

*Une calamité
pour l'agriculture
en zone aride :*

la salinisation des terres irriguées
en basse vallée de l'Euphrate
(République arabe syrienne)

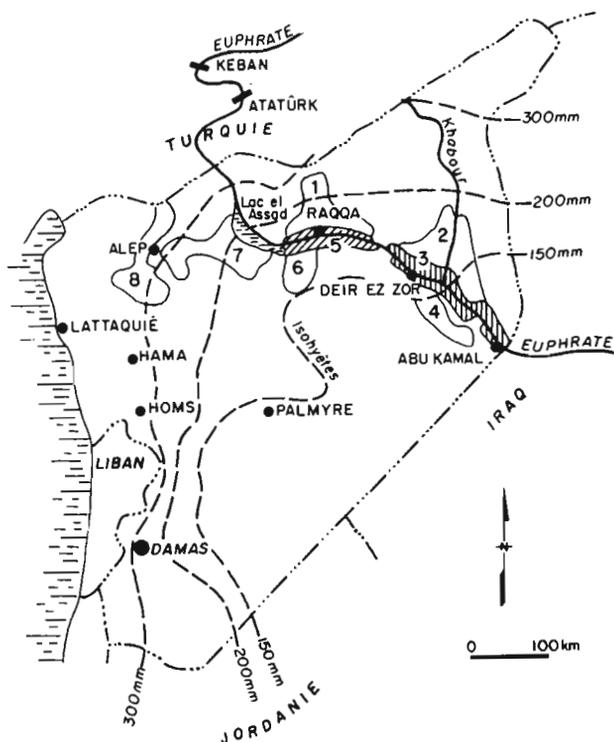
INTRODUCTION

À l'exception de ses zones côtières, à l'ouest, la Syrie bénéficie d'un climat méditerranéen chaud et sec au nord, méditerranéen subdésertique très chaud au sud et à l'est. La culture irriguée est possible sur une grande partie du territoire grâce à l'Euphrate, dont la source se trouve dans les zones montagneuses d'Arménie, en Turquie. Ce fleuve a été barré à Tabqa, en amont de Raqqa. Une retenue de plus de 80 km de long, le Lac El Assad, a été créée, qui est la pièce maîtresse de l'aménagement hydroélectrique du bassin de l'Euphrate, avec 2 grands axes agricoles : mise en culture de zones quasi désertiques de part et d'autre de la vallée et modernisation de l'agriculture existante dans la vallée, en aval du barrage (fig. 1).

En 1973-74, au moment où la construction du barrage se terminait, le Gouvernement syrien a demandé simultanément à plusieurs sociétés étrangères d'ingénierie des études de développement hydroagricole pour chacune des unités du bassin de l'Euphrate. Les premières réalisations, sur le secteur pilote de Raqqa, jamais cultivé auparavant, ont mis en évidence l'importance des problèmes techniques dus au gypse, dans la plupart des unités d'aménagement en bordure de la vallée proprement dite, et aussi les difficultés d'installer des populations non préparées aux cultures prévues. Au même moment, les autorités ont pris conscience de la nécessité et de l'urgence d'améliorer la situation de l'agriculture dans la vallée elle-même. En effet, les sols, mis en culture par irrigation dans les années cinquante pour produire du coton et des céréales, étaient gravement affectés par la salinisation, surtout dans la partie aval de la vallée. Les rendements étaient en forte baisse et plusieurs milliers d'hectares, totalement stérilisés, étaient abandonnés.

Le Groupement d'études et de réalisations des sociétés d'aménagement régional (Gersar) et la Société centrale pour l'équipement du territoire (Scet), organismes français, ont réalisé les études en basse vallée de l'Euphrate de 1975 à 1985, depuis les diagnostics de base et les études de faisabilité jusqu'aux projets détaillés. Les premières réalisations d'importance, qui concernaient le drainage, ont débuté en 1983.

Une description du milieu physique est nécessaire pour comprendre l'occupation des terres ainsi que les effets de la salinisation sur les sols et sur les eaux dans la basse vallée de l'Euphrate. Elle permettra de saisir les orientations données aux études en vue d'élaborer et de proposer une méthode de mise en valeur réellement applicable, fondée sur un système de drainage adapté aux conditions locales.



GRANDES UNITES (Superficies en milliers d'ha)	
1.- Bassin du Balikh	192
2.- Bas-Khabour (Différé)	70
3.- Basse vallée de l'Euphrate	126
4.- Mayadin (abandonné)	40
5.- Moyenne vallée de l'Euphrate	30
6.- Rassafé (abandonné)	40
7.- Méskéné	116
8.- Plaine d'Alep (prévision)	137

Figure 1 - Localisation schématique des unités d'aménagement du bassin de l'Euphrate.

LE MILIEU PHYSIQUE EN BASSE VALLÉE DE L'EUPHRATE

Situation générale

La basse vallée de l'Euphrate forme une sorte de ruban vert cultivé, sensiblement rectiligne, dans le désert syrien jusqu'à la frontière iraquienne. Sur une longueur de 170 km, sa largeur varie de 5 à 14 km et sa pente, très régulière, est très faible : 0,25 m.km⁻¹ en moyenne.

Deir-ez-Zor, ville principale et chef-lieu du Mohafazat, est à 330 km d'Alep et à 500 km de Damas. Des traces très anciennes d'occupation humaine ont été reconnues dans de nombreux tells : entre autres Bugros, Achara et Mari qui fut une capitale importante au xx^e siècle av. J.-C. Des fortifications en ruines jalonnent la vallée : Doura-Europos, construite par un lieutenant d'Alexandre le Grand, Halabié-Zalabié, élevée par les Byzantins, le château de Mayadin, érigé par les Arabes.

Climat

Les totaux moyens annuels des précipitations, pour les 2 stations de Deir-ez-Zor et d'Abu Kamal, sont de 163 mm et de 109 mm, avec la même répartition de novembre à avril et la même sécheresse totale en été. Les températures maximales dépassent

45 °C en juillet et en août ; les températures minimales peuvent être inférieures à - 5 °C de décembre à février. L'évapotranspiration potentielle annuelle calculée selon la formule de Penman modifiée est de 2 100 mm, avec une pointe de 420 mm en juillet et un minimum de 30 mm en décembre.

Si les cultures d'été (coton, sésame, melon, pastèque, etc.) doivent toute leur eau à l'irrigation, celles d'hiver (céréales) en reçoivent une part, très aléatoire, des précipitations.

Géologie - Géomorphologie

La basse vallée de l'Euphrate est inscrite dans des formations quasi horizontales du Mio-Pliocène d'origine lagunaire, avec des marnes, du gypse, des calcaires à la base, et des grès assez fins au sommet. Un épanchement basaltique assez étendu, daté du Plio-Quaternaire, couronne les hauteurs entre Raqqa et Deir-ez-Zor.

Entaillant ces sédiments de 80 à 100 m, à l'amont, et de 50 à 60 m, à l'aval, l'Euphrate a apporté 10 à 20 m d'alluvions au Quaternaire supérieur et à l'Holocène. Il a d'abord déposé 5 à 15 m d'alluvions caillouteuses, constituées de quartz, de silex et de roches métamorphiques. Après des remaniements superficiels, d'origine éolienne, et des apports latéraux localement riches en gypse, le fleuve a déposé des alluvions holocènes épaisses de plusieurs mètres qui forment 2 niveaux bien distincts, séparés par un talus de 2 à 3 mètres :

- le niveau supérieur constitue des surfaces homogènes et très étendues dans la vallée ; les matériaux sont de texture limono-argileuse. Pour la commodité du langage, ces alluvions seront désignées sous le terme de «subrécentes» ;

- le niveau inférieur, proche du fleuve, regroupe en réalité plusieurs apports difficiles à distinguer avec certitude ; les matériaux sont de texture limono-sableuse et même franchement sableuse. Ces alluvions seront désignées sous le terme de «récentes».

En coupe transversale (fig. 2), la basse vallée de l'Euphrate est dissymétrique, avec une falaise gypseuse haute en rive droite et un talus de cailloutis alluvial localement encroûté par le gypse et par le calcaire en rive gauche.

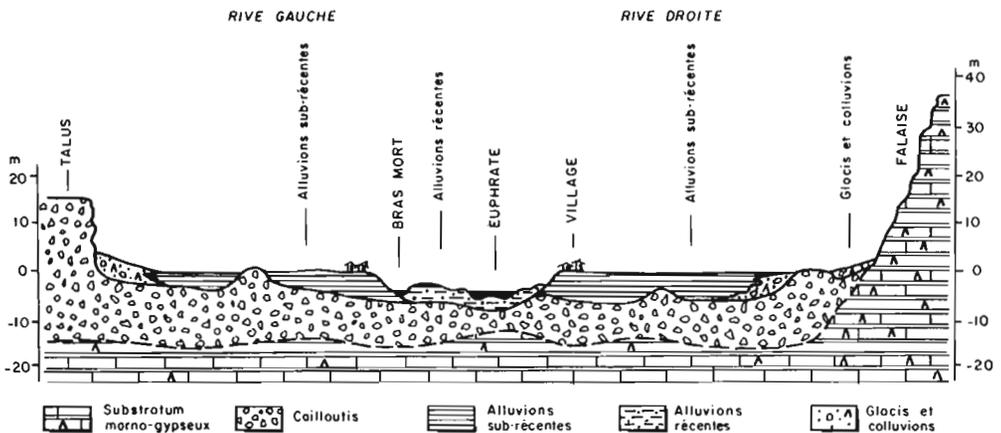


FIGURE 2 - Coupe transversale schématique de la basse vallée de l'Euphrate.

Hydrologie

L'Euphrate n'a qu'un seul affluent pérenne, le Khabour, en rive gauche. Il reçoit quelques affluents temporaires, en rive droite, qui collectent les eaux de bassins versants très étendus, dans le désert syrien.

Au début des années soixante-dix, le débit moyen de l'Euphrate était de l'ordre de $900 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, avec des extrêmes voisins de $5\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, en mai, et de $250 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, à la fin de l'été. Sans concertation, les Turcs et les Syriens ont élevé les barrages de Keban et de Tabqa qu'ils ont remplis simultanément, avec pour effet de priver pratiquement d'eau l'Iraq durant l'opération. Depuis, les Turcs ont construit encore un barrage, qu'ils viennent de remplir, et ils en prévoient un autre beaucoup plus important, celui d'Atatürk. Actuellement, le débit minimal moyen en aval du barrage syrien de Tabqa est programmé pour être de $470 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en septembre, ce qui constitue une ressource en eau très importante pour l'agriculture. Comme la vocation de ce barrage est la production prioritaire d'électricité, un second barrage a dû être construit récemment, un peu en aval, pour réguler les volumes d'eau mis à la disposition de l'irrigation.

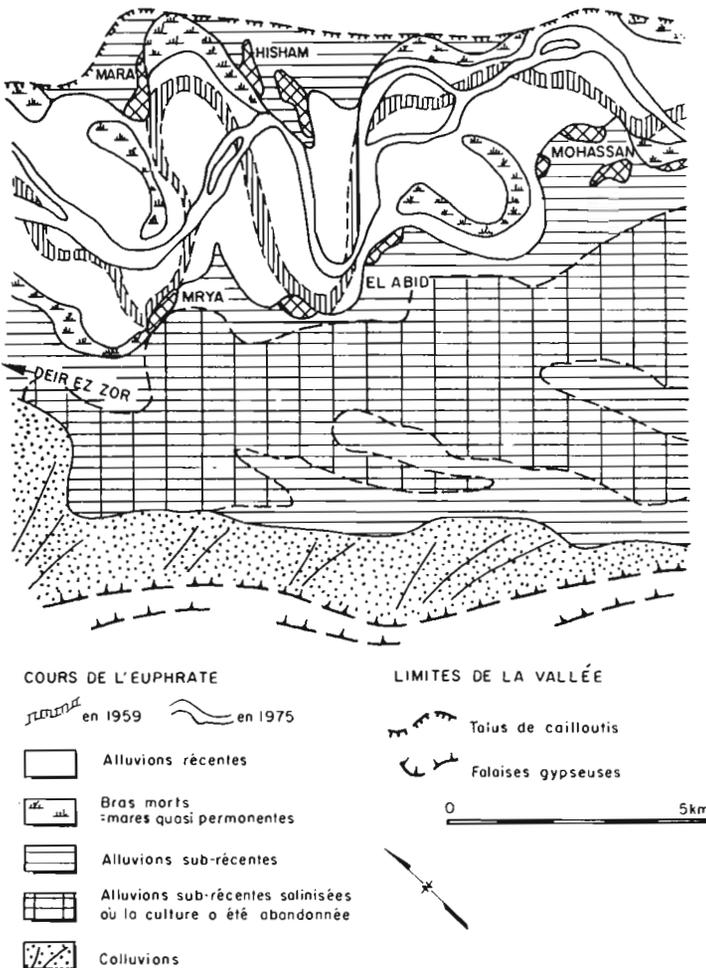


FIGURE 3 - Extrait réduit de la carte géomorpho-pédo-physiographique à 1/50 000.

Le tracé de l'Euphrate a connu des changements importants dans la partie de la vallée occupée par les alluvions récentes. L'extrait de carte (fig. 3) illustre le déplacement des méandres de 1959 (cartes russes au 1/25 000) à 1975 (photographies aériennes syriennes). Ce processus, normal et très rapide dans cette région aride, laisse des méandres abandonnés, qui constituent des mares peu profondes, quasi permanentes.

Hydrogéologie

2 aquifères ont été reconnus :

- aquifère régional profond, Mio-Pliocène, pratiquement sans relation avec la vallée ;
- aquifère alluvial de l'Euphrate. Le réservoir de cet aquifère a une structure bicouche : il est constitué à la base par les dépôts grossiers, cailloutis et sables, et au sommet par les alluvions fines holocènes. À la base, ce réservoir est limité par le substratum marno-gypseux qui peut être considéré comme imperméable, ainsi que l'ont montré plusieurs tests ponctuels. Transversalement, il est limité par le fleuve qui est drainant. Les apports latéraux sont réduits à des arrivées d'eaux superficielles ou infiltrées à la suite des précipitations hivernales. Comme les 2 couches du réservoir ont des transmissivités très contrastées, tout se passe comme si les limons holocènes étaient essentiellement le siège des transferts verticaux, tandis que les écoulements horizontaux avaient lieu dans le cailloutis situé au-dessous.

L'OCCUPATION DES SOLS ET LA SALINISATION

Historique

L'irrigation a existé depuis la plus haute antiquité en basse vallée de l'Euphrate, comme en témoignent les écrits de Mari ; ce site se trouve à une dizaine de kilomètres en amont d'Abu-Kamal sur les alluvions subrécentes. Il est difficile d'imaginer la géographie de la vallée en cette période, alors que les alluvions récentes n'étaient pas encore déposées. Il ne reste rien des installations d'irrigation de l'époque. Peut-être ont-elles été détruites, comme le fut Mari, au XVIII^e siècle av. J.-C. par HAMMOURABI, roi de Babylone célèbre par ailleurs par son code qui réglementait avec vigueur et bon sens la plupart des actes de la vie en Mésopotamie, en particulier la production agricole et l'irrigation.

Les Arabes ont pratiqué l'irrigation en basse vallée de l'Euphrate ainsi que semblent en témoigner des réseaux importants de levées artificielles de terre, visibles en rive droite à une dizaine de kilomètres au sud de Deir-ez-Zor. Des traces existent aussi en rive gauche en aval du confluent du Khabour. Cette occupation avait peut-être commencé avec les Abbassides au IX^e siècle de l'ère chrétienne (HAROUN AL-RACHID, sultan de Bagdad, avait fait de Raqqa sa capitale d'été). Là encore, la topographie de la vallée était certainement différente de l'actuelle car les alluvions récentes n'étaient sans doute pas encore toutes déposées. La date d'abandon de ces installations n'est pas connue.

En fait, une agriculture permanente n'existe en basse vallée de l'Euphrate que depuis la fin du siècle dernier, avec la fixation d'éleveurs venus du sud. Jusqu'à la fin des années trente, seules les alluvions récentes étaient cultivées, avec une irrigation d'appoint alimentée par des norias installées près des berges. Comme le drainage naturel de ces alluvions est bon en général, les problèmes de salinité y sont limités aux abords de quelques bras morts.

Ce n'est qu'après la fin de la Seconde Guerre mondiale que le développement des moyens de pompage dans l'Euphrate, avec des moteurs thermiques puissants et rustiques, a permis l'irrigation des alluvions subrécentes. Des réseaux ont été créés dans tous les villages, qui donnaient lieu à toutes sortes d'accords entre les possesseurs des terres et ceux des pompes et des canaux.

Situation de l'agriculture

Le coton a été le moteur principal du développement de la région. La vallée de l'Euphrate a été jusqu'à maintenant une sorte de paradis sans parasites pour cette culture qui produit des fibres mi-longues appréciées. Après des travaux d'endiguement et de nivellement, la totalité des surfaces irrigables a été occupée. Les dernières zones mises en valeur l'ont été à la fin des années soixante en amont de Deir-ez-Zor. Outre le coton et les céréales d'hiver, le sésame et les fourrages d'été occupent des surfaces assez importantes. Certaines parties de la vallée s'étaient spécialisées dans la production en grand de melons et de pastèques qui trouvaient d'excellents débouchés au Liban. Les alluvions récentes sont plus particulièrement orientées vers le maraîchage pour la consommation locale. La production animale est peu importante et les vergers sont rares. Quelques plantations de peupliers fournissent le seul bois d'œuvre disponible dans la région.

En 1975, une enquête a recensé près de 3 000 stations de pompage, dont 2 200 en rivière et 800 de reprise, pour desservir les 126 000 ha géographiques irrigables gravitairement. Sans compactage initial, tous les canaux en terre, sur des centaines de kilomètres, ont des pertes en eau très importantes (jusqu'à 25 % en extrémité de réseau primaire). Les agriculteurs ont une très bonne technicité dans la conduite de l'irrigation et dans le maniement de l'eau. Les parcelles sont divisées en bassins de submersion de petite taille, qui épousent tous les détails du relief. Cette technique, voisine de celle des oasis d'Arabie, permet des irrigations répétées. Elle est très différente de celle des agriculteurs du centre et du sud de l'Iraq, qui n'effectuent que quelques irrigations d'appoint, sur des céréales d'hiver installées sur des parcelles en général mal nivelées.

Étendue de la salinisation

Peu de temps après la mise en culture, des manifestations de salinité sont apparues, d'abord comme un «mitage» sur certaines parcelles. Elles se sont rapidement étendues à des surfaces importantes qui ont été abandonnées et qui portent des vestiges longtemps reconnaissables de canaux en terre et de diguettes. Les zones les plus atteintes sont les parties centrales des grandes zones d'alluvions subrécentes. Les parcelles qui dominent les alluvions récentes ont continué de produire.

Le tableau I montre la répartition des surfaces abandonnées et des sols salés dans l'ensemble de la vallée en 1976-1978 et leur évolution en 1984. Les résultats sont exprimés en pourcentage de la superficie de chaque type d'alluvion pour chacun des principaux tronçons de la vallée, d'amont en aval. Les sols abandonnés sont notés A ; ils ont une conductivité électrique supérieure à 30 dS.m⁻¹ dans l'extrait de pâte saturée. Les sols peu ou pas salés sont notés N ; leur conductivité est inférieure à 6 à 8 dS.m⁻¹. Les sols plus ou moins salés sont notés S.

Les superficies abandonnées sont plus importantes à l'aval qu'à l'amont sur les alluvions subrécentes, surtout en rive droite pour une raison mal expliquée.

Tableau I - Répartition des sols affectés par la salinisation en (1976-1978) et leur évolution en 1984, basse vallée de l'Euphrate.

	Km	RIVE DROITE						RIVE GAUCHE					
		Alluvions Subrécentes			Alluvions Récentes			Alluvions Récentes			Alluvions Subrécentes		
		A	S	N	A	S	N	N	S	A	N	S	A
Halabie	0												
Zalabie	0	2	15	83	/	4	86						
Deir-ez-Zor	50												
Khabour	85							85	13	2	72	16	2
Doura		(30)	(15)	(55)									
Europos	135	13	20	67	2	7	91						
Abu Kamal	170	(41)	(14)	(45)									
		31	16	53	2	7	91	86	10	4	67	18	15
TOTAL		18	18	64	1	9	90	86	1	3	68	17	15
<i>Projection pour l'ensemble en 1984</i>		32	15	53	1	9	90	86	11	3	56	15	29

Une projection (fig. 4) pour la décennie à venir montre que, si rien n'est fait, environ la moitié des alluvions subrécentes devraient être abandonnées, en supposant que l'on continue d'utiliser les sols jusqu'à des niveaux de salinité aussi élevés qu'actuellement.

Le plan de développement hydroagricole doit donc concerner avant tout les alluvions subrécentes puisque ce sont elles qui ont été le plus affectées par la salinisation.

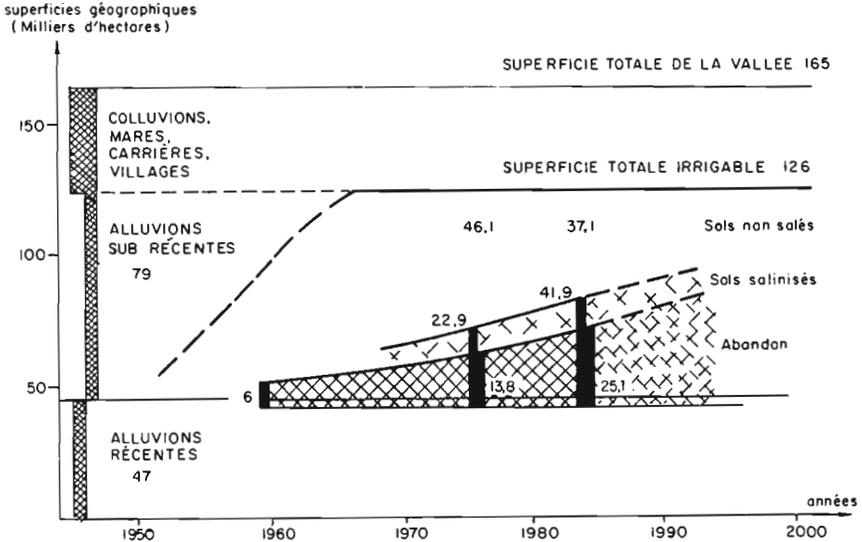


FIGURE 4 - Évolution des superficies affectées par la salinisation.

LA SITUATION DES SOLS ET DES EAUX SOUS L'EFFET DE LA SALINISATION

Les études de diagnostic et d'avant-projet, réalisées de 1975 à 1984, ont collecté des données très détaillées sur la distribution de la salinité et des caractéristiques physiques des sols jusqu'à 2 m de profondeur, ainsi que sur la salinité et les mouvements des eaux.

Les sols

Dans les sols d'alluvions subrécentes, qui devront faire l'objet d'interventions de mise en valeur, les principales distinctions concernent la salinité et les propriétés physiques et hydrodynamiques. En effet, les textures sont limono-argileuses (30 à 40 % d'argile) dans la plus grande partie des zones salinisées. Les structures sont restées très marquées par la sédimentation sur les anciens cours du fleuve et ses défluent ; elles sont prismatiques et grossières dans les bassins de dépôt en eau calme. Ces alluvions sont calcaires, pratiquement dépourvues de gypse. Montmorillonite et chlorite sont les minéraux argileux dominants. L'attapulgite, probablement néoformée, est rencontrée

partout. L'hydromorphie, omniprésente, se manifeste sous forme de petites taches peu contrastées et peu visibles.

SALINITÉ DES SOLS

La salinité a été mesurée sur 2 types d'extraits :

- pâte saturée (CE_e , méthode internationale de référence pour les interprétations agronomiques) ;

- suspension dans le rapport sol/eau égal à 1/2,5 ($CE_{2,5}$, méthode rapide).

Pour les sols les plus fréquents de la vallée, sans gypse et de texture moyenne à fine, on a la corrélation suivante entre ces 2 valeurs :

$$CE_e = 4 CE_{2,5} + 0,5$$

où :

$$r^2 = 0,97$$

n = 5 430 échantillons.

Les cartes de salinité, dressées à partir de la salinité globale dans la couche supérieure (0-20 cm) du sol et au-dessous jusqu'à 1 m, ont complété très utilement les cartes d'occupation des terres pour repérer les secteurs en début de salinisation. Elles ont beaucoup servi pour zoner les travaux de mise en valeur. Des superficies importantes sont cultivées alors que leur salinité est supérieure à 16 dS.m⁻¹, valeur souvent considérée comme limite pour la mise en culture. Pour cette valeur, les rendements sont diminués de moitié pour les cultures résistantes, telles que le coton ou l'orge, qui cessent toute production vers 26 à 30 dS.m⁻¹. Ils sont diminués des trois quarts pour le blé qui ne produit plus au-delà de 20 à 24 dS.m⁻¹.

Les sols abandonnés ont un gradient de salinité ascendant très fort : la couche supérieure est 3 à 10 fois plus salée que les couches inférieures. La salinisation des zones abandonnées s'est poursuivie après l'arrêt des cultures puisque la conductivité des couches supérieures dépasse largement 30 dS.m⁻¹ pour atteindre 200 dS.m⁻¹ et davantage dans les croûtes superficielles. La nappe, alimentée par les irrigations sur les zones cultivées voisines, se maintient à faible profondeur jusqu'à plusieurs centaines de mètres à leur périphérie. Les sols peu ou pas salés ont un gradient descendant. Les sols non salés des zones bien drainées, à nappe profonde, ont un gradient nul.

Le chlore est l'anion le plus abondant dans la plupart des cas. L'ion sulfate, toujours présent, peut être plus abondant que le chlore, dans 20 à 40 % des cas, lorsque la conductivité est inférieure à 16 dS.m⁻¹. Les bicarbonates sont peu abondants. Il n'y a pas de carbonates et le pH, qui est généralement inférieur à 8,0, ne dépasse pas 8,5. Le sodium est le cation le plus abondant dans la section aval de la vallée. Le calcium peut être plus abondant que le sodium dans certaines parties des sections moyennes et amont de la basse vallée de l'Euphrate. On observe alors la présence de chlorures de calcium et de magnésium, hygroscopiques, qui forment de larges étendues brunes ou des taches isolées. Après les épisodes pluvieux, la surface de ces zones se couvre d'efflorescences blanches qui disparaissent en quelques jours lorsque les sels hygroscopiques reprennent leur aspect habituel. Le sodium échangeable peut occuper 30 à 50 % du complexe adsorbant. Le magnésium échangeable est presque toujours inférieur au calcium.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

L'utilisation agricole et/ou la remise en valeur des sols d'alluvions subrécentes nécessitent de bien connaître leurs propriétés physiques. Il n'a été mis en évidence

aucune relation significative entre la salinité, la texture ou ses composantes, le pH, le taux de sodium échangeable, et les résultats de plusieurs centaines de mesures de vitesse d'infiltration et de perméabilité effectuées sur le terrain. Bien que beaucoup de valeurs soient faibles (fig. 5), la plupart sont compatibles avec les pratiques culturales et l'irrigation. Les plus faibles valeurs de perméabilité (5 à 10 % des cas, dispersés dans la vallée) posent toutefois des problèmes pour la mise en valeur, avec des risques graves d'asphyxie et de création de nappes perchées temporaires.

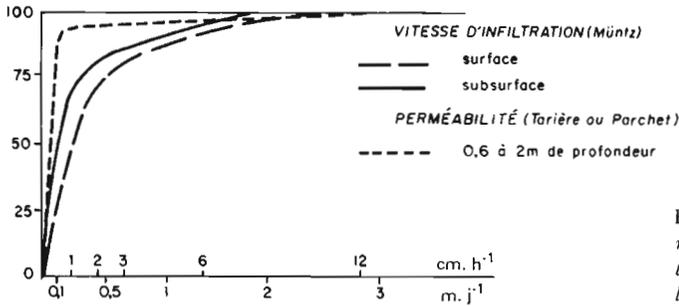


FIGURE 5 - Résultats des mesures hydrodynamiques de terrain (fréquences cumulées).

Les eaux

QUALITÉ DES EAUX

À leur entrée dans la basse vallée, les eaux de l'Euphrate ont un faciès bien équilibré avec une tendance bicarbonatée calcique. À l'aval, elles sont un peu plus sodiques et même un peu chlorurées. Leur conductivité électrique passe en moyenne annuelle de 0,7 à 0,8 dS.m⁻¹, ce qui correspond à des charges de sels dissous de 0,47 à 0,53 g.l⁻¹. Leur SAR (*Sodium Adsorption Ratio* = $\frac{Na}{\sqrt{[Ca + Mg]}}$, avec Na, Ca, Mg en mé.l⁻¹) passe de 0,7 à 1,4 suivant la date et le point de prélèvement. Ces eaux sont donc d'excellente qualité pour l'irrigation.

La conductivité électrique des eaux de la nappe alluviale varie de 1 à 10 dS.m⁻¹, dans les alluvions récentes, et de 4 à plus de 130 dS.m⁻¹, dans les zones les plus salées des alluvions subrécentes. Leur SAR atteint des valeurs très élevées (70). La variation de concentration des ions bicarbonate, calcium et sulfate est différente de celle des ions magnésium, sodium et chlorure. Le faciès des eaux de la nappe évolue avec leur concentration (fig. 6), en passant de sulfaté calcique à sulfaté sodique pour devenir chloruré sodique aux fortes concentrations, où le magnésium prend une place importante.

PIEZOMÉTRIE DE LA NAPPE ALLUVIALE

Bien que l'aquifère de cette nappe soit un système bicouche, il a été vérifié sur plusieurs couples de piézomètres que les niveaux piézométriques dans les 2 couches sont pratiquement identiques en régime non perturbé. Un décalage de plusieurs décimètres au moment des apports et des pompages se résorbe en quelques jours. La nappe du cailloutis se comporte comme une nappe libre à débit retardé. La profondeur de la

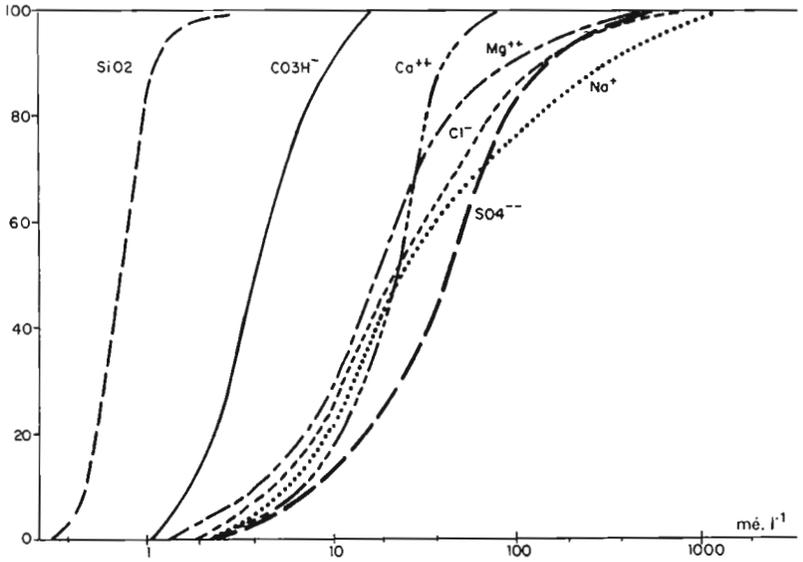


FIGURE 6 - Concentration des ions dans les eaux de nappe (fréquences cumulées).

nappe alluviale varie de moins de 1 m, dans les zones abandonnées, à 1,50 à 2,50 m, dans l'ensemble de la vallée. La nappe est à plus de 4 m de profondeur dans les très grandes zones abandonnées, loin des cultures irriguées (à quelques kilomètres en aval de Deir-ez-Zor, en particulier). La période des hautes eaux de la nappe dépend de l'irrigation du coton, de mai à septembre. L'amplitude annuelle est de l'ordre de 1 m à 1,50 m dans les grandes zones cultivées.

Un bilan de la nappe a été esquissé après plusieurs campagnes de mesures piézométriques et grâce à l'emploi d'un modèle hydrogéologique tridimensionnel. Dans les conditions ordinaires de fonctionnement hydraulique de l'ensemble de la vallée et avec la répartition des cultures en place, le bilan pour la fin des années soixante-dix (en millions de mètres cubes) est le suivant :

- volumes prélevés au fleuve pour l'irrigation, 670 (50m³.s⁻¹) ;
- volumes évapotranspirés par les cultures, 440 ;
- volumes percolés (canaux, parcelles cultivées), 230 ;
- volumes évaporés (mares, sols abandonnés), 60 ;
- volumes internes drainés vers le fleuve, 170.

Les volumes percolés, environ 200 mm par campagne d'irrigation, ont rejoint la nappe dont le niveau s'est élevé en quelques années. Avec un gradient longitudinal très faible et un gradient transversal quasiment nul, le drainage naturel n'a pu être suffisant dans les alluvions subrécentes. Seule une bande de 1 ou 2 km de large, en bordure du talus qui domine les alluvions récentes, se trouve assez bien drainée et ne connaît pas de problèmes de salinité, du moins en surface.

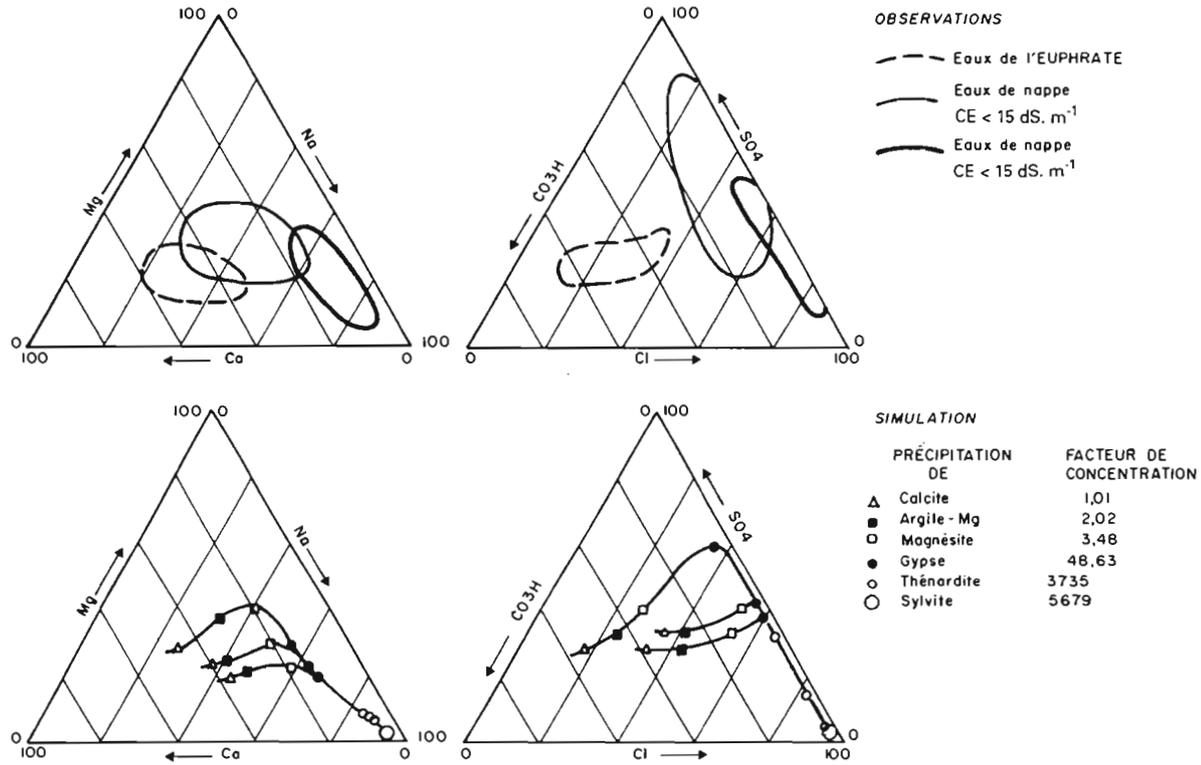


FIGURE 7 - Diagrammes de Piper.

Relations entre les eaux et les sols

FACIÈS DES EAUX DE L'EUPHRATE ET FACIÈS DES EAUX DE NAPPE

L'emploi d'un modèle, qui prévoit l'évolution de la composition chimique d'un système minéraux-solution en cours de concentration, a permis de vérifier que les faciès des eaux des nappes dérivait bien de ceux des eaux de l'Euphrate. Les eaux de nappe de concentration croissante se placent sur les cheminements suivis par la simulation de l'évaporation (fig. 7).

SALINITÉ DES NAPPES ET SALINITÉ DES SOLS

Quelle que soit la profondeur de la nappe, il n'existe pas de relation entre la salinité des sols en surface et la salinité de la nappe. Une seule corrélation a été trouvée entre la salinité de la nappe et la salinité du sol imprégné par la nappe :

$$CE_{\text{eau}} = 1,4 CE_{\text{e}} + 2$$

où :

$$r^2 = 0,75.$$

POUR UN BILAN DES SELS DANS LES ALLUVIONS HOLOCÈNES

La salinité initiale du sol constitue le point le plus mal connu dans cette tentative de bilan. En dehors de certaines zones peu étendues, qui reçoivent des apports latéraux, cette salinité peut être considérée comme égale à celle des zones actuellement non salées. Pendant que les superficies abandonnées s'accroissaient, leur salinité devenait plus élevée. La salinité de la nappe a augmenté en même temps que son niveau se rapprochait de la surface. Pour être complet, un bilan des sels nécessiterait une bonne connaissance de la salinité des couches profondes. À partir des données du début des années soixante, de 1975-76 et de 1983-84, l'élévation du stock de sels peut être estimée à 250 kilotonnes (kt) par an, pour l'ensemble de la basse vallée de l'Euphrate. Ce chiffre est à rapprocher des apports par les eaux d'irrigation, soit environ 350 kt (kilotonnes) par an. Le drainage naturel, de l'ordre de 100 kt par an, évacuerait moins du tiers des sels apportés par l'irrigation.

LES POSSIBILITÉS DE PORTER REMÈDE À LA SITUATION SUR LES ALLUVIONS SUBRÉCENTES

Les effets néfastes de la salinisation, très rapidement apparus après la mise en irrigation, continuent à évoluer et à s'aggraver depuis les premiers diagnostics.

Évaluation globale de la situation

Les points suivants doivent être pris en considération :

- la salinisation s'est développée parce que le drainage naturel n'a pas pu évacuer les sels apportés par l'eau d'irrigation, dont la qualité est pourtant bonne ;
- les excès d'eaux proviennent en grande partie des fuites importantes du réseau d'irrigation. La réfection de la totalité des canaux est donc nécessaire, en les modernisant.

sant. Le système d'irrigation gravitaire peut être conservé, bien qu'il implique des pertes abondantes par percolation ;

- la salinisation est de type neutre, sans élévation du pH et sans alcalisation particulièrement nocive. Des parcelles abandonnées, aussi bien par suite d'insuffisance dans l'amenée d'eau que par suite de forte salinisation, ont pu être remises en culture sans grande difficulté ; en effet, 10 à 25 % des terres abandonnées en 1976 étaient retrouvées en culture en 1984 ;

- le drainage général des zones salinisées est possible par la technique du drainage en grand, qui utilise la présence des graviers en profondeur. Il est cependant difficile sur des terres dont les propriétés hydrodynamiques sont peu favorables dans l'ensemble, et qui ont été vraisemblablement altérées par la salinisation ;

- une ressource en eau abondante et de bonne qualité existe dans toute la vallée. Elle peut être mobilisée assez facilement malgré quelques contraintes techniques ou politiques ;

- les sols cultivables et irrigables sont rares dans les périmètres de l'Euphrate. Les sols du « plateau syrien » sont peu profonds, sableux, gypseux, souvent à encroûtement gypseux. La rareté des terres, la présence d'agriculteurs nombreux et expérimentés ainsi que le besoin impérieux de produire des denrées vivrières et industrielles imposent d'utiliser toutes les ressources en sols même si leurs potentialités ne sont pas les meilleures. La vallée de l'Euphrate reste un lieu propice pour l'agriculture.

Problème du drainage

Un bon drainage est un préalable indispensable pour une agriculture irriguée rationnellement. Le drainage est aussi indispensable pour la récupération des terres abandonnées par lessivage des sels préalablement à leur mise en culture. Il est recommandé que le drainage soit aussi profond que possible pour diminuer le risque de salinisation sous climat aride. En Iraq, une loi impose de drainer à 2 m pour cette raison.

2 systèmes de drainage peuvent être envisagés :

- drainage agricole classique par drains enterrés, fossés et collecteurs ;
- drainage en grand, qui tire parti de la disposition bicouche limons sur graviers de la vallée.

DRAINAGE AGRICOLE

Les drains enterrés doivent être serrés et placés profondément. La faible pente de la vallée impose des collecteurs de grande dimension et des stations de relèvement nombreuses et importantes. L'ensemble est très onéreux et son fonctionnement sans doute aléatoire. La seule expérience locale est celle de la ferme de Beni-Taghleb à proximité de Deir-ez-Zor, où la nappe est drainée par des collecteurs creusés jusqu'au sommet du gravier qui se trouve être peu profond dans cette partie de la vallée. L'écartement des drains, tous situés au-dessus, ne joue aucun rôle. La solution du drainage agricole n'est à retenir que lorsqu'il n'y en a pas d'autre possible.

DRAINAGE EN GRAND

La disposition bicouche des sédiments est favorable au drainage en grand, ou drainage vertical : les limons sont drainés verticalement pendant que les alluvions caillouteuses ou sableuses servent à transférer l'eau vers des collecteurs profonds ou vers des pompes qui la rejettent dans un réseau d'évacuation de surface peu onéreux.

Ce système fonctionne convenablement en Californie, en Ouzbékistan, dans la Steppe de la Faim, où le matériel grossier est peu profond, et aussi au Pakistan, dans la plaine de l'Indus, où les sables drainants sont assez profonds.

La couche de graviers qui assure le drainage horizontal doit être continue, ce qui est le cas en basse vallée de l'Euphrate, mais elle doit aussi être assez épaisse pour que les pompes prévues fonctionnent normalement, ce qui n'est pas partout le cas ; le recours au drainage agricole est alors nécessaire.

Il faut que le limon permette le transit de l'eau de percolation dans les conditions de la mise en valeur. Les essais de pompage et les études sur modèle ont montré que le drainage vertical s'effectue bien, même pour les limons à très forte résistance hydraulique.

Du point de vue technologique, les forages doivent être très bien exécutés et surtout bien développés pour donner les débits attendus.

Ce système de drainage a été retenu pour les alluvions subrécentes car il peut être installé de manière évolutive, ce qui est pratiquement impossible avec le drainage agricole. Comme il est souhaitable d'intervenir rapidement, l'équipement a pu être prévu en 2 phases :

- dans les conditions actuelles, il faut abaisser la nappe au-dessous d'une profondeur critique - on a retenu 2,50 m - de façon à réduire la concentration des sels dans la couche superficielle des sols. Dans le bilan de la nappe (*cf. supra*), les volumes évaporés sont pompés et les volumes internes drainés vers le fleuve sont un peu réduits. Selon les conditions locales reconnues au moment de l'installation, et après passage au modèle hydrodynamique, un forage pour 200 à 300 ha est suffisant ;

- dans les conditions futures d'irrigation rationnelle, les volumes d'eaux mis en œuvre seront sensiblement augmentés. Les volumes prélevés au fleuve devront être plus que doublés et les volumes à rejeter par pompage devront être multipliés par 4. Un forage pour chaque centaine d'hectares sera nécessaire. Ces forages pourront être installés au fur et à mesure de la modernisation de l'irrigation.

Problème du lessivage des sels des terres abandonnées

Sous climat aride, l'élimination des sels par lessivage intensif préalable est nécessaire pour remettre les terres en culture. La salinité de la couche supérieure du sol doit être ramenée à moins de 6 à 8 dS.m⁻¹ dans l'extrait de pâte saturée pour permettre l'installation des cultures.

En dehors des remises en culture non contrôlées de parcelles abandonnées par les agriculteurs, un seul essai de lessivage contrôlé avait été réalisé sur la ferme de Beni-Taghleb. Une submersion avec apport en continu de 870 mm en trois semaines avait bien dessalé un sol dont la conductivité initiale était supérieure à 150 dS.m⁻¹ dans la couche superficielle. Mais cette parcelle, assez perméable, n'est pas représentative des alluvions subrécentes. Le besoin d'estimer les quantités d'eau nécessaires au lessivage des sels imposait des investigations supplémentaires. Des tests de lessivage, avec des doses croissantes, ont été pratiqués sur plusieurs sites caractéristiques. Ils ont vérifié plusieurs hypothèses :

- l'aptitude des sols au lessivage ne dépend pas vraiment de leur richesse en sels solubles mais bien davantage de leur comportement hydrodynamique ;
- l'efficacité de l'eau de lessivage est meilleure avec des apports fractionnés qu'avec des apports massifs continus, comme on les pratique en Iraq.

Bien que la vitesse d'infiltration diminue sous des apports de longue durée, il n'a pas été observé de colmatage susceptible de remettre en cause le lessivage intensif. Le

gypse est assez abondant à proximité pour être utilisé en cas de besoin, dans des conditions pratiques encore à déterminer. Le calendrier des opérations de lessivage a été préparé en tenant compte des possibilités du système de drainage et des futurs réseaux d'irrigation.

Problème de la salinisation de l'Euphrate

L'évacuation des eaux de drainage n'est possible que dans le fleuve. Il y a lieu de craindre que le rejet d'eaux en grande quantité, et plus ou moins chargées en sels, augmente sensiblement la salinité de l'Euphrate. Le drainage en grand va entraîner un renouvellement de la nappe dans les limons et dans le cailloutis plus complet et plus rapide qu'un drainage agricole. L'incidence des rejets sur la salinité du fleuve dépend de la vitesse des équipements de drainage et de la modernisation de l'irrigation. Différents calculs et des simulations relatives à plusieurs hypothèses d'équipement ont montré qu'une augmentation durable de salinité de l'Euphrate pouvait se produire. Elle serait inférieure à $0,1 \text{ dS.m}^{-1}$, donc sans effets particulièrement nocifs pour l'aval. Toutefois, des pointes temporaires qui atteindraient $0,25 \text{ dS.m}^{-1}$ et qui correspondraient à des phases de lessivage intensif, sont possibles. Elles peuvent et elles doivent être programmées en dehors des périodes d'irrigation intensive.

Problème du choix des cultures

Les cultures pratiquées jusqu'à maintenant seront maintenues en raison de leur résistance au sel et de leur bon comportement dans le pays. Les cultures fourragères seront développées de façon à accroître l'élevage. La culture du riz n'a pas été retenue, faute d'infrastructures en Syrie, bien que ce pays en consomme de grandes quantités.

Le maintien de l'agriculture sur les alluvions subrécentes et leur remise en production dépendent avant tout de la réussite du drainage, qui doit être installé dans toute la vallée et dans les plus brefs délais. La première phase d'équipement de drainage s'achève en rive droite. La rationalisation de l'irrigation, moins primordiale bien que très importante, peut être quelque peu différée. Elle n'est pratiquement pas encore commencée.

Les autorités du pays, qui ont tardé à prendre conscience de la gravité de la situation de l'agriculture dans la vallée de l'Euphrate, recherchent maintenant les moyens financiers, matériels et sociaux nécessaires pour mettre en œuvre les solutions techniques qu'elles ont approuvées. Les besoins sont énormes et ne peuvent être réunis que grâce à une importante aide internationale désireuse d'aider la Syrie, dont les ressources sont par ailleurs limitées.

La situation est très diversement ressentie par les habitants des villages ; certains quittent l'agriculture pour les banlieues de Deir-ez-Zor, Alep et Damas, alors que d'autres, très nombreux, améliorent leurs habitations et construisent en dur, pour rester.

CONCLUSION

La salinisation des terres en basse vallée de l'Euphrate est une véritable calamité par sa rapidité et son extension. Environ la moitié des terres mises en culture, depuis une trentaine d'années, est concernée et une très grande partie a été abandonnée.

Les études de diagnostic et de projets ont mis en évidence les difficultés à surmonter pour stopper l'extension de la salinisation et pour rendre à l'agriculture des sols qui ont été dégradés par ce phénomène extrêmement grave en zones arides.

Les connaissances et les références locales et/ou internationales laissent place à beaucoup d'incertitudes et d'imprécisions dans le choix des techniques de mise en valeur.

Le choix du système de drainage a été tout particulièrement délicat. Le drainage de type agricole classique par drains enterrés, très onéreux et aux résultats très certainement aléatoires, ne pouvait pas être retenu sur des superficies aussi importantes. Le drainage vertical, par pompage dans les cailloutis en profondeur, met en oeuvre des techniques d'étude et de réalisation dont la maîtrise est assez difficile ; il a paru le plus apte pour résoudre le problème.

Des recherches sont nécessaires à la fois pour la compréhension des mécanismes et pour une application immédiate dans le domaine de l'hydrodynamique des sols affectés par la salinisation. Les études classiques de sols, avec leurs descriptions et leurs classifications, sont insuffisantes pour orienter les choix technologiques de mise en valeur dans les milieux salins. En fait, le lessivage des sels dépend assez peu des quantités de sels à éliminer et beaucoup des propriétés physiques des sols, héritées de la sédimentation et de la salinisation. Leur appréciation passe par des mesures complexes et ponctuelles qui, malheureusement, ne permettent pas de très bien choisir ni de justifier tous les travaux de mise en valeur à effectuer. Les résultats des modèles actuels, hydrodynamiques, chimiques ou hydriques, doivent être utilisés avec la plus grande prudence, sans perdre de vue qu'ils dépendent de la valeur des données utilisées.

Un des principaux enseignements de la basse vallée de l'Euphrate est sans doute qu'il est très difficile et très onéreux de lutter contre la salinisation lorsque les dégâts qu'elle produit sont constatés. Cette situation fait regretter de ne pas avoir cherché, dès la mise en culture, à se prémunir contre ce fléau des régions arides.

G. BOUTEYRE : *pédologue*,
ORSTOM, 911 av. Agropolis, BP 5045, 34032 Montpellier cedex 1
En service détaché au Gersar jusqu'en 1987

BIBLIOGRAPHIE

- ARAR (A.), 1981. - Irrigation and drainage in relation to salinity and waterlogging and optimum crop production. International course on water planning in arid and semi-arid zones. Acsad. Cefigre. Sophia Antipolis. 27 p.
- AYERS (R. S.) et WESTCOT (D. W.), 1985. - Water quality for Agriculture. FAO. *Irrigation and Drainage Paper*, n° 29, Revised 1.
- BOUMANS (J. H.), HULSBOS (W. C.), LINDENBERG (H. L. J.) et VAN DER SLUIS (P. M.), 1963. - Reclamation of salt affected soils in IRAQ. Soil hydrological and agricultural Studies. Dieleman editor. Wageningen, 173 p.
- DEFFONTAINES (G.), 1985. - Recherche de corrélations entre les résultats des mesures hydrodynamiques de terrain et les caractères du sol. Application aux sols de la Basse Vallée de l'Euphrate (Syrie). USTL Montpellier, BRL Nîmes, 46 p + annexes.
- DOSSO (M.), 1980. - Géochimie des sols salés et des eaux d'irrigation. Aménagement de la Basse Vallée de l'Euphrate, en Syrie. Gersar. Université Paul-Sabatier, Toulouse. 181 p.

- EREMENKO (G.), GVOZDEV (V. P.), JUBBOORI (S. A.) et JOWAD (S. N.), 1978. - Leaching requirements for salt-affected lands in the Central Iraq. State Organization for Soils and Land Reclamation. Abu-Ghraib. Iraq. *Technical Bulletin* n° 58, 72 p.
- FINET (A.), 1983. - Le code de Hammurapi, 2^e édition, *Littératures anciennes de Proche-Orient*, le Cerf, 156 p.
- GERSAR, 1985. - Development of the Lower Euphrates Valley. Evolution of the Salinity of the Euphrates. Reminder of previous studies. 10 p + appendix. (*Rapport inédit*).
- GERSAR-SCET, 1976. - Development of the Lower Euphrates Valley. General Preliminary Project. Vol. A. Present Situation and Basic Improvement Data. Vol. B. Development Programme and Improvement Schemes. General Administration for the Development of the Euphrates Basin. Ministry of the Euphrates Dam. Syrian Arab Republic. 194 p. + 20p. + cartes au 1/50 000 + annexes.
- GERSAR-SCET, 1977-1981. - Development of the Lower Euphrates Valley. Technical reports : Zone 1, Zone 2, Zone 3. General Administration for the Development of the Euphrates Basin. Ministry of the Euphrates Dam. Syrian Arab Republic. 250 p + 247 p + 259 p + Cartes au 1/25 000 et au 1/50 000 + annexes.
- GERSAR-SCET, 1987. - Development of the Lower Euphrates Valley. Irrigation and Drainage Project. Zone 1. Sectors 3, 5, 7. Detailed Design. Detailed Soil Survey. R2A Text, R2B Land Reclamation. General Organization for Land Development. Ministry of Irrigation. Syrian Arab Republic. 145 p. + 116 p. + 128 p. + 55 p. + cartes au 1/5 000 + annexes.
- MÉTRAL (F.), 1987. - Périmètres irrigués d'État sur l'Euphrate Syrien : Modèles de gestion et politique agricole. L'homme et l'eau en Méditerranée et au Proche-Orient. T. IV. L'eau dans l'Agriculture. Maison de l'Orient : 111-145.
- PARROT (A.), 1974. - Mari, Capitale fabuleuse. Payot, 217 p.
- PLANCHON (O.), 1983. - Contribution à l'étude méthodologique des tests de lessivage des sols salés. Application aux sols de la Basse Vallée de l'Euphrate (Syrie). Ensa Montpellier, BRL (Compagnie nationale d'aménagement de la région du Bas-Rhone-Languedoc) Nîmes. 72 p + annexes.
- TAHER (M.R.M.), 1987. - L'évolution de la salinité sur sol cultivé par irrigation. Périmètre de la Basse Vallée de l'Euphrate (Syrie). Thèse 3^e cycle. Université de Paris.
- TARDY (Y.) et DOSSO (M.), 1976. - Composition chimique des eaux de la Basse Vallée de l'Euphrate. Programme de simulation de l'évolution de la composition chimique d'un système minéraux-solution par dissolution ou par évaporation. Rapport Gersar *inédit*, 64 p.