

Considérations sur l'emploi des eaux saumâtres pour l'irrigation¹

LUIGI CAVAZZA*

Jel Classification : Q 100, Q 250

1. Introduction

Le rôle de l'irrigation est fondamental dans la région méditerranéenne. Celle-ci se trouve dans des conditions climatiques intermédiaires entre des climats humides et les déserts africains. Suite aux changements climatiques, dont les effets commencent à se manifester, on s'attend, en général, à une plus grande variabilité spatiale des précipitations atmosphériques ; par conséquent, dans le monde, les précipitations devraient en moyenne augmenter, mais la sécheresse devrait s'étendre encore plus dans les pays qui en souffrent déjà (Cavazza et al., 2001). D'autre part, on a l'impression que l'augmentation de la variabilité spatiale est aussi associée à une augmentation de la variabilité temporelle.

Tout ceci semble accroître considérablement les difficultés de l'agriculture méditerranéenne et l'incertitude vis-à-vis des solutions aux problèmes pratiques. Une perspective envisagée par Arrus pour le Bassin méditerranéen est présentée dans le tableau 1 (Arrus, 1997).

Les ressources en eau de la région méditerranéenne (Février, 1993 ; Cavazza, 1994) sont étroitement liées au régime pluviométrique de ce climat de transition où de petites causes peuvent provoquer des effets importants. Il ne faut pas oublier que 92% de l'apport des rivières à la Mer Méditerranée (fig. 1) provient du côté Nord et plus exactement, des grands fleuves, à savoir l'Ebre, le Rhône et

Abstract

Climatic changes are expected to increase difficulties for the agriculture of the Mediterranean region. This encourages the use of saline waters for irrigation. The following cases can be considered: (a) water salinized by sea water intrusion (saline wedge at river mouth and karstic aquifers); (b) water from saline-soil watershed; (c) drainage water; (d) fossil water. Each of these cases has its own characteristics and offers possibilities of intervention. A general solution is often offered by the possibility of mixing waters having different salinities. After some approximation and for a given crop eight different cases can be outlined with different results. The effect of brackish water irrigation on the quality of the produce shall be taken also into account. Long term consequence of the use of saline waters on soil traits may have a great importance according to the soil type. Considerations are given on the use of non-renewable resources.

Résumé

Dans une région telle que la région méditerranéenne, les variations climatiques qu'on peut envisager semblent accroître les difficultés de l'agriculture ; ceci encourage l'emploi d'eaux salines pour l'irrigation. On peut considérer (a) des eaux salinisées par intrusion d'eau de mer (coin salin à la bouche de rivières et nappes phréatiques karstiques), (b) des eaux qui viennent de bassins constitués par des sols salinés, (c) des eaux de drainage, (d) des eaux fossiles ; chacun de ces cas présente des caractéristiques particulières et offre des possibilités d'intervention. Un critère général peut être celui de mélanger des eaux douces avec des eaux un peu salines. Avec une approximation certaine et pour une culture donnée, il est possible de distinguer huit cas différents avec différents résultats du mélange. Les effets de l'irrigation avec des eaux saumâtres sur la qualité des produits doivent aussi être pris en considération. Les conséquences à long terme de l'emploi de ces eaux sur les sols ont également une grande importance, différente d'un sol à l'autre. Des remarques sont faites sur les cas de ressources non renouvelables.

le Pô. Sur le côté sud, le Nil constitue un apport très important d'eau douce, qui provient quand même de l'extérieur de son bassin. Le reste de ce côté est extrêmement pauvre en rivières (dans le sud-ouest côté est, on peut citer la Medjerda, le Chéeliff et la Moulouya, dont les débits sont comparative-ment faibles et les eaux moins douces que celles du Nil).

La nécessité de recourir autant que possible à des sources d'eaux salines ou non conventionnelles est évidente et l'un des efforts les plus remarquables depuis les temps les plus reculés a été celui d'utiliser les eaux les moins aimées pour leur charge en sels : les eaux saumâtres.

2. L'emploi des eaux saumâtres

Une très ancienne tradition a empiriquement choisi la combinaison d'eaux, de sols, de cultures et de façons agronomiques qui permettaient d'optimiser localement la gestion de la ressource hydrique compatible avec des conditions économiques et sociales que l'on pouvait considérer comme suffisamment stables. Mais l'évolution rapide et radicale qui caractérise la vie moderne, les exigences accrues et les complications climatiques que l'on vient de signaler, obligent à réexaminer le problème de l'emploi des eaux saumâtres en tenant compte des apports scientifiques plus modernes.

On ne peut pas prétendre qu'un rapport de séminaire puisse aborder tous les aspects du problème, mais quelques considérations semblent utiles à ce sujet.

¹Travail présenté à la session d'été du GRUSI le 3-6-2002 à Tunis

* Università di Bologna

Tab 1. Conséquences du réchauffement dans le Bassin méditerranéen

	aujourd'hui	vers 2050
Température Précipitations		Acroissement = 3°C Nord : accroissement = 1mm/jour Sud baisse = 1mm/jour Augmentation = 200 mm/an 0,2 à 0,6 m
Évapotranspiration potentielle Élévation du niveau de la mer		
NORD du Bassin		
Augmentation de la production agricole		20 à 30 %
- Céréales en zone aride	oui	non
- Limites citrus et olivier	40° latitude nord	46° latitude nord
- Forêts maquis		accroissement de 1,5%/an
- Parcours		déclin
Érosion et sédimentation	faible	faible
SUD du Bassin		
Population	290 M hab	2,2%/an = 850 Mhab 3,5%/an = 1950 Mhab
Céréales	4 récoltes/5ans	3 récoltes /5ans jusqu'à 100mm
Cultures		Disparition
Forêts maquis	régression 2%/an	très dégradés
Parcours	dégradés	concentrés
Alimentation animale		600.000 km ²
Progression des déserts		très forte : 25 à 50 t/ha/an
Érosion	forte : 5 à 10t/ha/an	très forte(25) = 2,5 Md t/an
Sédimentation – mer	forte(5) = 0,5 Md t/an	
(de Arrus, 1997)		

Tout d'abord, à part un ensemble de problèmes généraux, il y a des problèmes spécifiques liés à l'origine de l'eau saline que l'on considère. En particulier, on distingue (a) les eaux salinisées par intrusion d'eau de mer (ce sont les cas qui se manifestent par augmentation du coin salin à la bouche de rivières dont le débit a été trop réduit par épuisement en amont ou bien par effet du flottement de l'eau douce sur l'eau de mer dans les cas des nappes karstiques ou des nappes subdunales) ; (b) les eaux salin-

isées par ruissellent sur les sols de bassins constitués par des sols salins ou gypseux, surtout si la saison est sèche ; (c) les eaux de drainage provenant de périmètres irrigués dans un climat caractérisé par une forte évaporation (par exemple, lorsque le retour d'eau d'irrigation arrive à 20% avec une dotation brute de plus de 8.000 m³/ha/an) - un cas important de réutilisation de ces eaux a été étudié pour la grande oasis du Fayoum en Egypte ; (d) les eaux fossiles, c'est-à-dire celles des nappes normalement très profondes, venant de l'accumulation au cours des âges généralement géologiques (évidemment, elles ne sont pas renouvelables). Chacun de ces cas pose des problèmes semblables, typiques de l'emploi des eaux salines, mais chacun d'eux peut offrir des possibilités d'interventions particulières. Examinons très rapidement quelques points en commun de tous ces cas.

En général, l'emploi de l'eau saline pour l'alimentation des plantes pose comme problèmes physiologiques celui de la pression osmotique et celui de la qualité des sels dissous (Ayers et Westcot, 1976 et 1985).

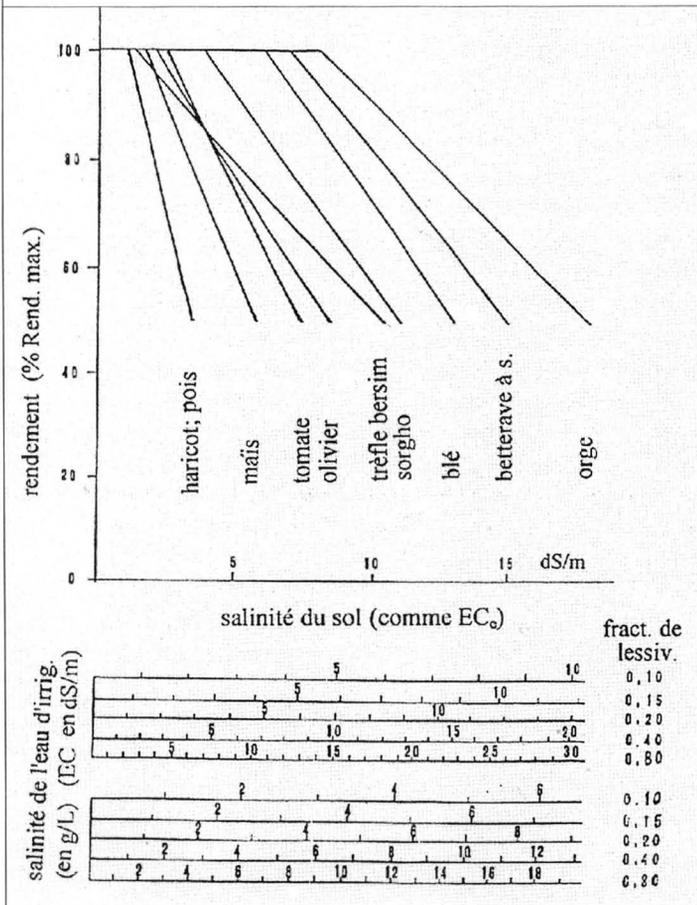
Dans les conditions pratiques, le premier est le plus redoutable et son action se traduit par une " sécheresse physiologique ". La plante doit faire à la fois un travail d'extraction de la solution du sol (problème de potentiel matriciel) et un travail de séparation, plus ou moins parfait, de l'eau de cette solution ; ces travaux sont additifs, le premier étant souvent plus variable avec l'humidité du sol, mais le deuxième étant souvent le facteur limitant. On sait que les plantes peuvent réagir à la salinité en augmentant leur pression osmotique interne ou bien en absorbant des sels pour les localiser en des parties végétales moins importantes pour leur métabolisme. Plusieurs situations intermédiaires existent, le premier mécanisme étant dominant aux premiers stades de la croissance.

La réponse productive des plantes à la concentration en sels de l'eau d'irrigation est donc très différente d'une culture à l'autre. En général, on schématise cette réponse (fig. 2) par un trait horizontal - dont la longueur exprime la composante principale de la résistance à la salinité - suivi d'un trait incliné dont la pente indique la baisse de rendement par unité de salinité en plus à partir de la limite de résistance (S_0). Cette perte peut varier d'une espèce à l'autre.

Fig. 1. Système hydrologique du Bassin Méditerranéen



Fig. 2. Effets de la salinité de l'eau d'irrigation et de celle du sol sur le rendement de quelques cultures caractéristiques



3. Les possibilités de mélange d'eaux

A ce propos, dans les cas pratiques où l'on dispose en même temps d'une certaine quantité d'eau de bonne qualité et d'une quantité bien plus grande d'eau beaucoup plus saline, une solution souvent envisagée consiste à mélanger les deux eaux de façon à augmenter le volume total (V_T) de l'eau disponible (Nebbia, 1993). Cette solution apparaît particulièrement attrayante si le volume d'eau, et non pas la surface du sol, est limitant pour la production de l'exploitation agricole (zones subdésertiques).

Le problème du mélange de deux liquides et, en particulier, celui de deux solutions, est généralement bien plus complexe qu'on ne le croit d'un point de vue trop simpliste. Néanmoins, dans le cas des eaux saumâtres plusieurs aspects, tels les variations de volume par effet des associations moléculaires ou de limites de miscibilité etc., sont tout à fait négligeables. Le problème le plus important est, dans le cas pratique, la possibilité de précipitation de carbonate qui dépend de la composition des sels dissous et surtout des bicarbonates de calcium et de magnésium et du gaz carbonique dissous dans l'eau (c'est le même type de problème qui oblige à corriger de quelque façon le SAR des eaux d'irrigation). Il s'agit de questions qui varient selon les cas mais qui, en général, même en rai-

son des imperfections des systèmes réels, portent à quelque petite réduction de la concentration saline du mélange. On simplifie le problème en ignorant, comme première approche, ces détails sans néanmoins les oublier.

D'un point de vue exclusivement théorique et supposant que l'effet négatif sur le rendement des cultures soit proportionnel à la teneur en sels de l'eau, on a cru pouvoir démontrer que le mélange entre des eaux saumâtres ne produit aucun avantage. Quand même, puisque les courbes de réponse des cultures ne satisfont pas cette hypothèse, il est possible d'approfondir l'examen de cette question.

Une première possibilité consiste à utiliser les eaux à différentes salinité pour différentes cultures ayant différents degrés de tolérance à la salinité. Naturellement, la validité d'une telle solution dépend beaucoup des conditions du marché (prix et volume du produit). On peut commencer par considérer le cas d'une seule culture à irriguer et décider si le mélange des deux eaux est recommandable ou pas. Le tableau 2 offre une liste de huit cas qui, pour une courbe de réponse donnée (c'est-à-dire, pour une culture donnée), permet de décider si le mélange de deux eaux convient ou pas (on a indiqué par eau douce et saline les eaux qu'on devrait proprement indiquer comme " moins saline " et " plus saline "). Le critère adopté admet une limite minimale (P_L) pour le rendement, au-dessous de laquelle la culture n'est plus rentable ; de cette façon, on peut utiliser ces formules en conditions très différentes du point de vue économique, de type d'exploitation et de marché (les courbes de réponse de la fig. 2 sont prises de la littérature, mais dans notre cas, elles laissent libre le choix de cette limite). Ce qui est plus frappant dans ce tableau c'est qu'il y a trois cas dans lesquels le mélange donne un résultat (P_x) qui est le même qu'on obtient comme moyenne de l'emploi séparé des deux eaux (le mélange est indifférent). Il y a encore trois cas dans lesquels le résultat du mélange est supérieur à la moyenne des rendements qu'on obtient sans mélange. Enfin, il y a deux cas dans lesquels le mélange est absolument à refuser et il faut se résigner à utiliser seulement l'eau moins salée. Comme on le voit dans ce tableau, le volume total d'eau qu'on peut obtenir dépend grandement de la salinité des deux eaux et des paramètres de la courbe de réponse de la culture considérée, y compris le minimum de salinité acceptable. Les critères et les formules données sont d'autant plus valables que les deux valeurs de salinité sont loin du sommet (S_0) où les deux parties de la couche se rencontrent.

4. La qualité des produits

Les considérations que l'on vient de faire regardent les rendements comme quantité de produit par unité de surface du sol ; mais la qualité des produits peut être aussi considérablement modifiée par un changement de salinité de l'eau d'irrigation. En général, avec l'augmentation de la teneur en sels dans l'eau, les fruits tendent à devenir plus

petits, bien que parfois plus nombreux (ceci peut gêner le consommateur). Souvent, les fruits sont plus savoureux (parce que plus riches en chlorure de sodium et en sucres), plus riches en matière sèche, plus consistants et avec une peau plus résistante (aspect très apprécié par l'industrie de la conserve). Dans d'autres cas, les résultats ne sont pas favorables (saveur trop forte, fruits moins charnus, cotonneux). Toutes ces caractéristiques peuvent avoir un poids très grand sur le prix du produit. Comme critère valable pour tenir compte tant de l'effet quantitatif que de celui qualitatif sur la production, on peut considérer la règle suivante (valable pour de petites variations linéaires entre variables) :

$$\frac{\Delta P_s}{\Delta V_s} = \left[\left(\frac{\Delta R}{\Delta V_s} * p_n \right) + \left(R * \frac{\Delta p_n}{\Delta q} * \frac{\Delta q}{\Delta V_s} \right) \right] - \frac{\Delta D_s}{\Delta V_s}$$

Où

P_s est le profit qu'on obtient par unité de surface du sol ;
 V_s est le volume d'irrigation par unité de surface du sol ;
 R est le rendement ;

P_m le prix de l'unité de masse du produit ;

q un index quantitatif de la qualité (par exemple, le sucre extractible de la betterave, la matière sèche de la tomate pour pâte, le rapport sucre/acides de certains fruits, etc.)

D_s les dépenses par unité de surface du sol pour toutes les variables ;

Δ indique l'accroissement.

Cette équation montre que l'augmentation du profit ΔP_s après une augmentation de volume d'irrigation ΔV_s dépend de trois termes : le premier exprime l'effet sur le rendement (ΔR), mais son poids économique dépend du prix du produit ; le deuxième terme exprime l'effet de l'irrigation sur la qualité ($\Delta q/\Delta V_s$) mais son poids dépend de l'importance que le marché donne à cette qualité et encore du rendement ; le terme D montre l'effet qui peut dériver d'une variation des coûts. Il est clair, donc, que l'irrigation avec des eaux saumâtres d'une même culture peut donner des résultats différents non seulement en termes de rendement, mais aussi de qualité du produit (par exemple, une tomate pour la consommation directe par rapport à celle pour la production de pâte de tomate). On peut éviter cette analyse du profit si dans la fig. 2 on exprime les rendements relatifs en valeurs monétaires (les variations de prix engendrées par les variations de qualité y sont ainsi incluses).

Les effets qu'on a considérés jusqu'à présent se manifestent au cours du cycle cultural des plantes annuelles ; on rencontre quelques complications avec les cultures pluri-annuelles, surtout avec les arbres fruitiers pour des conséquences éventuelles qui se transmettent dans ces cas d'une année à l'autre. Une action plus lente, qui peut porter à des dégâts assez graves dans une ou quelques dizaines d'années, est celle qui s'exerce sur le sol et qui correspond à sa salification et, encore plus redoutable, sa

sodification (Richards, 1954). Ceci comporte une forte réduction de la stabilité structurale du sol et une grande diminution de sa conductivité hydrique et de ce fait, une plus grande difficulté de lessivage des sels. Les sols sodicisés sont plus exposés à l'asphyxie qui endommage les racines et la vie microbienne, plus exposés à la stagnation des eaux en surface, plus difficiles à travailler. Dans quelques cas, la sodification transforme elle-même un phyllosilicate dans un autre. On sait bien que l'indice typique de cette sodification est le pourcentage de sodium échangeable (ESP) et que l'attitude des eaux à déterminer ces modifications est exprimée par le rapport d'absorption du sodium (SAR) bien qu'il ait été modifié deux fois.

On connaît bien le rôle que jouent à ce propos la concentration de calcium et de magnésium dans l'eau d'irrigation et le rôle généralement favorable de la concentration saline. Ce qu'on est encore en train de mieux comprendre c'est le rapport entre les types de minéraux qui constituent la fraction argileuse du sol et le rôle de quelques cations, par exemple, le magnésium surtout sous forme de carbonate (son action paraît défavorable) et celle du potassium absorbé (action apparemment favorable). Il apparaît clair que les sols plus riches en kaolinite et en sesquioxides de fer résistent mieux à la sodification ; c'est ce qui se passe plus fréquemment dans les sols autrefois appelés " terre rouge " et ce sont les sols où l'irrigation avec les eaux saumâtres, quand elles sont disponibles, a une tradition plus ancienne.

5. Les interventions dans les cas de salinité de différente origine

On avait mentionné le fait que les eaux saumâtres peuvent être de différentes origines. Pour les eaux souterraines de type karstique, il faut éviter de les puiser trop rapidement et en quantités trop grandes par rapport à l'étendue de la nappe phréatique et à la distance depuis la mer. Les anciennes " norias " actionnées par des animaux y réussissaient très bien. Aujourd'hui, avec les pompes modernes plus puissantes et la demande en eau accrue, il peut être nécessaire de limiter la profondeur des puits, la puissance des engins et des pompes, la distance entre les puits, et les débits, pour prévenir le risque de l'intrusion de l'eau de mer et de contamination de la ressource en eau. Parfois, la construction d'un canal, qui borde à quelque distance la mer et laisse percoler de l'eau, peut créer une sorte de barrage liquide qui protège à l'intérieur la nappe contre l'intrusion marine.

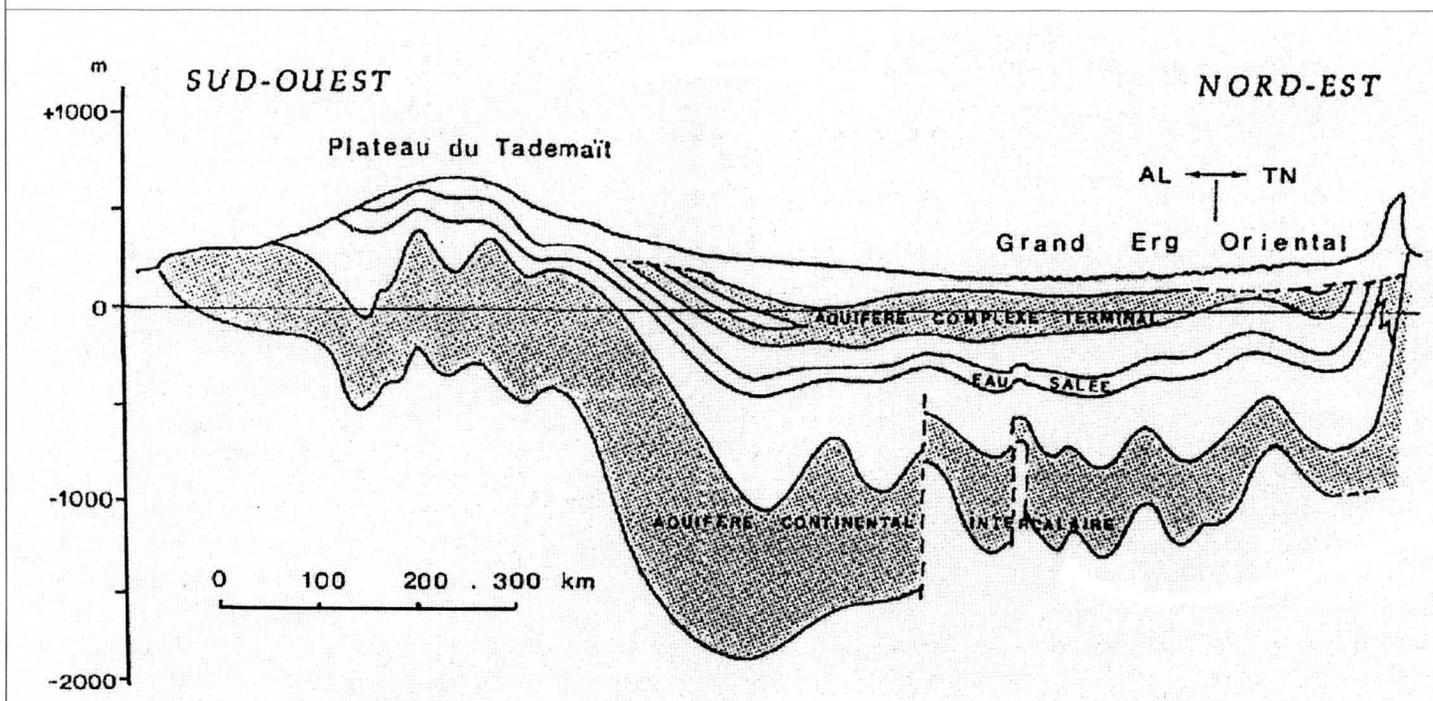
Tant pour les nappes karstiques que pour les eaux de surface qui proviennent de bassins salins, un problème assez grand est constitué par le fait que dans les années de sécheresse on dispose d'eaux généralement plus chargées en sels (c'est l'effet d'un plus grand épuisement de la nappe karstique, ou de l'effet de la salinité superficielle plus accentuée par l'évapotranspiration du bassin versant dans d'autres cas).

Dans le cas d'eaux de drainage très chargées en sels, comme c'est le cas de l'Oasis du Fayoum en Egypte, on peut envisager le mélange avec de l'eau douce du Nil et son utilisation pour des cultures plus résistantes à la salinité (une eau trop faible en sels aurait un effet négatif sur la stabilité structurale du sol).

Toutes ces ressources sont à-peu-près complètement re-

une sorte d'alarme croissant). Dès lors, si les prix au consommateur restaient constants sans en décourager l'emploi, on pourrait aller vers des situations sociopolitiques très difficiles (Grenon et Batisse, 1989). Ce sont des problèmes sur lesquels il ne faudrait pas glisser. Il faut être toujours bien alerté.

Fig. 3. Section des formations aquifères fossiles du Sahara algéro-tunisien (de Cavazza, 1994).



nouvelables ; un aspect particulier qui limite cette caractéristique peut être le comblement, après un certain nombre d'années, d'un lac artificiel créé par un barrage.

Une ressource typiquement non renouvelable est celle des eaux fossiles. Selon des études de l'UNESCO, le Sahara algéro-tunisien recèle une précieuse quantité d'eau (fig. 3) suffisante à plus que doubler la superficie irriguée de ces Pays. A propos des ressources non renouvelables, on peut encore faire quelques considérations générales.

Si une telle ressource est utilisée, elle diminue au fur et à mesure de son ampleur et à la fin sa valeur s'annule. Si la demande en eau croissait à l'infini, l'utilisation de ces eaux fossiles ne ferait que différer le problème d'un certain laps de temps. Si la demande croissait jusqu'à un maximum et puis décroissait, on pourrait concevoir une distribution optimale des utilisations de la ressource dans le temps. Mais si le prélèvement d'eau n'est pas constant, la ressource doit être considérée plus précieuse au fur et mesure qu'elle s'approche de son épuisement (ce serait

Références

- Arrus R., 1997. Prospective des modes d'usage de l'eau en vingt et huitième siècle : la référence Méditerranéenne. Cpt. Ren. Ac. Agric. France, 83; 169-178
- Ayers R.S., Westcot D.W., 1976-1985. Water quality for agriculture. Irr. And Drain. Paper n. 29, FAO, Rome
- Cavazza L., Caliandro A., Mannini P., Leone G., Bolognino B., 2001, L'acqua: una risorsa preziosa. Prob. Agric. Ital.; scenari poss.; quad. 2. Acc. Naz. Agr.-CNR
- Richards L.A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agr. Handb., n. 60
- Nebbia G., 1993. Le risorse idriche in agricoltura. Agric. E Innov.; n. 26-27; 28-43
- Grenon M., Batisse M., 1989 Future for the Mediterranean basin: the Blue Plan, Oxford Univ. Press
- Février R., 1993 : L'agriculture française et l'agriculture des autres pays méditerranéens : complémentarités et concurrences. J.O. Républ. Française ; n. 19 ; 9 oct 1993
- Cavazza L. 1994. L'eau : ressources, exploitation, concurrence. Cpt Ren. Ac. Agric. France. 80; 11-48.