

POSSIBILITÉS D'UTILISATION DES EFFLUENTS D'EAUX RÉSIDUAIRES POUR L'IRRIGATION DES PLANTES FOURRAGÈRES

LES EAUX USÉES ONT ÉTÉ CONSIDÉRÉES LONGTEMPS COMME UN DÉCHET À ÉLIMINER AU MOINDRE MAL. LES SYSTÈMES D'ÉPANDAGE ORGANISÉS DE BERLIN, PUIS DE PARIS, ONT constitué, vers la fin du XIX^e siècle, le premier pas vers une utilisation du sol comme système épurateur. Depuis, la nécessité de protéger l'environnement fut à l'origine d'études multiples qui débouchèrent progressivement sur des règles d'utilisation de mieux en mieux précisées qu'autrefois.

Mais, à côté de cet objectif d'épuration économique par le sol, il est apparu, dès le début du XX^e siècle, dans certains pays à climat aride, que l'épandage pouvait aussi présenter l'intérêt d'apporter de l'eau et de permettre l'irrigation de certaines cultures. Les premières réalisations dans ce sens furent menées en Australie (Melbourne), puis aux U.S.A. (Colorado, Texas, Californie, STEVENS, 1972), plus tard en Israël, à Malte (F.A.O., 1969), en U.R.S.S. (Bassin du Don, environs de Kiev, X., 1972)...

Progressivement, l'intérêt pour les eaux résiduaires a gagné les régions subhumides. L'irrigation de complément qu'elles permettent en été et les éléments fertilisants qu'elles apportent peuvent faciliter la mise en valeur de terrains peu productifs : ainsi furent-elles utilisées sur forêts, en Pennsylvanie (STEVENS, 1972), sur sols sableux très pauvres en Pologne (F.A.O., 1969), en Allemagne (O.C.D.E., 1969), sur les sols podzoliques des environs de Moscou (X., 1972)...

Depuis plus de quinze ans, aux U.S.A. et plus récemment ailleurs, le traitement et la récupération des eaux urbaines tendent à être raisonnés ensemble et à faire l'objet de projets et de réalisations intégrés. Un exemple type est celui du Comté de Muskégon qui combine l'épuration d'une région de 50.000 ha et 140.000 habitants et la mise en valeur de 4.500 ha de terres agricoles (DEMIRJIAN, 1975). Ailleurs, l'objectif de l'irrigation peut être exclusivement agricole (Floride, Californie...) ou associer l'agriculture et les besoins touristiques (gazon du Golden Gate Park à San Francisco) et résoudre des problèmes de sécurité contre l'incendie... (STEVENS, 1972).

A l'opposé de ces réalisations intégrées collectives très importantes, se situe l'utilisation sur une exploitation des effluents de petites communes rurales ou d'industries agro-alimentaires.

Cependant, de par leur composition, ces eaux imposent, vis-à-vis de l'agriculture, certaines contraintes et limites d'utilisation que nous allons préciser dans les pages qui viennent.

QUELQUES DÉFINITIONS ET DONNÉES SUR LES EAUX RÉSIDUAIRES

1) Les différents types d'eaux résiduaires.

Les eaux résiduaires peuvent avoir des origines très diverses : eaux domestiques et urbaines contenant plus ou moins de rejets industriels ou d'élevage, eaux industrielles de type agro-alimentaire ou chimique ou métallurgique, etc. Tous les mélanges et toutes les dilutions sont possibles.

Toutes ces *eaux brutes* peuvent être également différemment traitées avant leur rejet. Ce sont alors des *effluents d'épuration* :

- *primaire*, lorsqu'il y a simple dégrillage et décantation ;
- *secondaire* après traitement physico-chimique ou, plus souvent, biologique par boues activées ou lagunage ;
- *tertiaire*, après traitement complémentaire, chimique ou bactériologique.

2) Critères de pollution et d'utilisation agricole.

Un effluent est caractérisé par un certain nombre de critères qui servent au calcul de la *taxe de pollution* :

- les matières en suspension (en mg/l),
- la DBO₅ ou demande biochimique en oxygène en cinq jours (en mg O₂/l),
- la DCO ou demande chimique en oxygène (en mg O₂/l), le rapport DBO₅/DCO constituant alors un test de bio-dégradabilité,
- les toxiques et substances indésirables (évaluées par un test global de toxicité biologique),
- et, dans le cas particulier de zone à protéger, l'azote total.

Les autres éléments ne sont pas pris en considération, du moins en l'état actuel de la réglementation.

Dans un objectif d'utilisation agricole, les critères de pollution organique deviennent secondaire. En revanche, il convient d'attacher une importance particulière :

- aux risques sanitaires pour l'homme, les animaux et les plantes ;
- aux éléments chimiques dont l'effet peut être bénéfique ou, au contraire, défavorable aux sols et aux cultures.

3) Aspects sanitaires.

L'utilisation d'eaux résiduaire pour l'irrigation des cultures ne constitue pas, en soi, du moins à notre connaissance, une source de contamination spécifique qui handicape le développement des plantes elles-mêmes. Tout au plus, peut-on penser aux dangers des excès d'humidité, accusés par la présence de matière organique fermentescible et qui sont à l'origine du développement de divers parasites et pathogènes végétaux.

Les risques de contamination sont, par contre, évidents pour l'homme et les animaux, du moins à partir des eaux domestiques et des effluents d'élevage ou d'abattoirs.

a) *Les eaux domestiques :*

Les *eaux domestiques brutes* contiennent de nombreux micro-organismes (salmonella, shigella, virus, mycobactéries) et parasites (ténia, ascaris, douve...). Les *effluents d'épuration biologique* sont, en revanche, déjà beaucoup moins dangereux : les boues activées élimineraient au moins 90 % des bactéries, virus et parasites (POUNDS, CRITES, 1976) mais ce taux est moindre si les décantations se font mal dans la station d'épuration.

Des traitements complémentaires de désinfection sont possibles :

- *avec le chlore* : 99,9 % des bactéries et virus sont éliminés (POUNDS, CRITES, 1973). Mais si les salmonella et shigella sont assez facilement détruites, d'autres bactéries (bacilles tuberculeux) et les œufs de parasites sont très résistants. L'efficacité du traitement est, de toute façon, subordonnée à l'état de l'effluent (pH, matière organique, matières en suspension, etc.), c'est-à-dire à la conception et au fonctionnement du système d'épuration secondaire (E.N.S.P., 1977). La conduite de la chloration, d'un coût déjà non négligeable, reste difficile et n'apporte pas, de toute façon, la garantie absolue d'une stérilisation ;
- *l'ozone* serait plus efficace que le chlore mais son utilisation, encore beaucoup plus coûteuse, n'est pas envisagée pour un objectif agricole ;
- *le lagunage simple* permet un complément très intéressant d'épuration naturelle, surtout en période chaude et ensoleillée ;
- *le sol* lui-même assure, par son contact, une élimination rapide des bactéries. Par contre, on connaît mal la durée et les conditions de survie des parasites ; certains éléments parasitaires semblent pouvoir rester infectants après plus d'un mois de séjour dans le sol (œufs d'ascaris). On connaît mal, également, les distances possibles de transfert des virus jusqu'aux nappes aquifères ;
- *l'air* peut être un agent de transmission des contaminations sous forme d'aérosols au voisinage des irrigations par aspersion.

b) *Les effluents d'élevages et d'abattoirs :*

Les égouts et ruissellements non contrôlés constituent une source de contamination certaine. Les risques de transmission de micro-organismes et parasites sont, en revanche, considérablement diminués par le stockage des

lisiers et la fermentation des fumiers. Une désinfection complémentaire des lisiers par le xylène est possible contre certaines bactéries (PLÖMMET et al.) et certains parasites (*F. hepatica*) (HUBERT et al., 1976). Cependant, certains germes comme le *clostridium* et des formes spécifiques à certaines espèces animales comme les coccidies peuvent persister dans les eaux et le sol (STRAUCH, 1976) ; on connaît mal le devenir des oocystes de coccidies dans les stations d'épuration (YVORE, comm. personnelle). A la limite, les effluents peuvent contaminer directement des animaux pâturant dans les herbages en bordure d'épandages en cours par aérospersion. Les étables à brucellose semblent pouvoir également rendre dangereux les effluents des laiteries concernées, surtout s'ils sont épandus bruts.

c) *Conséquences pratiques :*

Bien qu'une longue expérience ait montré, dans certains pays, l'innocuité des effluents utilisés en agriculture (GARCZINSKI, 1974), le risque sanitaire, tout en pouvant être faible à la condition de prendre certaines précautions, n'est jamais absolument nul. L'attitude devant ce risque, si minime puisse-il être, relève finalement d'un choix. Aussi existe-t-il des différences de législation importantes entre pays et assiste-t-on à une évolution rapide de la réglementation dans ce domaine.

En U.R.S.S. et dans les pays de l'Est, on admet les effluents domestiques de décantation primaire, mais pour les irrigations exclusivement à la raie, jusqu'à une date très antérieure à la récolte et à l'exception de celles destinées à des légumes à consommer crus. Pour les plantes fourragères (chou), le dernier arrosage doit être fait à l'eau propre.

Aux U.S.A., on n'a recours, sauf exception, qu'à des effluents d'épuration biologique, largement utilisés pour l'irrigation du coton, du blé, du sorgho... Ils sont cependant également interdits sur légumes destinés à être consommés crus et sur herbages réservés aux laitières. L'irrigation doit être faite à la raie sous fruitiers. Un traitement au chlore est obligatoire pour les usages collectifs (lacs artificiels, gazons des parcs de loisirs, réserves contre l'incendie...) (CANTRELL et al., 1968).

En Israël, les effluents des bassins d'oxydation sont autorisés pour les cultures industrielles, les plantes à graines, les vergers...

L'Allemagne semble être le pays le plus strict. Les aérosols ne sont pas permis au voisinage des lieux d'habitation, des vergers et des pâturages.

On tend à n'utiliser que des effluents chlorés. Les irrigations ne sont pas admises au-dessus des nappes destinées à l'alimentation humaine. Ailleurs, et sur prairie, elles doivent cesser quatorze jours avant la mise en pâture ou la récolte de l'herbe...

En France, l'épandage d'eaux résiduaires épurées ou non sur des sols agricoles est soumis à autorisation ou agrément ; il fait donc toujours l'objet d'une étude préalable particulière dans laquelle il est étroitement tenu compte du niveau du risque couru en fonction du type d'effluent, de sa destination et de l'environnement.

Les vétérinaires attirent l'attention sur le danger de transmission à l'homme des parasites de type ténia inerme dont le cycle passe par le bovin (cysticercose) : les œufs passent à travers les mauvaises décantations des stations d'épuration et résistent aux chlorations ultérieures (GUILHON, 1975). Quels que soient le parasite et son hôte, le danger se situe surtout lors de l'ingestion d'une herbe fraîche, contaminée au pâturage ; il est probablement nul avec les fourrages conservés. Il est faible, même au pâturage, si l'arrosage à l'effluent est intervenu avant la repousse du cycle. Rappelons enfin qu'il est possible seulement à partir d'eaux contaminées, or les sources d'épidémies ou de parasitismes sont peut-être plus faciles à connaître dans le secteur animal qu'en ce qui concerne l'homme.

En résumé, il semble prudent de ne pas utiliser, pendant l'été, sur des pâturages, des effluents non désinfectés d'eaux domestiques ou d'élevages ou d'abattoirs, ni même de laiteries en cas de brucellose possible.

Ces mêmes effluents sont pratiquement et raisonnablement sans danger pour les autres utilisations fourragères, plantes annuelles et prairies de fauche. Si des pâturages voisins ne sont pas protégés par des haies d'arbres, le système d'irrigation ne doit pas être l'aspersion.

Les effluents d'industries agro-alimentaires autres que ceux des laiteries signalées ci-dessus peuvent être utilisés sans danger sous cet aspect sanitaire. En revanche, ils posent d'autres problèmes que nous allons maintenant envisager.

4) Aspects physico-chimiques.

On trouvera aux tableaux I et II quelques données sur la composition des différents types d'effluents.

a) *Éléments favorables à l'agriculture :*

Les eaux résiduaires contiennent, en des quantités variables, des *éléments fertilisants*, azote, acide phosphorique et potasse. Elles peuvent donc contribuer à subvenir aux besoins des plantes. Il convient naturellement de connaître les quantités susceptibles d'être apportées par l'eau et, éventuellement, de rectifier les équilibres. Lorsqu'on souhaite valoriser au mieux l'acide phos-

TABEAU I
CARACTÉRISTIQUES DE QUELQUES EAUX RÉSIDUAIRES
D'INDUSTRIES AGRO-ALIMENTAIRES

	<i>Conserverie fruits</i>	<i>Conserverie légumes</i>	<i>Sucreries (1)</i>	<i>Féculeries</i>	<i>Laiteries</i>
Volume (m ³ /t traitée)	1-15	7-36	1-10	5	5
Débit journalier (m ³)		400-2.100			
pH	5,8-7,5	6,1-10,7	4,6-7,5	5,0-6,5	3,1-11,1
MeS (mg/l)	40-1.100	15-1.000	0-300	3.000-5.000	
DBO ₅ (mg/l)	250-2.800	35-1.400	30-10.000	3.000-5.000	
DCO (mg/l)	? -3.000	70-3.400	100-15.000	15.000-30.000	300-7.300
N total (mg/l)	15-55	3-70	90-4.000	250-1.500	15-50
P (mg/l)	0-60	0,3-20	5-1.800	250-600	5-200
K (mg/l)	25-230	20-175	160-1.600	1.300-3.000	0-220
Na (mg/l)	15-285	12-300	50-3.000	15-90	30-2.500
Conductivité (mmhos/cm)	0,4-2,2 ?	0,8-3,2	1.6-60	7,0-13	0,8-16,0

Chiffres tirés de MAUGENET et al., 1970 ; IRCHA, Ministère de l'Agriculture, DIAA, 1970. BALLAY, 1972 ; MORIZOT GRAS, 1974 ; IRCHA Commission Communauté Européenne, 1975.

(1) Les chiffres les plus élevés correspondent aux vinasses de mélasse, les plus faibles, aux simples eaux de lavage des betteraves.

TABEAU II
CARACTÉRISTIQUES D'EFFLUENTS D'EAUX DOMESTIQUES

	<i>Effluents d'épuration</i>	
	<i>Primaire</i>	<i>Secondaire (boues activées)</i>
Volumes : 80 à 180 l/hab./jour		
Matières en suspension (mg/l)	1,60	
pH	6,9-7,2	6,9-7,2
Conductivité (mmhos/cm)		0,3-1,4
DBO ₅ (mg/l)	180-300	< 40
DCO (mg/l)	→ 570	< 80
Azote total (mg/l)	50-65	< 15-20
Azote ammoniacal (mg/l)	30-55	6-10
Azote nitrique (mg/l)	0-1	0-20
P (mg/l)	10-30	< 15
K (mg/l)	10-30	10-30
Na (mg/l)	200-400	< 300
Chlore-Cl (mg/l)	100-500	70-300
SAR		3,0-7,0
Bore B (mg/l)		< 0,2

phorique, il peut être nécessaire d'apporter un complément d'engrais azoté. A l'inverse, des eaux très riches en azote demandent à ne pas être utilisées à des doses très supérieures aux exportations par les récoltes.

La prairie constitue, à cet égard, le meilleur type de couverture du sol pour la régularité de ses besoins dans le temps et le niveau de ses exportations globales.

Les oligo-éléments sont, en général, à de très faibles concentrations dans les effluents, inférieures aux standards admis aux U.S.A. pour les eaux d'irrigation. Ces faibles concentrations sont d'ailleurs l'indice du bon fonctionnement d'une station d'épuration, les métaux étant concentrés dans les boues (JUSTE, 1976).

b) *Eléments défavorables :*

1. *Sels solubles.*

Les sels dans le sol :

La présence de sels dissous dans la solution du sol augmente la pression osmotique de celle-ci et, par là, la pression de succion que la plante a à développer pour absorber l'eau du sol. Cette pression osmotique de la solution du sol est en relation directe avec la conductivité, elle-même en rapport avec la concentration totale en sels.

$$P.O. = K_1 L$$

$$[C] = K_2 L$$

avec

P.O. pression osmotique, en bars

L conductivité, en mmhos/cm à 25 °C

[C] concentration en sels, en meq/l

Les coefficients de proportionnalité K_1 et K_2 sont spécifiques des différents sels, plus élevés, à concentration équivalente égale, pour les chlorures que pour les sulfates et pour les alcalins que pour les alcalinoterreux.

La solution du sol ayant elle-même une concentration variable avec l'état d'humidité, on caractérise son niveau de salure sur des tests de laboratoire reproductibles, la *conductivité électrique* à 25 °C d'un extrait de sol dans lequel le rapport sol/solution est standardisé. La méthode de référé-

rence fait appel à l'extrait de pâte saturée (humidité voisine de la limite de liquidité) qui intègre les deux facteurs, quantité de sels présents et capacité de rétention en eau (RICHARDS, 1969 ; DURAND, 1973 ; SERVANT, 1976). D'après RICHARDS, la conductivité de cet extrait est, dans la pratique, voisine de celle des eaux de drainage en période d'équilibre.

Résistance des plantes au sel :

C'est par rapport à la résistivité de cet extrait de pâte saturée qu'a été étalonnée par l'École de Riverside, aux U.S.A., l'échelle de résistance aux sels des différentes plantes cultivées. Les plantes à utilisation fourragère, herbes diverses, se situent comme suit :

TABLEAU III
ÉCHELLE DE RÉSISTANCE DES PLANTES A LA SALURE

	<i>Conductivité de l'ES. à 25 °C pour déficit de rendement de 10-15 %</i>
<i>Plantes résistantes :</i>	
Orge	8-12
Bermuda-grass et chiendent	5-8
<i>Plantes moyennement résistantes :</i>	
Céréales autres que l'orge, sorgho, soja, maïs, sudan-grass, tournesol	4-8
Ray-grass anglais, brome inerme, fétuques, lotier, vesce, luzerne, trèfles (blanc, jaune, fraise)	3-6
<i>Plantes sensibles :</i>	
Dactyle, trèfles (violet, incarnat, ladino)	2-3

Ce sont des données américaines qui ne correspondent ni à nos sols ni à nos climats. On peut penser cependant, a priori, que nos cultures fourragères et nos herbages ne font vraisemblablement pas partie des plantes particulièrement résistantes.

Rappelons, en outre, que les plantes jeunes sont plus sensibles au sel que les plantes âgées et que la germination et le stade plantule sont les phases les plus délicates (GOUNY, 1966).

Qualité des eaux d'irrigation et conduite de l'irrigation à l'eau chargée de sels :

En l'absence de drainage, les sels solubles apportés par l'eau d'irrigation restent dans le sol tandis que l'eau est évapotranspirée. On assiste ainsi à une concentration de la solution du sol en fin d'été, d'ailleurs calculable d'après les conditions climatiques prévisionnelles. L'eau d'irrigation doit donc être beaucoup moins chargée que l'extrait de pâte saturée admissible pour la végétation (deux à dix fois moins).

La conductivité maximale possible d'une eau d'irrigation se situe, dans ces conditions, entre 0,25 et 5 mmhos/cm selon la résistance de la plante, ce qui correspond aux quatre classes de qualité d'eau suivantes :

TABLEAU IV

CLASSES DE QUALITÉ DE SALURE DE L'EAU D'IRRIGATION

Qualité de l'eau	Conductivité de l'eau (mmhos/cm)	Sels solubles correspondants estimés en NaCl (mg/l)
I - Excellente	< 0,25	< 160
II - Faible salinité	0,25-0,75	160-500
III - Forte salinité	0,75-2,25	500-1.500
IV - Très forte salinité ...	2,25-5	1.500-3.600

La possibilité de drainage peut freiner l'accumulation des sels : en l'absence de pluies, l'apport d'un excès d'eau d'arrosage par rapport aux besoins des cultures, ETRM — P, élimine l'excès de sels solubles concentrés depuis la fin du drainage.

La dose d'eau supplémentaire à apporter, en l'absence de pluies, dépend d'une part de la charge de l'eau d'irrigation et d'autre part de celle maxima admissible, dans l'extrait de pâte saturée (ou les eaux de drainage) pour la végétation (tableau III, tiré de RICHARDS, 1969).

TABLEAU V

QUANTITÉ D'EAU SUPPLÉMENTAIRE A APPORTER
(en % de la dose d'irrigation)

Conductivité de l'eau d'irrigation (mmhos/cm)	Conductivité maxima admissible des eaux de drainage (en mmhos/cm)		
	4	8	12
0,10	2,5 %	1,2	0,8
0,25	6,2 %	3,1	2,1
0,75	18,8 %	9,4	6,2
2,25	56,2 %	28,1	18,8
5,00		62,5	41,7

Pour les dactyles et les trèfles sensibles, qui correspondraient apparemment à la première colonne de conductivité, les doses supplémentaires d'arrosage se situeraient donc entre 20 et 50 % du déficit à combler avec des eaux assez chargées de la classe III précédemment définie. Les autres plantes fourragères correspondraient, avec les mêmes eaux, à un supplément de 10 à 30 %. Ces chiffres correspondent à des maxima qui ne tiennent pas compte des exportations par les récoltes ni des pluies estivales. L'utilisation de telles eaux suppose toujours que le drainage est possible, qu'il s'agisse d'un drainage naturel ou artificiel. Dans ce dernier cas, on préconiserait un réseau de drains profonds (1,50 m-2 m) à grand écartement (LEMOYNE de FORGES, 1972).

Cet impératif de drainage, même éventuellement artificiel, sous-entend des sols à très bonne perméabilité, d'une structure particulièrement stable à l'eau.

Les quatre classes de qualité d'eau précédemment définies correspondent ainsi à quatre types d'utilisation :

- les eaux de classe I peuvent pratiquement être utilisées en toutes conditions. Ce sont les eaux de composition courante en métropole ;
- les eaux de classe II sont utilisables pour les plantes modérément résistantes aux sels (cas probable des fourrages, hors certains trèfles et dactyles) sans pratique spéciale d'irrigation pourvu qu'un léger lessivage hivernal puisse intervenir ;
- les eaux de classe III sont inutilisables dans les sols à drainage restreint et nécessitent, en cas de bon drainage, des plantes modérément résistantes aux sels et des doses en excès par rapport au déficit climatique ;
- les eaux de classe IV seraient inutilisables sauf cas exceptionnel de sol à très forte perméabilité (et plante résistante). Les doses de lessivage sont élevées.

Il convient de noter que, même aux U.S.A. où ces règles ont été édictées, il n'est pas rare de voir utiliser des eaux contenant 5 et 10 g sel/l sur des sols très perméables et en dehors des périodes de démarrage de la végétation (BERNSTEIN, 1966).

En Tunisie, la luzerne tolère très bien jusqu'à 2 g/l et parfois 5 g, tandis que le maïs, le soja n'admettent pas 1 g/l (EL AMANI, 1976).

Nous confirmons donc ici que les données étrangères en ce domaine mériteraient d'être modulées en fonction de nos sols et de nos climats.

2. Sodium.

Lorsque le sodium tend à remplacer le calcium dans le complexe adsorbant, la structure du sol se dégrade, le sol s'imperméabilise et devient impropre à la culture. Avec un taux de 15 % de Na dans la capacité d'échange de

cations, on est en présence d'un sol sodique. Mais la tendance à une évolution dans ce sens peut se manifester, selon le type de matériau, à partir de 5 ou 10 %.

Le taux de sodium échangeable dans la C.E.C. est en relation avec le SAR ou Sodium Absorption Ratio de la solution du sol

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}}$$

où les cations sont exprimés en meq/l.

A proportions égales de sodium et d'alcalinoterreux dans la solution, le taux de sodium échangeable dans le sol en équilibre avec elles est d'autant plus vite atteint que la concentration en cations totaux est plus forte (RICHARDS, 1969 ; SERVANT, 1976).

Autrement dit, les risques de sodisation du sol dépendent à la fois du SAR de l'eau d'irrigation et de sa conductivité électrique : les quatre classes de qualité de l'eau vis-à-vis du sodium tiennent compte de ces deux critères combinés (RICHARDS, 1969).

TABLEAU VI
CLASSES DE SODICITÉ DE L'EAU D'IRRIGATION

<i>Danger de sodisation</i>	<i>SAR de l'eau d'irrigation dont conductivité (mmhos/cm)</i>			
	< 0,25	0,25-0,75	0,75-2,25	> 2,25
I - Faible	< 8,2	< 6,1	< 4,0	< 2,2
II - Moyen	8,2-15,4	6,1-12,2	4,0-9,0	2,2-6,2
III - Elevé	15,4-22,6	12,2-18,3	9,0-14,0	6,2-10,5
IV - Très élevé	> 22,6	> 18,3	> 14,0	> 10,5

74 A risque égal, le niveau du SAR admissible dans l'eau est d'autant plus bas que celle-ci est plus chargée en sels.

On peut remarquer que la conductivité de l'eau sert de critère de qualité de l'eau à la fois pour les risques de salure et de sodisation : les Américains ont donc établi un diagramme d'interprétation unique de ces deux tests comprenant les seize combinaisons possibles des quatre classes de salinité et des quatre classes de sodicité (figure 1 tirée de SERVANT, 1976) : les risques de salinisation vont croissant de gauche à droite et ceux de sodisation croissant de bas en haut.

Ces données, d'origine américaine, semblent, en ce qui concerne le sodium, ne pas tenir suffisamment compte de la nature du sol, de la dispersabilité de ses colloïdes, c'est-à-dire pratiquement de la nature des argiles et de leur taux, des matières organiques, de la présence éventuelle de calcaire, lui-même plus ou moins facilement soluble... Des correctifs au niveau du sol peuvent également être introduits sous forme de gypse (DURAND, 1973). Il ne semble donc pas souhaitable d'appliquer cette classification américaine sans nuances, mais en l'absence de données mieux adaptées aux conditions françaises, elle reste un guide utile.

3. Bicarbonates.

Les bicarbonates alcalinoterreux ayant tendance à précipiter sous forme de carbonates dans le sol, la proportion relative de sodium peut se trouver augmentée. On est donc amené à définir un autre critère de qualité de l'eau, le carbonate résiduel, égal à :

$$(\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}) \text{ en meq/l.}$$

On admet que l'eau est inutilisable pour l'irrigation si elle contient plus de 2,5 meq/l de carbonate résiduel (RICHARDS, 1969). Les eaux contenant de 1,25 à 2,5 meq/l sont marginales.

Rappelons que, de toute façon, il n'est pas réglementaire d'utiliser pour l'irrigation des eaux de pH < 5,5 ou > 8,5. Exceptionnellement, le pH de 9,5 est le maximum admis en cas de neutralisation préalable à l'eau de chaux.

4. Toxiques.

Certaines eaux industrielles brutes peuvent être très chargées en toxiques et leur utilisation en agriculture n'est pas pensable. En revanche, il semble

que dans les effluents urbains la concentration des toxiques s'est faite dans les boues et seul le bore peut parfois rester en léger excès (JUSTE, 1976). Avant d'utiliser ces eaux pour l'agriculture, il faut donc s'assurer que leur teneur en bore ne dépasse pas 1 mg/l (CHANEY, 1973).

Dans l'ensemble, on dispose de peu de données sur les métaux présents dans les effluents et il semblerait toujours nécessaire de vérifier leur composition.

ÉTUDES PRÉALABLES NÉCESSAIRES A L'ÉTABLISSEMENT D'UN PLAN D'IRRIGATION AVEC DES EAUX USÉES

Les données précédentes laissent entrevoir que l'utilisation des eaux résiduaires pour l'irrigation n'est pas toujours évidente : elle doit être subordonnée à quelques études préalables au niveau de l'eau elle-même, du complexe pédoclimatique et de la culture.

1) Etude de l'eau.

L'eau qu'on envisage d'utiliser doit faire l'objet de recherches de données générales, complétées par des analyses précises.

a) Données générales :

L'origine de l'eau est une indication précieuse sur la possibilité de l'utiliser ou non à des fins agricoles.

Les tableaux I et II donnent quelques exemples types de composition. Globalement, on peut retenir que :

- les *eaux domestiques* rurales n'ont pas de charges très élevées, ni en matières organiques, ni en azote, ni en sels. Elles ne contiennent pas de toxiques (tableau I) ;
- des *effluents d'élevages* y introduisent matières organiques et azote ;
- les *eaux urbaines* sont plus chargées en sels (résines échangeuses) et en phosphore (détergents). Comme on l'a vu précédemment, ce sont ces eaux qui peuvent poser des problèmes d'ordre sanitaire ;

- les *industries chimiques et de synthèse* introduisent des toxiques spécifiques (DEGREMONT, 1972) qui, s'ils ne sont pas éliminés à l'amont, peuvent rendre ces eaux difficilement utilisables ;
- les *industries agro-alimentaires* donnent des eaux extrêmement chargées en matières organiques biodégradables et souvent en sels (tableau II) qui les rendent parfois difficilement utilisables du moins en irrigation d'été. En revanche, elles ne contiennent ni toxiques ni parasites. Parmi ce type d'effluent, ceux issus des industries laitières et des conserveries de légumes sont, en général, les moins concentrés, donc les plus facilement utilisables (sauf laiteries en zone de brucellose).

Notons que lorsqu'on envisage d'utiliser les effluents d'une usine précise, la révision des circuits internes à l'usine peut être négociée avec l'industriel pour faire éliminer les ions gênants pour l'agriculture (Na^+ , NaOH).

b) *Analyses d'eaux :*

Les variations de composition des mêmes types d'effluents rendent impérative l'analyse chimique de l'eau qui doit servir à l'irrigation.

Les analyses *systématiques* comprennent la détermination de la conductivité électrique (ou des sels dissous totaux), les différents anions et cations, avec leur balance ionique, le pH, les carbonates résiduels et l'azote total.

Des analyses *complémentaires* de toxiques et métaux lourds peuvent être souhaitables sur les eaux urbaines.

Il ne paraît pas utile d'envisager des analyses bactériologiques et parasitaires dont la mise en œuvre et l'interprétation sont encore plutôt du domaine de la recherche : l'enquête préalable est préférable.

Les analyses chimiques elles-mêmes ne posent aucun problème. La difficulté peut résider au niveau du prélèvement : les variations de débit et de composition sont telles, au cours des saisons et dans la journée, que des prélèvements moyens proportionnels aux volumes et répétés dans l'année sont nécessaires. Des analyses échelonnées peuvent aider à caractériser les flux et éventuellement à les modifier.

Signalons ici que, dans un objectif d'irrigation, un bassin de stockage sera toujours nécessaire pour tamponner ces variations de débit et de composition. Lorsqu'il est constitué, c'est évidemment dans le bassin stabilisé que les prélèvements doivent être faits.

c) *Interprétation des résultats d'analyses :*

— *Les résultats d'analyses minérales* permettent de définir la classe de qualité de l'eau, ses dangers éventuels de salure et de sodisation. Si leur composition est voisine de celle des eaux habituellement utilisées pour l'irrigation (classes I et II de salinité), elles ne posent aucun problème et sont à utiliser comme elles, le lessivage d'hiver permettant l'élimination du léger excès possible de sels ou de sodium de la classe II. Des eaux plus chargées en sels ou un indice SAR un peu élevé induisent la nécessité de quelques précautions, fonction du climat et du type de sol.

— *Les résultats d'analyses d'éléments fertilisants* permettent de calculer les apports et éventuellement de les compléter ou de les rééquilibrer.

— La teneur en *azote* peut constituer un facteur limitant de la dose d'eau à employer selon les sols et les cultures.

2) **Etude des sols.**

L'utilisation d'une eau de qualité saline III, et a fortiori IV, suppose qu'il puisse y avoir drainage, la dose d'irrigation pouvant dépasser de 20 à 50 % le besoin climatique.

Les sols doivent donc être perméables : leur texture peut être variable mais ils sont obligatoirement d'une structure très stable à l'eau.

L'étude des sols comprend donc les examens classiques de profils, les mesures de rétention en eau et tests d'appréciation de la stabilité structurale, l'état du complexe adsorbant, etc. (HENIN et al., 1969).

A priori, des sols à hydromorphie temporaire, très secs l'été et peu profonds, supporteraient assez mal des irrigations avec des eaux chargées contenant plus de 1 g de sels/l. De même, un SAR élevé est plus dangereux pour un sol de limon battant que pour une argile humifère et calcique. Dans une certaine mesure, un excès de sodicité sur un sol non calcaire pourrait être corrigé par un amendement au gypse.

3) Le climat et la conduite de l'irrigation.

a) Bilan annuel et saisonnier :

Les risques d'accumulation de sels dans le sol en fin d'été sont d'autant plus élevés que le déficit $ETP - P$ est plus important.

Globalement, l'utilisation d'une eau chargée est d'autant plus risquée, toutes choses égales par ailleurs, que le climat est plus aride ou l'année plus sèche.

L'accumulation possible des sels dans le sol peut être calculée à partir des éléments suivants (GOUNY, 1969) :

- les besoins en eau des cultures ($ETRM - P$) ;
- les quantités de sels apportés par l'eau, produit du volume et de la composition ;
- le sol : sa capacité de rétention en eau sur la profondeur d'enracinement ;
- le drainage $P - ETP$ pendant l'été et pendant l'hiver. Le drainage d'hiver peut suffire à lessiver les excès d'été.

b) Conduite de l'irrigation :

A besoins en eau et apports d'eau cumulés égaux en fin de saison, le sol se dessèchera et la pression osmotique s'élèvera d'autant plus, entre deux irrigations successives, que la dose d'arrosage sera plus élevée et l'intervalle plus long.

Des eaux de classes III et IV demandent un rythme d'arrosage plus fréquent que des eaux douces, avec une dose théorique inférieure à la RFU. Cette dose théorique est, elle-même, à augmenter en fonction des besoins de lessivage calculés.

4) Les cultures.

La culture elle-même intervient dans le raisonnement sous deux aspects, celui de la salure et celui de l'azote.

a) *Salure* :

On a vu que les plantes fourragères et les fourrages ne font pas partie des plantes les plus sensibles à la salure et que le sodium n'est pas toxique pour elles. Cependant, d'après des données américaines, les dactyles et certains trèfles seraient un peu plus fragiles. Le choix des espèces ou des sols irrigables préférentiellement avec une eau plus chargée qu'une autre peut se trouver ainsi orienté par ce type de considération.

b) *Azote* :

Certains effluents peuvent être très riches en azote. L'évolution de cet azote dans le sol restant sous la dépendance des facteurs climatiques incontrôlables, on admet généralement que les apports d'azote par l'eau ne doivent pas excéder, en bilan annuel, les exportations par les récoltes : 300 mm d'une eau à 100 mg N/l apportent 300 kg N/ha. Cette teneur en azote peut constituer le facteur limitant de la dose d'eau admissible.

Cependant, les fourrages ont l'avantage d'avoir des besoins en azote relativement élevés (350 à 400 kg N/an) et mieux répartis sur toute l'année que les autres plantes. Il n'en serait pas tout à fait de même pour un maïs-fourrage qui demande environ moitié moins.

Mais, contrairement aux céréales, les plantes fourragères et les fourrages ne sont pas vraiment gênés par un excès d'azote tant que l'équilibre minéral est respecté : ce sont les plantes susceptibles d'utiliser facilement et de tolérer des effluents riches en azote.

En revanche, un excès d'azote peut poser des problèmes de pollution de nappe par les nitrates, si le secteur irrigué est important au sein de la zone d'alimentation de cette nappe.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

L'utilisation d'eaux résiduaires pour la couverture des besoins en eau des cultures en été est possible dans certaines limites qu'il convient de bien préciser. Ces limites sont fonction des sols et des climat et sont liées à la nature même de ces eaux, de compositions chimique et microbiologique extrêmement variables selon leur origine et les traitements qu'elles ont subis.

De façon générale, elles posent, par rapport aux eaux de qualité courante, des problèmes d'ordre sanitaire et agronomique.

a) Sur le plan sanitaire.

On connaît encore mal le devenir de certains germes et parasites à travers les stations d'épuration et une certaine prudence reste donc nécessaire bien que des accidents n'aient pas été démontrés.

Lorsqu'il s'agit d'irriguer des prairies en cours de pâturage, l'élimination de tout danger possible de contamination suppose que l'on n'utilise jamais d'eaux domestiques, rurales ou urbaines brutes ni, a fortiori, des boues d'épuration, mais seulement des effluents d'épuration tertiaire (désinfectés) ou des effluents, traités ou non, d'industries agro-alimentaires.

Les prairies destinées à la fauche pourraient mieux tolérer des effluents d'épuration secondaire (non désinfectés), surtout si l'herbe doit être ensilée.

Une enquête méthodique sur le niveau de parasitisme d'une part et le bon fonctionnement des stations d'autre part, pourrait éventuellement conduire à une sévérité plus ou moins marquée.

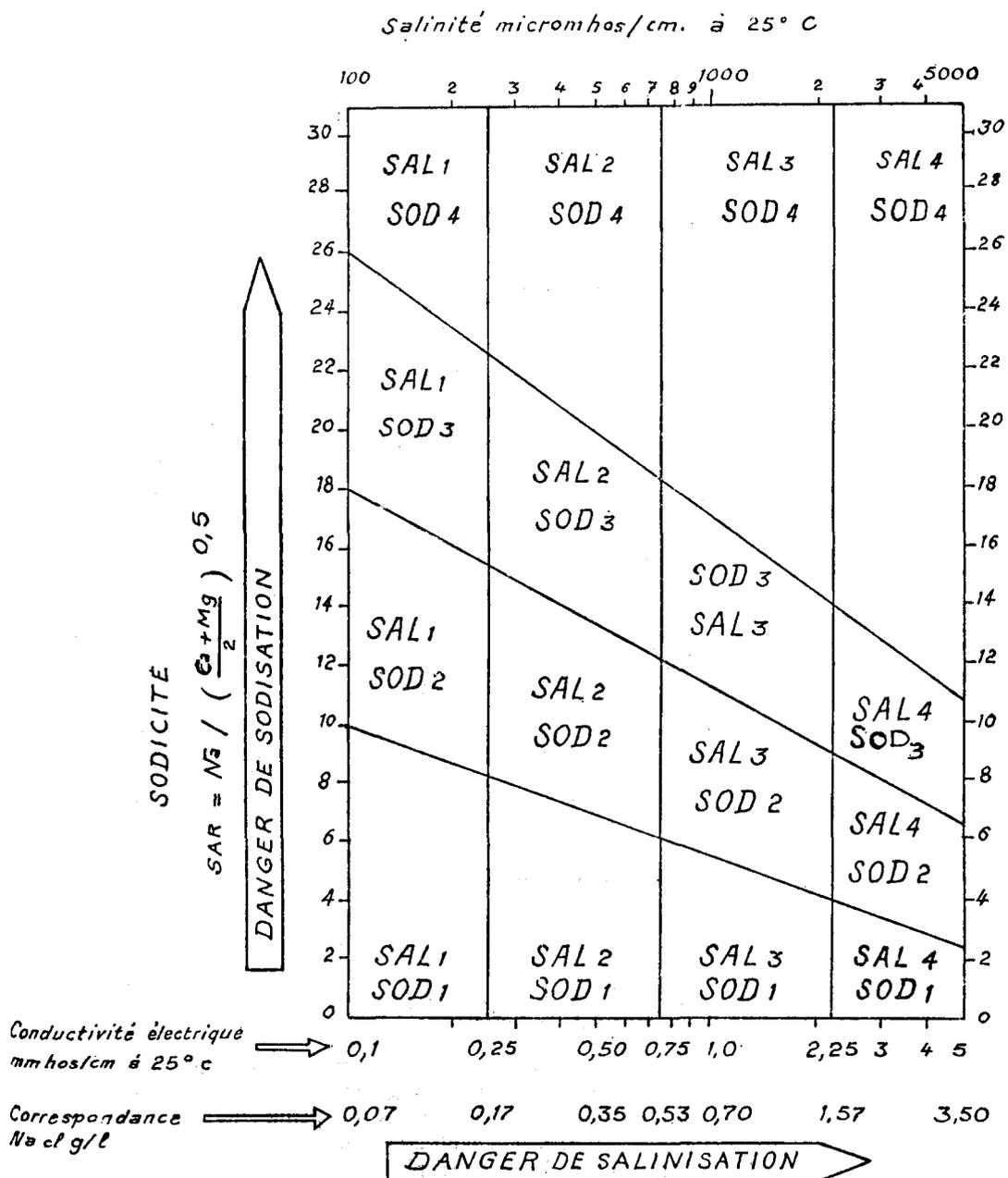
Par ailleurs, des problèmes de toxicité peuvent se poser avec des eaux industrielles non agro-alimentaires ou des eaux urbaines recevant des eaux industrielles non traitées. L'enquête préalable et des analyses de contrôle peuvent conduire à interdire l'usage agricole de certaines eaux.

b) Sur le plan agronomique.

L'épuration biologique n'éliminant pas les sels, la charge saline des effluents peut, à partir d'un certain niveau, créer des problèmes de salification et de sodisation des sols. Divers tests mis au point à l'étranger sous des climats plus arides que les nôtres permettent de définir les limites et les conditions d'emploi de ces eaux.

Ils ne tiennent pas assez compte, à notre avis, des types de sols concernés et il nous semblerait a priori sans grand danger réel d'élever les limites d'utilisation indiquées, du moins sur des sols perméables et de bonne stabilité structurale qui permettent l'application de doses assez répétées en léger excès par rapport aux besoins des plantes.

CLASSIFICATION DES EAUX D'IRRIGATION
 (d'après U.S. Salinity Lab., 1969, J. SERVANT, 1976)



La quantité d'azote apportée par ces eaux est à considérer comme un élément favorable qui doit toutefois ne pas être à des niveaux excessifs dans le cas précis — et limité — des zones où existent des nappes à protéger.

De façon générale, les conditions de production des eaux résiduaires et la réglementation française actuelle ne facilitent pas l'extension de l'utilisation agricole des eaux usées, même partiellement épurées.

En effet, la production de ces eaux ne correspond pas forcément aux besoins de l'agriculture et suppose un minimum de stockage. Celui-ci élève le coût de l'opération ; il est, en revanche, on l'a vu, techniquement nécessaire à l'homogénéisation de la qualité de l'eau.

En ce qui concerne la réglementation, c'est le pollueur qui est le responsable de l'épuration vis-à-vis de l'administration et qui doit déposer en préfecture, en principe, le calendrier de ses irrigations. Or la prévision n'est pas bien compatible avec les besoins en eau de l'agriculture en été. Des solutions plus souples peuvent heureusement être discutées.

Il est certain qu'à l'avenir, l'utilisation de certains types d'effluents pourrait être généralisée.

Simone PERIGAUD,

I.N.R.A., Centre de Lille,

Technologie alimentaire.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- BALLAY D. (1972) : « Utilisation des eaux résiduaires des industries agricoles et alimentaires en agriculture », 12^e *Symp. intern. Budapest*, 1970, Ed. Junk, La Haye, 141-161.
- C.T.G.R.E.F., Division Qualité des Eaux (1973) : « Caractéristiques des effluents des communes rurales », *Note techn. n° 5*.
- DEGREMONT G. (1972) : « Mémento technique de l'eau », *Techn. et Doc.*, Paris, p. 1097.
- DEMIRJIAN Y.A. (1975) : « Land treatment of municipal wastewater effluents : Muskegon County wastewater management system », *Rapport U.S.-E.P.A.*, Muskegon, Michigan.
- DURAND J.-H. (1973) : « Utilisation des eaux salines pour l'irrigation », *Bull. Techn. Inform.*, 276, 39-58.
- E.N.S.P. (1977) : *Vie et survie des micro-organismes pathogènes au cours des traitements d'eaux usées* (formation continue E.N.G.R.E.F., 14-16 mars 1977 : traitement tertiaire des eaux usées).
- F.A.O. (1969) : « Utilisation des eaux d'égout pour l'irrigation », *Comm. Europ. Agric. Hydraul. Agric. Rapport*, 45 p.
- GARCZYNSKI F. (1974) : *Possibilité d'épuration et d'exploitation des eaux usées, des effluents et des boues activées dans les sols forestiers d'après les expérimentations nord-américaines et polonaises*, C.T.G.R.E.F., Saint-Martin-d'Hères.

- GUILHON J. (1975) : « Le rôle de la pollution hydrique dans l'étiologie et l'épidémiologie de la cysticercose bovine et du teniasis humain », *Rec. Med. Veter.*, 151, 1, 39-45.
- HUBERT J. YVORE P., KERBCEUF D. (1976) : « Survie des éléments parasitaires dans le lisier. Essai de destruction par le xylène ».
- IRCHA, Minist. Agric., D.I.A.A. (1970) : *Etude des effluents des industries agricoles et alimentaires, Sér. conserveries de légumes*, 1-54.
- IRCHA, Comm. Comm. Europ. (1975) : *Etude sur la pollution par les industries alimentaires dans la Communauté Economique Européenne*, 137 p.
- JAGIC J.-E. (1972) : *Water pollution. Disposal and reuse*. Ed. Dekker Inc., New York.
- JUSTE C. (1976) : « Possibilités d'épandage des eaux résiduaires urbaines en liaison avec la présence, dans ces dernières, de micro-éléments ». A paraître.
- MAUGENET J., MARIE M., MOURGUES J. (1970) : « Les eaux résiduaires de conserveries de fruits et légumes », *La Technique de l'Eau et de l'Assainissement*, n° 316, 1-16.
- MORISOT A., GRAS R. (1974) : « Caractérisation des effluents des industries agricoles et alimentaires », *Ann. Agro.*, 25, 2-3, 209-229.
- O.C.D.E. (1969) : *Réutilisation des eaux usées en Allemagne*, rapp. 31 p.
- PLOMMET M. (1972) : « Survie de *brucella abortus* dans le lisier de bovins. Désinfection par le xylène », *Ann. Rech. Vétér.*, 3, 4, 621-632.
- POUNDS C.E., CRITES R.W. (1973) : « Characteristics of municipal effluents », *Proc. Joint Conf. on recycling municipal sludges and effluents on lands*, Champeign Illinois, N.T.I.S., p. 244.
- RICHARDS L.A. (1969) : « Diagnosis and improvement of saline and alkali soils », *U.S. Salinity Lab. Staff. Agricult. Handbook*, n° 60, 180 p.
- SERVANT J.-M. (1976) : « La salinité dans le sol et dans les eaux. Caractérisations et problèmes d'irrigation-drainage », *Service d'Et. des Sols, I.N.R.A., Montpellier*, n° 310, 27 p.
- STEVENS R.-M. (1972) : *Green land clean streams. Rep. on beneficial use of water through land treatment*, Univ. Philadelphie, Penns., 329 p.
- STRAUCH D. (1976) : « Veterinary hygienic aspects of land spreading and transport of manure », *Seminar on landspreading of manures*, Modène, vol. II, 257-270.
- X. (1972) : *Rapport de mission à Moscou sur l'utilisation des eaux résiduaires pour l'irrigation en agriculture*, Minist. Aff. Etrang., Agricult., Environn., S.P.E.P., 78 p. + annexes.