

FONCTIONNEMENT ET DYNAMIQUE DE DEUX ECOSYSTEMES CARACTERISTIQUES

Jean Pierre Delhoume

Resumen

Trabajos experimentales realizados durante cuatro años en dos ecosistemas de la Reserva de la Biosfera de Mapimí y característicos de la zona árida del norte de México, nos permitieron estudiar el funcionamiento hidrodinámico de esos dos medios.

La región se caracteriza climáticamente por su débil pluviometría (250 a 300 mm/año en promedio) con una fuerte variabilidad interanual y por la repartición esencialmente veraniega de esas lluvias, época de fuerte insolación.

La primera estación está situada en una formación herbácea constituida esencialmente por una sola gramínea perenne que se desarrolla en un suelo muy arcilloso presentando características vérticas. A la aridez climática añadase una aridez edáfica debida a las propiedades físicas del suelo, esto último no pudiendo almacenar más que una parte del agua meteórica que recibe. La vegetación se adapta a esta insuficiencia hídrica distribuyendose espacialmente de manera contracta a la escala métrica, bajo forma de matas aisladas alternando con zonas desnudas.

La segunda estación está localizada en una formación vegetal arbustiva constituida por una alternancia regular a escala multidecamétrica de bandas de vegetación densa y de zonas desnudas entre esas bandas. La parte superior del suelo de estas últimas presenta una película o costra de porosidad muy débil que se opone a la infiltración de agua en el suelo y que favorece sobre todo a un escurrimiento superficial importante, el cual, dada la topografía, está atrapado en la banda vegetal adyacente. Esta es aprovisionada así de dos maneras diferentes: las precipitaciones incidentes y el agua de escurrimiento superficial. La aportación total en agua a las bandas de vegetación alcanza así más del doble de la pluviometría anual, lo que explica la densidad y la diversidad de esas bandas vegetales. Allí también se trata de una adaptación de la vegetación en condiciones particulares de alimentación en agua.

Résumé

Des travaux expérimentaux réalisés durant quatre années dans deux milieux de la Réserve de la Biosphère de Mapimí et caractéristiques de la zone aride du nord-Mexique, nous ont permis d'étudier le fonctionnement hydrodynamique de ces deux milieux.

La région se caractérise climatiquement par sa faible pluviométrie (250 à 300 mm/an en moyenne) avec une forte variabilité interannuelle et par la répartition essentiellement estivale de ces pluies, époque de forte insolation.

La première station est située dans une formation herbacée constituée essentiellement par une seule graminée pérenne se développant sur un sol très argileux présentant des caractères vertiques. A l'aridité climatique se surimpose une aridité édaphique due aux propriétés physiques du sol; ce dernier ne pouvant emmagasiner qu'une fraction de l'eau météorique qu'il reçoit. La végétation s'adapte à cette insuffisance hydrique en se distribuant spatialement de manière contractée à l'échelle métrique, sous forme de touffes isolées alternant avec des zones dénudées.

La seconde station est localisée dans une formation végétale arbustive constituée par une alternance régulière à l'échelle multidécimétrique de bandes de végétation dense et de zones dénudées entre ces bandes. La partie supérieure du sol de ces dernières présente une pellicule ou croûte à très faible porosité qui s'oppose à l'infiltration de l'eau dans le sol et qui favorise surtout un ruissellement superficiel important, lequel, par suite de la topographie, est piégé par la bande végétale adjacente. Celle-ci est approvisionnée ainsi de deux manières différentes : les précipitations incidentes et l'eau de ruissellement superficiel. L'apport total en eau aux bandes de végétation atteint ainsi plus du double de la pluviométrie annuelle, ce qui explique la densité et la diversité de ces bandes végétales. Il s'agit là aussi d'une adaptation de la végétation à des conditions particulières d'alimentation en eau.

Introduction

Dans la zone aride du nord du Mexique, la distribution spatiale de la couverture végétale est le plus souvent discontinue ou contractée, c'est-à-dire que les zones de végétation alternent avec des zones de sol nu. Il est possible de différencier deux échelles de discontinuité :

- une discontinuité à l'échelle multimétrique : elle est constituée par l'alternance de plages végétales de plusieurs centaines à plusieurs milliers de mètres carrés avec des zones de sol nu de taille semblable. A l'intérieur de ces plages de végétation, on rencontre la seconde échelle de discontinuité définie ci-après.

- une discontinuité à l'échelle métrique ou élémentaire, qui s'observe sur une surface réduite, de l'ordre du mètre carré : elle est constituée par l'alternance de la touffe végétale ou de l'arbuste avec le sol dénudé. L'ensemble touffe et espace inter-touffe adjacent forme le module de base de ce système.

Les plages végétales ont deux modes de distribution spatiale avec des formes variées (Fig. 1) :

- un mode de distribution de type aléatoire : la végétation se présente sous forme de plages de formes très variées sans qu'il soit possible de déterminer, spatialement, un ordre quelconque.

- un mode de distribution de type ordonné : les plages végétales ont une forme semblable, en général des bandes, présentant une répétitivité dans leur distribution spatiale.

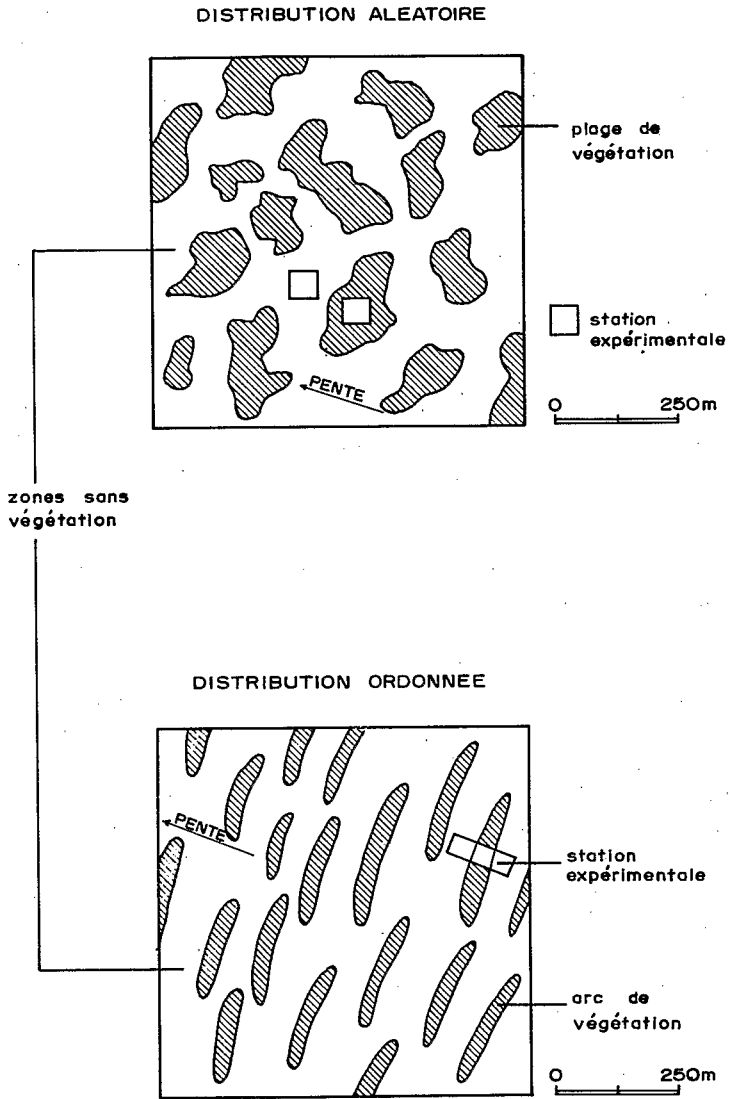


Fig. 1. Schéma de la distribution spatiale discontinue, irrégulière ou régulière, de la végétation.

Nous avons choisi pour chacun de ces deux modes de distribution une formation végétale à la fois importante pour son intérêt fourrager mais aussi caractéristique de la zone aride nord-mexicaine. Dans le cas du mode de distribution de type aléatoire, il s'agit d'une formation végétale herbacée monospécifique et pour le mode de distribution de type ordonné, il s'agit d'une formation végétale herbacée et arbustive complexe. Ces deux formations, par leur caractéristiques et leur situation dans le paysage, constituent deux écosystèmes bien définis.

Différentes stations expérimentales ont été mises en place dans ces milieux et, à partir des résultats obtenus durant quatre années de mesures, nous pouvons caractériser le fonctionnement et la dynamique de ces deux formations végétales.

Cas d'une formation végétale herbacée monospécifique à distribution spatiale de type aléatoire

Caractéristiques de la station d'étude

La station expérimentale (50m x 70m) est localisée géomorphologiquement en *bajada* inférieure où la pente est très faible (0,5%).

La végétation est constituée par une formation herbacée quasi-monospécifique de *Hilaria mutica*, graminée pérenne (type C4) qui constitue plus de 90% du couvert végétal, le reste étant formé par quelques cactacées du genre *Opuntia* et quelques arbustes dont *Prosopis glandulosa* est l'espèce la plus fréquente. Cette formation végétale se distribue spatialement selon le type aléatoire défini ci-dessus. A l'intérieur d'une plage végétale, le taux total de recouvrement de la végétation est de 40% et celle-ci se distribue spatialement de manière contractée à l'échelle métrique : il y a alternance de touffes végétales de *Hilaria*, ayant de 20 à 60 cm. de diamètre et en relief de 5 à 10 cm. par rapport aux zones dénudées adjacentes qui se trouvent ainsi en dépression par rapport aux touffes.

L'étude morphologique et analytique de plusieurs profils de sols répartis sur l'ensemble de la station montre que la couverture pédologique est continue et homogène au niveau macroscopique et nous la caractérisons par le profil morphologique type suivant :

0 à 6 cm = horizon présent sous les touffes de végétation, structure polyédrique fine, poreux, fragile, présence de racines.

- 6 à 60 cm = horizon à structure polyédrique moyenne, très peu poreux, très peu fragile, racines.
- 60 à 80 cm = horizon de transition, structure polyédrique fine, très peu poreux, peu fragile, redistribution secondaire de gypse sous forme discontinue en taches et amas.
- plus de 80 cm = roche-mère de type marne altérée physiquement et se débitant en plaquettes.

Les caractéristiques analytiques (tableau 1) indiquent une texture fine dès la surface, et l'étude minéralogique montre que ce sont les smectites qui prédominent. Celles-ci donnent au sol des propriétés d'expansion avec l'humidité et de rétraction avec la dessiccation, comme cela a pu être mis en évidence par l'étude de la variation de la masse volumique du sol en fonction de son degré d'humectation. Les caractères vertiques, tels que fentes de retrait et faces de glissement, restent cependant peu accentués dans ces sols.

La teneur en matière organique est faible et la conductivité électrique, négligeable en surface, devient notable en profondeur : il s'agit d'une salinité d'origine lithologique provenant de la roche-mère. C'est dans ce dernier matériau et dans l'horizon argileux que la porosité est la plus faible.

L'accumulation secondaire de gypse à moyenne profondeur est un caractère hérité d'une pédogénèse ancienne, car comme nous le verrons, l'hydrodynamique actuelle ne permet que très rarement une infiltration de l'eau dans le sol au-delà de 50 cm de profondeur.

Selon la classification FAO/UNESCO (1976), ce sol est un Yermosol gypseux, sur matériau fin d'apport, reposant à moyenne profondeur sur un matériau marneux autochtone.

Méthodologie

L'étude de la variabilité spatiale du stock hydrique du sol réalisée pour cette station et dont les résultats sont présentés dans ce même ouvrage, montre que la variabilité à prendre en compte au niveau élémentaire est celle du module de base du milieu étudié, constitué par la touffe végétale et l'espace dénudé adjacent (Fig. 2). Un site de mesures de l'humidité du sol, localisé dans chacune de ces deux composantes du module est suffisant pour caractériser le fonctionnement hydrodynamique du sol au niveau des plages végétales. Pour compléter le dispositif, il est indispensable d'ajouter un site de mesures dans les plages de sol nu qui alternent de manière

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

Profond. (cm)	Texture (0 - 2 mm) (%)					CE (mS/cm)	CaCO ₃ (%)	Gypse (%)	pH eau
	A	LF	LG	SF	SG				
0-6	25,9	24,9	6,3	32,1	7,1	1,8	17,2	6,4	8,3
10-18	48,2	16,5	4,6	22,5	3,9	0,7	21,6	8,3	8,3
28-36	48,7	15,5	4,4	22,2	5,1	2,0	21,4	8,5	8,4
45-55	51,8	15,0	4,2	20,1	4,6	4,2	20,9	8,8	8,4
65-75	42,5	26,3	8,5	14,4	2,5	11,9	20,3	16,9	8,2
95-105	24,3	51,8	10,8	9,7	0,5	12,9	20,9	7,4	8,4

A = argile - 0 à 0,002 mm

LF = limon fin - 0,002 à 0,020 mm

LG = limon grossier - 0,020 à 0,050 mm

SF = sable fin - 0,050 à 0,200 mm

SG = sable grossier - 0,200 à 2 mm

CE = conductivité électrique

CaCO₃ = carbonate de calcium

Gypse = sulfate de calcium

Profond. (cm)	M.O. (‰)		
	G	N	C/N
0 - 6	8,16	1,36	6,0
10 - 18	4,28	0,63	6,8
28 - 36	3,59	0,52	6,9
45 - 55	3,00	0,50	6,0

M.O. = matière organique

C = carbone organique

N = azote total

Prof. (cm)	Da	Dr	Por. (%)
10	1,44	2,60	44,6
20	1,57	2,61	39,8
30	1,63	2,63	38,0
40	1,64	2,66	38,3
50	1,56	2,64	40,9
60	1,48	2,63	43,7
70	1,47	2,58	43,0
80	1,56	2,57	39,3
90	1,60	2,65	39,6
100	1,67	2,66	37,2

Da = densité apparente (g/cm³)

Dr = densité réelle (g/cm³)

Por. = porosité

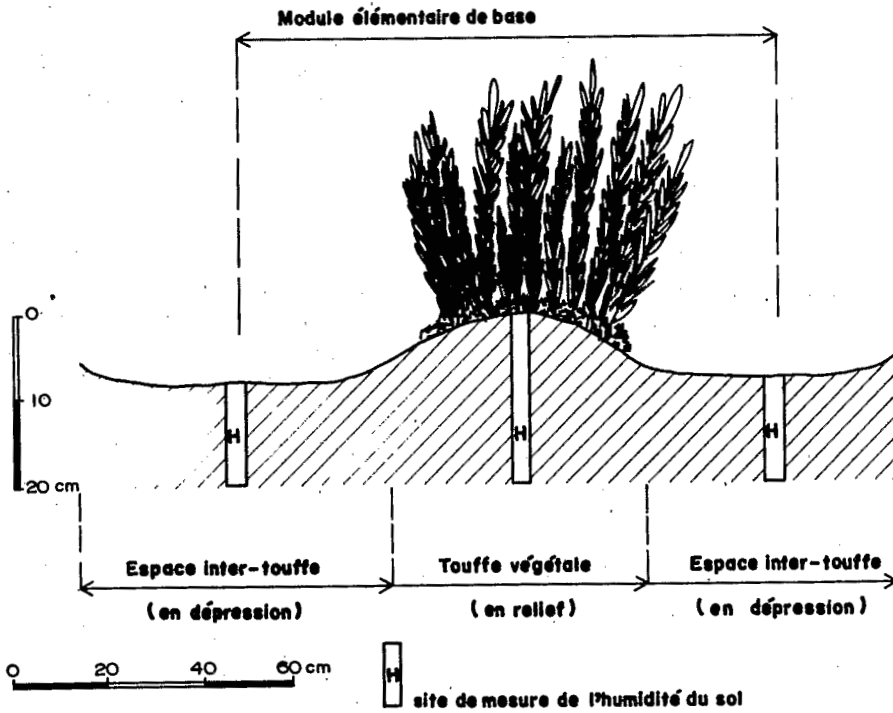


Fig. 2. Schéma du module de base de la formation végétale à distribution spatiale aléatoire.

irrégulière avec les plages végétales.

Ce sont trois sites de mesures qui vont donc nous permettre d'étudier l'hydrodynamique : le site touffe végétale de *Hilaria mutica* et le site inter-touffe adjacent, et le site sol nu correspondant aux plages sans végétation.

Pour chacun de ces sites, l'humidité du sol a été mesurée à l'aide d'un humidimètre à neutrons avec une périodicité régulière et en fonction des événements pluviométriques, pendant quatre années. Parmi les résultats ainsi obtenus, nous avons sélectionné deux épisodes pluvieux qui nous permettent de caractériser de manière exhaustive le fonctionnement hydrodynamique au niveau de cet écosystème.

Fonctionnement hydrodynamique du milieu

Pour les deux événements pluvieux choisis, nous avons calculé la quantité d'eau existante dans le sol, avant la pluie et immédiatement après celle-ci, à partir d'humidités mesurées dans le sol. De la sorte, nous pouvons déterminer exactement le stock d'eau emmagasiné par le sol au cours de l'événement pluviométrique. Les deux pluies considérées, respectivement de 29,7 et 44,7 mm. de hauteur, sont importantes pour la zone d'étude et se produisent généralement 1 ou 2 fois seulement en cours d'année.

Pour chacune de ces deux pluies, nous constatons (Fig. 3 et tableau 2) qu'il y a un stockage différentiel de l'eau dans le sol selon le site de mesures, qui concerne à la fois la quantité d'eau accumulée dans le sol et la profondeur humectée.

L'eau s'est infiltrée plus profondément pour le site touffe végétale que pour les deux autres sites, en particulier pour la pluie de 44,7 mm. Cette différence de comportement est à mettre en relation avec une plus forte porosité et une meilleure structure du sol situé sous la végétation, par suite d'une activité biologique notable, d'une teneur en matière organique plus élevée et de la présence de nombreuses racines, caractéristiques qui ne sont pas aussi favorables pour les sites inter-touffe et sol nu.

La quantité d'eau emmagasinée par le sol décroît très nettement lorsque la distance du site de mesures par rapport à la végétation augmente. Ainsi, pour le site touffe végétale, il y a excès d'eau par rapport à la hauteur de pluie qui atteint pratiquement le double de celle-ci. Dans ce cas, il y a apport hydrique complémentaire. Le site inter-touffe végétale, au contraire, ne stocke qu'une fraction de la hauteur d'eau précipitée, soit 80% environ,

tandis que le site sol nu, en n'emmagasinant que le tiers environ de la pluie, présente un déficit important par rapport à cette dernière.

Ce stockage différentiel de l'eau dans la couverture pédologique au niveau de cette station s'explique par l'état de surface du sol qui joue un rôle important. En effet, dans les zones de sol nu, la partie superficielle du

TABLEAU 2
BILAN HYDRIQUE DU SOL PAR TRANCHES POUR LES TROIS SITES
CARACTERISTIQUES DE LA STATION *HILARIA MUTICA* POUR DEUX PLUIES
DISTINCTES

Site	Tranches de sol (cm)	Pluie de 29,7 mm			Pluie de 44,7 mm		
		Av.	Ap.	Acc.	Av.	Ap.	Acc.
104	0-20	27,6	54,0	26,4	22,8	72,5	49,7
	20-40	36,8	65,0	28,2	34,5	72,6	38,1
	40-60	37,2	40,5	3,3	42,6	52,6	10,0
	60-80	33,0	33,0	0	31,8	33,4	1,6
	total			57,9			99,4
	bilan	excès 95 %			excès 122 %		
103	0-20	14,0	35,7	21,7	18,1	48,9	30,8
	20-40	27,3	28,8	1,5	34,2	39,5	5,3
	40-60	34,8	34,8	0	37,7	37,7	0
	total			23,2			36,1
	bilan	déficit 22 %			déficit 19 %		
105	0-20	9,4	17,8	8,4	18,4	31,7	13,3
	20-40	16,7	18,7	2,0	24,3	27,2	2,9
	40-60	25,0	25,0	0	26,4	26,4	0
	total			10,4			16,2
	bilan	déficit 65 %			déficit 64 %		

Av. = stock d'eau avant la pluie pour la tranche de sol considérée.

Ap. = stock d'eau après la pluie pour la tranche de sol considérée.

Acc. = stock d'eau accumulée durant la pluie (différence entre les deux valeurs précédentes)

$$\text{Bilan} = \frac{\text{stock total d'eau accumulée} - \text{hauteur de pluie}}{\text{hauteur de pluie}} \times 100$$

site 104 = touffe végétale.

site 103 = espace inter-touffe végétale.

site 105 = sol nu.

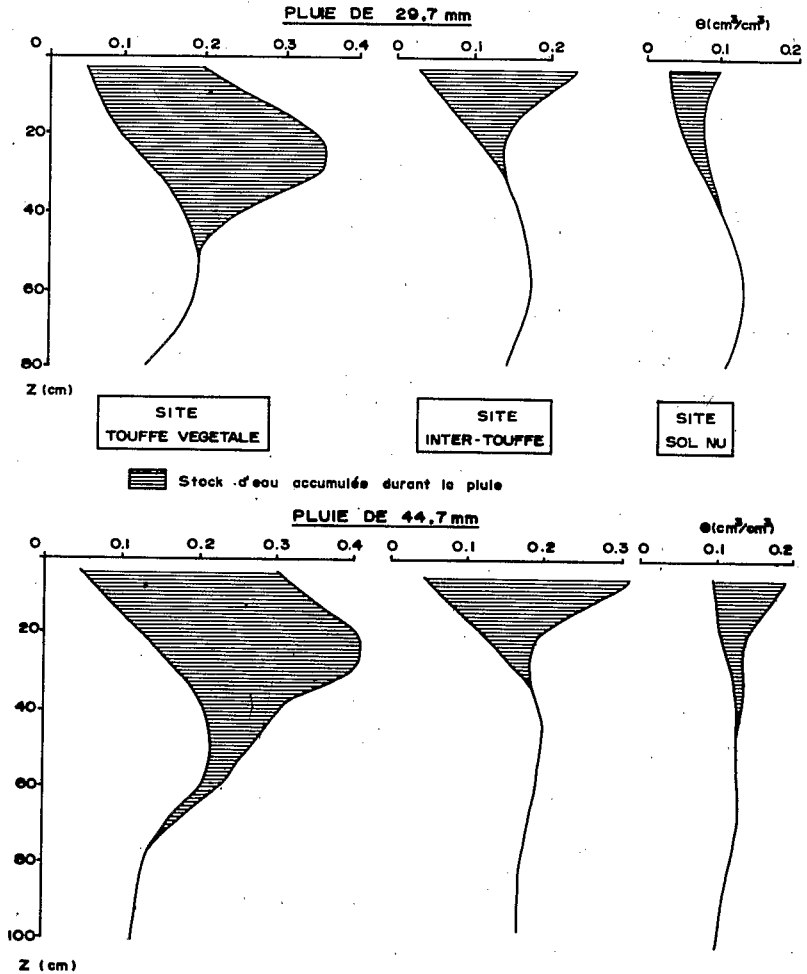


Fig. 3. Profils hydriques, avant et après la pluie, et stockage de l'eau dans le sol pour les trois sites caractéristiques de la station *Hilaria mutica*, pour deux pluies distinctes.

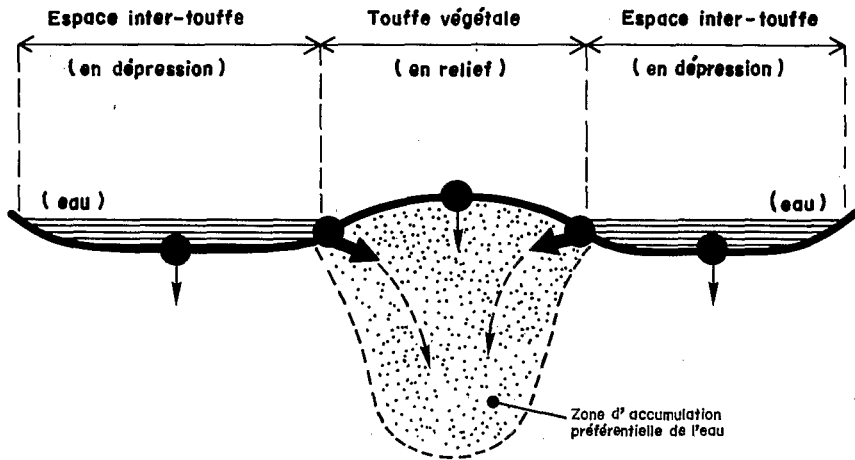
sol se présente sous forme d'une pellicule continue, véritable croûte quasi imperméable, qui constitue un milieu beaucoup plus favorable au ruissellement superficiel qu'à l'infiltration, malgré une pente très faible (0,6%). De plus, ces zones sans végétation ont une topographie plane sans aucune rugosité de surface qui pourrait arrêter les flux hydriques. Il en résulte que dans ces zones de sol nu, les eaux, dont la tendance préférentielle est le ruissellement, s'écoulent selon la pente jusqu'à ce qu'elles rencontrent un obstacle. Celui-ci est constitué par les plages de végétation adjacentes aux zones de sol nu (Fig. 1).

Les plages végétales, en jouant le rôle de piège pour ces eaux de ruissellement superficiel, reçoivent ainsi un apport d'eau complémentaire, mais qui se redistribue différenciellement dans ces plages de végétation.

Ces dernières présentent en effet un micro-relief constitué par l'alternance de zones en relief correspondant aux touffes végétales et de zones en dépression correspondant aux espaces inter-touffes, lesquels sont de véritables micro-bassins endoréiques. Durant un événement pluvieux, l'infiltration dans ces dépressions est très réduite car le sol présente là aussi une pellicule de surface s'opposant à une infiltration rapide. Mais, s'agissant de dépressions fermées, l'eau est obligée de stagner sur place, ce qui produit une évaporation directe importante, d'autant plus que les pluies se produisent essentiellement durant l'été, période de plus forte insolation. Cependant, une fraction de cette eau piégée parvient malgré tout à s'infiltrer dans le sol, mais très lentement, sous forme d'une infiltration forcée.

Au contraire, le site touffe végétale constitue un milieu très favorable à l'infiltration par suite des propriétés physiques favorables du sol à ce niveau, comme nous l'avons mentionné ci-dessus. Ainsi, en plus de l'eau météorique reçue directement par les touffes, une partie de l'eau libre qui stagne dans les dépressions inter-touffes, se vidange obliquement vers les sites de végétation, contribuant à la constitution d'un stock hydrique beaucoup plus important sous les touffes végétales que dans les espaces dénudés inter-touffes (Fig. 3bis).

Une fois la réserve hydrique reconstituée, essentiellement dans la partie supérieure du sol, la consommation d'eau est très rapide, que ce soit par évaporation directe comme pour les sites inter-touffes et sol nu, ou par évapotranspiration comme pour le site touffe végétale : en moyenne, 8 à 15 jours sont suffisants pour épuiser la majeure partie de l'eau disponible et pour retrouver des profils hydriques semblables aux profils antérieurs à la



Après une pluie, accumulation d'eau dans les dépressions, provenant par ruissellement des zones sans végétation. L'infiltration dans le sol se fait ensuite de manière différentielle :

- dans les dépressions, infiltration réduite par suite de la présence d'une croûte de surface très peu perméable.
- au niveau de la touffe végétale et surtout à la base de celle-ci, forte infiltration, par suite de propriétés physiques du sol favorables.

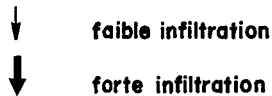


Fig. 3 bis. Schéma du fonctionnement hydrodynamique au niveau du module élémentaire de base de la formation végétale à distribution spatiale aléatoire.

pluie. Comme les événements pluvieux suffisamment importants pour reconstituer le stock hydrique du sol n'ont pas cette fréquence, la notion de saison des pluies est peu significative dans un tel milieu et il est préférable de parler de cycles humectation - dessiccation durant la période de plus forte probabilité de pluies.

L'espèce *Hilaria mutica* montre une double adaptation à cette hydrodynamique et aux conditions imposées par le sol :

- d'une part, une très forte proportion de racines est localisée dans la partie supérieure du sol (A. Cornet, communication personnelle) : 92% de la biomasse racinaire est en effet concentrée de 0 à 40 cm. de profondeur (Fig. 4). C'est essentiellement dans cette tranche de sol que les racines trouveront l'eau disponible pour s'approvisionner.

- d'autre part, la croissance de cette espèce est très rapide et débute dès que la recharge hydrique est reconstituée, ce qui épuise rapidement la réserve en eau. Tout se passe comme si la plante "savait" qu'elle doit utiliser rapidement l'eau disponible, sinon c'est l'évaporation qui va le faire : il s'agit d'une véritable compétition dans la consommation de l'eau du sol entre la plante et la forte demande évaporative du milieu. Une fois la réserve hydrique épuisée, la plante entre à nouveau en vie ralentie, jusqu'au prochain événement pluvieux. Ainsi, aux cycles humectation - dessiccation du sol, se surimposent, avec un décalage dans le temps, des cycles croissance - non croissance de la végétation.

La distribution spatiale, sous forme contractée, peut-être ainsi considérée comme une parade "inventée" par la végétation pour survivre dans un tel milieu climatique. Cette forme d'adaptation est efficace puisque la couverture végétale vit, durant l'année, avec une quantité d'eau totale bien supérieure à la hauteur de pluie annuelle, caractéristique qui va être encore plus accentuée dans le second exemple ci-dessous.

Cas d'une formation végétale complexe à distribution spatiale de type ordonné

Caractéristiques de la station d'étude

La station expérimentale (250 m x 80 m) est localisée géomorphologiquement en *bajada* inférieure où la pente est de 0,6 %.

La végétation correspond à une formation complexe, du type "brousse-tigrée" ou *vegetation-arc*, appelée localement *mogote* et se présente sous forme

d'une alternance de bandes ou arcs de végétation et de zones de sol nu, l'ensemble, à la différence de l'unité précédente, obéissant à une répétitivité et à une régularité dans l'espace correspondant au mode de distribution spatiale de type ordonné (Fig. 1).

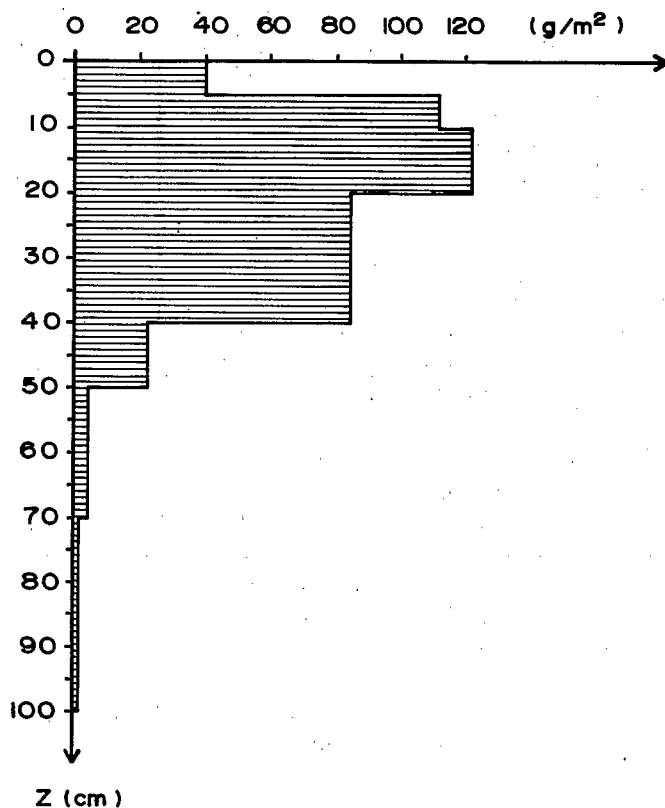


Fig. 4. Distribution de la biomasse racinaire (en g/m²) en fonction de la profondeur dans le sol de la station *Hilaria mutica* (D'après A. Cornet, communication personnelle).

Les bandes végétales ont 20 à 60 mètres de largeur sur 150 à 300 mètres de longueur, et leur grand axe est toujours orienté perpendiculairement à la pente. Les zones de sol nu occupent les espaces entre ces bandes, avec une largeur variable de 50 à 200 mètres, indépendante et sans relation avec celle des bandes de végétation (Cornet *et al.*, 1987; Delhoume, 1988).

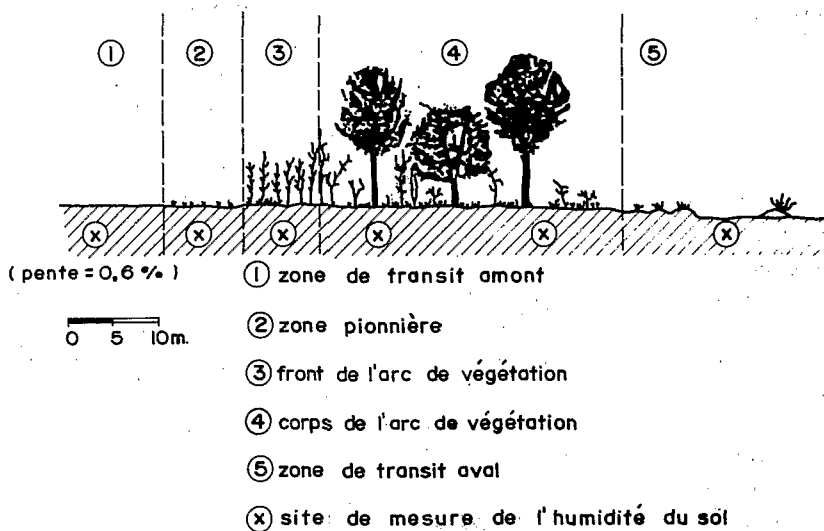


Fig. 5. Coupe transversale, amont-aval, d'un arc de végétation (d'après Cornet *et al.*, 1987).

D'amont en aval et perpendiculairement à la pente, on observe la succession suivante des différentes unités constituant cette formation végétale (Fig. 5) :

1. L'espace inter-arc amont, formé de deux zones :

- une zone de transit, sans aucune végétation, où la surface du sol est constituée par une pellicule superficielle ou croûte quasi imperméable, recouverte par de très nombreux graviers : une telle organisation constitue un milieu très favorable au ruissellement.

- une zone pionnière qui succède vers l'aval à la zone de transit ci-dessus. Les deux centimètres supérieurs du sol, de texture limono-argileuse et sans éléments grossiers, contrastent nettement avec la partie superficielle équivalente du sol de la zone de transit ci-dessus où la texture est sableuse avec de nombreux graviers. Grâce à cette texture fine, la surface du sol de cette zone pionnière se fissure sous l'effet de la dessiccation, ce qui ne se produit pas dans la zone de transit. Cette morphologie de la surface du sol favorise ainsi, d'une part, le piégeage des graines et d'autre part, une meilleure infiltration de l'eau à ce niveau, avec pour conséquence une colonisation progressive par la végétation de cette zone pionnière.

2. L'arc végétal proprement dit où l'on distingue deux parties :

- le front de l'arc, constitué par une strate arbustive dominée surtout par *Flourensia cernua* et une strate herbacée à *Hilaria mutica*, l'ensemble ayant un recouvrement de 40 à 60 %.

- le corps de l'arc, qui présente une strate arbustive dense, très variée en espèces, certaines atteignant 3 à 4 mètres de hauteur telle que *Prosopis glandulosa*, et une strate herbacée à *Hilaria mutica*. Le recouvrement de la végétation est de 60 à 80 % dans la moitié amont, tandis qu'en allant vers l'aval il diminue progressivement jusqu'à 30 %. Dans cette zone aval de l'arc de végétation, les espèces sont moins nombreuses et on note la présence de vieilles touffes herbacées et d'arbustes dépérissants.

Hilaria mutica se rencontre dans l'ensemble de l'arc végétal avec un taux de recouvrement variable, passant de 60 à 30 % de l'amont vers l'aval. Cette espèce présente la même distribution contractée en touffes alternant avec des espaces dénudés donnant le micro-relief caractéristique, tel que nous l'avons décrit pour l'unité précédente.

3. L'espace inter-arc aval, constitué par une zone de transit qui fait suite à l'arc végétal, avec une dénivellation brutale de 10 à 15 cm. de la topographie. La végétation y est pratiquement absente, seuls se rencontrent quelques cactacées et des restes ligneux d'arbustes morts. Cette zone passe progressivement à la zone de transit amont de l'arc végétal suivant.

La couverture pédologique ne présente pas d'hétérogénéité majeure pour l'ensemble de cette formation végétale et peut se caractériser par le profil morphologique suivant :

- 0 à 4 cm = structure polyédrique subanguleuse fine avec une tendance à grumeleuse peu exprimée, poreux, fragile, présence de graviers, racines.
- 4 à 40 cm = structure polyédrique fine, nombreuses racines, peu poreux, peu fragile, présence de graviers.
- 40 à 65 cm = structure massive, très peu poreux, très compact, très peu fragile, quelques racines, présence de graviers.
- 65 à 90 cm = horizon d'altération de la roche-mère, structure polyédrique moyenne, peu poreux, peu fragile.
- 90 à 110 cm = horizon de transition, terre fine en agrégats polyédriques fins juxtaposés à des fragments de roche-mère non altérée, peu poreux, peu fragile.
- plus de 110 cm = roche-mère de type marne, non altérée, à débit en plaquettes et fragments centimétriques.

La texture est fine à équilibrée (tableau 3) et la conductivité électrique est faible, indiquant l'absence de salinité dans ce sol. Le carbonate de calcium et le gypse ne présentent aucune forme d'accumulation secondaire visible : il s'agit d'éléments primaires, d'origine lithologique. La teneur en carbone organique dépasse 2 % en surface, ce qui est à mettre en relation avec la densité de la couverture végétale de cette formation.

TABLEAU 3
CARACTERISTIQUES ANALYTIQUES DU SOL DE LA STATION MOGOTE

Profond. (cm)	Texture (%)			CE (mS/cm)	CaCO ₃ (%)	pH eau	M.O. (‰)		
	A	L	S				C	N	C/N
0-3	15,9	42,3	41,8	1,00	12,2	8,1	22,2	2,39	9,3
6-14	28,0	16,2	55,8	0,80	12,8	8,5	5,47	0,76	7,2
25-33	33,1	15,2	51,7	0,60	22,4	7,7	3,40	0,50	6,8
48-58	24,1	31,2	44,7	1,00	22,0	8,2	2,12	0,46	4,6
71-79	39,4	42,4	18,2	0,75	33,7	8,4	2,10		
97-105	37,4	48,0	14,6	2,00	36,7	8,8			
130-140	41,0	24,7	34,3						

A = argile - 0 à 0,002 mm
L = limon - 0,002 à 0,050 mm
S = sable - 0,050 à 2 mm
CE = conductivité électrique

CaCO₃ = carbonate de calcium
M.O. = matière organique
C = carbone organique
N = azote total

Selon la classification FAO/UNESCO (1976), ce sol est un Xérosol modal sur matériau fin d'apport, reposant à moyenne profondeur sur un matériau marneux autochtone.

Méthodologie

Comme pour l'écosystème précédent, nous avons suivi l'évolution du stock hydrique du sol dans le temps par mesures périodiques de l'humidité avec un humidimètre à neutrons, durant quatre années.

Les sites de mesure sont localisés dans chacune des unités constituant la formation étudiée le long d'une ligne orientée selon la pente qui recoupe ainsi perpendiculairement l'arc de végétation (Fig. 5).

Comme précédemment, nous avons sélectionné deux épisodes pluvieux qui vont nous permettre de caractériser le fonctionnement hydrodynamique de cette formation végétale.

Fonctionnement hydrodynamique du milieu

Les deux pluies retenues sont elles aussi importantes pour la région et, bien qu'elles se soient produites en même temps que les deux pluies étudiées dans le cas de l'écosystème précédent, elles ont une hauteur inférieure, respectivement de 23,2 et 37,0 mm.

Le stock hydrique a été calculé avant et immédiatement après l'événement pluvieux. Nous constatons là aussi qu'il existe une accumulation différentielle notable de l'eau dans le sol selon la localisation du site de mesures le long du transect amont-aval de l'arc végétal (tableau 4 et Fig. 6A et 6B).

C'est pour les sites 3 et 4 que l'infiltration est la plus profonde, et cela d'autant plus que la pluie est plus importante. Inversement, dans les sites 1 et 5, l'infiltration reste superficielle, tandis que le site 2 occupe une position intermédiaire.

En ce qui concerne l'eau stockée par le sol, c'est la partie amont de l'arc de végétation (site 3) qui accumule le maximum d'eau avec une quantité représentant 3 fois la hauteur de pluie, tandis que la partie centrale (site 4) stocke 1,5 à 2 fois cette même hauteur. La zone pionnière (site 2) emmagasine une quantité d'eau semblable à la pluie, alors que les espaces inter-arc amont et aval (sites 1 et 5) ne stockent que 30 à 50 % de cette

TABLEAU 4
BILAN HYDRIQUE DU SOL PAR TRANCHES POUR LES CINQ SITES
CARACTERISTIQUES DE LA STATION *MOGOTE* POUR DEUX PLUIES DISTINCTES

Site	Tranches de sol (cm)	Pluie de 23,2 mm			Pluie de 37,0 mm		
		Stock hydrique du sol (mm)			Stock hydrique du sol (mm)		
		Av.	Ap.	Acc.	Av.	Ap.	Acc.
1	0-20	17,7	13,7	6,0	10,7	21,9	11,2
	20-40	11,7	12,2	0,5	12,3	12,9	0,6
	total			6,5			11,8
	bilan		déficit 72 %			déficit 68 %	
2	0-20	13,1	27,1	14,0	16,6	46,1	29,5
	20-40	18,7	23,6	4,9	27,2	36,8	9,6
	40-60	21,4	21,8	0,4	30,3	30,4	0,1
	total			19,3			39,2
	bilan		déficit 17 %			excès 6 %	
3	0-20	8,3	30,2	21,9	11,0	41,4	30,4
	20-40	17,8	39,1	21,3	17,8	46,9	29,1
	40-60	20,5	40,1	19,6	23,6	50,5	26,9
	60-80	19,1	26,2	7,1	23,8	47,7	23,9
	80-100				23,7	27,3	3,6
	total			69,9			113,9
bilan		excès 201 %			excès 208 %		
4	0-20	8,8	34,9	26,1	11,7	42,6	30,9
	20-40	16,7	36,6	19,9	18,1	38,6	20,5
	40-60	25,8	30,3	4,5	20,1	27,9	7,8
	60-80				17,1	18,3	1,2
	total			50,5			60,4
bilan		excès 118 %			excès 63 %		
5	0-20	11,5	17,3	5,8	14,0	30,3	16,3
	20-40	15,0	16,6	1,6	18,3	21,4	3,1
	40-60				19,9	20,0	0,1
	total			7,4			19,5
bilan		déficit 68 %			déficit 47 %		

Av. = stock d'eau avant la pluie pour la tranche de sol considérée.

Ap. = stock d'eau après la pluie pour la tranche de sol considérée.

Acc. = stock d'eau accumulée durant la pluie (différence entre les deux valeurs précédentes).

$$\text{Bilan} = \frac{\text{Stock total d'eau accumulée} - \text{hauteur de pluie}}{\text{hauteur de pluie}} \times 100$$

site 1 = zone de transit amont; site 2 = zone pionnière; site 3 = front de l'arc de végétation; site 4 = corps de l'arc de végétation; site 5 = zone de transit aval.

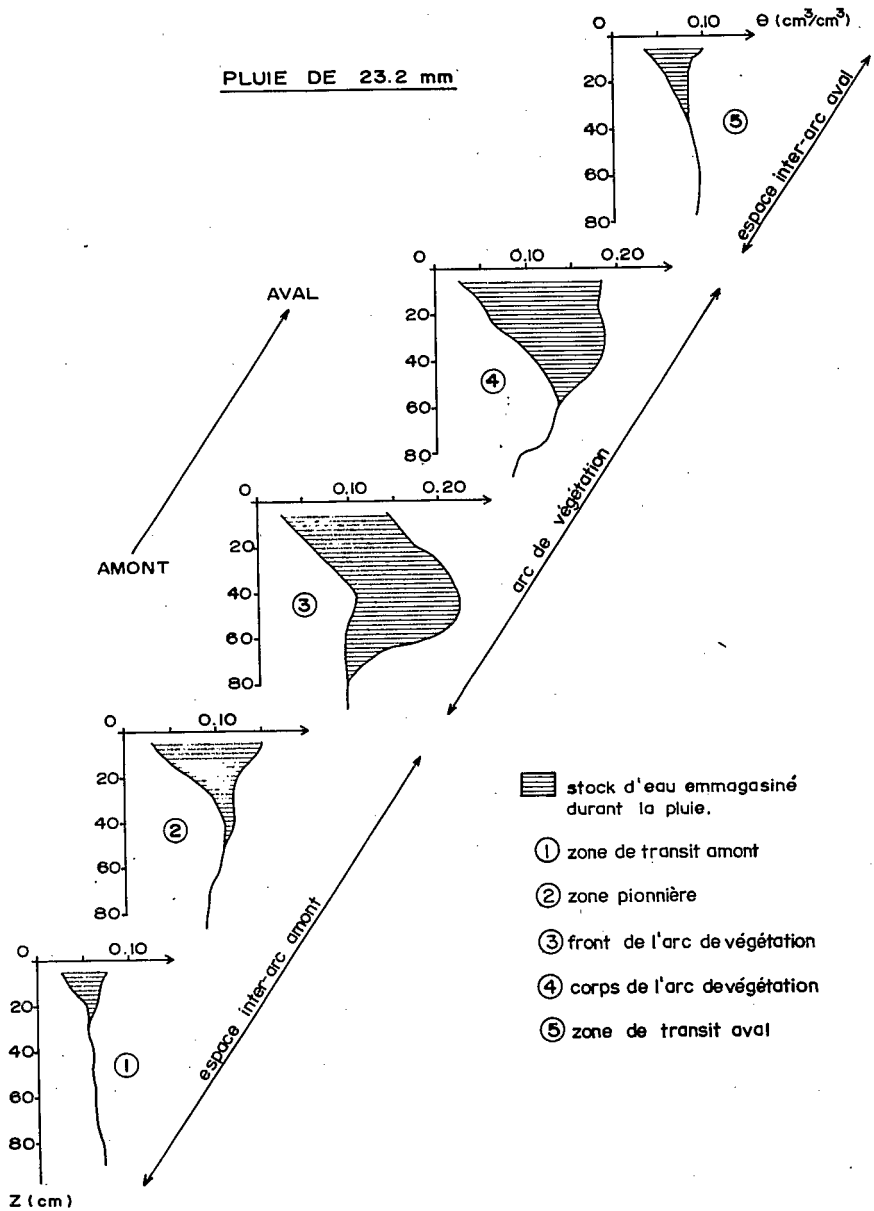


Fig. 6A. Profils hydriques, avant et après une pluie de 23, 2 mm, et stockage de l'eau dans le sol d'amont en aval d'un arc de végétation.

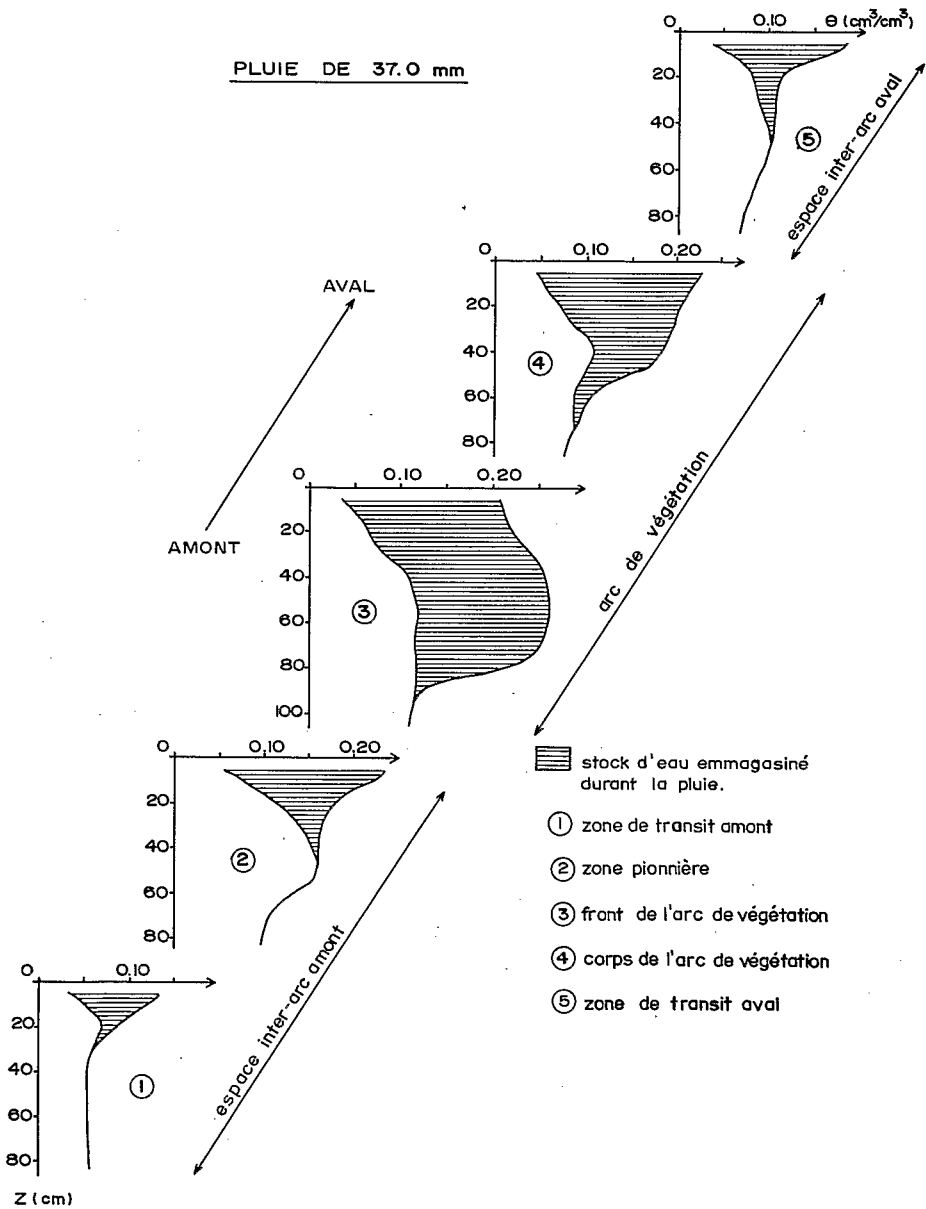


Fig. 6B. Profils hydriques, avant et après une pluie de 37,0 mm, et stockage de l'eau dans le sol d'amont en aval d'un arc de végétation.

dernière.

Ce stockage différentiel de l'eau dans le sol s'explique par la nature des différentes unités constituant l'arc de végétation, et en particulier par l'état de la surface du sol.

Cette dernière, dans la zone de transit amont de l'arc végétal, se présente sous forme d'une pellicule continue très peu perméable sur laquelle repose de nombreux petits graviers : cette organisation de la partie superficielle du sol constitue un milieu beaucoup plus favorable au ruissellement qu'à l'infiltration. La topographie plane sans micro-relief de ce milieu et sa pente faible (0,6 %) permettent de plus la naissance et le développement d'un important ruissellement en nappe à ce niveau de l'arc de végétation.

Cette zone amont se comporte ainsi comme un impluvium qui collecte et concentre l'eau en surface. Celle-ci s'écoule naturellement vers l'aval où elle est interceptée par la zone pionnière : une fraction de cette eau d'apport s'y infiltre dès son arrivée par suite de la fissuration de la surface du sol et d'une texture moins fine.

Mais c'est surtout la zone située plus en aval, c'est-à-dire l'arc de végétation lui-même, et essentiellement la partie amont de celui-ci, qui bénéficie de l'apport d'eau de ruissellement venant de l'amont. A ce niveau, l'eau est en effet piégée par suite du micro-relief de la surface du sol qui est semblable à celui décrit ci-dessus pour la formation végétale à distribution aléatoire. Comme précédemment, le stockage de l'eau dans le sol se fait de manière différentielle en fonction de l'alternance de touffes végétales en relief et d'espaces inter-touffes en dépression.

C'est ainsi qu'avec cette redistribution superficielle de l'eau, l'arc de végétation reçoit au total 1,5 à 3 fois la hauteur de pluie annuelle, ce qui permet d'expliquer la densité et la diversité de cette formation végétale, bien que l'on soit en milieu aride.

Conclusions

L'étude expérimentale de deux écosystèmes caractéristiques de la zone aride du nord du Mexique, a permis de mettre en évidence la dynamique de leur fonctionnement, laquelle est déterminée, d'une part, par le facteur eau d'origine pluviale et par sa redistribution spatiale dans le paysage, et, d'autre part, par les propriétés intrinsèques de la couverture pédologique.

L'existence même de ces deux écosystèmes est conditionnée par ces paramètres eau et sol, lesquels présentent dans ce milieu aride des caractéristiques de contrainte, auxquelles doivent faire face les espèces vivantes, en particulier la végétation. Ces facteurs limitants se traduisent par deux types d'aridité, l'une climatique, l'autre édaphique, qui additionnent mutuellement leurs effets négatifs, rendant le milieu encore plus hostile. L'aridité climatique se caractérise par des températures élevées de mai à octobre, par la rareté des pluies, par leur forte variabilité à la fois spatiale et temporelle, ainsi que par leur mauvaise distribution au cours de l'année, la majorité de celles-ci se produisant durant la période la plus chaude à forte demande évaporative. Ainsi, ce n'est seulement qu'une fraction de la quantité d'eau pluviale disponible, déjà faible pourtant, qui est stockée dans la couverture pédologique, ce qui traduit un aspect de l'aridité édaphique de ce milieu. Cette dernière est accentuée par des propriétés hydrodynamiques défavorables du sol : infiltration très limitée de l'eau vers la profondeur, par suite d'une texture lourde à argiles gonflantes, d'où, corrélativement, constitution d'une réserve hydrique seulement dans la partie supérieure du sol avec des pertes par évaporation d'autant plus importantes.

Face à ces contraintes d'aridité et afin de pallier à l'insuffisance en eau et pour utiliser au mieux celle-ci, la végétation a trouvé une parade, sans aucune intervention de l'homme, en s'adaptant aux contraintes imposées par le milieu. Pour cela, la couverture végétale se distribue spatialement de manière contractée, à différentes échelles, sous forme de plages végétales denses, soit du type monospécifique, soit du type complexe (diversité d'espèces), qui alternent, soit régulièrement, soit irrégulièrement, avec des espaces totalement dépourvus de végétation. Ceux-ci, véritables impluviums, constituent des milieux très favorables au ruissellement de surface, par suite essentiellement de la nature et de l'état de la pellicule superficielle du sol, et correspondent ainsi à des zones de transfert pour l'eau de ruissellement. Cette dernière va alors s'accumuler, en fonction de la pente, dans les zones adjacentes à végétation où elle est piégée de manière forcée par suite de la présence d'un micro-relief induit par l'alternance, à l'échelle métrique, de touffes végétales en relief et de micro-dépressions dans les espaces inter-touffes. Cette redistribution spatiale des flux hydriques de surface, concentre l'eau vers les zones à végétation qui reçoivent ainsi de 1,5 à 3 fois la pluviométrie annuelle.

Cette hydrodynamique permet ainsi d'expliquer la présence simultanée sous forme d'une mosaïque, dans un même écosystème aride, de deux milieux très différents : d'une part, des zones sans aucune végétation, qui

s'apparentent à un désert minéral strict, hyper-aride, et, d'autre part, des plages de végétation dense qui utilisent les ressources hydriques d'un milieu sub-humide. Cette physionomie indique que l'écosystème, dans sa dynamique évolutive et sous la pression des contraintes d'aridité, ne peut subsister qu'en auto-stérilisant une fraction de son domaine, le transformant localement en zones purement minérales, où la vie végétale a disparu. Les chances de colonisation ou de re-colonisation par la végétation de ces milieux dénudés sont d'ailleurs très réduites, car il s'agit de zones où l'eau ne fait que transiter et où les graines ne peuvent s'enfouir dans le sol, par suite de la présence d'une croûte en surface du sol.