus rares, l'hydroélectricité passe aussi pour une énergie plutôt « écologiquement correcte »). Les Américains et les Français ont été les premiers à réaliser de telles opérations :

- le barrage Newport n°11, sur la Ckyde River (Vermont, Nord-Est des Etats-Unis) avait été construit en 1957 pour produire de l'électricité. Il a été effacé en 1996 et le saumon atlantique y est revenu en force depuis ;
- en 1997, 4 barrages construits dans les décennies 1950 et 1960 pour assurer l'irrigation de 24 000 hectares, ont été effacés sur le Butte Creek au nord de la ville de Sacramento ; dès l'année suivante, la population de saumons « Spring-Run Chinook » est revenue pratiquement à ses niveaux d'avant barrage, après avoir failli disparaître.

- le Quaker Neck Dam construit en 1952 sur la rivière Neuse en Caroline du Nord dans le but de fournir de l'eau de refroidissement à des industries a été détruit début 1998 ;

- construit en 1837, le barrage Edwards, sur la rivière Kennebec, dans le Maine (Nord-Est des États-Unis) a été détruit en 1999, les coûts environnementaux de son maintien (entretien, coûts liés à la sauvegarde des espèces de poissons menacées) ayant dépassé alors de beaucoup l'intérêt de produire du courant (celui-ci alimentait une série d'usines textiles).

D'autres barrages pourraient être éliminés, dans l'État de Washington (deux sur la rivière Elwha), dans celui, voisin de l'Oregon (sur la rivière Rogue) ou dans le Vermont ; mais c'est le projet de destruction du barrage Glen Canyon, sur le Colorado (le deuxième plus grand réservoir de cette rivière, qui a une capacité de 28 km³) qui est à la fois le plus souhaité par ses adversaires et le plus controversé ; il a en effet drastiquement modifié l'environnement et l'hydrologie dans le Grand Canyon, et l'ensemble des barrages a provoqué une catastrophe écologique dans la plaine côtière (au Mexique) et la mer de Cortès.

L'Australie a aussi des projets d'effacement de barrages, en particulier en Tasmanie, notamment celui de Scotts Peak, sur la rivière Gordon, dont on souhaite rétablir le cours, ainsi qu'un lac naturel qui était un des sites les plus visités de l'île.

En France, c'est aussi en 1996 qu'ont eu lieu les premiers « effacements », avec l'ouverture du barrage de Kernansquillec sur le Léguer (Côtes d'Armor, au nord de la Bretagne) ; construit à l'origine pour alimenter une papeterie en courant, il s'ensuyait et les curages effectués régulièrement provoquaient à chaque fois des catastrophes dans la faune et la flore aquatique ; et cela ne l'a pas empêché de perdre 50% de sa capacité utile ; il était d'autre part complètement eutrophisé. C'est peu après, durant l'été 1998,

que les promoteurs du Plan Loire Grandeur nature, suscité par l'association SOS Loire Vivante, ont réussi à mener à bien la destruction de deux barrages dans le bassin de la Loire : en mai, celui de Saint-Etienne-du-Vigan en Haute Loire, et en août celui de Maisons-Rouges sur la Vienne ; dans les deux cas, il s'agissait entre autres de reconstituer des frayères à saumons, et dans les deux cas, l'opération a réussi. Il n'est pas étonnant que la Loire, dernier fleuve à peu près « sauvage » de France ait été le théâtre de querelles entre aménageurs et protecteurs de la Nature. Son cours est parsemé de sites à peu près préservés jusqu'alors et qui sont l'habitat de nombreuses espèces animales et végétales que l'on ne retrouve plus ailleurs en France, et même pour certaines en Europe.

NOTES DU CHAPITRE 4

1. Wittfogel, K., 1974. *Le despotisme oriental, étude comparative du pouvoir total*. Paris, éditions de Minuit.
2. Postel, Sandra, 1999. *Pillar of Sand*. Norton Worldwatch Books, New York.
3. De Villiers, Marq, 2000. *L'eau*. Actes Sud, p. 183.
4. *op. cit.*, 1999, p. 13.
5. *op. cit.*, 1999, p. 30.
6. Postel, *op. cit.*, 1999, pp. 37-39.
7. Cosandey, Claude et Robinson, Mark, 2000. *L'hydrologie continentale*, U A. Colin, Paris, pp. 292-293.
8. Gleick, Peter, 2000. *The World's Water 2000-2001. The biennial report on freshwater resources*. Island Press, Washington D.C, États-Unis, p.82.
9. Postel, *op. cit.*, 1999, pp. 41-42.
10. Szöllosi-Nagy *et al.*, 1998, cités par Cosandey et Robinson, *op. cit.* 2000. p. 285-302.
11. Béthémont, Jacques, 2000. *Les grands fleuves*. U Armand Colin, p.149.
12. Descroix, Luc, Viramontes, David, Gonzalez Barrios, José Luis, Nouvelot, Jean François, Anaya, Eva et Poulénard, Jérôme, 2002. « Les ressources en eaux de la Sierra Madre Occidentale : variabilité et évolution avec la surexploitation du milieu. » Accepté par la revue *Sécheresse*.
13. Mutin, Georges, 2000. *L'eau dans le Monde Arabe*. Carrefours de Géographie, Ellipses, Paris, pp. 105 121.
14. Mutin, 2000, *op. cit.*, pp. 112.
15. Racine, Jean Luc, 2001. « Le débat sur la Narmada : l'Inde face au dilemme des grands barrages. » *Hérodote*, 102, pp.73-85.
16. Sanjuan, Thierry et Béreau, Rémi, 2001. « Le barrage des Trois Gorges. Entre pouvoir d'État, gigantisme technique et incidences régionales. » *Hérodote*, 102, pp.19-56.
17. De Villiers, 2000, *op. cit.*, pp. 159-180.
18. Béthémont, 2000, *op. cit.*, p.153.

MUELLER, Terry et McChesney, Alan. « Le Droit relatif à l'utilisation des cours d'eau internationaux à des fins autres que la navigation », *Écodécision*, été 1995.

PANNETIER, Serge. « La protection des eaux douces », *Le Droit International face à l'éthique et à la Politique de l'environnement*, Georg éditeur, Genève, 1996, <http://www.unige.ch/sebes/>

WOLF, Aaron. « Conflict and Cooperation along International Waterways », *Water Policy*, vol.1, n°2, 1998.

Chapitre 4. **L'irrigation : multiplication des récoltes, concentration des nuisances**

BETHEMONT, Jacques, 2000. *Les grands fleuves*. U Armand Colin, 250 p.

BRAVARD, Jean Paul., et PETIT, F., 2000. *Les cours d'eau*. U A. Colin, Paris, 222 p.

COSANDEY, Claude et ROBINSON, Mark, 2000. *L'hydrologie continentale*, U A. Colin, Paris, 360 p.

DESCROIX, Luc, VIRAMONTES, David, GONZALEZ BARRIOS, José Luis, NOUVELOT, Jean François, ANAYA, Eva et POULENARD, Jérôme, 2001. « Les ressources en eaux de la Sierra Madre Occidentale : variabilité et évolution avec la surexploitation du milieu. » Accepté par la revue *Sécheresse*.

DE VILLIERS, Marq, 2000. *L'eau*. Actes Sud, 440 p.

GLEICK, Peter, 2000. *The World's Water 2000-2001. The biennial report on freshwater resources*. Island Press, Washington D.C, Etats-Unis.

MUTIN, Georges, 2000. *L'eau dans le Monde Arabe*. Carrefours de Géographie, Ellipses, Paris, 156 p.

PETRELLA, Riccardo, 1998. *Le Manifeste de l'eau. pour un contrat mondial*. Labor, col. La Noria, Bruxelles, 148 p.

POSTEL, Sandra, 1999. *Pillar of Sand*. Norton Worldwatch Books, New York, 315 p.

RACINE, Jean Luc, 2001. « Le débat sur la Narmada : l'Inde face au dilemme des grands barrages. » *Hérodote*, 102, pp.73-85.

- SANJUAN, Thierry et BERAU, Rémi, 2001. « Le barrage des Trois Gorges. Entre pouvoir d'État, gigantisme technique et incidences régionales. » *Hérodote*, 102, pp.19-56.
- SZÖLLOSI-NAGY, A., NAJLIS, P. et BJÖRKLUND, G., 1998. « Estimation des ressources en eau de la planète. » *Nature et ressources*, UNESCO-Elsevier, Paris, p.8-18.
- WITTFOGEL, K., 1974. *Le despotisme oriental, étude comparative du pouvoir total*. Paris, éditions de Minuit, 672 p.

Chapitre 5

Gestion de l'eau ou aménagement de l'espace ? La fonction hydrologique d'un territoire

- ANDREASSIAN Vazken (Coordinateur). 1999. *Indicateur d'impact de l'évolution du couvert forestier sur la ressource en eau à l'échelle des bassins versants des Cévennes et de la Montagne noire*. Programme Environnement, Vie et Société CNRS, Rapport Final.
- BENCHETRIT, Maurice, 1972. *L'érosion actuelle et ses conséquences sur l'aménagement en Algérie*. Publications de l'Université de Poitiers, n°XI, PUF, 216 p.
- BENT, G. C., 1994. " Effects of timber cutting on runoff to Quabbin Reservoir", Central Massachusetts. Dans MARSTON R. A., HASFURTHER V. R. (eds). *Effects of Human-Induced Changes on hydrologic Systems*. AWRA Annual Summer Symposium. Am. Water Ress. Ass., pp. 187-196.
- BLANCHARD, Raoul, 1945. *Les Alpes Occidentales*. Thèse d'Etat, Université de Grenoble, 2400 p.
- BOSCH J.M. et HEWLETT, J.D. 1982. "A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration". *Journal of Hydrology*, no. 55, pp. 3-23.
- BRAVARD, Jean Paul, 1987. *Le Rhône, du Léman à Lyon*. Ed. La Manufacture, Lyon, 450 p.
- BRISSE, Henri, 1966. *L'évolution du régime moyen des précipitations dans les Alpes Françaises pour deux périodes de référence : 1881-1910 et 1931-1960*. Publication du CEPE (Centre d'Etudes Phyto-sociologiques et Ecologiques), Montpellier, 80 p.



RESSOURCES RENOUVELABLES

EAUX ET TERRITOIRES :

tensions, coopérations
et géopolitique de l'eau



Frédéric Lasserre

et

Luc Descroix

en collaboration avec

Jean Burton

L'Harmattan

Frédéric Lassere & Luc Descroix

En collaboration avec **Jean Burton**

EAUX ET TERRITOIRES :
tensions, coopérations
et géopolitique de l'eau



RESSOURCES RENOUVELABLES

L'Harmattan
5-7, rue de l'École-Polytechnique
75005 Paris

L'Harmattan Hongrie
Hargita u. 3
1026 Budapest

L'Harmattan Italia
Via Bava, 37
10214 Torino

© L'Harmattan, 2003
ISBN : 2-7475-4405-2

Descroix Luc

L'irrigation : multiplication des récoltes, concentration des nuisances

In : Lasserre F. (ed.), Descroix Luc (ed.), Burton J. (collab.)
Eaux et territoires : tensions, coopérations et géopolitiques de l'eau

Paris : L'Harmattan, 2003, p. 153-176. (Ressources
Renouvelables). ISBN 2-7475-4405-2