

# ETUDE PRELIMINAIRE DE LA VARIABILITE SPATIALE DU STOCK D'EAU DU SOL DANS L'OPTIQUE DE LA DETERMINATION DU BILAN HYDRIQUE PARCELLAIRE

Jean Pierre Delhoume

Comme le montrent de nombreuses études expérimentales réalisées au cours des dernières années (Gascuel-Oudou, 1987; Rambal *et al.*, 1984; Ruelle *et al.*, 1986; Vachaud *et al.*, 1985; Vauclin, 1983; Vieira *et al.*, 1981; Walter, 1989; Webster, 1985), il existe une grande variabilité spatiale des propriétés physico-chimiques des sols, même à l'intérieur d'une unité pédologique considérée comme homogène. Dans la majorité des cas, cette variabilité n'est pas aléatoire, car elle obéit à des lois ou paramètres qu'il importe de définir, afin d'obtenir une meilleure connaissance de l'unité-sol considérée.

Le bilan hydrique du sol au niveau d'une parcelle est déterminée à partir de l'évolution temporelle de la quantité d'eau présente dans le sol, qui est elle-même conditionnée par les apports pluviométriques, par l'évapotranspiration, et par diverses propriétés de la couverture pédologique, comme la texture, la capacité de rétention et la porosité, propriétés qui présentent une grande variabilité spatiale.

Le but du présent travail est de caractériser, de manière simple, à partir d'un exemple d'étude expérimentale, la variabilité spatiale du stock d'eau du sol au niveau d'une parcelle, considérée comme homogène d'un point de vue environnement physique et biotique. Une fois caractérisée cette variabilité et dans l'optique d'une étude du bilan hydrique du sol de cette parcelle, il sera alors possible de déterminer les sites de mesure de l'humidité du sol de la station considérée, afin que ceux-ci, d'une part, soient représentatifs, et, d'autre part, qu'ils couvrent toute la gamme de variabilité du stock d'eau au niveau de cette parcelle.

## Matériel et méthodes

L'exemple que nous utiliserons pour caractériser la variabilité spatiale du stock hydrique du sol, provient de l'une des différentes unités élémentaires de milieu, définies lors de la phase d'inventaire (voir ci-dessus

l'article intitulé : Problématique scientifique) et qui présentait un intérêt pour l'élevage : il s'agit de l'unité appelée *Hilaria mutica*, du nom d'une espèce végétale (Delhoume, 1988). A l'intérieur de cette unité élémentaire, une parcelle expérimentale (70 x 50 m), isolée arbitrairement par une clôture, a été installée de manière à ce que cette station d'étude soit représentative de l'ensemble de l'unité. Cette dernière se situe topographiquement au niveau de la *bajada* inférieure, c'est-à-dire dans des zones à faible pente (moins de 2%) faisant transition avec les zones basses (*playa*) d'accumulation des eaux et des sédiments.

La végétation est constituée par une formation herbeuse très largement dominée par une seule espèce, *Hilaria mutica*, graminée pérenne dont le recouvrement basal est de l'ordre de 30%. Cette strate herbacée, où l'on note la présence de quelques cactacées, est dominée par une strate arbustive très peu dense, constituée surtout par l'espèce *Prosopis glandulosa*. La végétation est donc essentiellement herbacée et elle se distribue spatialement de manière contractée à l'échelle métrique : l'on observe en effet une alternance d'une part, de touffes végétales de *Hilaria*, ayant de 40 à 50 cm de diamètre et formant des micro-buttes de 5 à 10 cm de hauteur, et, d'autre part, d'espaces de sol totalement dénudé, sans aucune végétation, et en dépression par rapport aux touffes végétales. Ces dernières se distribuent spatialement de manière irrégulière et désordonnée, sans aucun ordonnancement apparent. Ce mode de distribution de la végétation est à l'origine du micro-relief observé, constitué de micro-buttes dominant des micro-dépressions.

La couverture pédologique est homogène au niveau de la parcelle : le sol est un yermosol gypseux, sur alluvions argileuses, reposant à moyenne profondeur sur un matériau calcaro-marneux autochtone. La texture est argileuse dès la surface, avec prédominance d'argiles minéralogiques gonflantes, du type smectite. La teneur en matière organique, inférieure à 1 %, est faible, et la conductivité électrique ne devient notable qu'au-delà de 70 cm : il s'agit d'une salinité d'origine lithologique. A moyenne profondeur, on observe une redistribution secondaire de gypse sous forme d'accumulation discontinue, témoin hérité d'une pédogenèse plus ancienne (tableau 1).

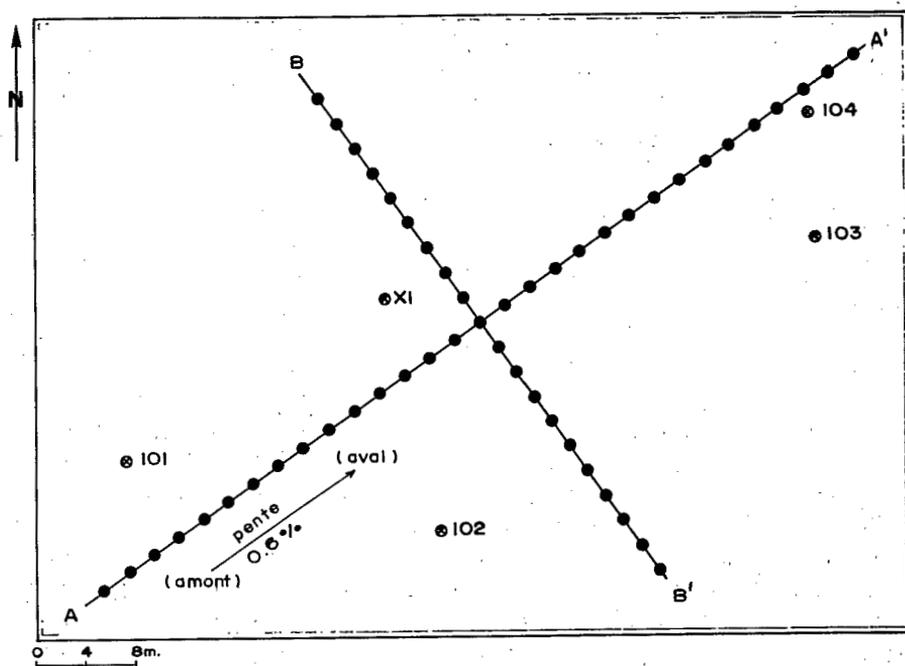
TABLEAU 1  
 CARACTERISTIQUES ANALYTIQUES DU SOL DE LA STATION *HILARIA MUTICA* \*

Profondeur (cm)	Texture (%)				pH eau	Carbone org. (%)	Azote total (%)	C/N	Conduct électr. (mS/cm)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Gypse %	Capacité d'échange (még/100 g)
	Horizon	Argile	Limon	Sable								
0-6	A 11	37.5	20.0	42.5	8.4	0.55	0.062	8.9	1.2	19.0	7.5	19.7
12-20	B 21	51.5	12.0	36.5	8.9	0.57	0.061	9.3	1.1	23.0	8.9	22.5
30-40	B 21	51.1	14.0	34.9	8.9	0.38	0.043	8.8	0.5	21.3	9.5	23.5
45-55	B 21	55.1	12.0	32.9	8.8	0.38	0.033	11.5	6.8	20.7	9.9	24.5
75-82	II C1cs			26.9	8.2	0.34	0.020	17.0	11.9	17.6	17.1	32.1
110-120	II C2									17.3	4.8	

\* (D'après Delhoume, 1988, p. 150).

Afin de déterminer la distribution spatiale du stock hydrique du sol au niveau de cette parcelle expérimentale, nous avons réalisé des prélèvements systématiques de sol à la tarière, avec des distances variables entre les points d'échantillonnage (de 0,30 à 5 mètres) et selon divers plans d'échantillonnage : en carré, en lignes et par combinaisons de lignes. Nous ne présenterons ici que les résultats obtenus avec l'échantillonnage réalisé avec un pas de 2,5 mètres, selon deux axes perpendiculaires (Fig. 1). L'un des axes, AA', correspond à la ligne de plus grande pente de la parcelle, tandis que l'autre axe, BB', perpendiculaire au précédent, correspond approximativement à une courbe de niveau.

Sur chacun de ces deux axes, des prélèvements ont été effectués tous les 2,5 mètres, et pour deux états hydriques extrêmes du sol : un état sec (prélèvements hors saison des pluies) et un état humide (prélèvements après des pluies importantes). Ces deux séries d'échantillonnage ont été réalisées à deux époques différentes et afin d'éviter les interférences entre les sites de prélèvements, les échantillons ont été prélevés, pour les deux états hydriques, selon deux lignes parallèles, distantes de 1 mètre, pour chacun des axes AA' et BB'. Pour chaque site d'échantillonnage, quatre prélèvements ont été effectués aux profondeurs suivantes : 0 à 15 cm, 15 à 30 cm, 30 à 45 cm et 45 à 60 cm. Nous n'avons pas échantillonné au-delà de cette dernière profondeur, car des essais de simulation de pluies réalisés par ailleurs ont montré que pour le type de sol étudié, l'infiltration de l'eau reste superficielle et ne dépasse pas 50 à 60 cm de profondeur, même avec des pluies importantes (60 à 80 mm). Cela est dû à la teneur argileuse du



- ⊙ Site de mesure de l'humidité du sol à l'humidimètre à neutrons.
- Echantillonnage à la tarière pour détermination du stock hydrique du sol.
- A-A' Axe d'échantillonnage selon la pente
- B-B' Axe d'échantillonnage perpendiculaire à A-A
- ▬ Limite de la parcelle expérimentale

Fig. 1. Station *Hilaria mutica*. Plan d'échantillonnage pour l'étude de la variabilité spatiale du stock hydrique du sol. (Distance d'échantillonnage = 2.50 m.).

sol et surtout à la présence d'argiles minéralogiques de type gonflant.

La teneur en eau pondérale a été déterminée sur chaque échantillon, après passage à l'étuve à 50-55°C jusqu'à poids sec constant (du fait de la présence de gypse, nous avons utilisé cette température de manière à ne pas prendre en compte l'eau de constitution de cet élément). L'humidité pondérale est transformée ensuite en humidité volumique par utilisation de la densité apparente du sol en place. Cette dernière a été déterminée, au niveau de la station, par un échantillonnage spatial systématique, au cylindre, et nous avons utilisé les valeurs moyennes obtenues pour chacun des niveaux de prélèvement. De la sorte, nous avons exprimé le stock d'eau du sol en millimètres, pour chacune des quatre tranches de sol échantillonnées, ainsi que pour l'ensemble du sol, de 0 à 60 cm.

### Résultats - Interprétations

La quantité d'eau emmagasinée de 0 à 60 cm de profondeur dans le sol, représentée graphiquement (Fig. 2 et 3), varie spatialement de manière différente selon les deux axes d'échantillonnage.

D'une part, selon l'axe AA', c'est-à-dire le long de la ligne de plus grande pente, et bien que cette dernière soit très faible, 0,6%, le stock d'eau du sol augmente progressivement, lorsque on passe de l'amont vers l'aval et cette augmentation est nette aussi bien à l'état sec qu'à l'état humide, mais elle est plus accentuée pour ce dernier état hydrique du sol. Il apparaît donc un classement du stock hydrique du sol, en relation avec la pente.

D'autre part, selon l'axe d'échantillonnage BB', perpendiculaire au précédent, le stock d'eau du sol reste semblable et il n'existe plus de relation avec le classement observé ci-dessus, sauf pour les vingt premiers mètres de cet axe où l'on constate une augmentation du stock hydrique à l'état humide. Une étude topographique fine, postérieure, a montré qu'il existait, dans le sens B à B', une très légère pente, de l'ordre de 0,2%, suffisante cependant pour provoquer, à l'état humide, une augmentation du stock hydrique selon cette pente, comme ce que l'on observe ci-dessus pour l'axe AA'.

En valeur absolue, la différence d'eau stockée par le sol entre l'amont et l'aval de la parcelle (axe AA'), est relativement important : 159 mm en A et 219 mm en A' à l'état humide, soit une augmentation de 38%; 88 mm en A et 114 mm en A' à l'état sec, soit une augmentation de 30%.

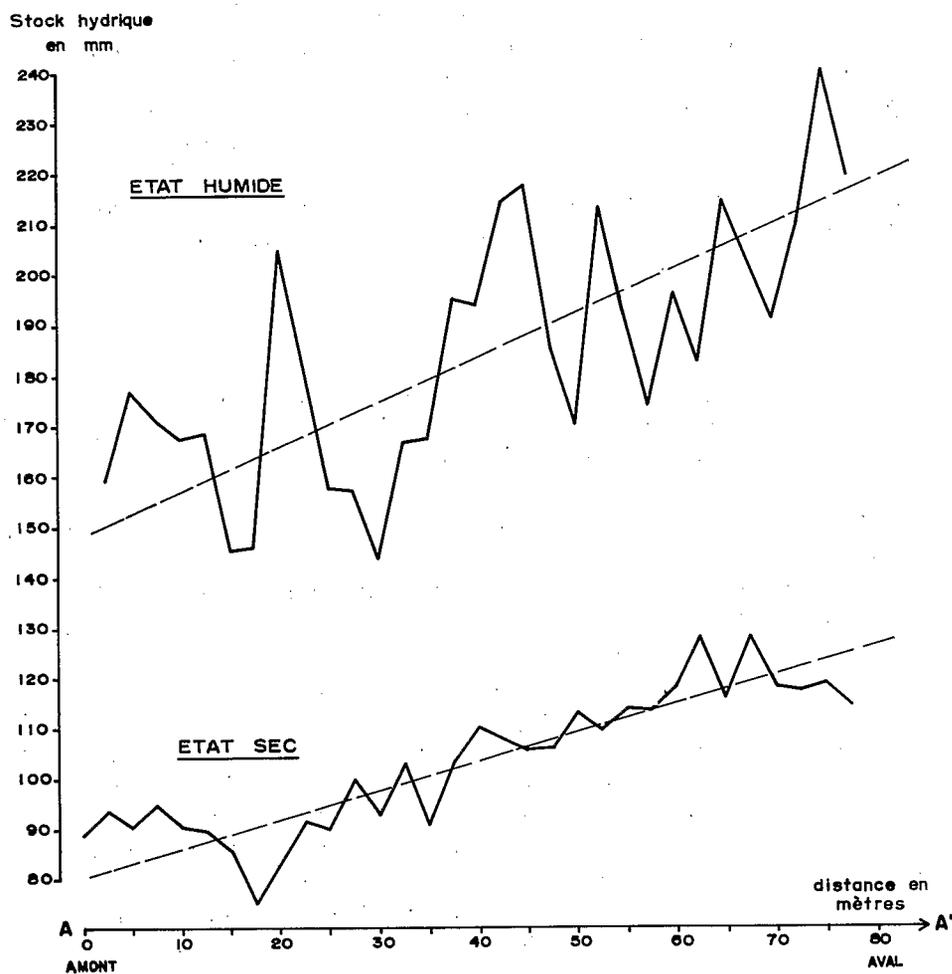


Fig. 2. Variation du stock hydrique du sol (0-60 cm) selon la pente (axe d'échantillonnage AA') pour deux états hydriques.

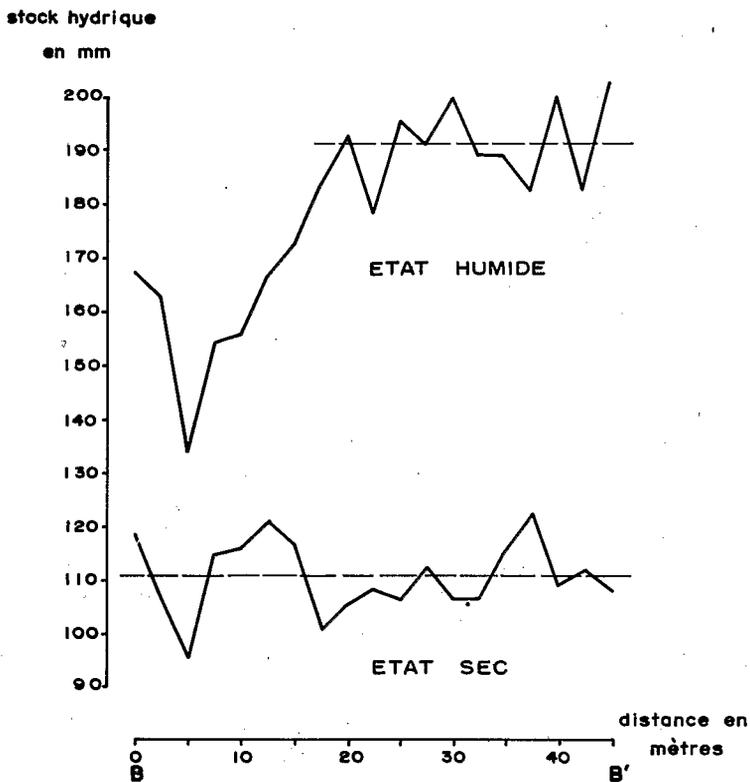


Fig. 3. Variation du stock hydrique du sol (0-60 cm.) perpendiculairement à la pente (axe d'échantillonnage BB') pour deux états hydriques.

Ainsi, après une pluie suffisamment importante, il y a donc redistribution de l'eau dans le paysage, qui se fait conformément à la pente, malgré la très faible valeur de cette dernière. Vis-à-vis de la quantité d'eau emmagasinée dans le sol, cela se traduit par un stock hydrique du sol d'autant plus important que l'on va vers l'aval. Il est vraisemblable, compte tenu des caractéristiques hydrodynamiques du sol, étudiées par ailleurs, que la redistribution de l'eau se fait essentiellement en surface par ruissellement et que les transferts hydriques internes du sol sont pratiquement inexistantes, par suite de la texture lourde, de la présence d'argiles minéralogiques gonflantes et de la très faible porosité du milieu.

Après avoir vérifié (probabilité cumulée) que la distribution du stock hydrique du sol obéissait à une loi normale, nous avons exprimé la variabilité spatiale de ce stock par le coefficient de variation (CV, en %). Nous constatons ainsi (tableau 2) que celui-ci, pour le stock d'eau de 0 à 60 cm, est faible d'une manière générale et qu'il est légèrement plus élevé pour l'axe AA' que pour l'axe BB'. Pour chacun de ces deux axes, que ce soit à l'état sec ou à l'état humide, ce coefficient de variation est voisin.

Ce traitement statistique masque cependant la variabilité du stock d'eau sur de courtes distances. En effet, il est fréquent de constater que la quantité d'eau emmagasinée dans le sol varie fortement entre deux sites consécutifs d'échantillonnage, et cela d'autant plus lorsqu'il s'agit de l'état humide. Le long de l'axe AA' par exemple, d'un point de prélèvement au suivant, la quantité d'eau emmagasinée varie parfois fortement (augmentation de 30 à 40% ou diminution de 15 à 25%), alors que pour d'autres sites, cette variation est beaucoup plus réduite. Cette variabilité à courte distance est à mettre en liaison avec la distribution spatiale discontinue de la végétation, sous forme contractée, qui, comme nous l'avons mentionné ci-dessus, se distribue en effet sous forme de touffes isolées en relief par rapport aux zones adjacentes, dénudées et en dépression. Ainsi, nous avons pu vérifier pour l'ensemble de l'échantillonnage, mais surtout à l'état humide, qu'il existait, globalement, une relation entre la quantité d'eau stockée par le sol et la distance existante entre le site d'échantillonnage et la touffe végétale la plus proche : plus l'échantillon est près d'une touffe, plus la quantité d'eau stockée est importante et inversement, dans les zones dénudées en dépression, la quantité d'eau emmagasinée est plus réduite. Cette relation, purement descriptive et morphologique pour l'instant, permet de justifier la différence de quantité d'eau stockée que nous avons mesurée entre deux points consécutifs d'échantillonnage. Nous étudierons ci-après plus en détail, dans l'article "Fonctionnement et dynamique de deux écosystèmes", l'hydrodynamique de ce milieu, qui est liée étroitement à la

microtopographie induite par la distribution contractée de la végétation, laquelle est à l'origine d'une redistribution différentielle de l'eau dans le sol en fonction de l'existence ou non d'une touffe végétale.

TABLEAU 2  
PARAMETRES STATISTIQUES DU STOCK D'EAU (EN MM) DU SOL DE LA STATION  
*HILARIA MUTICA* POUR DEUX ETATS HYDRIQUES EXTREMES

Etat sec								
Tranches de sol	Axe AA' (n = 32)				Axe BB' (n=49)			
	Moyenne	Variance	Ecart type	CV (%)	Moyenne	Variance	Ecart type	CV (%)
0 - 15 cm	18,5	10,2	3,2	17,3	21,5	7,8	2,8	13,0
15 - 30 cm	25,9	9,0	3,0	11,6	27,4	3,2	1,8	6,5
30 - 45 cm	29,4	13,0	3,6	12,3	31,6	3,2	1,8	5,7
45 - 60 cm	29,3	32,5	5,7	19,5	30,4	21,2	4,6	15,1
stock 0-60 cm	103,2	183,1	13,5	13,1	110,8	46,2	6,8	6,1

Etat humide								
Tranches de sol	Axe AA' (n = 33)				Axe BB' (n=19)			
	Moyenne	Variance	Ecart type	CV (%)	Moyenne	Variance	Ecart type	CV (%)
0 - 15 cm	54,9	23,0	4,8	8,7	50,4	22,1	4,7	9,3
15 - 30 cm	57,1	23,0	4,8	8,4	54,1	15,2	3,9	7,2
30 - 45 cm	43,8	114,5	10,7	24,4	43,6	56,3	7,5	17,2
45 - 60 cm	31,6	77,4	8,8	27,8	30,8	36,0	6,0	19,5
stock 0-60 cm	187,5	529,0	23,0	12,3	179,0	313,3	17,7	9,9

n = nombre d'échantillons

CV = coefficient de variation en %

D'une manière générale et par tranches de sol (tableau 2), la variabilité est plus accusée pour l'axe AA' que pour l'axe BB', pour un état hydrique donné. Selon chacun des deux axes d'échantillonnage, cette variabilité est légèrement plus accusée à l'état sec qu'à l'état humide pour les deux tranches supérieures du sol (0-15 et 15-30 cm), alors qu'elle est beaucoup

plus accentuée à l'état humide pour les deux tranches inférieures (30-45 et 45-60 cm).

L'étude expérimentale ci-dessus a ainsi mis en évidence deux types de variabilité spatiale du stock hydrique du sol, au niveau de la station considérée :

- d'une part, une variabilité au niveau parcellaire, liée à la pente : malgré la faiblesse de celle-ci, la quantité d'eau emmagasinée dans le sol augmente lorsque on va vers l'aval.

- d'autre part, une variabilité au niveau métrique, liée à la distribution discontinue de la végétation : plus on est proche d'une touffe végétale, plus la quantité d'eau stockée dans le sol est importante.

Le stock d'eau emmagasiné par le sol varie donc spatialement à deux niveaux, qui s'ajoutent ou se compensent selon les situations : d'une part, à une échelle élémentaire sur de courtes distances, d'autre part, à une échelle globale au niveau parcellaire.

Dans l'optique d'une étude du bilan hydrique du sol au niveau de cette station *Hilaria mutica*, la connaissance préalable de la variabilité spatiale du stock d'eau emmagasiné dans la couverture pédologique était indispensable. La mise en évidence, par une étude expérimentale simple, de deux types de variabilité spatiale du stock hydrique, nous a permis de positionner de manière rationnelle, les sites de mesures de l'humidité du sol (Fig. 1). D'une part, deux sites de mesures (102 et 104), installés à proximité immédiate de touffes végétales, permettront de prendre en compte la variabilité du stock d'eau liée à la distribution discontinue de la végétation. D'autre part, trois sites de mesures (101, X et 103), localisés respectivement à l'amont, au milieu et à l'aval de la parcelle, dans des zones dénudées, permettront de prendre en compte la variabilité spatiale liée à la pente.

Avec un tel dispositif de mesures, toute la variabilité spatiale du stock d'eau du sol est ainsi prise en compte et un bilan hydrique global à l'échelle de la parcelle pourra être envisagé.

### Conclusion

Les travaux et les résultats présentés ci-dessus montrent, que dans l'optique d'une étude du bilan hydrique du sol au niveau parcellaire, il est absolument indispensable de réaliser une expérimentation préalable, simple, afin de mettre en évidence la variabilité spatiale du stock hydrique du sol. En l'absence d'une telle caractérisation, les sites de mesures de l'humidité du sol risquent d'être positionnés de manière aléatoire, ce qui ne

permet pas de rendre compte de manière exhaustive de toute la variabilité spatiale du stock d'eau au niveau de la station d'étude.

### Bibliographie

- Delhoume, J.P.** 1988. Distribution spatiale des sols le long d'une toposéquence représentative de la Réserve de la Biosphère de Mapimi (Durango). In: C. Montaña (Ed.) Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua en la Reserva de la Biosfera de Mapimi. I. Ambiente natural y humano. Publ. 23, Instituto de Ecología, México. pp. 135-165.
- Gascuel-Oudou, C.** 1987. Variabilité spatiale des propriétés hydriques du sol, méthodes et résultats; cas d'une seule variable: revue bibliographique. *Agronomie*, 7 (1): 61-71.
- Rambal, S., Ibrahim, M. et Rapp, M.** 1984. Variabilité spatiale des variations du stock d'eau du sol sous forêt. Application à l'optimisation d'un dispositif de mesure du bilan hydrique. *Catena*, 11: 177-186.
- Ruelle, P., Ben Salah D. et Vauclin M.** 1986. Méthodologie d'analyse de la variabilité spatiale d'une parcelle agronomique. Application à l'échantillonnage. *Agronomie*, 6 (6): 529-539.
- Vachaud, G., Passerat de Silans A., Balabanis P. et Vauclin M.** 1985. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49: 822-828.
- Vauclin, M.** 1983. Méthodes d'étude de la variabilité spatiale des propriétés d'un sol. In: Variabilité spatiale des processus de transfert dans les sols, Coll. Soc. Hydrotechn., Avignon, 24-25 juin 1982. *Les Colloques de l'INRA*, 15: 9-43.
- Vieira S.R., Nielsen D.R. et Biggar J.W.**, 1981. Spatial Variability of Field-Measured Infiltration Rate. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45: 1040-1048.
- Walter, C.** 1989. Analyse de la variabilité spatiale des propriétés du sol au sein de trois unités cartographiques. *Science du Sol.*, 27 (1): 73-76.
- Webster, R.** 1985. Quantitative spatial analysis of soil in the field. *Advances in Soil Science*, vol. 3: 2-70.