

NOTION D'ECHELLE ET VARIABILITE SPATIALE DE LA SALURE DANS LES SOLS

JOB J.O., HACHICHA M.

RESUME

L'étude de la répartition des sels dans les sols fait appel à plusieurs techniques. De l'échelle microscopique au bassin versant, le choix de l'échelle impose la méthode d'approche. L'investigation spatiale par conductivimétrie électromagnétique en particulier permet de faire des transferts à l'échelle agronomique. Il faut préalablement définir des unités homogènes représentatives de la dynamique des sels de l'ensemble. Des exemples traités dans un programme national de suivi de la salure des sols irrigués en Tunisie montrent qu'il y a plusieurs manières de faire le changement d'échelle à partir des données recueillies sur une parcelle.

INTRODUCTION

Le problème posé est celui de l'évolution de sols très divers, situés dans des contextes agroclimatiques différents et irrigués avec de l'eau salée.

Les sols étudiés couvrent à peu près 20000 hectares repartis du Nord au Sud de la Tunisie, la pluviométrie variant de 600 à 150 mm. Leur texture varie de sableuse à argilo-limoneuse, les quantités d'eau d'irrigation utilisées de 200 à 500 mm par an, leur charge en sels de 1,5 à 2,5 gr/l, leur faciès chimique est chlorure sodique avec une proportion croissante de sulfate de calcium vers le Sud.

METHODOLOGIE

La méthodologie mise au point pour l'ensemble du projet a été la suivante:

l-choix d'une variable spatialisée sur laquelle sont faits des tests de comportement des sols et définition de paramètres agrépédologiques à prendre en compte.

2-inventaire des situations existantes en Tunisie et choix de zones caractéristiques eu égard aux paramètres précédemment définis.

3- à l'intérieur de chaque zone caractéristique, choix d'une ou plusieurs parcelles représentant des unités fonctionnelles homogènes, c'est à dire des unités de sols qui traduisent une variation de la salure par une variation identique de la variable choisie. Choix du pas de temps de mesure suivant la vitesse de l'évolution.

4- transfert des résultats de la parcelle au périmètre, soit de l'hectare à la centaine d'hectares à peu près.

L'étape n° 2 n'ayant pas de rapport avec le transfert d'échelle ne sera pas traitée ici.

LA VARIABLE SPATIALISEE

Traditionnellement les mesures de salure du sol se font par prélèvement d'échantillon et analyse en laboratoire. On obtient ainsi la conductivité de l'extrait à saturation du sol qui est la référence habituelle dans les publications du monde entier (USSL, 1954). Cette méthode ne convient pas à l'étude spatiale car aucun repère visuel ne permet de localiser les sels dans les sols et donc de choisir les points de mesures. Un échantillonnage aléatoire est donc nécessaire. IL nécessite un nombre de mesure élevé, incompatible l'échantillonnage traditionnel.

La variable choisie est la conductivité apparente globale du sol, intégrée entre 0 et 2 mètres de profondeur. La mesure se fait avec un conductivimètre électromagnétique (de JONC et al., 1979). Elle est représentée par deux descripteurs:

CEa qui représente la teneur en sels,
p qui représente l'allure du profil salin.

Un sol sous irrigation aura une valeur de σ_a assez faible et une valeur de $p < l$, alors qu'un sol dans lequel se manifestent des remontées capillaires par suite d'abandon ou de mauvaise gestion de l'eau aura une valeur de σ_a plus élevée et une valeur de $p > l$.

Le comportement salin d'un sol est donc assez bien défini par ces deux mesures qui peuvent être répétées tous les deux mètres linéaires ou se faire suivant n'importe quel maillage suivant les résultats escomptes.

TEST PRELIMINAIRES

La variable CEa dépend de l'humidité volumique du sol, de sa porosité et de la nature des argiles (Mc Neill 1980).

Une expérimentation menée en Syrie (Job, Loyer, Ailoul, 1987) a montré que le comportement électromagnétique des sols calcaires des régions arides méditerranéennes est indépendant de leur teneur en gypse et peut se diviser en trois classes de comportement différent suivant les textures : sableuses, équilibrées et limono-argileuses ou plus fines.

D'où d'une part les paramètres agropédologiques pris en compte dans le choix des sites à étudier: texture (trois niveaux) et porosité, d'autre part la stratégie consistant à faire des mesures à humidité du sol homogène sur l'étendue mesurée, après les pluies d'hiver ou en pleine saison sèche.

LES UNITES FONCTIONNELLES HOMOGENES

C'est la partie fondamentale qui permet un transfert d'échelle des mesures.

Les sites une fois sélectionnés, on les divise en unités fonctionnelles homogènes, c'est à dire en surfaces de sol qui auront le même comportement salin lorsqu'elles seront irriguées de la même manière avec la même eau. Le comportement salin étant grossièrement la répartition des sels au sein du profil, leur accumulation sur les argiles, leur précipitation en place ou leur lessivage en dehors de la zone racinaire.

C'est sur les critères agropédologiques définis précédemment que se fait le choix de ces unités qui s'insèrent dans le paysage. Il est important de noter que ce choix, donc la taille des unités de même comportement est imposé par le système étudié. Elle varie de dix à cinq cent hectares dans le premier exemple choisi à Sidi-Saad (Hachicha, 1990) et peut atteindre plusieurs milliers d'hectares sur les basses terrasses du moyen Euphrate (Syrie) par exemple.

LE CHOIX DES PARCELLES REPRESENTATIVES

La parcelle représentative est un sous-ensemble d'unité fonctionnel homogène dans laquelle seront faites les mesures. Sa taille dépend de structure de la répartition des sels. On la détermine après examen du variogramme des mesures faites dans l'unité fonctionnelle homogène.

EXEMPLES

Dans notre programme les étapes ont été les suivantes :

-choix de cinq zones climatiques : Hte Mejerdah, Basse Mejerdah, Kairouannais, Sahel, Oasis de Gafsa.

- choix de 13 sites d'études repartis dans ces cinq zones.
- délimitation de 17 unités fonctionnelles homogènes.
- mesures sur 29 parcelles (Il peut y avoir plusieurs parcelles par unité fonctionnelle homogène pour vérifier l'hypothèse d'homogénéité des unités)

Ces 17 unités fonctionnelles correspondent à des situations que l'on doit retrouver partout en Tunisie sauf dans le Sud pré-saharien.

Le comportement de ces 17 types d'association sol-pratiques culturales sera suivi pendant quatre ans afin de pouvoir dégager un comportement propre à chacun des types et étendre les résultats acquis à toute la Tunisie (Ben Hassine et al., 1988).

Le Tableau 1 montre quelles sont en gros ces 17 situations qui font l'objet d'une étude pédologique détaillée par ailleurs.

CARACTERISTIQUES DU SITE			CARACTERISTIQUES AGROPÉDOLOGIQUES	
région	sup(ha)	nb. de par.	type de sol	irrig.
BIZERTE	3000	1 a Utique	sols argilo-limoneux	planche
TUNIS	2750	3 a Cebala	sols argilo-limoneux	planche
JENDOUBA	2750	3 a Zama	sols argilo-limoneux	rampe
CAP BON	2000	2 Grombalia	sols argilo-limoneux	aspers.
KAIROUAN	1200	3 Sidi-Saad	texture moyenne à sableuse	aspers
KAIROUAN	60	1 a Oussif	sols lourds	planche
KAIROUAN	120	1 Zaafrana	texture moyenne à lourde	planche
MAHDIA	80	1 Essaafet	limon sur argile tirsifiée	planche
MAHDIA	60	1 Zelba I	limons à nodules	planche
MAHDIA	60	1 Zelba II	alluvions limono sableuses	planche
GAFSA	835	2 GAFSA SO	alluv. colluvions fines	aspers
GAFSA	700	3 à Lclat	alluv. gypso-salines	planche
GAFSA	550	7 Guettar	gypso-salins hydromorphes	planche

Tab.1-Taille des sites étudiés, nombre des parcelles mesurées type de sols et d'irrigation.

TRAITEMENT DES RESULTATS

Le traitement statistique des données repose toujours sur le même principe: on s'assure que les valeurs de CEa sont bien un échantillon de la population des conductivités apparentes globales de l'unité fonctionnelle homogène et qu'elles sont réparties autour d'une moyenne suivant une loi normale. C'est le signe que l'unité fonctionnelle et la parcelle ont été correctement définis et que l'irrigation a été correctement menée. L'irrigation tend en effet à normaliser les distribution salines (JOB, 1986).

Le tableau n° 2 montre deux situations différentes:

1) Olivette de Lelat (région de Gafsa)

Le cas le plus simple est celui où quelle que soit la taille de la parcelle on retrouve la même distribution des valeurs de CEa autour de la même moyenne (test f de Fisher).

C'est le cas de l'olivette de Lelat (700 ha) où les oliviers sont plantés tous les dix mètres et la quantité d'eau distribuée par propriétaire est la même. Les parcelles MR2 de 2400 mètres carrés et la parcelle SA1 de 40 hectares ont des moyennes équivalentes, avec un risque de 5% (Tab.2). Le transfert d'échelle se fait ipso-facto.

2) Le grand périmètre irrigué de Sidi-Saad

C'est le cas le plus fréquent. Il faut diviser la zone étudiée en plusieurs unités fonctionnelles homogènes. Par exemple dans le grand périmètre irrigué de Sidi-Saad près de Kairouan, la parcelle SS7 est choisie dans une première unité fonctionnelle homogène constituée par des sols à texture moyenne de bonne porosité et de faible salure qui représentent les trois quarts des 1000 ha de la zone étudiée.

La parcelle SS8 représente une autre unité qui fonctionne différemment: sols lourds situés à l'aval du périmètre dans lesquels se fixent les sels. La microtopographie de la parcelle introduit une structure dans la distribution des sels que l'on met en évidence à l'aide d'un variogramme et d'une carte d'isovaleurs (non reproduits ici).

Dans le premier cas il n'y a pas de problème, dans le second le transfert des résultats se fait actuellement qualitativement en étudiant les changements de forme du variogramme (JOB 1987) car il est difficile de trouver une loi de distribution de la variable. Les phénomènes peuvent tendre en effet au cours du temps soit vers une loi normale (irrigation désalinisante) soit vers une loi du type

quelconque (irrigation avec salinisation excessive d'une partie de la parcelle) que l'on peut quelquefois seulement assimiler à une distribution de Poisson.

Des études sont en cours pour l'interprétation quantitative, en mesurant par exemple les surfaces comprises entre les deux isohales 90 et 140 mS/m qui représentent des valeurs caractéristiques de CEa toxiques pour de nombreuses cultures.

date	CEa	p	nb	m	taille	culture	maille	traitement	fich
12:89	78	1,2	24	11	2100m	oliviers	10m	moyennes	MR2
12:89	70	1,2	39	12	40000m	oliviers	100m	moyennes	SA1
10:89	45	1,5	104	12	5400m	sorgho	20m	moyennes	SS7
10:89	113	1,1	70	17	5400m	luzerne	20m	isovaleurs	SS8

Tab.2-Exemples de résultats CEa et p pour une humidité Θ_m du sol donné par parcelle.

3) L' oasis d'El Guettar (région de Gafsa)

Cette oasis peut être considérée comme un ensemble composé de trois types de parcelles correspondant à trois itinéraires cultureux différents. Celles qui sont cultivées sur trois strates dont la salure est faible et tend à diminuer, celles qui ne sont cultivées que sur deux strates dont la salure est moyenne et stationnaire et celles dont seule la strate de palmier existe dont la salure tend à augmenter et se concentrer en surface au cours du temps.

Une enquête préalable conduit à étudier non plus une parcelle représentative d'une unité de fonctionnement homogène, mais un groupe de parcelles représentatif de l'ensemble. Ce groupe contient les mêmes proportions de chacun des itinéraires cultureux que l'ensemble. Soit pour 2450 parcelles au total, un sous-ensemble de 64 parcelles est étudié. Chacune de ces 64 parcelles fait l'objet de vingt mesures réparties de manière aléatoire.

L'évolution de l'ensemble est déduit de l'évolution produite par chacun des trois itinéraires agronomiques pris séparément (Job, Marai, 1990).

CONCLUSIONS

Dans le cadre de notre programme qui est l'étude de la distribution spatiale des sels dans les sols arides Méditerranéens sur des superficies de l'ordre de la centaine au millier d'hectare, nous pouvons faire des transferts d'échelle aux conditions suivantes:

- 1- Nous choisissons une variable qui garde sa signification à toutes les échelles étudiées.
- 2- Nous connaissons la structure, au sens géostatistique (Delhomme, 1976) de cette variable à toutes les échelles.
- 3- Nous partons de l'ensemble le plus vaste que nous divisons en autant d'unités susceptibles de variations semblables au cours du temps et nous choisissons dans ces unités des parcelles représentatives sur lesquelles seront faites les mesures.
- 4- Nous définissons un pas de temps et une durée des mesures, car il ne peut y avoir de transfert d'échelle dans l'espace que par rapport à un temps donné.

Ceci fait, le transfert d'échelle est possible entre parties du paysage soumises à des variations de même nature, de même sens et de même amplitude.

Cette démarche impose un grand nombre de mesures et une connaissance minimum du phénomène à toutes les échelles et en tout point de la zone étudiée.

Les résultats acquis pourront être régionalisés à l'ensemble de la Zone méditerranéenne (Magreb et Moyen-Orient) qui possèdent des unités fonctionnelles semblables. Il existe cependant des cas où la notion d'unité fonctionnelle perd de son attrait: soit parce qu'il faudrait diviser l'espace en de trop petites unités, soit parce que la gestion agronomique introduit des dysfonctionnements (jachère nue suivant une culture par exemple qui provoque l'inversion des profils salins par exemple).

REFERENCES

- Ben Hassine H., Hachicha M., Job J.O., Loyer J.Y., 1988- La conductivimétrie électromagnétique: application au suivi de la salinité des sols des périmètres irrigués de Tunisie. Rapport multigr., ORSTOM/DS, Montpellier, 22 pp.
- Boivin P., Hachicha M., Job J.O., Loyer J.Y., 1989- Une méthode de cartographie de la salinité des sols. Conductivité électromagnétique et interpolation par krigeage. *Science du sol*, vol.25, n°1, p:69-73.

- de Jonc E., Ballantyne A.K., Cameron D.R., Read D.W., 1979-Measurement of Apparent Electrical Conductivity of Soils by an Electromagnetic Probe to Aid Salinity Surveys. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 810-812.
- Delhomme J.P., 1976- Applications de la théorie des variables généralisées dans les sciences de l'eau. Thèse de Docteur Ingénieur, Université de Paris VI-Ecole des Mines de Paris.
- Hachicha M., Mohdi M., Soussi A., 1990- La salinité des terres dans le Kairouannais. Ministère de L'agriculture, Direction des sols, 28 p.
- Job J.O., 1985- Conductivimétrie électromagnétique: application à la cartographie des sols sales. 25ème semaine des Sciences de Damas (Syrie).
- Job J.O., 1986- Conductivimétrie électromagnétique:étalonnage sur les sols sales de la basse vallée de l'Euphrate (Syrie). Rapport scientifique, Centre ORSTOM de Montpellier, 3 fig., 9 p.
- Job J.O., Hachicha M., 1989- Programme de suivi de la salure dans les périmètres irrigués. Rapport d'activité et perspectives pour 1990-1992, rapport multigr., 8pp.
- Job J.O., Loyer J.Y., Ailoul M., 1987- Utilisation de la conductivimétrie électromagnétique pour la mesure directe de la salinité des sols. *Cah. ORSTOM, ser. Pedol., vol.XXIII, n°2* p:123-131.
- Job J.O., Ben Marai M., 1990- Etude de la salinité des sols de l'Oasis d'El Guettar. ORSTOM/DS, Pub. n° E-S 258, 15 p, 3 cartes.
- McNEILL J.D., 1980- Electromagnetic conductivity measurement at low induction numbers. Technical note n° TN-6 , Geonics Ltd, Mississauga, Canada
- USSL, 1954-Diagnosis and Improvement of saline and Alkali Soils. *Agriculture Handbook n° 60*, Richards ed., US Dep. of Agriculture.