

REPUBLIQUE TUNISIENNE

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

DIRECTION DES RESSOURCES EN EAU ET EN SOL

DIVISION DES SOLS

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE - MER

MISSION EN TUNISIE

**ETUDES EN MILIEU MEDITERRANEEN SEMI-ARIDE
RUISSELLEMENT ET EROSION EN ZONE MONTAGNEUSE
DE TUNISIE CENTRALE (Djebel Semmama)**

Résultats 1975 à 1979

JP. DELHOUME, Pédologue O.R.S.T.O.M. (1981)

REPUBLIQUE TUNISIENNE

Ministère de l'Agriculture

Direction des Ressources
en Eau et en Sol

DIVISION DES SOLS

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

Mission en Tunisie

ETUDES EN MILIEU MEDITERRANEEN SEMI - ARIDE
RUISSELLEMENT ET EROSION EN ZONE MONTAGNEUSE
DE TUNISIE CENTRALE (DJEBEL SEMMAMA))
RESULTATS 1975 A 1979

par
J.P. DELHOUME
Pédologue ORSTOM

1981

Nous vous prions d'excuser la très mauvaise réalisation technique de ce rapport, indépendante de notre volonté.

J.P. DELHOUME.

I N T R O D U C T I O N

Les phénomènes d'érosion sont extrêmement importants en Tunisie Centrale, comme l'attestent les marques très nombreuses bien visibles dans le paysage de cette région. Pour essayer d'atténuer l'ampleur de ces phénomènes qui peuvent devenir catastrophiques (crues de l'automne 1969 par exemple), il est indispensable d'en connaître les causes et les modalités. Pour cela, des dispositifs expérimentaux permettant d'étudier les mécanismes du ruissellement et de l'érosion hydrique et de chiffrer leur importance, sont nécessaires.

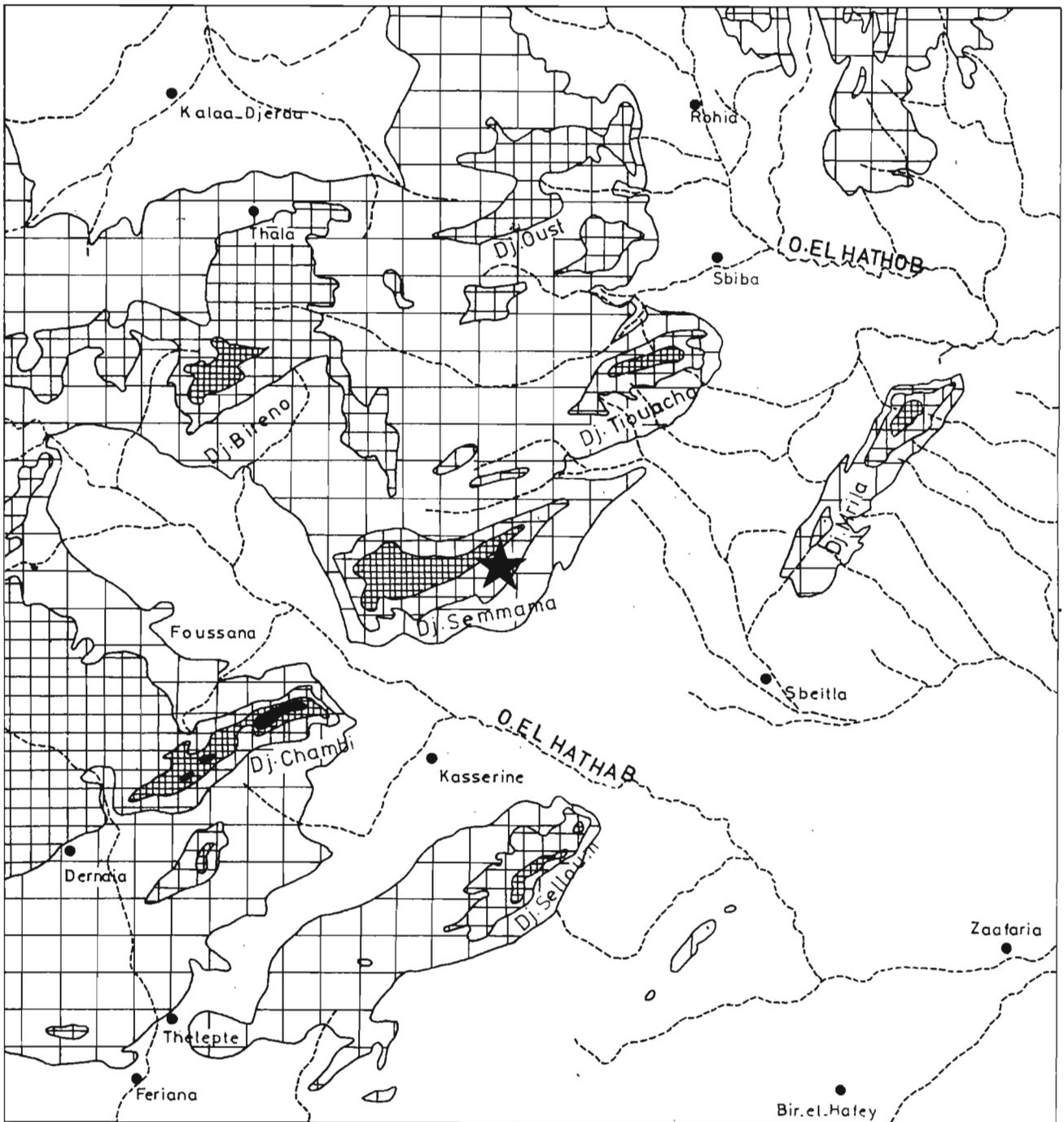
Une telle étude a été entreprise dans la partie nord-est du djebel Semmama, situé au nord de la ville de Kasserine, sous forme d'une action pluridisciplinaire réalisée par les sections Botanique, Géographie Hydrologie et Pédologie de la Mission ORSTOM en Tunisie.

Alors que les études réalisées par la section Hydrologie se font au niveau d'un bassin versant de 15 km² (Oued el Hissiane) et de sous-bassins de quelques kilomètres carrés, celles effectuées par la section Pédologie le sont à un niveau beaucoup plus élémentaire : parcelles dites "d'érosion" (132 m²) en zone montagneuse et parcelles-toposéquences (300 à 3000 m²) en zone de piedmont.

Nous présentons ici les résultats obtenus de 1975 à 1979 provenant des deux parcelles installées dans la zone montagneuse. Dans ce milieu essentiellement forestier, les objectifs principaux de recherche sont les suivants :

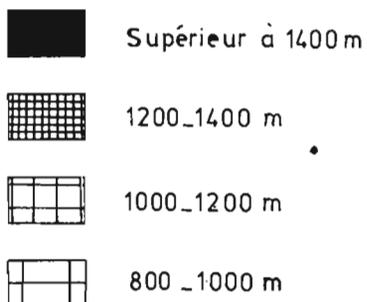
- étude de l'influence du couvert végétal sur le ruissellement et l'érosion
- étude des mécanismes primaires du ruissellement
- détermination quantitative du ruissellement et de l'érosion
- évaluation de l'appauvrissement de l'horizon de surface du sol par érosion
- estimation de l'effet d'une mise en défens sur la dynamique du peuplement végétal.

Fig:1 CADRE GEOGRAPHIQUE



Echelle : 1/500.000

ALTITUDES



 Station expérimentale
d'étude du ruissellement
et de l'érosion

lère Partie : ETUDE DU MILIEU

Avant de présenter les résultats expérimentaux concernant le ruissellement et l'érosion, il est nécessaire de définir les différents facteurs qui caractérisent le milieu naturel et l'environnement du djebel Semmama où sont situés les différents dispositifs d'étude.

I - CADRE GEOGRAPHIQUE

Le djebel Semmama et son piedmont s'intègrent parfaitement dans le cadre général des "Hautes Steppes", qui constituent une des régions naturelles de la Tunisie Centrale (fig.1). Vers le nord, cette région est limitée par les versants sud de la "Dorsale", tandis que vers le nord-ouest et l'ouest elle passe progressivement à une zone de hauts-plateaux (Thala) dont l'altitude est supérieure à 800 m. A l'est et au sud-est, les "Basses Steppes" forment la transition avec les "Sahels" côtiers (Sfax- Sousse), alors que vers le sud, la transition avec la zone des "Chotts" se fait par une zone de basses-plaines.

Le paysage général des Hautes Steppes est constitué par un ensemble de chaînons montagneux (ou djebels) qui dominent un système de glacis et de plaines alluviales façonné durant l'ère Quaternaire.

Les djebels sont les plus hauts sommets de Tunisie : Chambi (1544 m.), Bireno (1419 m.), Selloum (1373 m.), Mhrila (1378 m.), Semmama (1314 m.) et présentent une orientation générale sud-ouest - nord-est. Ces massifs ont donné naissance à un ensemble de glacis développés essentiellement dans leur piedmont sud et sud-est. Ceux-ci, très entaillés et disséqués par l'érosion hydrique, se présentent sous forme de lanières s'avançant vers l'aval en direction du sud et du sud-est.

Les plaines alluviales les plus importantes sont en fait des fossés d'effondrement quaternaire (Foussana, Kasserine, Rohia, Sbiba), perpendiculaires à la direction générale des djebels, dans lesquelles se sont déposées de grandes épaisseurs de matériaux provenant de l'érosion des massifs.

C'est dans ces fossés que s'encaissent les deux oueds principaux : el Hatab et el Hathob, qui se dirigent vers l'est où, à leur confluence, ils constituent l'oued Zéroud. Une multitude d'oueds venant des reliefs viennent "grossir" ces deux oueds principaux, l'ensemble du réseau hydrographique étant à écoulement discontinu.

II - CADRE GEOLOGIQUE

La physionomie actuelle des Hautes Steppes et d'une manière générale celle de la Tunisie Centrale est le résultat de la paléogéographie et des orogénèses qui se sont succédées au cours des temps géologiques.

II-1. - Paléogéographie (fig.2) et Orognèses

Après le Trias et le Jurassique, au cours desquels la mer a recouvert l'ensemble de la Tunisie, le Crétacé inférieur (Aptien puis Albien) voit le début de l'individualisation d'une aire continentale (ou tout au moins épicontinentale) en Tunisie Centrale. Celle-ci est réduite assez notablement lors du Cénomaniens et du Crétacé supérieur par suite d'une transgression importante vers le sud.

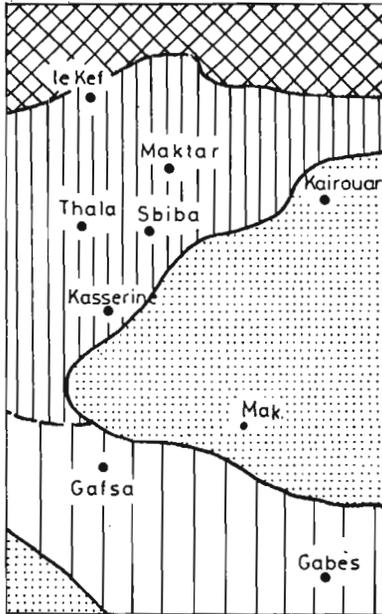
A l'Eocène, l'aire continentale de Tunisie Centrale s'individualise à nouveau très nettement et reste distincte du continent saharien au sud.

La période allant du Jurassique à l'Eocène est une phase pré-orogénique peu intense, marquée par des déformations à grand rayon de courbure d'orientation générale ~~ouest-est~~.

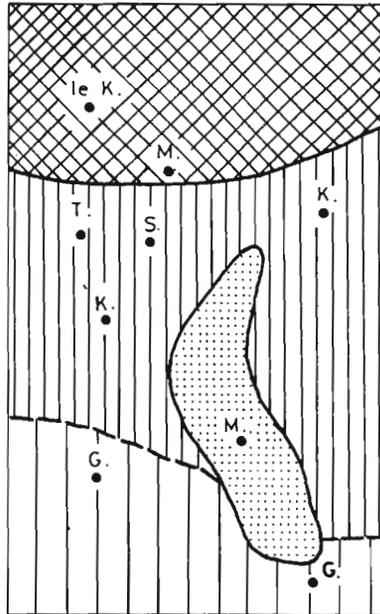
A l'Oligocène, la mer régresse vers le nord et l'est, provoquant une émergence générale de la Tunisie Centrale qui rejoint au sud l'aire continentale saharienne. A partir de cette époque, le centre de la Tunisie restera continental avec cependant une incursion marine au Vinobonien sous forme d'un golfe étroit (Kasserine - Fériana).

Fig:2 PALEOGEOGRAPHIE SCHEMATIQUE DE LA TUNISIE CENTRALE

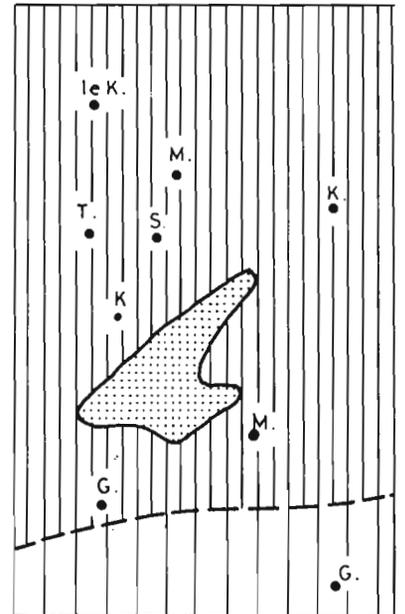
D'après G. CASTANY, Notice de la carte géologique de la Tunisie au 1/500.000-1953-



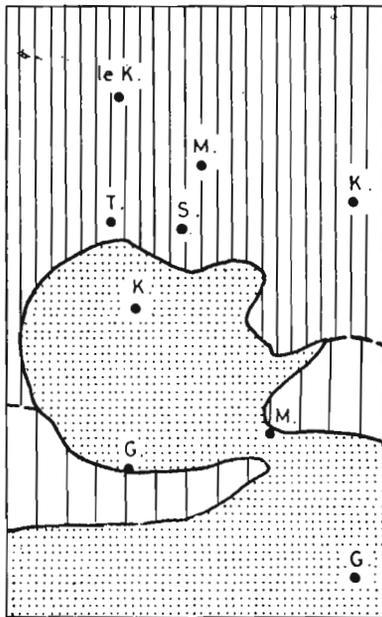
Crétacé inférieur (Aptien)



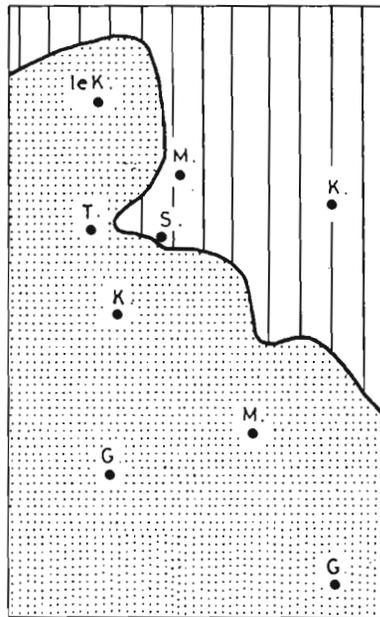
Crétacé moyen (Cénomanién)



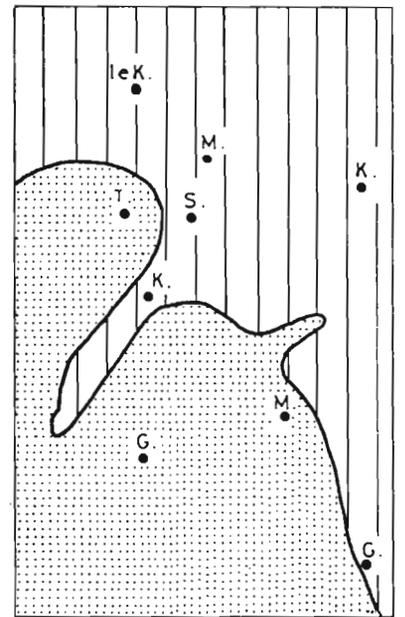
Crétacé supérieur (Senonien)



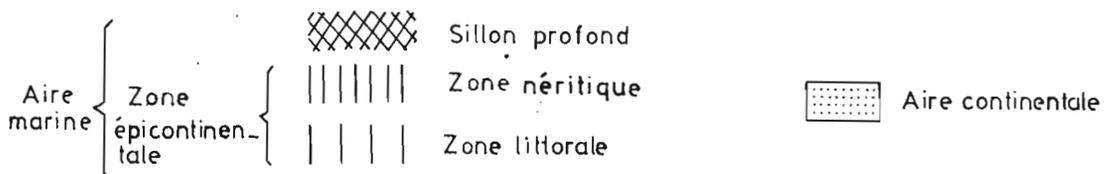
Eocène (Lutétien)



Oligocène (Inférieur)



Miocène (Vindobonien)



C'est à partir de l'Oligocène et jusqu'au début du Quaternaire qu'une phase importante de plissement et de surrection donne à la Tunisie Centrale son aspect actuel. Cette orogénèse dont le paroxysme se situe au Plio-Villafranchien aboutit à la surrection des plis et à la mise en place définitive des reliefs (djebels), massifs anticlinaux d'axe nord-est - sud-ouest.

II-2. - Lithologie (Fig.3)

La couverture lithologique de la Tunisie centrale présente des matériaux variés, témoins des différentes conditions paléo-géographiques successives.

II-2-1. - Trias

Les affleurements triasiques, de faible étendue, sont liés aux accidents tectoniques. Ils se sont mis en place par diapirisme lors de la phase orogénique plio-villafranchienne et sont constitués d'un mélange de matériaux broyés : gypse avec argiles bariolées, blocs de cargneules, de dolomies et de calcaires dolomitiques, quartz bi-pyramidés, ophites.

II-2-2. - Crétacé

Les affleurements crétacés couvrent de grandes surfaces en Tunisie Centrale et constituent l'ossature de la majorité des reliefs.

Le Crétacé inférieur est surtout développé au djebel Mhrila, où il affleure sous forme de dépôts détritiques continentaux : grès et dolomies. Des dépôts mixtes : grès et calcaires dolomitiques avec intercalations marneuses, forment la transition avec les dépôts néritiques localisés aux djebels Semmana, Chambi et Bireno : complexe marno-calcaire avec quelques intercalations gréseuses et calcaires récifaux.

Le Crétacé moyen, présent dans la plupart des djebels, est constitué de marnes avec des bancs de marno-calcaires et quelques lits gréseux, surmontés de calcaires blancs crayeux et de marnes.

II-2-3. - Eocène et Oligocène

L'Eocène n'affleure que dans les régions de Thala et de Sbiba où les faciès sont marins, sous forme de dépôts de calcaires et de calcaires marneux, avec des niveaux plus ou moins phosphatés.

L'Oligocène, présent à l'est de Sbiba-Rohia, est constitué d'une alternance de marnes et de grès à sa partie inférieure, surmontée de formations entièrement continentales : dépôts détritiques grossiers avec nombreux bois silicifiés.

II-2-4. - Miocène et Pliocène

Les affleurements miocène et pliocène couvrent des surfaces importantes en Tunisie Centrale, localisées essentiellement dans les zones de piedmont.

Le Miocène marin (Vindobonien), dont les affleurements encadrent le djebel Mhrila, est constitué par un puissant complexe de marnes plus ou moins gypseuses, avec des intercalations de grès et de lignite.

Le Vindobonien marque la fin du cycle marin miocène et les formations qui le recouvrent constituent le Mio-pliocène continental, qui forme une série détritique ou conglomératique constituée de marnes, argiles, sables, grès et conglomérats.

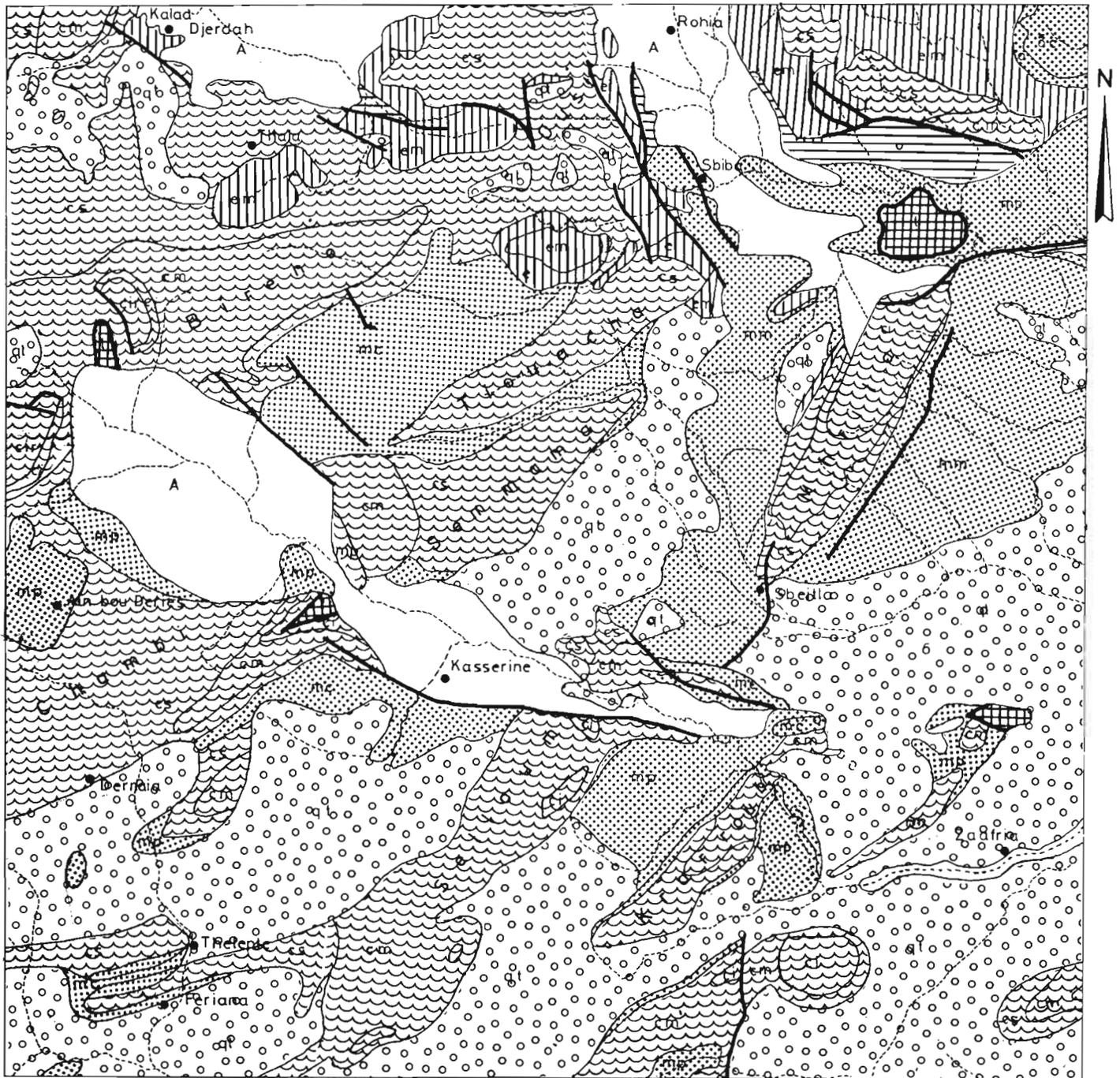
II-2-5. - Quaternaire

Les formations quaternaires occupent la majeure partie des steppes de Tunisie Centrale. Elles sont constituées de dépôts continentaux de sables, limons et argiles surmontés d'une puissante croûte calcaire (Quaternaire ancien), de croûtes et encroûtements calcaires variés (Quaternaire moyen) et de dépôts éoliens et alluviaux (Quaternaire récent).

Fig 3 - CARTE GEOLOGIQUE DE LA TUNISIE CENTRALE

Extraite de la Carte géologique de la Tunisie par G. CASTANY

Echelle 1/500.000



t : Trias des diapirs

ci : Crétacé inférieur - faciès récifal

ci : Crétacé inférieur

cm : Crétacé moyen

cs : Crétacé supérieur

ei : Eocène inférieur marin

ec : Eocène moyen et inférieur continental

em : Eocène moyen marin

oc : Oligocène continental

o : Oligocène marin

mc : Miocène continental anté-pontien

mm : Miocène marin Vindobonien

mp : Miopliocène (Pontien)

qt : Quaternaire continental : alluvions anciennes

A : Alluvions actuelles

— : Faille

III- CADRE GEOMORPHOLOGIQUE

C'est à partir de la fin du Tertiaire que le modelé du paysage actuel commence à s'individualiser.

Le plio-villafranchien est le témoin d'une phase orogénique intense qui aboutit à la mise en place définitive des djebels. Ceux-ci sont des massifs anticlinaux complexes, le plus souvent dissymétriques, avec de très nombreuses failles, entaillés par un réseau dense d'oueds intermittents. L'enfoncement progressif du réseau hydrographique aboutit à des ravins dont les versants sont recouverts par une couverture colluviale plus ou moins érodée.

Les piedmonts sont constitués par un vaste système de glacis étagés, particulièrement bien développés au sud et sud-est des massifs. Le façonnement de ces glacis s'est effectué au cours des périodes pluviales du Quaternaire par épandage de matériaux hétérogènes provenant des massifs, sur un matériau géologique d'origine continentale. Plusieurs phases de carbonatation successives ont permis la formation d'accumulations calcaires continues et compactes, ce qui a favorisé la conservation de ces surfaces plus dures et leur mise en relief relatif lors des phases d'érosion intenses dans les matériaux plus tendres.

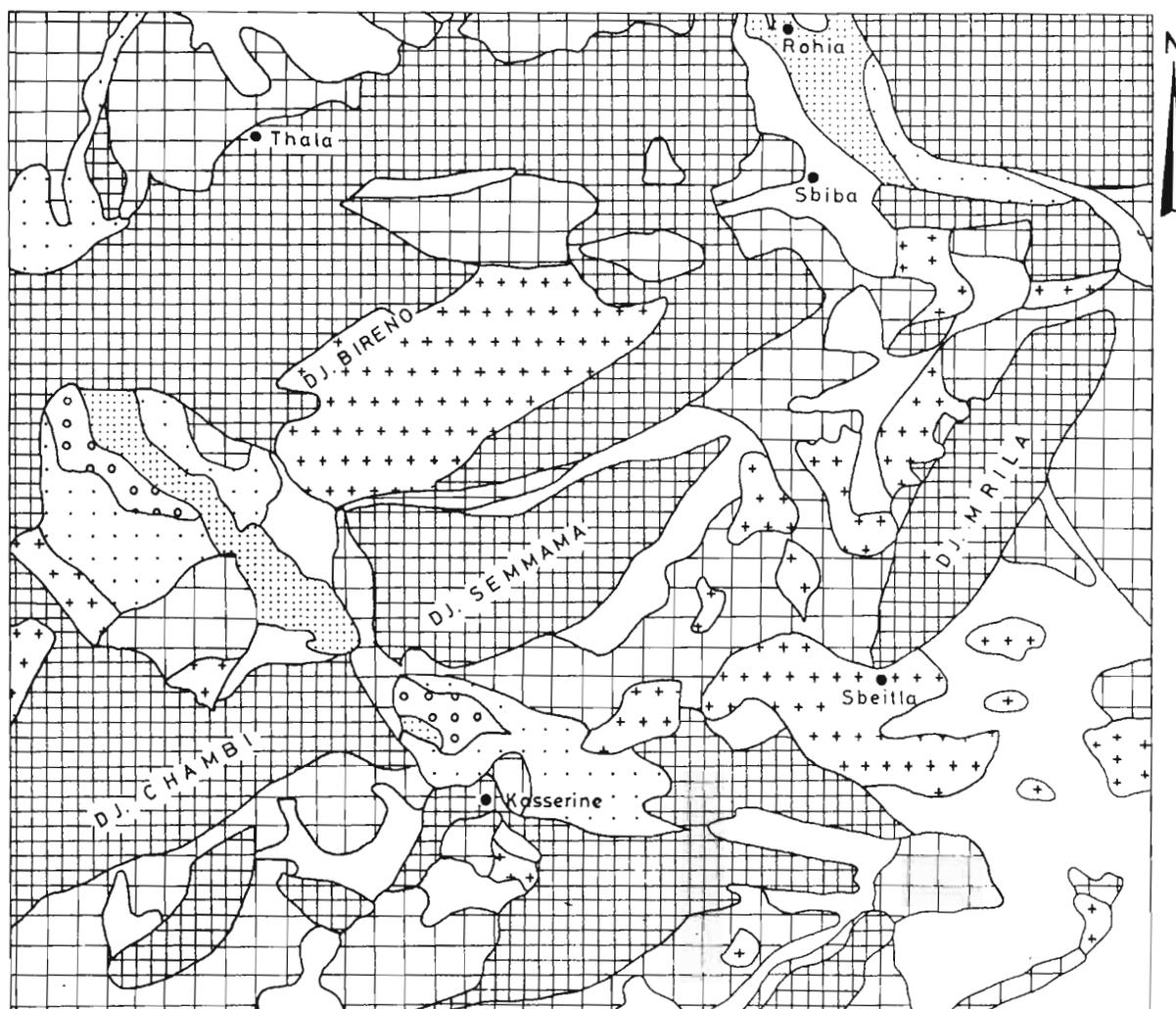
Les plaines sont des zones où sont venues s'accumuler des masses importantes d'alluvions, provoquant des phénomènes de subsidence qui ont donné naissance aux fossés d'effondrement de Rohia, Sbiba, Foussana et Kasserine. Dans les plaines, les oueds peuvent avoir un lit marqué mettant en évidence les réajustements actuels, ou bien un lit non individualisé, indiquant des phénomènes de dépôt dominants.

IV - CADRE PEDOLOGIQUE

La pédogénèse en Tunisie Centrale est fortement influencée par la présence du carbonate de calcium et les sols de type calcimorphe couvrent la majeure partie de la région (fig.4).

Fig4: CARTE PEDOLOGIQUE SCHEMATIQUE DE TUNISIE CENTRALE

D'après la carte pédologique de la Tunisie (1973)



Echelle : 1/500 000

-  Sols bruns isohumiques sur matériau sableux
-  Sols salés à alcalis
-  Sols peu évolués d'apports alluviaux à caractères vertiques ou de salure
-  Vertisols topolithomorphes à caractères de salure
-  Sols calcimorphes (rendzines, bruns calcaires) associés à des sols peu évolués d'érosion sur matériau géologique (calcaires, marnes)
-  Sols calcimorphes (rendzines, bruns calcaires) associés à des sols peu évolués d'érosion sur matériau quaternaire (croûtes et encroûtements calcaires)
-  Sols peu évolués d'apport alluviaux

IV-1. - Sols peu évolués d'apports alluviaux

Ils sont localisés essentiellement dans les plaines et dépressions et se développent sur des matériaux d'origine alluviale. Ce sont des sols jeunes, épais, de texture variable, pauvres en matière organique. Selon la nature du matériau dans lequel ils se développent ou leur situation topographique, certains caractères d'évolution pédogénétique peuvent être observés :

- des caractères vertiques apparaissent dans les matériaux de texture fine avec des caractères de salure et d'hydromorphie lorsque ces matériaux sont situés en zone basse.
- dans les matériaux riches en calcaire se différencient des sols évoluant vers les sols calcimorphes
- lorsque la texture est sableuse, les sols présentent un faciès isohumique en liaison avec une végétation de type steppique.

IV-2. - Sols des zones basses : vertisols et sols salés

La situation topographique des fossés d'effondrement de Rohia Sbiba et Kasserine-Foussana conjuguée à la texture fine des matériaux ont provoqué des phénomènes d'engorgement ayant favorisé la formation de sols évolués particuliers :

IV-2-1. - Vertisols topolithomorphes présentant des caractères de salure : texture argileuse, structure moyenne, caractères vertiques peu accentués, accumulation de sels solubles à partir d'une profondeur moyenne.

IV-2-2. - Sols salés à alcalis : texture argileuse, structure dégradée et accumulation importante de sels solubles provoquant une alcalisation dès la surface du sol (conductivité supérieure à 10 mmhos/cm).

IV-3. - Sols calcimorphes

Ces sols se développent essentiellement dans les zones montagneuses et leurs piedmonts, en liaison avec la nature calcaire des matériaux aux dépens desquels ils se forment ou dont ils dérivent.

IV-3-1. - Sols calcimorphes sur matériau géologique : ils représentent essentiellement les sols de montagne et se développent sur des matériaux géologiques durs ou tendres, sous une végétation naturelle de type forestier.

- sur matériau dur (calcaires), on observe des sols rendziniformes à teneur élevée en matière organique évoluée et à structure grumeleuse ou polyédrique fine. Ces sols sont peu épais et dérivent génétiquement du calcaire dur sous-jacent.
- sur matériau tendre (marnes), l'altération est plus profonde donnant des sols épais de type brun-calcaire. La teneur en matière organique est moyenne et on observe souvent une redistribution du calcaire en profondeur sous forme d'amas et nodules, parfois d'encroûtement.

Par suite d'une diminution de la couverture végétale sous l'action humaine, ces sols subissent une dégradation par érosion et évoluent vers les sols peu évolués et minéraux bruts. Tous les intergrades entre ces derniers et les sols typiques décrits ci-dessus peuvent être observés selon le degré de dégradation du couvert végétal.

IV-3-2. - Sols calcimorphes sur matériau quaternaire : ces sols sont présents dans les zones de piedmont et sont les témoins des différentes pédogénèses qui se sont succédées durant le Quaternaire.

Les différents cycles pluvial-interpluvial du Quaternaire ont favorisé la mise en mouvement du carbonate de calcium par migration latérale à partir des reliefs, plus ou moins loin vers l'aval. Ce processus

a abouti à la redistribution du calcaire dans le paysage sous forme d'accumulations secondaires de type continu (croûtes, encroûtements...) et de type discontinu (amas, nodules, taches...), qui se répartissent sur les surfaces des différents glacis étagés et leurs versants de raccordement.

Les sols que l'on observe actuellement sont donc souvent des sols anciens à profil calcaire très différencié. Mais, sur les niveaux à croûte calcaire dure et compacte s'est individualisé un sol actuel peu épais, de type rendziniforme, pauvre en matière organique, avec de nombreux éléments grossiers, qui couvre de grandes surfaces dans les zones de piedmont.

L'influence humaine est importante (défrichement, mise en culture, surpâturage...) et ses conséquences contribuent à la dégradation des sols ci-dessus, qui évoluent vers les sols peu évolués d'érosion.

IV-4. - Sols isohumiques

Les sols bruns subtropicaux (brun steppique) sont considérés comme les sols climaciques de Tunisie centrale. Ce sont des sols jeunes, se développant essentiellement dans les plaines, sous une végétation naturelle de type steppique et dans des matériaux à texture sableuse en général qui proviennent soit d'apports (alluvions, colluvions), soit de roches en place (grès du mio-pliocène).

Le profil est épais, avec une teneur en matière organique faible mais bien répartie (1 à 2 %) , un humus très évolué et une structure fragmentaire fine bien individualisée. La texture grossière favorise un bon drainage et la formation d'un profil calcaire peu différencié : décarbonatation en surface avec corrélativement accumulation en profondeur sous forme de taches et amas calcaires.

Ces sols sont très utilisés par l'agriculture ce qui provoque leur dégradation. D'une part, la disparition de la couverture végétale naturelle de type steppique au profit des cultures n'assure plus le renouvellement du stock de matière organique dans le sol, dont la teneur devient très faible (moins de 1 %). D'autre part, les labours et l'absence périodique de couverture végétale n'assurent plus une protection efficace contre l'érosion, hydrique ou éolienne, qui est de plus en plus importante dans ces sols essentiellement sableux.

V - CADRE CLIMATIQUE

V-1. - Caractères généraux

Le climat de la Tunisie Centrale est fortement marqué par la continentalité, qui croît avec l'altitude et avec l'éloignement de la mer. Les conditions climatiques de cette région sont fortement influencées par celles de la Méditerranée orientale. Cependant, des masses d'air d'origine atlantique (en hiver) et saharienne (en été), peuvent venir influencer les facteurs climatiques de la région.

D'une manière générale, "la Tunisie centrale se caractérise par des pluies peu abondantes rares mais orageuses et souvent brutales, réparties sur toute l'année avec maximum de printemps et d'automne. Ces pluies sont liées à une humidité relative faible en été, assez élevée en hiver, et à des températures fortement continentales, à grande amplitude diurne et annuelle (18 à 20°C) en entraînant une variation importante de l'humidité relative entre le jour et la nuit et des vents souvent violents et desséchants". (Baldy, 1965).

V-2. - Pluviométrie

V-2-1. - Pluviométrie annuelle

Le tableau I.1. ci-dessous récapitule la pluviométrie moyenne annuelle des stations de Tunisie Centrale.

Stations	Moyenne inter-annuelle	Maximum observé	Minimum observé	Médiane
Thala	479	665,1	207,8	428
Rohia	330	639,1	96,4	300
Sbiba	304	-	-	-
Sbeitla	310	547,2	127,7	290
Kasserine	320	756,0	142,7	280
Fériana	233	394,1	71,0	-
Sidi Bou Zid	240	922,0	60,7	220

Tabl.I.1. - Pluviométrie annuelle (en mm).

(réf. = Etude préliminaire des oueds Zéroud et Merguellil - 1975).

Nous constatons une diminution graduelle de la pluviométrie annuelle du nord au sud, ce qui est à mettre en liaison avec la continentalité, le régime des vents et l'altitude : cette dernière décroît graduellement du nord vers le sud et le sud-est, et les reliefs montagneux, orientés NE-SO, s'opposent aux vents dominants des saisons pluvieuses qui viennent du nord-nord-ouest.

Un gradient lié à l'altitude a été estimé par LE HOUEROU (1959) et BALDY (1965) ; pour une élévation de 100 mètres, la pluviométrie augmenterait de 25 mm en Tunisie méridionale et de 20 mm en Tunisie centrale. D'après LE HOUEROU , il existe une opposition de versants assez notable : les versants les plus arrosés, c'est-à-dire ceux exposés au nord-ouest surtout, reçoivent jusqu'à 15 % de précipitation de plus que les versants à exposition "sèche".

Les pluies d'hiver sont de type atlantique, régulières et fines, tandis que celles des autres saisons sont de type orageux parfois très violentes.

V-2-2. - Variabilité de la pluviométrie

Le caractère majeur de la pluviosité en Tunisie centrale est l'extrême irrégularité des précipitations, comme le montrent les valeurs maximum et minimum mesurées de la pluviométrie annuelle (tableau I.1. ci-dessus). Cette variabilité interannuelle est d'ailleurs d'autant plus forte que la moyenne annuelle est basse. Dans ces conditions, la pluviométrie annuelle n'a qu'une signification très limitée et la médiane, hauteur de pluie atteinte au moins une année sur deux, semble plus représentative pour caractériser le régime pluvial.

La variabilité des précipitations est encore plus accentuée à l'échelle mensuelle, un même mois pouvant être totalement sec ou bien alors très pluvieux et cela quel que soit le mois. Les valeurs du tableau I.2. ci-dessous illustrent cette variabilité mensuelle.

Station	Mois	Minimum observé	Maximum observé
Sbeitla (médiane annuelle) 290	mars	0	124,4
	juin	0	143,5
	août	0	90,0
	septembre	0,4	101,9
	octobre	0	194,5
	décembre	0	125,6
Thala (428)	mars	4,0	131,8
	août	0	76,5
	septembre	1,0	145,6
	décembre	4,0	147,6
Kasserine (280)	mars	0	123,2
	octobre	0	120,1
Sidi Bou Zid (220)	février	0	118,5
	août	0	73,0
	septembre	0	83,4
	décembre	0	75,8

Tabl.I.2. - Variabilité de la pluviométrie mensuelle (en mm).

(NOTA: il n'a pas été tenu compte des valeurs très élevées de la pluviométrie des mois de septembre et octobre 1969).

(réf. = Etude préliminaire des oueds Zéroud et Merguellil - 1975).

V-2-3. - Répartition saisonnière

Malgré les réserves faites concernant la signification des moyennes pluviométriques, le tableau I.3. ci-dessous nous donne un ordre de grandeur de la répartition saisonnière de la pluviométrie. Les saisons sont définies de la manière suivante :

automne : septembre, octobre et novembre.

hiver : décembre, janvier et février.

printemps : mars, avril et mai.

été : juin, juillet et août.

Stations	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Thala	26	28	32	14
Kasserine	32	20	29	19
Sbeitla	32	20	30	18
Rohia	30	22	32	16
Sidi Bou Zid	35	24	30	11
Férianas	31	18	33	18

Tabl. I.3. - Répartition saisonnière de la pluviométrie
(en % de la pluviométrie moyenne annuelle)

Les valeurs ci-dessus montrent une dominance des pluies d'automne et de printemps, mais mettent aussi en évidence l'importance de la pluviométrie estivale, qui peut atteindre celle de l'hiver. En fait, cette importance des pluies d'été est très relative, car ces pluies qui sont essentiellement des orages, tombent le plus souvent à la fin de l'été. De ce fait, la sécheresse estivale reste très accentuée et peut s'étendre sur quelques mois, ce qui est caractéristique du climat méditerranéen.

V-2-4. - Autres précipitations

La neige est rare et ne se manifeste qu'au-dessus de 500 à 600m. d'altitude. Mais c'est surtout à partir de 800 à 1000 m. qu'elle devient un phénomène notable. On observe sur les reliefs, en moyenne 5 à 7 jours par an avec une chute de neige qui peut se maintenir au sol en moyenne 10 à 15 jours par an.

Les chutes de grêle ont une fréquence de 8 à 10 jours en moyenne par an, avec des probabilités de chutes importantes en avril-mai et en octobre.

V-3. - Températures

Le tableau I.4. suivant résume le régime thermique de la Tunisie centrale.

Stations	Moyenne annuelle	Moyenne mens.		Moyenne mens.		Amplitudes thermiques		
		jan.	juil.	mini. jan.	maxi. juil.	Annuelle	jan.	juil.
Thala	15,3	5,9	26,1	1,9	33,4	20,2	8,3	16,6
Rohia	17,6	8,6	27,5	2,1	37,3	18,9	11,1	19,7
Sbeitla	16,0	6,7	26,5	1,7	35,9	19,8	10,5	20,4
Kasserine	16,4	7,2	26,2	1,9	35,0	19,0	10,8	17,4
Fériana	16,3	7,3	25,9	1,5	34,0	18,6	11,1	18,1

Tabl.I.4. - Température en Tunisie centrale (en °C).

Amplitude annuelle : différence entre la température moyenne de juillet et la température moyenne de janvier.

Amplitude mensuelle : différence entre la moyenne des maxima et la moyenne des minima du mois considéré.

Janvier et juillet sont considérés comme étant les mois respectivement les plus froids et les plus chauds en Tunisie centrale.

(réf. : Carte phyto-écologique de la Tunisie Septentrionale - 1967).

La température moyenne annuelle est comprise entre 15 et 18°C, les variations entre ces deux valeurs étant dues à l'altitude et à la latitude. Pour une élévation de 100 m. en altitude, BALDY (1965) a mis en évidence un gradient décroissant de 0,5°C. De plus, du nord au sud et par degré de latitude, on observe une augmentation d'environ 1°C de la température moyenne annuelle.

Cette dernière a une variabilité interannuelle assez importante, par contre, les amplitudes thermiques mensuelles et annuelles sont relativement constantes d'une année à l'autre.

L'amplitude thermique annuelle est élevée en Tunisie centrale: 18,5 à 20°C. en relation avec la continentalité accusée de la région. A titre indicatif, cette amplitude est de 15°C à 16°C dans le sahel côtier.

Le contraste entre hivers froids et étés chauds est assez accentué, contraste caractéristique du climat méditerranéen. Les minima de janvier sont relativement bas avec 2°C environ, tandis que les maxima de juillet sont voisins de 34-37°C. Les risques de gelées peuvent se produire de novembre à avril, et ces risques sont fortement dépendants des conditions locales d'exposition et d'altitude. En moyenne, le nombre de jours de gelées varie de 20 à 40 par an.

V-4. - Régime des vents

Bien que le régime des vents au sol soit largement conditionné par les facteurs locaux, on peut dégager les tendances du régime des vents.

En hiver, les vents dominants sont de nord-ouest, alors qu'en été, ils sont du sud, sud-est ou sud-ouest. Les vents générateurs de pluie sont d'orientation variable, mais le plus souvent ils sont du nord-ouest ou du nord-est.

Le sirocco est un vent chaud et sec d'origine saharienne, soufflant en moyenne 30 à 40 jours par an surtout en été, dont les effets sont caractéristiques : augmentation rapide de la température, forte évaporation et humidité relative de l'air faible.

V-5. - Humidité de l'air

Les mesures de l'humidité sont rares en Tunisie centrale et ne donnent qu'un ordre de grandeur imparfait de cette variable. A l'échelle journalière, la teneur de l'air en vapeur d'eau est maximum à 6h., puis passe par un minimum vers 12h. et remonte à une valeur intermédiaire à 18h. C'est la mesure de 12h qui varie le plus à l'échelle annuelle : de l'ordre de 70 - 80 % en hiver, elle peut descendre à 30 % en été.

La mesure de 6h est la plus constante et reste de l'ordre de 80% tout au long de l'année.

D'une année sur l'autre, la variabilité est forte pour tous les mois, chacun d'eux pouvant avoir une humidité de l'air variant de la saturation (100 %) jusqu'à 10 %.

Le sirocco a une influence très importante sur l'humidité relative de l'air, puisqu'il abaisse de manière très brutale la teneur en vapeur d'eau de l'atmosphère.

V-6. - Evapotranspiration

Les mesures "in situ" d'évapotranspiration sont rares et celles qui ont été réalisées sont peu représentatives du milieu naturel car effectuées avec une végétation de type herbacée dense, sans relation avec la couverture végétale naturelle.

Il faut donc avoir recours aux estimations empiriques de l'évapotranspiration pour avoir une idée de l'ordre de grandeur de ce facteur. Nous citerons seulement quelques valeurs de l'évapotranspiration potentielle calculée à partir de la formule de TURC pour deux stations du centre de la Tunisie et à titre comparatif pour deux stations du sud du pays (tabl.I.5.).

Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANNEE
Kasserine	39	56	85	112	140	152	182	162	131	85	57	36	1237
Thala	31	47	75	100	135	155	185	168	125	84	53	35	1190
Gabès	57	74	105	127	151	169	185	175	142	102	74	56	1417
Tozeur	54	74	104	132	160	180	200	180	148	103	72	52	1459

Tabl. I.5. - Moyenne mensuelle et annuelle de l'Evapotranspiration potentielle (en mm.).

(Réf. : "LE HOUEROU - 1969").

V-7. - Caractérisation du climat

Plusieurs auteurs ont combiné les diverses données ci-dessus pour caractériser de manière synthétique le climat d'une station.

V-7-1. - Courbes ombrothermiques de BAGNOULS et GAUSSEN

Ces diagrammes mettent en relation pluviométrie et température moyennes mensuelles, et permettent de définir la saison sèche. Pour BAGNOULS et GAUSSEN, un mois est considéré comme sec lorsque sa pluviométrie mensuelle (en mm) est inférieure ou égale à deux fois la température moyenne mensuelle (en °C) = $P \leq 2T$.

La figure 5 représente les courbes ombrothermiques de quelques stations de Tunisie centrale et à titre de comparaison celles de stations du nord et du sud du pays.

Nous déduisons de ces graphiques la durée de la saison sèche, qui varie de manière caractéristique du nord au sud :

Tabarka : 3 1/2 mois	Kairouan : 7 1/2 mois
Thala : 4 mois	Gabès : 10 mois
Tunis : 5 mois	Tozeur : 12 mois
Sbeitla : 5 1/2 mois	
Kasserine : 5 1/2 mois	

V-7-2. - Quotient pluviothermique et bioclimats d'Emberger

$$Q = \frac{2000 P}{M^2 - m^2}$$

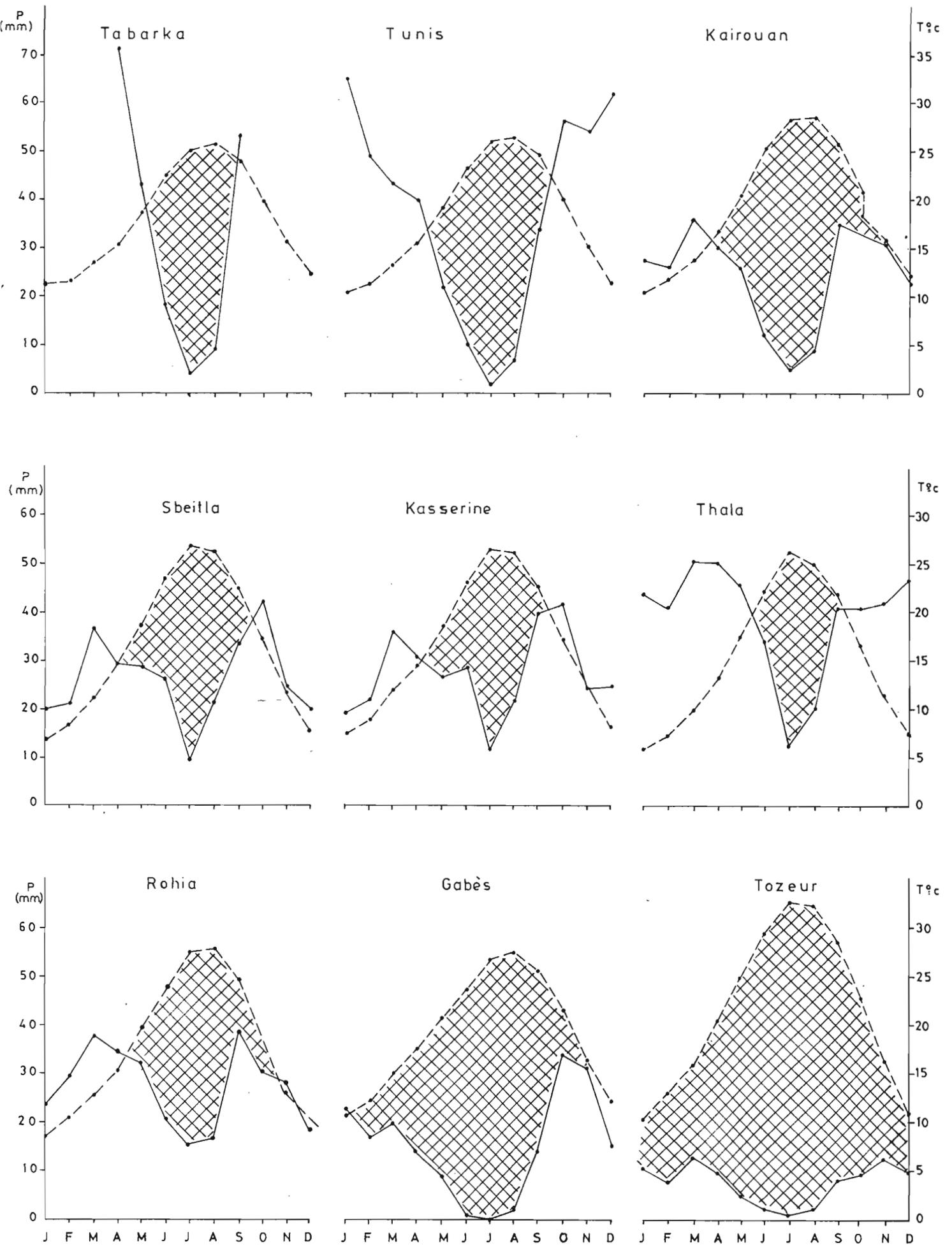
P = pluviométrie moyenne annuelle

M = moyenne des températures maxima de juillet

m = moyenne des températures minima de janvier

Cet indice empirique a été spécialement créé pour le milieu méditerranéen par Emberger et a permis, à partir des données de végétation et des données climatiques, de définir des étages et sous-étages bioclimatiques, dont les différentes caractéristiques sont présentées dans le tableau I.6.

Fig:5 DIAGRAMMES OMBROTHERMIQUES DE BAGNOULS ET GAUSSEN DE QUELQUES STATIONS DE TUNISIE



Etages	Sous-étages	Pluviométrie annuelle (en mm.)	Q
sub-humide	-	600 à 800	70 à 120
semi-aride	supérieur	400 à 600	45 à 70
	inférieur	300 à 400	35 à 45
aride	supérieur	200 à 300	23 à 35
	inférieur	100 à 200	10 à 23

Tabl.I.6. - Caractéristiques des étages bioclimatiques en Tunisie centrale (d'après LE HOUEIROU - 1969).

Pour chaque étage et sous-étage, on distingue plusieurs variantes en fonction de m : à hiver chaud = m supérieur à 7 °C

à hiver doux = m compris entre 5,5 et 7 °C

à hiver tempéré = m compris entre 3 et 5,5 °C

à hiver frais = m compris entre 0 et 3 °C

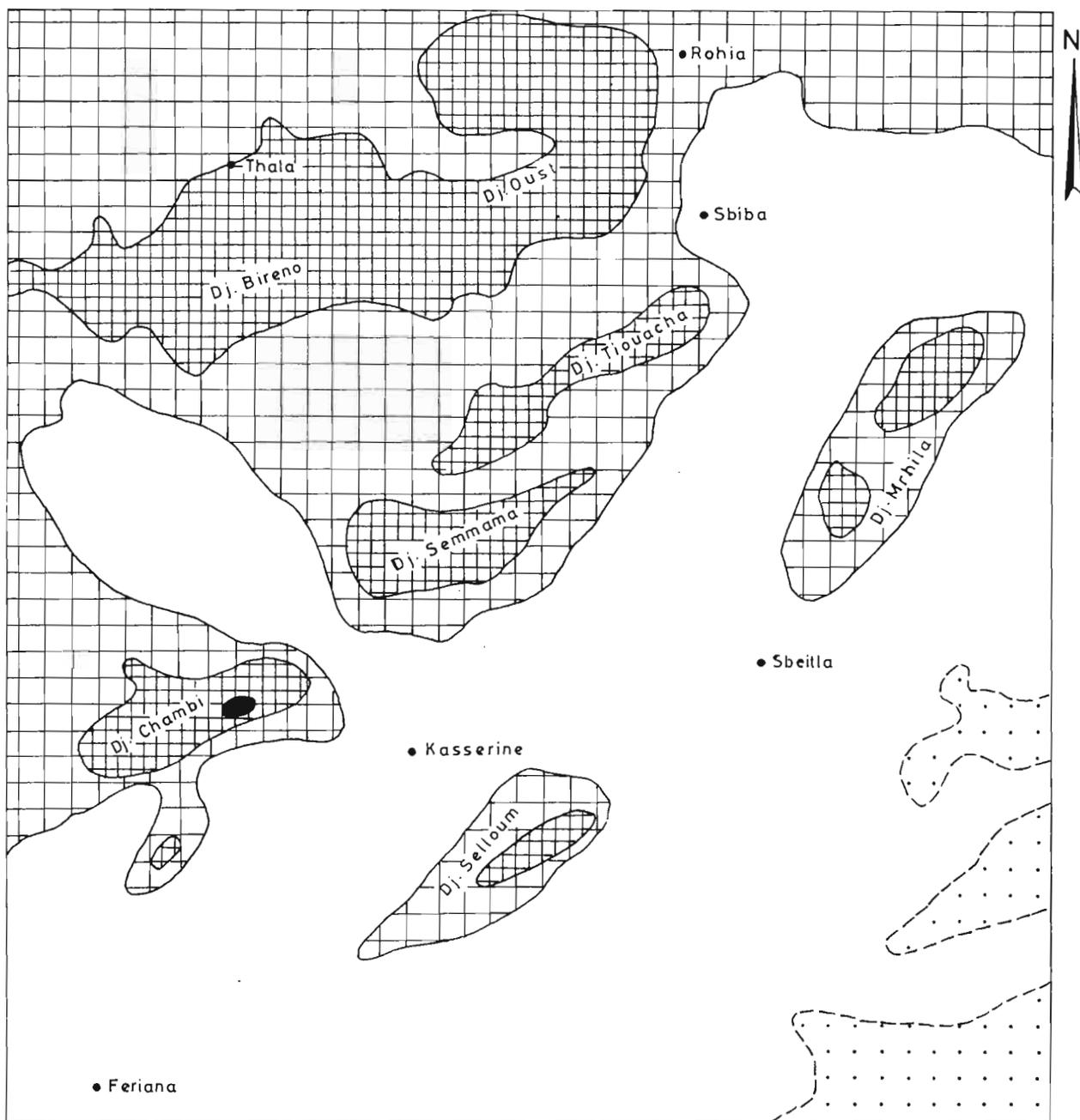
à hiver froid = m inférieur à 0 °C.

Les bioclimats de Tunisie centrale appartiennent essentiellement aux étages semi-aride et aride, avec toutefois une zone très localisée de sub-humide au sommet du djebel Chambi. On constate de manière générale une augmentation de l'aridité, du nord vers le sud, avec une influence due à l'altitude : les sommets des massifs appartiennent au semi-aride supérieur, puis à mesure que l'altitude décroît, on passe au semi-aride inférieur, jusqu'aux zones de piedmont. Les plaines appartiennent à l'étage aride supérieur, passant vers le sud à l'aride inférieur.

Les caractéristiques bioclimatiques de quelques stations en Tunisie centrale sont résumées dans le tableau I.7, et la figure 6 montre la répartition des étages et sous-étages bioclimatiques.

Fig.6 CARTE BIOCLIMATIQUE SCHEMATIQUE DE TUNISIE CENTRALE

(D'après la carte bioclimatique de Tunisie 1967)



ECHELLE: 1/500.000

- | | | |
|---|---------------------------------------|-----------------|
|  | Etage sub_humide | } à hiver frais |
|  | Etage semi_aride supérieur | |
|  | Etage semi_aride inférieur | |
|  | Etage aride supérieur | |
|  | Etage aride supérieur à hiver tempéré | |

Stations	Etage	Sous-étage	Variantes	Q
Thala	semi-aride	supérieur	hiver frais	52
Rohia	aride	supérieur	hiver frais	32
Sbeitla	aride	supérieur	hiver frais	30
Kasserine	aride	supérieur	hiver frais	31
Fériana	aride	supérieur	hiver frais	23

Tabl. I.7. - Caractéristiques bioclimatiques de quelques stations de Tunisie centrale.

VI - LA VEGETATION

La végétation de la Tunisie Centrale a été étudiée de manière détaillée par plusieurs auteurs : LONG (1954), FROMENT et VAN SWIDEREN (1966), SCHOENENBERGER, GOUNOT et al. (1967), LE HOUEROU (1969), qui ont décrit différents groupements végétaux définis de manière phyto-sociologique et bioclimatique.

Ces groupements végétaux se répartissent surtout en fonction du gradient altitudinal et présentent différents stades de dégradation.

VI-1. - Etage de végétation semi-aride supérieur

Les groupements végétaux de cet étage se rattachent à deux séries de végétation (SCHOENENBERGER - 1967):

VI-1-1. - Série du pin d'Alep et du chêne vert

Cette série est représentée par le groupement à Pinus halepensis et Quercus ilex qui couvre les sommets des principaux massifs. L'altitude à laquelle apparaît ce groupement augmente à mesure que l'on va vers le sud : 1000 m à Oum Djeddour, 1100 m aux djebels Bireno et Chambi (face nord), 1150 m au djebel Chambi et au djebel Sarrana (face sud).

Ce groupement en bon état est constitué par une strate arborescente (plus de 4 m) de pin d'Alep et une strate buissonnate de chêne vert (rarement plus de 2 m.), accompagné souvent du genévrier oxycèdre (Juniperus oxycedrus).

La strate arbustive comprend essentiellement le ciste de Liban (Cistus libanotis), le globulaire (Globularia alypum) et le romarin (Rosmarinus officinalis). Lorsque ce dernier devient prépondérant, il indique une dégradation plus ou moins accentuée du groupement typique ci-dessus.

VI-1-2. - Série du pin d'Alep : le groupement à Pinus halepensis et Juniperus oxycedrus caractérise cette série, qui fait suite à la précédente et descend jusqu'aux environs de 1000 m.

C'est une végétation forestière assez claire où le genévrier dépasse rarement 2 m. et où la strate arbustive est semblable à celle du groupement précédent. La dégradation de ce groupement est généralement accentuée ce qui se marque par l'abondance du romarin.

VI-2. - Étage de végétation semi-aride inférieur

Les groupements végétaux de cet étage se rattachent à la série du pin d'Alep et sont présents au-dessous de 1000 à 1100 m. environ.

Le groupement à Pinus halepensis et Thymelaea tartonraira localisé au nord-ouest du djebel Chambi, indique les hivers frais et la continentalité. C'est une végétation forestière claire à strates arbustives peu fournies, où l'abondance du romarin indique ici aussi une dégradation du milieu qui peut être très accentuée.

Dans les autres zones, où l'altitude est comprise entre 1000 - 1050 m. et 750-800 m., on rencontre le groupement à Pinus halepensis et Juniperus phoenicea. Ce groupement est très rarement en bon état par suite de l'activité humaine; ce sont essentiellement des faciès de dégradation que l'on observe actuellement :

- faciès de dégradation à Thymus algeriensis, Stipa retorta et Stipa parviflora : c'est le stade ultime de la dégradation sur calcaire dur.
- faciès de dégradation à Cistus libanotis, indiquant des sols à croûtes calcaires.
- faciès de dégradation à Rosmarinus officinalis : très représenté, ce faciès se présente sous forme d'une garrigue largement dominée par le romarin associé à Stipa tenacissima et où les arbres peuvent avoir totalement disparu.

VI-3. - Etage de végétation aride supérieur

A mesure que l'aridité croît, la strate arborescente disparaît et la végétation de cet étage, au-dessous de 750-800 m. se présente sous la forme d'une steppe d'alfa (Stipa tenacissima) avec des espèces compagnes de la forêt de pin d'Alep : Genista microcephala, Rosmarinus officinalis, Cistus libanotis, Teucrium polium... La dégradation de ce milieu se marque d'une part par l'abondance de l'alfa qui devient alors largement dominant, d'autre part par des secteurs fortement occupés par le romarin et des espèces résiduelles forestières.

La mise en culture des plaines et des piedmonts a provoqué la disparition de la végétation naturelle, mais a favorisé l'installation de formations steppiques, dont les plus caractéristiques sont les différents groupements à base d'armoïse champêtre (Artemisia campestris) ou d'armoïse blanche (Artemisia herba-alba).

D'une manière générale, l'état actuel de la végétation est largement conditionné par diverses activités humaines : coupes, défrichements et mise en culture, surpâturage... La végétation est d'autant mieux préservée qu'elle est éloignée des habitations humaines. Ainsi, ce sont les sommets qui portent les plus beaux peuplements et, à mesure que l'on descend vers les piedmonts et les plaines, la végétation forestière devient de plus en plus ouverte, les arbres disparaissent progressivement au profit de formations basses à faible recouvrement qui sont remplacées elles-mêmes par les cultures.

VIII - LE FACTEUR HUMAIN

La présence de l'homme en Tunisie centrale est ancienne. Les premières traces d'activité humaine actuellement connues remontent en effet au Paléolithique moyen.

A partir de cette époque, l'influence humaine sur le milieu va devenir de plus en plus importante, avec des périodes où celle-ci sera particulièrement forte : époque romaine aux 2^e et 3^e siècles, époque arabe du 9^e au 11^e siècles.

Actuellement, la population de la Tunisie centrale est essentiellement rurale avec un habitat très dispersé : le pourcentage de la population éparsée ou isolée représente en effet 80 à 90 % de la population totale de la région.

Le tableau I.8. ci-dessous indique la situation démographique d'après le recensement de 1975 (INS).

Délégations	Densité (hab/km ²)	Population totale (hab.)
Kasserine	28,3	54472
Thala	35,1	41853
Sbeitla	34,5	38051
Férianana	19,6	35093
Foussana	28,4	25099
Sbiba	49,1	22084
Jedhiane	30,1	21847
Sidi Bou Zid	46,3	79484
Tunisie	36,2	5 538 209

Tabl.I.8. - Démographie de la Tunisie centrale
(Source : INS - 1975).

La densité de la population à l'échelle régionale est voisine de celle de l'ensemble du pays. Cependant certaines zones sont plus fortement marquées par la présence humaine (Sbiba, Sidi Bou Zid) tandis que d'autres ont au contraire une densité plus faible (Fériana). En fait, la densité réelle est plus élevée du fait de l'absence d'habitations dans les djebels.

Les villages traditionnels sont localisés dans les zones de piedmont à proximité des sources. Cependant, depuis quelques années on assiste à un déplacement des populations rurales d'une part vers les axes de circulation avec création de nouveaux villages, d'autre part vers les chefs-lieux de délégation et de gouvernorat. Certains de ces chefs-lieux ont pris ainsi une grande extension, comme Kasserine et Sidi Bou Zid.

L'impact d'une population essentiellement agricole sur le milieu est important. La pression démographique et surtout le développement de la culture mécanisée ont favorisé l'augmentation de la surface du domaine agricole aux dépens du domaine forestier et de la steppe, zones de parcours traditionnels du bétail.

Il en résulte un surpâturage important qui contribue à la dégradation de la végétation naturelle des djebels et des zones de piedmont. Cette dégradation est accentuée par les coupes (charbon de bois, chauffage, bois de construction), la cueillette de l'alfa, les coupes de romarin pour la distillation et les incendies.

La couverture végétale diminue donc progressivement et peut même disparaître complètement dans les zones cultivées durant une bonne partie de l'année. La protection que cette végétation offrait au sol contre les processus d'érosion diminue notablement, et l'érosion trouve alors un terrain de prédilection pour accentuer encore davantage la dégradation des sols de la région.

La mission CRSTOM en Tunisie a entrepris à partir de 1972 des recherches expérimentales sur l'érosion dans 3 milieux caractéristiques de la Tunisie :

- au nord, en bioclimat méditerranéen sub-humide.
- au centre, en bioclimat méditerranéen semi-aride.
- au sud, en bioclimat méditerranéen aride.

Ces recherches consistent en une étude approfondie des causes et des modalités de ruissellement et de l'érosion en vue d'une meilleure compréhension de ces phénomènes. Elles sont réalisées à deux niveaux d'appréhension des processus :

- un niveau général, englobant l'ensemble des facteurs qui conditionnent le ruissellement et l'érosion : étude hydrologique à l'échelle du bassin versant, de quelques km² à quelques dizaines de km².
- un niveau élémentaire qui étudie soit l'influence d'un seul facteur sur le ruissellement et l'érosion : échelle de la parcelle d'érosion d'une centaine de m² environ, soit l'influence de quelques-uns des facteurs seulement sur ces phénomènes : échelle de la parcelle - toposéquence d'érosion de quelques milliers de m².

Dans le cadre général de ces programmes d'étude, nous avons été chargé d'effectuer les recherches sur le ruissellement et l'érosion à un niveau élémentaire d'étude dans la station prévue en milieu méditerranéen semi-aride.

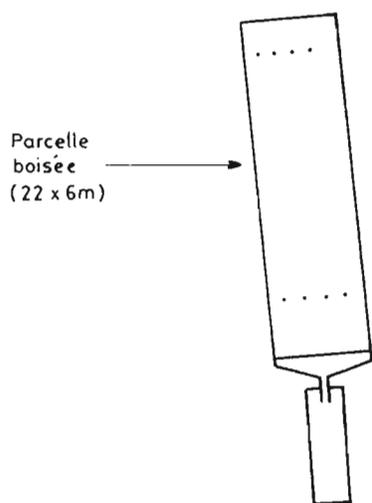
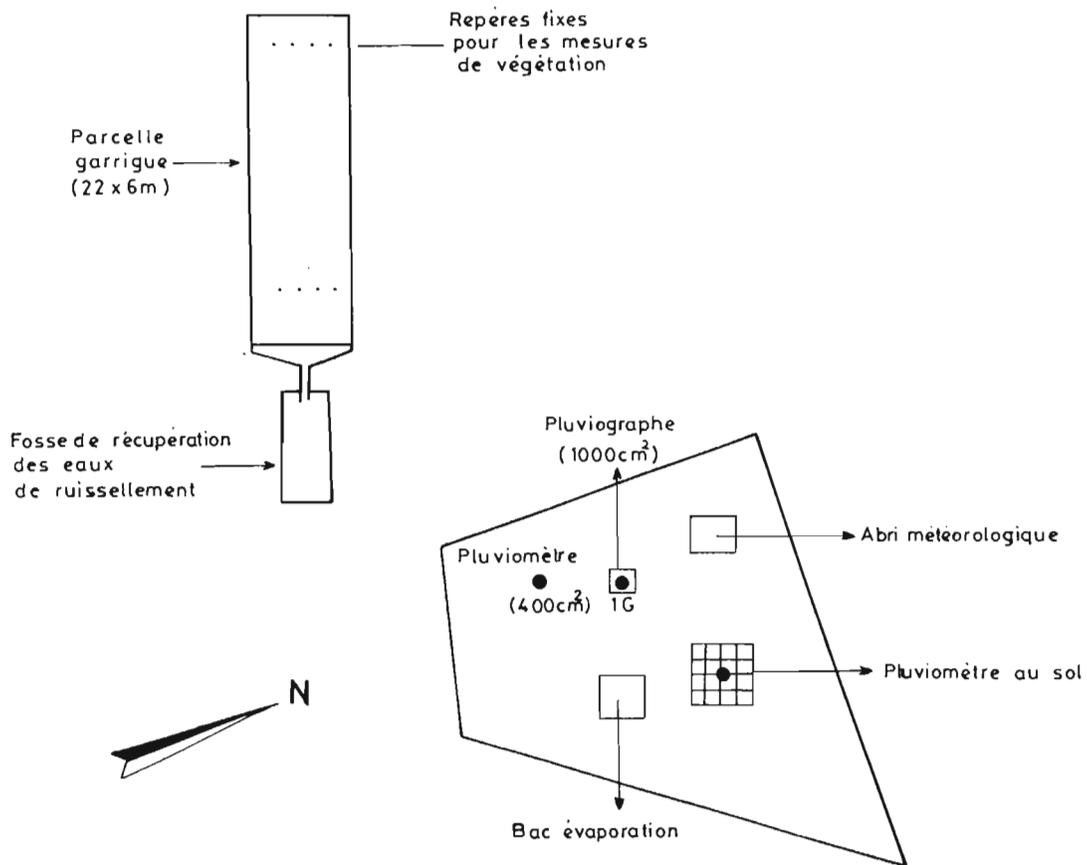
I - LOCALISATION DE LA STATION ET DISPOSITIF DE MESURE

Le site retenu pour les différentes études est situé en Tunisie Centrale, dans le secteur nord-est du djebel Semmama au nord de la ville de Kasserine (fig.1.).

Un bassin versant de 15km² (oued el Hissiane) et des sous-bassins y ont été équipés et sont étudiés par la section Hydrologie.

Pluviomètre
1A ●
(Bague réceptrice
de 400 cm²)

Fig 7 : SCHEMA DE LA STATION = PARCELLES
ET STATION METEOROLOGIQUE



Pluviomètre
● 1B
(400cm²)

0 5 10m
ECHELLE

Dans ce bassin versant, nous avons aménagé une station ponctuelle d'étude du ruissellement et de l'érosion, qui comporte deux parcelles "d'érosion" et une station météorologique (*) permettant de caractériser les facteurs climatiques locaux (fig.7).

Les coordonnées de ce dispositif sont les suivantes :

- latitude nord : 39,25 gr.
- longitude est : 7,31 gr.
- altitude : 1000 \pm 5 m.

II - MOTIVATIONS ET OBJECTIFS.

Avant de justifier le choix de l'implantation de la station d'étude et la méthode utilisée, il est nécessaire de préciser les termes de "ruissellement" et "d'érosion hydrique" qui seront utilisés par la suite :

ruissellement : c'est une phase liquide (d'origine pluviale) qui, non infiltrée dans le sol, se déplace à la surface de celui-ci selon les lois de la gravité. Lors de son déplacement, cette eau sert de "véhicule" à deux types d'éléments : des éléments dissous et des éléments solides.

érosion hydrique : c'est la quantité d'éléments transportés par le ruissellement et déplacés dans l'espace. Il y a lieu de distinguer l'érosion chimique (transport en solution d'éléments dissous) et l'érosion mécanique (transport d'éléments solides, de taille variable, en suspension ou par charriage à la surface du sol).

Le ruissellement précède donc toujours l'érosion hydrique et cette dernière n'est qu'une conséquence du ruissellement.

(*) Cette station météorologique a été installée par RC. GUYET, hydrologue de l'ORSTOM.

Le paysage où est située la station expérimentale est formé par des surfaces structurales de calcaire dur de pente régulière (8 à 12 %) exposées au sud-est, qui ont été incisés tout au long du Quaternaire par de nombreux oueds. L'enfoncement progressif de ce réseau hydrographique a provoqué la formation de vallées encaissées, dont les versants ont des pentes fortes (plus de 30%).

Dans un tel milieu, le ruissellement prend généralement naissance à l'amont des surfaces structurales. Il se fait alors de manière diffuse "en nappe", puis il se développe et s'organise en une multitude de ravineaux formant un réseau de plus en plus anastomosé avant d'arriver aux oueds.

On assiste donc à une hiérarchisation du ruissellement en fonction de la distance qu'il parcourt et nous nous sommes limités volontairement à l'étude des premières phases du ruissellement et à ses conséquences. Celle-ci n'a été envisagée que sur les surfaces structurales, l'installation de dispositifs **expérimentaux** sur les versants où la pente est forte étant difficiles à réaliser sur le plan technique et la méthode utilisée étant inadaptée à un tel milieu.

III - METHODOLOGIE

La méthode retenue pour notre étude est le système de la parcelle dite "d'érosion", qui est un modèle, statique, isolé dans l'espace par des limites arbitraires. Ce procédé permet d'étudier les mécanismes du ruissellement et ses conséquences (érosion en particulier), à partir de sa gènesse et sur une distance déterminée correspondant à la longueur de la parcelle.

Un tel modèle ne peut être que comparatif et permet de préciser l'influence d'une seule variable sur le ruissellement. Les zones montagneuses de Tunisie centrale sont essentiellement des domaines forestiers où le ruissellement est largement conditionné par la densité de la couverture végétale. Pour étudier cette influence, nous avons choisi deux parcelles qui

diffèrent uniquement par la densité et la structure de la végétation, tous les autres paramètres étant semblables : mêmes dimensions des parcelles, de la pente et du type de sol.

L'une des parcelles est constituée d'une végétation forestière arbustive à recouvrement global de 70 à 80 % (parcelle boisée - PB), l'autre d'une végétation basse de type garrigue très ouverte, à recouvrement de l'ordre de 20 % (parcelle garrigue - PG). Ces deux cas représentent les extrêmes de peuplement végétal naturel, en milieu montagneux de Tunisie centrale.

L'étude de l'influence de la longueur de la pente n'a pas été envisagée ici. Elle se traduit par un effet cumulatif du ruissellement qui aboutit vers l'aval des surfaces structurales à un décapage du sol : qui peut être total, mettant à l'affleurement le calcaire dur sous-jacent.

IV - DESCRIPTION DES PARCELLES

L'installation du dispositif a été effectuée au cours de l'été et de l'automne 1974, avec le concours de Patrick ZANTE, technicien pédologue ORSTOM, que nous remercions sincèrement pour son aide très efficace.

IV - 1. - Réalisation pratique

Les deux parcelles ont été implantées à proximité l'une de l'autre (fig.7) et leurs limites ont été matérialisées avec des tôles en éternit enfoncées verticalement dans le sol jusqu'au contact avec le banc calcaire dur sous-jacent, à 30/40 cm de profondeur environ. Ces tôles sont situées sur les côtés amont et latéraux de chaque parcelle, dont la partie amont est protégée par une levée de terre évacuant latéralement les arrivées éventuelles d'eau de ruissellement. De la sorte, le seul apport d'eau venant de l'extérieur, est l'eau pluviale.

Les parcelles sont clôturées pour éviter l'intrusion d'animaux (chèvres, moutons...) pouvant perturber le dispositif.

Dans notre cas, il n'existe pas de ruissellement hypodermique tel que le définissent G. CLAUZON - J. VAUDOUR (1971) et E. ROOSE - Y. BIROT (1970) et ce qui parvient à l'aval de chacune des parcelles n'est qu'un écoulement de surface ou ruissellement superficiel de ces auteurs. La totalité de celui-ci est recueillie à l'aval sur une tôle en aluminium, fixée au sol, qui rassemble les eaux de ruissellement dans une cuve en fer de 0,2 m³, dont le rôle est de permettre la décantation des matériaux transportés en vue de leur récupération ultérieure. Le trop-plein de cette cuve se déverse dans une fosse en maçonnerie étanche, parallélépipédique, d'une contenance de 10 m³ environ, où une échelle graduée permet le calcul du volume d'eau ayant ruisselé. L'ensemble du système de récupération des eaux de ruissellement est recouvert de tôles galvanisées pour éviter tout apport d'eau de pluie.

L'avantage d'un tel dispositif est de permettre la récupération de la totalité des eaux de ruissellement, contrairement à d'autres systèmes, partiteurs par exemple, qui n'en recueillent qu'une fraction. La précision sur les valeurs des coefficients de ruissellement calculés est ainsi excellente.

IV-2. - Dimensions

Dans la mesure du possible, et en fonction du micro-relief local, l'axe longitudinal des 2 parcelles est orienté dans le sens de la plus grande pente (voir fig.8).

Chaque parcelle mesure 22 mètres de longueur sur 6 mètres de largeur (superficie 132 m²) et la pente moyenne (fig.9) est de 8,5 % pour la parcelle garrigue et de 9,6 % pour la parcelle boisée. Cette différence n'a cependant qu'une incidence très minime sur le ruissellement et l'érosion et nous avons considéré le facteur pente comme identique pour les deux parcelles.

D'ÉROSION

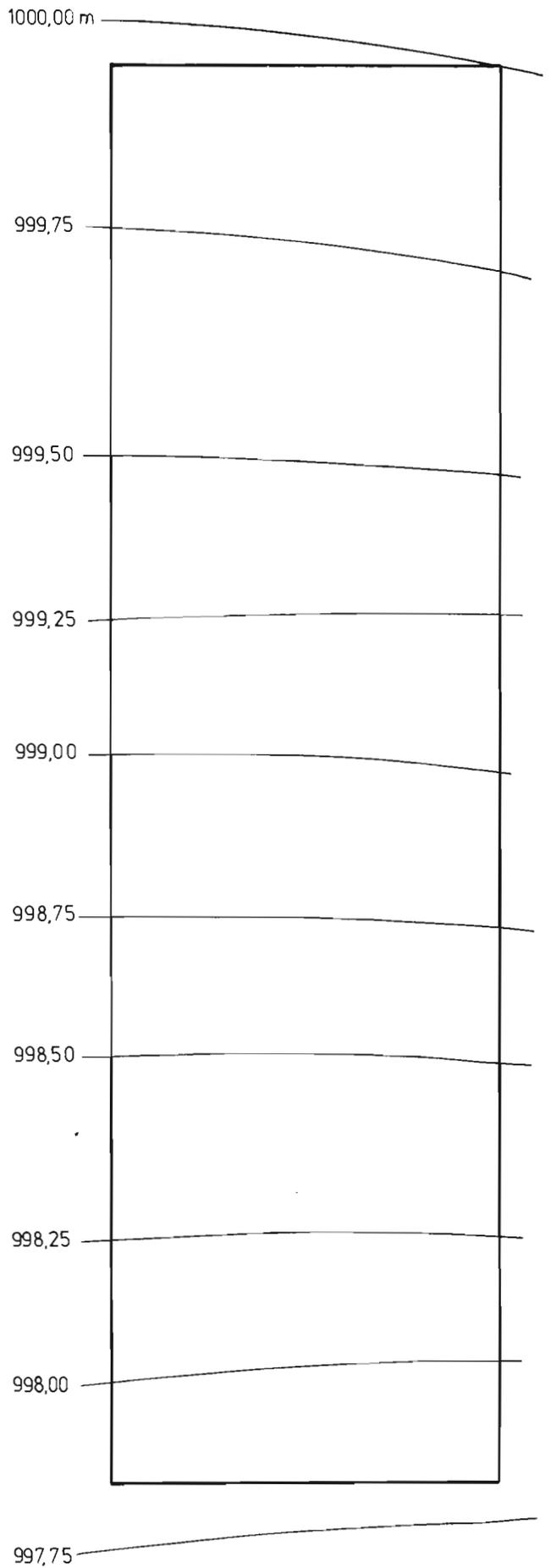
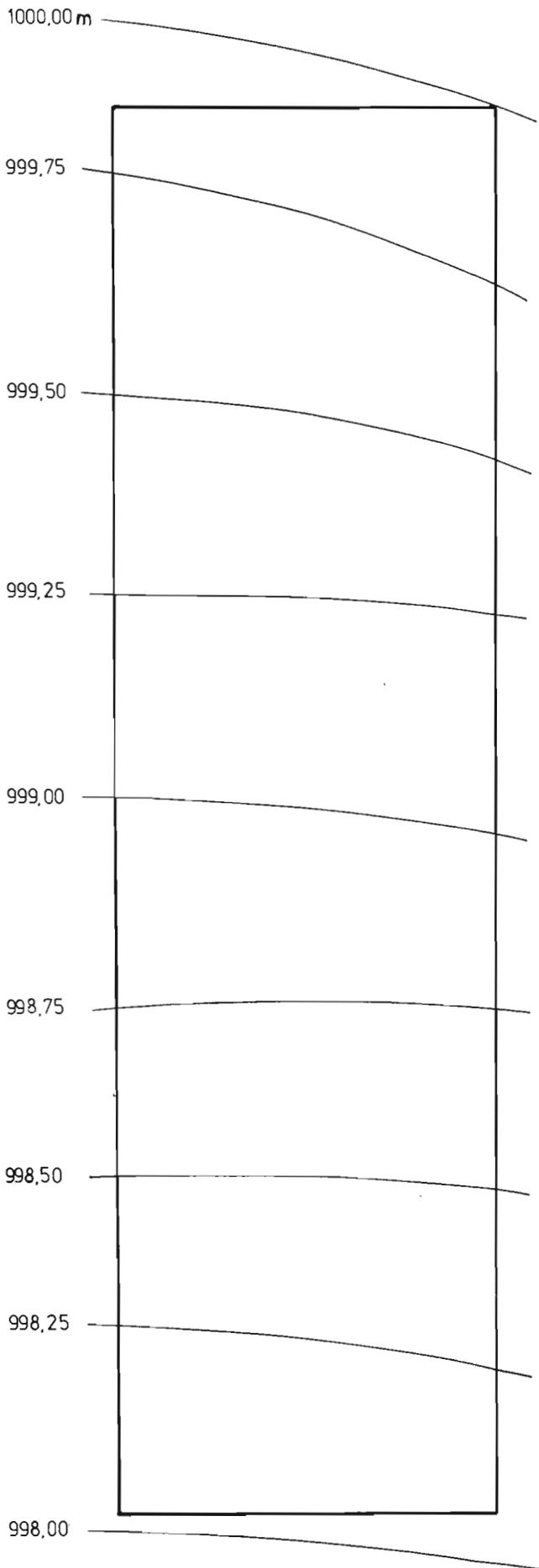
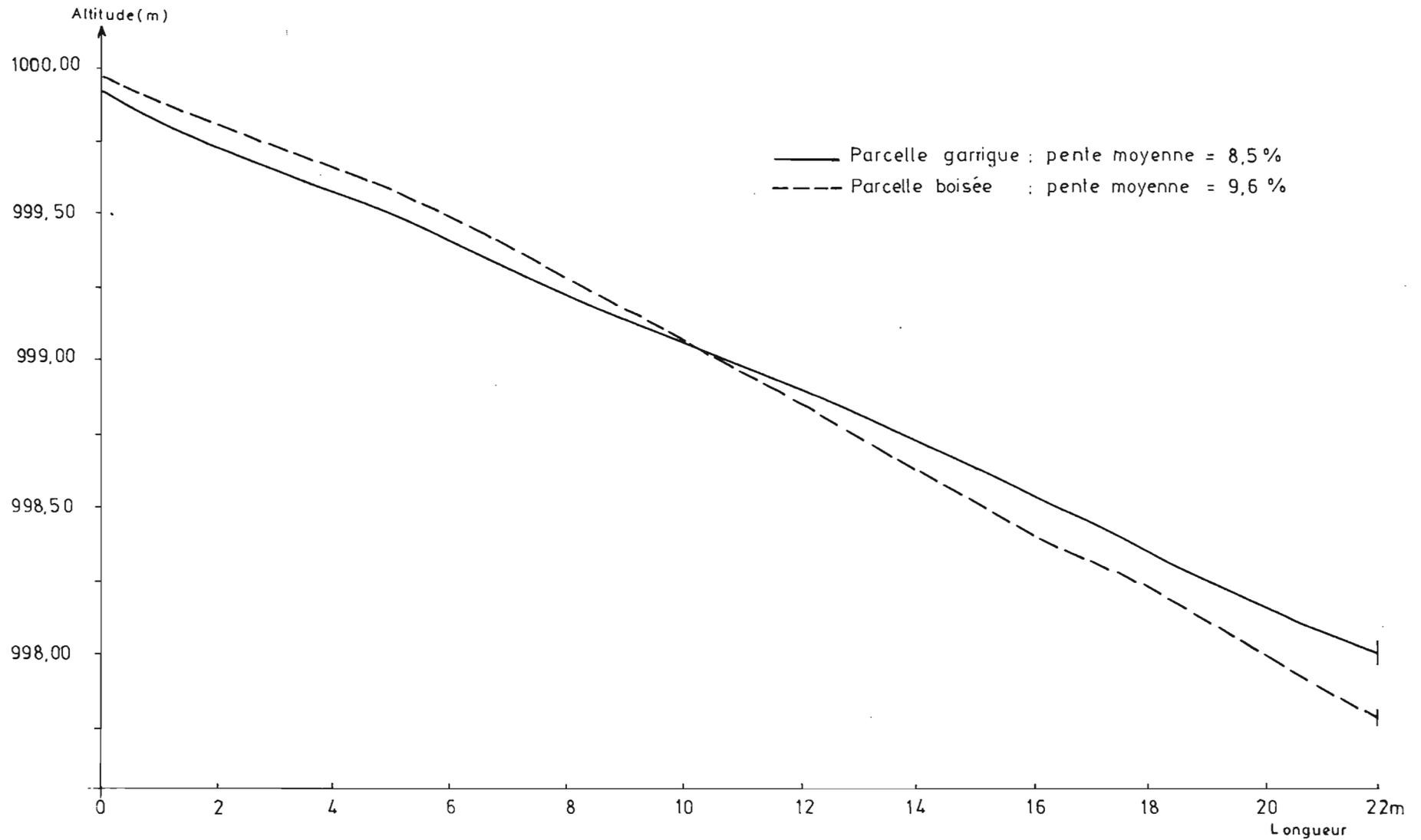


Fig: 9 PROFIL TOPOGRAPHIQUE MOYEN LONGITUDINAL
DES DEUX PARCELLES D'ÉROSION



IV-3. - Le sol

Lors d'une prospection de reconnaissance en vue de choisir l'emplacement définitif du site de la station, nous avons délimité une unité pédologique homogène sur les surfaces structurales, pour laquelle un profil-type, représentatif du sol des deux parcelles, a été étudié.

Description du profil-type de sol caractéristique des deux parcelles:

Profil développé sur une surface structurale de calcaire dur, pente 9 % à exposition sud-est. En surface, avec un recouvrement de 50 %, éléments grossiers, graviers cailloux et quelques blocs, de calcaire. Végétation naturelle, garrigue ouverte, recouvrement global : 15 à 20 %, composée de Rosmarinus officinalis - Stipa tenacissima - Globularia alypum - Cistus libanotis - Brachypodium distachyum - Genista cinerea - Pinus halepensis - Juniperus phoenicea.

Erosion en nappe généralisée, faible. Pas d'aménagements.

2/0 à 0 cm : sec - litière en voie de décomposition, à débris organiques (aiguilles, brindilles, feuilles) - horizon discontinu, localisé sous la végétation - transition très nette et interrompue.

0 à 6 cm : frais - 7,5 YR 5/3 sec, brun gris - sans taches, à matière organique directement décelable - effervescence généralisée, éléments carbonatés, diffus et lithiques - teneur approximative en éléments grossiers : 10/12 %, graviers et cailloux, de calcaire dur, de forme irrégulière, à arêtes émoussées, non altérés - texture limoneuse - structure fragmentaire, peu nette, généralisée, grumeleuse, fine et très fine - très poreux - friable - racines fines - chevelu très dense - activité moyenne - transition distincte et régulière.

6 à 20 cm : frais - 7,5 YR 4/4 sec, brun - sans taches - à matière organique non directement décelable - vive effervescence, généralisée, éléments carbonatés, diffus et lithiques - teneur approximative en éléments grossiers : 15/20 %, graviers et cailloux, de calcaire dur, de forme irrégulière, à arêtes émoussées, non altérés - texture limoneuse, - structure fragmentaire, nette, généralisée, polyédrique sub-anguleuse fine - très poreux - friable - racines fines et moyennes - chevelu - activité faible - transition distincte et régulière.

20 à 38 cm : frais - 7,5 YR 6/2 sec, gris brunâtre - sans taches, à matière organique non directement décelable - vive effervescence, généralisée, éléments carbonatés diffus et lithiques - teneur approximative en éléments grossiers : 5 %, graviers et cailloux de calcaire dur, de forme irrégulière, à arêtes émoussées, non altérés - texture limono-sableuse - structure particulière, généralisée - poreux - très friable - racines, fines et moyennes - chevelu - activité très faible - transition très nette et régulière.

au-delà de 38 cm : banc calcaire dur, massif, blanc-grisâtre, non fissuré.

Limoneuse en surface, la texture devient limono-sableuse à la base du profil. Les cinq centimètres supérieurs sont légèrement appauvris en argile et en matière organique, ce qui est à mettre en liaison avec l'érosion en nappe qui entraîne sélectivement les particules les plus fines de l'horizon de surface du sol. L'humus est du type mull calcaire à teneur en matière organique relativement élevée avec des rapports C/N bas indiquant une forte activité biologique. Le taux d'humification (teneurs en acides fulviques et humiques extraits au pyrophosphate de sodium) décroît de haut en bas.

Caractéristiques analytiques

Profondeur (cm)	0-5	10-15	25-35
<u>Granulométrie de la terre fine (0-2 mm)</u>			
argile (0-2 μ)	11,5	15,5	10,5
limon fin (2-20 μ)	28,0	23,5	16,0
limon grossier (20-50 μ)	21,0	14,0	16,0
sable fin (50-200 μ)	22,5	20,0	27,0
sable grossier (200-2000 μ)	13,5	18,0	26,5
Matière organique			
totale (%)	3,1	6,2	5,0
carbone (%)	1,8	3,6	2,9
azote (%)	0,13	0,32	0,35
C/N	13,8	11,3	8,3
Matières humiques			
(°/°° de C)	7,7	10,8	7,2
Taux d'humification (%)	42,8	30,0	24,8
Calcaire total (%)			
	24	44	64
Calcaire actif (%)			
	12	12	16
pH eau (1/2,5)			
	8,2	8,1	8,2
Fer total (°/°° Fe ₂ O ₃)			
	38,0	24,0	15,0
Fer libre (°/°° Fe ₂ O ₃)			
	10,0	7,0	3,5
Fer libre/fer total (%)			
	26,3	29,2	23,3

Le taux de calcaire total de la terre fine présente, malgré la faible épaisseur du profil, un gradient important de haut en bas : 24 % à 64 %. Le calcaire actif, reste relativement constant en valeur absolue mais il décroît par contre en valeur relative, de 50 % en surface jusqu'à 25 % à la base. La moitié du calcaire total se trouve donc sous une forme fine en surface et cette proportion diminue jusqu'au contact avec la roche-mère.

Le taux de fer total a par contre un gradient inverse de celui du calcaire total : de 38 ‰ en surface à 15 ‰ à la base. Le taux du fer libre suit la même variation (10 ‰ à 3,5 ‰), avec un rapport fer libre/fer total voisin de 25 % sur toute l'épaisseur.

Le profil dans la parcelle boisée est légèrement plus épais (40 à 45 cm) que celui de la parcelle garrigue (35 à 40 cm). Ceci est à mettre en liaison avec l'érosion en nappe plus intense dans cette dernière par suite du faible recouvrement de la végétation. Les apports de litière sont plus abondants en parcelle boisée, donnant une teneur plus élevée en matière organique qu'en parcelle garrigue. Cependant, la succession des horizons du profil pédologique reste la même pour les deux parcelles, ainsi que leurs caractéristiques morphologiques et analytiques.

Les sols présents sur les surfaces structurales, tel que celui décrit ci-dessus, dérivent génétiquement par décarbonatation du calcaire dur sous-jacent. Le carbonate de calcium est dissous puis éliminé du profil, avec corrélativement accumulation relative du résidu insoluble.

Ce type de sol est monocyclique et il s'est développé à partir de la fin du dernier pluvial quaternaire (soltanien), au cours duquel les surfaces structurales ont été décapées de leur couverture pédologique constituée de sols fersiallitiques méditerranéens. Ces derniers se retrouvent actuellement sur les versants sous forme de colluvions, recarbonatées secondairement.

IV-4. - La végétation

Dans l'étude entreprise, il était indispensable de connaître aussi précisément que possible le couvert végétal des deux parcelles, qui est le seul paramètre les différenciant. Pour cela, nous avons utilisé une méthode mise au point par des phyto-écologues et effectué des relevés systématiques périodiques.

Ce travail a été réalisé en collaboration avec MM. L. AMANDIER et R. JOFFRE, phyto-écologues du CEPE-CNRS de Montpellier.

Nous présentons ci-dessous l'état de la végétation des deux parcelles au début du fonctionnement du dispositif. L'étude de l'effet de la mise en défens sur l'évolution de la végétation en fonction du temps fera l'objet d'un chapitre spécial ci-après.

IV-4-1. - Protocole de mesures

IV-4-1-1. - Méthodologie

La méthode retenue pour étudier le couvert végétal est le sondage systématique par points-quadrats (échantillon de surface négligeable) le long d'une ligne (BROWN, 1954 - DAGET, POISSONET, 1969-1971).

Des lignes permanentes matérialisées par des piquets fixes implantés dans les parcelles, ont été installées : quatre lignes pour chacune des deux parcelles.

Sur chaque ligne et à intervalles réguliers (tous les 12,5cm pour la parcelle garrigue et tous les 25cm pour la parcelle boisée), une aiguille est posée verticalement sur le sol. Le long d'une génératrice, on note le nombre de contacts avec les espèces végétales interceptées, pour chaque strate de hauteur déterminée selon une progression arithmétique : 0 à 6,25 cm; 6,25 à 12,50 cm; 12,5 à 25 cm; 25 à 50 cm; 50 à 100 cm ...

La nature de la surface du sol à son contact avec l'aiguille a été aussi notée, ce qui nous a permis d'estimer l'état de la surface des deux parcelles.

IV-4-1-2. - Interprétations des mesures

On appelle "fréquence spécifique présence" (FSP) d'une espèce le rapport du nombre de points où cette espèce a été rencontrée sur

le nombre total de points observés. Cette fréquence peut être assimilée au recouvrement.

$$F.S. = \frac{\text{nombre de points où l'espèce est présente}}{\text{nombre total de points}}$$

La "contribution spécifique présence" (C.S.P.) se définit comme étant le rapport de la fréquence de l'espèce i sur la somme des fréquences de toutes les espèces de la ligne :

$$CSP_i = \frac{F_{SP_i}}{\sum FSP_i}$$

La C.S.P. représente la participation d'une espèce végétale au recouvrement de la végétation.

La "fréquence spécifique contact" (FSC) est le rapport du nombre de contacts d'une espèce par le nombre total de points observés. Cette fréquence peut être interprétée en terme de biovolume. De même, on définit la "contribution spécifique contact" (CSC) qui représentera la participation d'une espèce au biovolume de la végétation.

Tous ces indices peuvent être calculés par strate, afin de détailler plus finement la structure verticale de la végétation.

IV-4-2. - La végétation des deux parcelles

- Parcelle boisée

La végétation de cette parcelle est à rattacher au groupement à Pinus halepensis et Juniperus phoenicea de l'étage bioclimatique semi-aride inférieur. Elle se présente sous forme d'un taillis dense de Pin d'Alep de 4 m de hauteur. Une strate buissonnante (0 - 50 cm) peu dense comprend principalement les espèces suivantes : Rosmarinus officinalis, Cistus libanotis, Genista cinerea, Globularia alypum. Quelques espèces herbacées se développent dans la strate 0 - 25 cm : Dactylis glomerata, Coris monspeliensis, Dianthus caryophyllus, Paronichya capitata...

- Parcelle garrigue

La végétation de cette parcelle représente un stade de dégradation du groupement précédent. Il s'agit d'une formation ligneuse basse (0 - 50 cm) où nous retrouvons les compagnons habituels du Pin d'Alep : Romarin, Ciste du Liban, Genet cendré, Globulaire. L'alfa est présent avec un recouvrement assez faible.

En année favorable sur le plan climatique on peut assister au développement de quelques espèces annuelles principalement Brachypodium distachyum, dans la strate 0 - 10 cm.

Le recouvrement global de la végétation en projection verticale, exprimé en pourcent de la surface totale des parcelles est le suivant :

parcelle boisée : 70 %
parcelle garrigue : 32 %

Ces taux représentent la proportion de surface végétale, susceptible d'intercepter les gouttes de pluie, avant leur contact avec le sol, en supposant que la pluie tombe verticalement et uniformément.

Mais cette interception de la pluie par la végétation aérienne, dépend aussi de la structure spatiale de celle-ci, très différente dans les deux parcelles. Le tableau ci-dessous nous donne le recouvrement par strate de la végétation, en projection verticale, en % de la surface totale des parcelles (la somme des recouvrements de chaque strate est supérieure au recouvrement global ci-dessus, étant données les interférences entre chaque strate) :

<u>strates</u> (cm)	1 (0-6,25)	2 (6,25-25)	3 (25-50)	4 (50-100)	5 (100-200)	6 (200-400)
parcelle garrigue	17	19	9	1	-	-
parcelle boisée	10	35	32	42	50	33

La "contribution spécifique contact" des principales espèces, qui est la proportion relative en % de chacune de ces espèces dans le biovolume total de végétation, est indiquée dans le tableau ci-dessous :

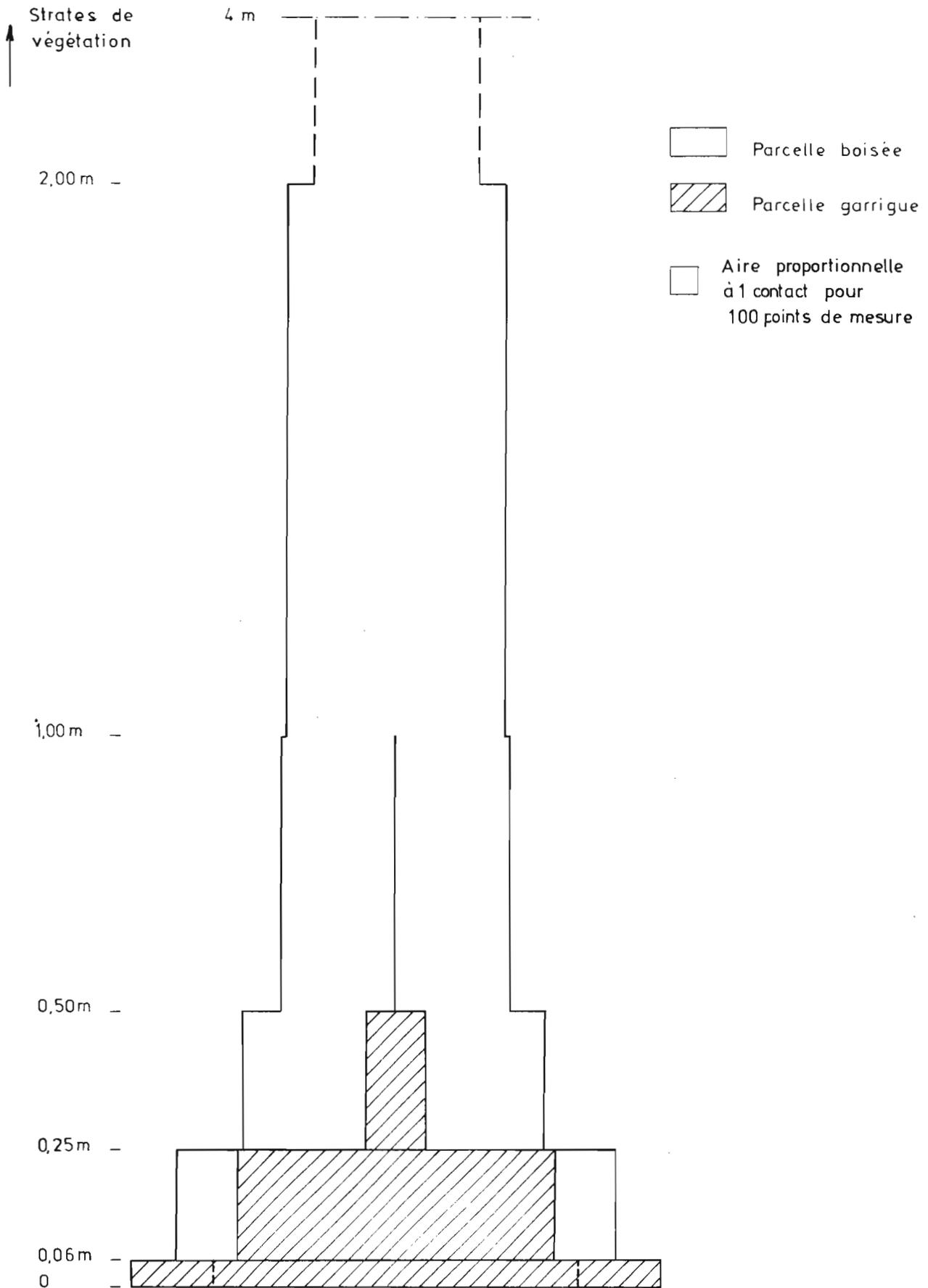
Espèces	Parcelle boisée	Parcelle garrigue
<i>Pinus halepensis</i>	71,6	0
<i>Rosmarinus officinalis</i>	15,4	34,3
<i>Cistus libanotis</i>	6,7	13,9
<i>Genista cinerea</i>	5,3	3,6
<i>Globularia alypum</i>	0,3	18,6
<i>Stipa tenacissima</i>	0,2	13,7

Par strate, la contribution de chaque espèce végétale au recouvrement est indiquée dans le tableau suivant, en % de la surface totale des parcelles pour chaque strate:

PARCELLE GARRIGUE					PARCELLE BOISEE					
1	2	3	4	Strates	1	2	3	4	5	6
-	-	-	-	<i>Pinus halepensis</i>	1,6	3,9	11,7	39,1	50,0	32,8
3,7	8,0	2,9	0,4	<i>Rosmarinus officinalis</i>	7,8	18,8	12,5	-	-	-
0,6	2,7	2,2	-	<i>Cistus libanotis</i>	2,3	6,3	5,5	1,6	-	-
0,4	0,6	-	-	<i>Genista cinerea</i>	1,6	5,5	5,9	0,8	-	-
4,1	3,5	0,4	-	<i>Globularia alypum</i>	1,6	-	-	-	-	-
0,2	3,5	3,3	-	<i>Stipa tenacissima</i>	-	0,8	-	-	-	-
16,8	19,0	9,2	0,4	recouvrement global par strate (ttes espèces)	10,2	35,2	32,0	41,4	50,0	32,8

Le pin d'Alep est l'espèce la plus abondante de la parcelle boisée, surtout dans les strates 4 à 6, alors qu'elle est totalement absente dans la parcelle garrigue.

Fig:10 STRUCTURE SPATIALE DE LA VEGETATION
DES DEUX PARCELLES



La strate buissonnante (0 à 50 cm) est constituée dans les deux parcelles par des espèces semblables, dont le recouvrement est faible : Romarin, Ciste du Liban, Genêt cendré, Globulaire. On peut noter cependant le développement plus important de l'alfa (*Stipa tenacissima*) dans la parcelle garrigue, espèce caractéristique des zones de piedmont.

La structure spatiale de la végétation des deux parcelles est schématisée sur la figure 10. Pour cette représentation, nous avons admis que le nombre de contacts pour 100 points de mesure fournit un indice acceptable pour chiffrer le biovolume végétal. En attribuant sur un graphique, pour chaque strate, une aire proportionnelle à l'indice de biovolume défini, on obtient une image à deux dimensions du biovolume végétal, ce qui nous permet une comparaison simple entre la végétation des deux parcelles.

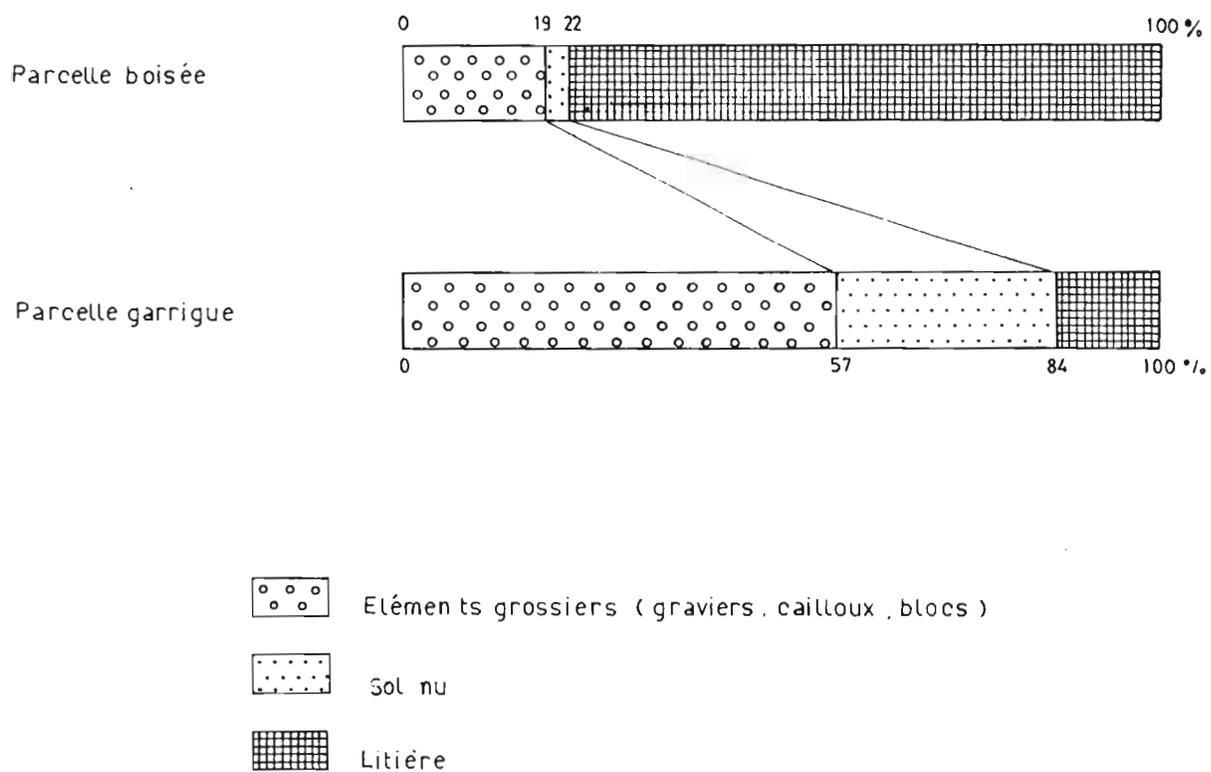
IV-5. - Etat de la surface du sol

L'état de la surface du sol, au moment de l'installation des parcelles est schématisé sur la figure 11.

Ce sont les éléments grossiers, qui avec 57 %, couvrent la majeure partie de la parcelle garrigue, la surface restante correspondant au sol nu (27 %) et à la litière (16 %). C'est cette dernière qui est largement dominante dans la parcelle boisée, avec 78 % de la surface, alors que les éléments grossiers ne représentent plus que 19 % et le sol nu 3 %.

Les éléments grossiers de la parcelle garrigue constituent un véritable "mulch", qui résulte du lent décapage de l'horizon de surface du sol : la terre fine est en effet entraînée par le ruissellement en nappe, laissant en place les éléments grossiers qui "s'accumulent" ainsi à la surface du sol, de façon relative.

Fig 11: ETAT DE LA SURFACE DU SOL DES DEUX PARCELLES



Ce pavage de la surface s'oppose à la pénétration de l'eau dans le sol, mais surtout protège le sol de l'impact des gouttes de pluie et de la destruction des agrégats de surface (effet "splash"). Le ruissellement trouvera un milieu relativement favorable à sa propagation dans cette parcelle, mais du fait de la faible importance de l'effet "splash", l'érosion hydrique sera faible.

L'importante quantité de litière de la parcelle boisée est au contraire un milieu fortement hydrophile. Jouant un rôle de filtre entre l'atmosphère et le sol proprement dit, elle stocke l'eau et permet son infiltration ultérieure dans le profil. La litière constitue donc un obstacle pour le ruissellement et elle supprime l'érosion hydrique en s'opposant à l'action de l'effet "splash" sur le sol nu.

V - LA STATION MÉTÉOROLOGIQUE

Elle est située à proximité immédiate des deux parcelles (fig.7) et comporte divers dispositifs permettant de déterminer les paramètres climatiques locaux.

V-1. - Pluviométrie

Les hauteurs de pluies sont mesurées avec trois pluviomètres standard dits "Association", munis d'une bague réceptrice de 400 cm², dont la partie supérieure, horizontale, est à 1,50 m de la surface du sol. Ces trois pluviomètres sont répartis de l'amont à l'aval du dispositif.

Un pluviographe (modèle SIAPE) à augets basculants tous les 0,5 mm de hauteur de pluie, à mouvement journalier (bague réceptrice de 1000 cm²) permet d'établir la courbe de hauteur d'eau précipitée en fonction du temps et de déterminer les intensités pluviométriques.

V-2. - Abri météorologique

L'abri météorologique proprement dit est équipé pour la mesure des températures (sèche, humide, minimum et maximum) et d'un évapo-

ronètre PICHE. Les relevés sont faits tous les jours à 7h, 13h, et 19h.

L'ensemble du dispositif météorologique est complété par les appareils suivants :

- un bac évaporation au sol, de type ORSTOM.
- un anémomètre et une girouette.
- un pluviomètre au sol.

Les résultats météorologiques (pluviométrie, température...) sont dépouillés et interprétés par la section Hydrologie en liaison avec les autres dispositifs et stations répartis sur l'ensemble du bassin versant étudié.

Nous nous sommes volontairement limités ici à une étude pluviométrique et pluviographique au voisinage immédiat des deux parcelles.

Nous présentons dans ce chapitre l'ensemble des résultats obtenus de 1975 à 1978, période au cours de laquelle nous avons observé une soixantaine de séquences pluvieuses ayant donné lieu à un ruissellement dans les parcelles.

I - PLUVIOMETRIE

La pluie est le facteur primordial conditionnant le ruissellement et l'érosion hydrique. Aussi, la connaissance de ses caractéristiques (hauteur, fréquence, répartition...) est nécessaire pour étudier les modalités et processus du ruissellement et de l'érosion.

D'une manière générale dans les deux parcelles étudiées, le ruissellement lorsqu'il a lieu, se produit quelques minutes après le début de la pluie. On a donc une relation directe de cause en effet qui se traduit dans le temps par l'individualisation d'un "couple pluie-ruissellement" que l'on doit étudier seul. Pour cela, au lieu d'utiliser la notion de "pluie journalière" ou "jour de pluie", nous avons adopté la notion de pluie unitaire ou séquence pluvieuse, telle qu'elle a été définie par WISCHMEIER (1958) puis ensuite, par d'autres auteurs comme CORMARY-MASSON (1964) et ROOSE (1973). La pluie unitaire est un épisode pluvieux séparé d'un autre épisode par un intervalle d'au moins six heures durant lequel il pleut moins de un millimètre.

Cette notion correspond parfaitement aux phénomènes observés dans les deux parcelles et chacun des "couples pluie-ruissellement" sera ainsi étudié distinctement avec ses caractéristiques propres.

I-1. - Hauteur d'eau précipitée

L'annexe I donne les différentes pluies unitaires de 1975, 1976, 1977 et 1978 mesurées aux trois pluviomètres répartis dans la station. Nous avons utilisé la moyenne arithmétique de ces trois mesures, ce qui nous paraît suffisant pour estimer la hauteur d'eau précipitée sur

les deux parcelles. En effet, les différences constatées entre les trois valeurs sont faibles en valeur absolue et leurs variations sont désordonnées dans le temps.

	1975	1976	1977	1978
J	17,5	31,5	47,7	12,4
F	119,4	59,5	14,8	37,3
M	34,6	69,6	68,5	94,0
A	57,5	24,4	22,7	17,0
M	46,6	96,9	23,5	51,7
J	0	59,5	7,0	44,8
J	1,0	48,5	9,9	0
A	43,8	45,3	22,3	39,5
S	71,3	39,7	7,7	11,7
O	5,2	28,2	52,2	38,8
N	57,8	66,8	38,1	20,3
D	14,9	27,7	3,8	4,5
TOTAL	469,6	597,6	318,2	372,0

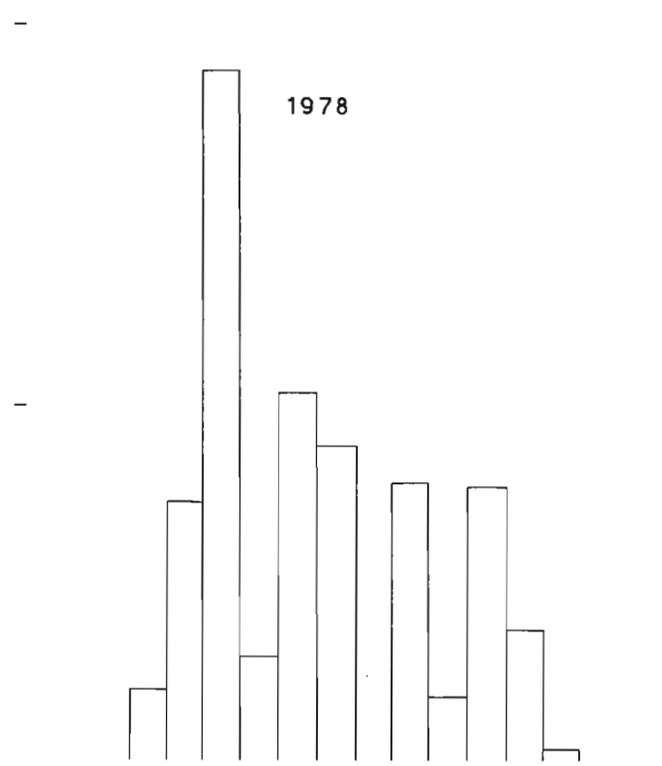
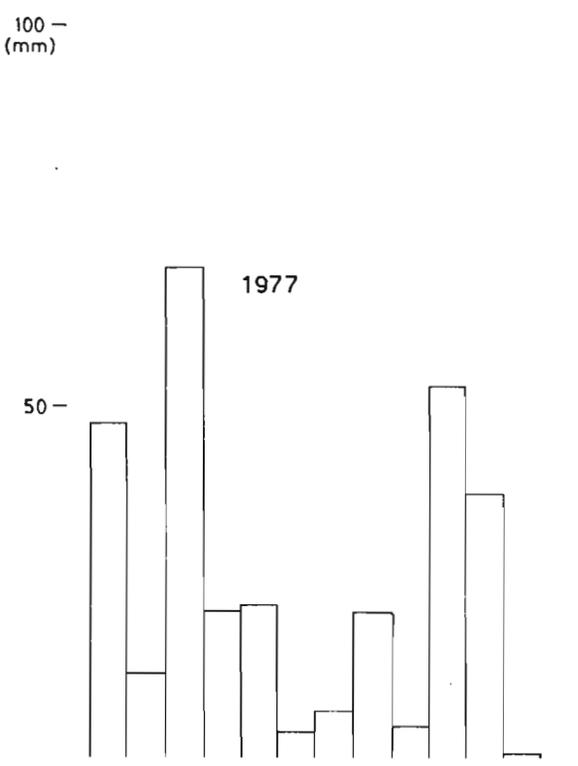
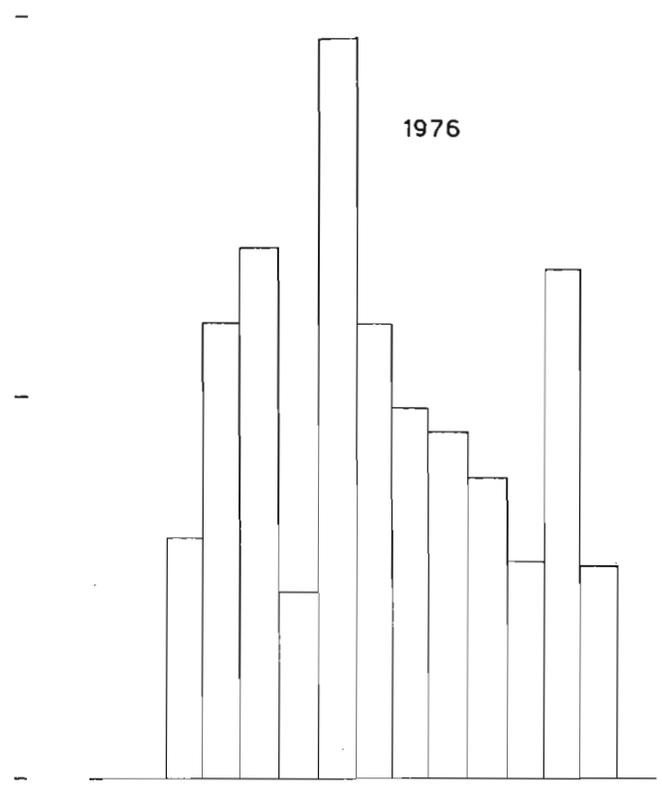
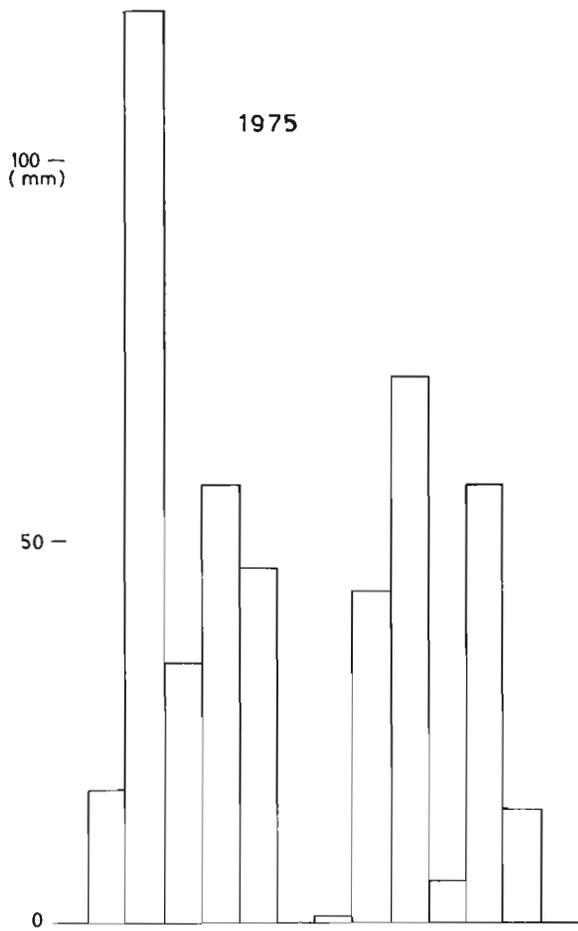
Tabl.III.1. - Pluviométrie mensuelle et annuelle (en mm.)

Les hauteurs d'eau précipitées durant les quatre années étudiées (tableau III.1) mettent en évidence l'irrégularité et la variabilité de la pluviométrie, ce qui est caractéristique de la Tunisie centrale, comme nous l'avons signalé dans la première partie.

Ainsi, la pluviométrie annuelle varie presque du simple au double pour deux années consécutives = 318,2 mm en 1977 contre 597,6 mm en 1976, les années 1975 et 1978 ayant une valeur intermédiaire.

C'est essentiellement au niveau mensuel que la variabilité est nettement marquée (fig.12). Juin et juillet peuvent être totalement secs ou bien peuvent avoir une pluviométrie notable, atteignant 50 à 60 mm. Les

Fig.12 PLUVIOMETRIE MENSUELLE



mois réputés pluvieux accusent des variations importantes, comme septembre : 71,3 mm en 1975 contre 7,7 mm en 1977 et 11,7 mm en 1978.

C'est le mois de février 1975 qui a été le plus arrosé avec 119,4 mm ce qui représente le quart de la pluviométrie annuelle.

I-2. - Répartition des pluies

		1975	1976	1977	1978
H I V E R	h	144,9	105,9	90,2	53,5
	%	31,3	18,1	26,4	14,4
P R I N T E M P S	h	138,7	190,9	114,7	162,7
	%	30,0	32,7	33,5	43,8
E T E	h	44,8	153,3	39,2	84,3
	%	9,7	26,2	11,5	22,7
A U T O M N E	h	134,3	134,7	98,0	70,8
	%	29,0	23,0	28,6	19,1

Tabl.III.2. - Répartition saisonnière de la pluviométrie.

h = hauteur de pluie en mm.

% = pourcentage par rapport à la pluie annuelle

hiver = D.J.F.

printemps = M.A.M.

été = J.J.A.

automne = S.O.N.

Le tableau ci-dessus montre la permanence des pluies de printemps qui représentent au minimum 30 % de la pluviométrie annuelle et atteignent jusqu'à 44 % en 1978 (fig.13-14).

Les pluies d'automne sont toujours moins abondantes que celles du printemps = 28 à 29 % et ont un déficit parfois accusé comme en 1978 avec 19 % seulement.

Les deux autres saisons présentent d'une année sur l'autre des variations plus importantes. L'hiver a une pluviométrie variant du simple au double = 14,4 % en 1978 contre 31,3 % en 1975, tandis que les variations estivales sont encore plus accusées : 9,7 % en 1975 contre 26,2 % en 1976.

Fig:13 REPARTITION DE LA PLUVIOMETRIE

(% de la pluviométrie annuelle cumulée)

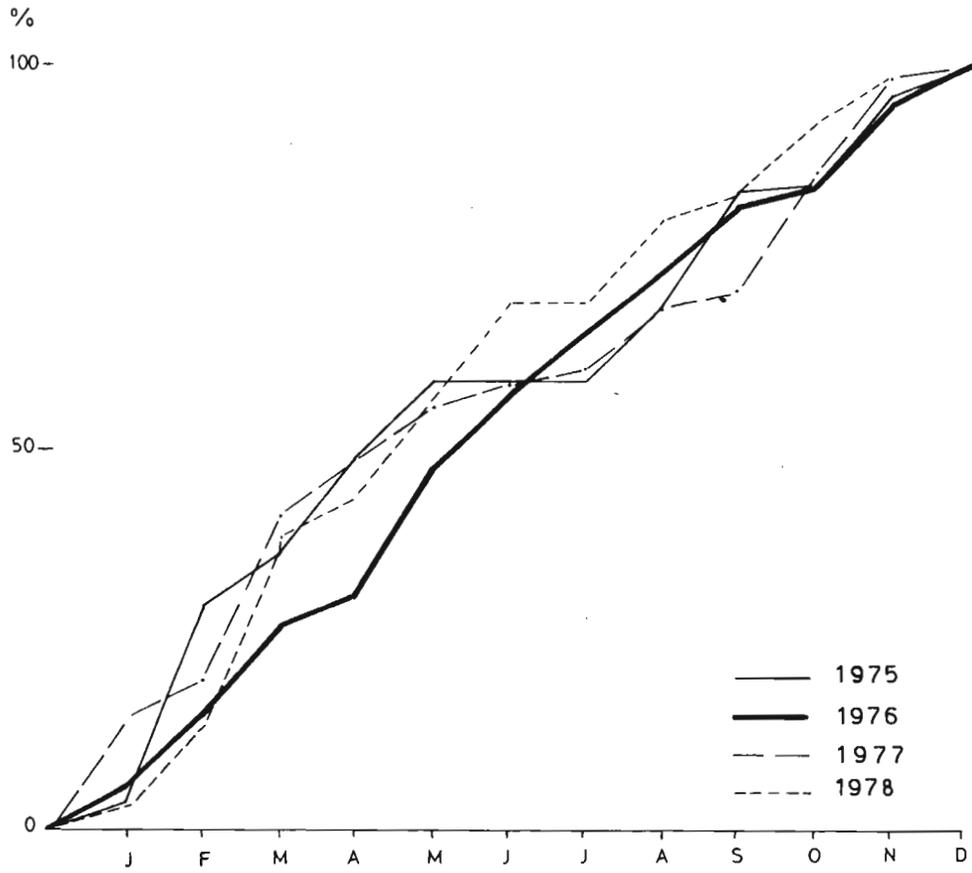
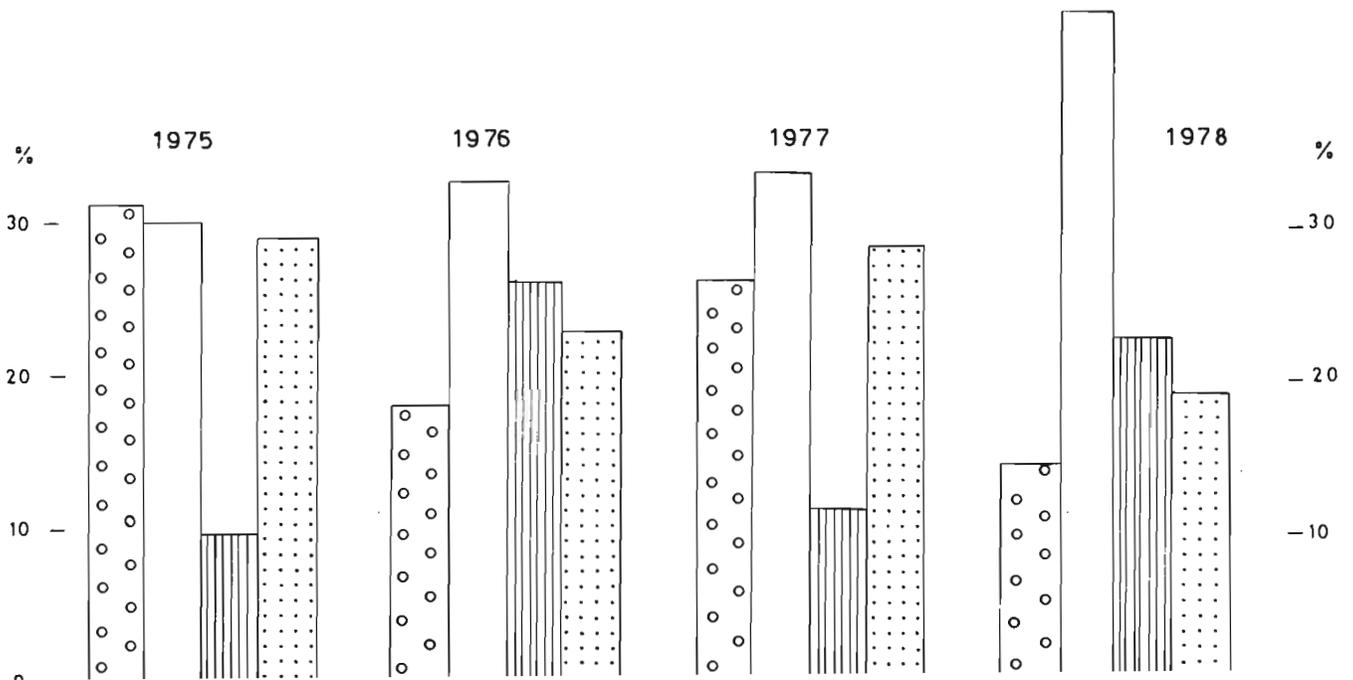


Fig:14 REPARTITION SAISONNIERE DE LA PLUVIOMETRIE

(% de la pluviométrie annuelle)



Les pluies dites "d'automne" débutent avec une relative constance vers la mi-août et viennent succéder à la sécheresse estivale.

D'une manière générale, les pluies se répartissent tout au long de l'année. Cependant, nous pouvons distinguer des périodes sèches plus ou moins longues dont celles d'une durée supérieure à 20 jours sont les suivantes, pour les quatre années étudiées (les pluies inférieures à 1 mm. ne sont pas prises en considération) :

- année 1975 : 81 jours (25 mai à 12 août); 32 jours (26 septembre à 27 octobre).
- année 1976 : 25 jours (23 juillet à 16 août); 20 jours (23 novembre à 12 décembre).
- année 1977 : 40 jours (15 février à 26 mars); 37 jours (4 juin au 10 juillet); 25 jours (19 septembre à 13 octobre); 36 jours (19 octobre à 23 novembre); 34 jours (10 décembre à 12 janvier 1978).
- année 1978 : 71 jours (2 juin à 11 août); 29 jours (2 au 30 septembre); 20 jours (20 octobre au 8 novembre).

La période sèche la plus nette est celle de l'été, qui dépasse deux mois en 1975 et 1978. Cette sécheresse estivale a été très réduite en 1976, année à forte pluviosité. Paradoxalement, l'année 1977 qui a la plus faible pluviométrie des quatre années à une période sèche estivale peu marquée, mais on note cependant cinq épisodes secs, répartis tout au long de l'année.

L'automne présente une période sèche assez constante, d'une durée voisine de un mois, qui se produit soit au début, soit à la fin de la saison.

Deux périodes sèches prononcées ont eu lieu en 1977 durant l'hiver, ce qui est à mettre en liaison avec la faible pluviométrie de l'année.

I-3. - Pluies unitaires

Les pluies unitaires, telles qu'elles ont été définies ci dessus, ont été groupées suivant les 7 classes de hauteur suivantes :

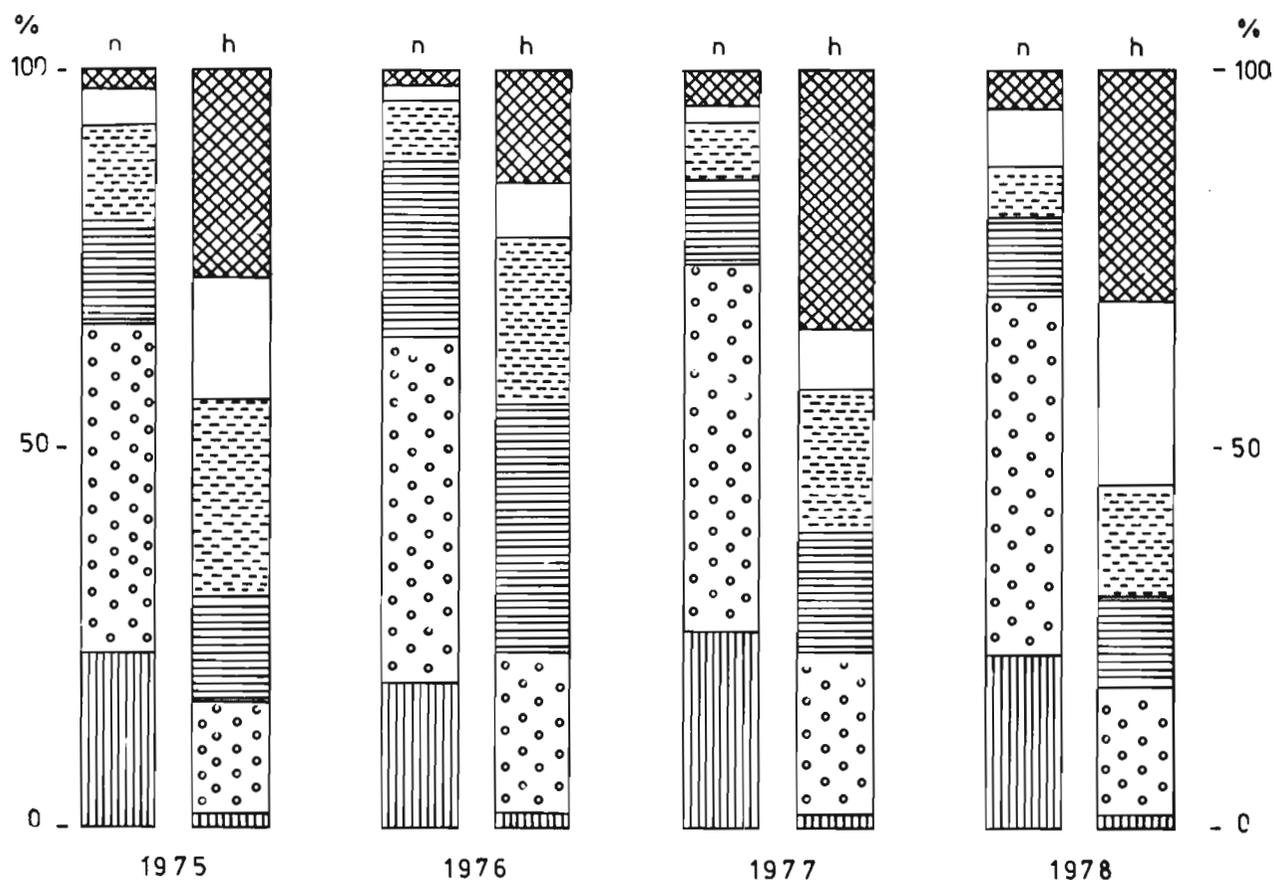
- Classe 1 : moins de 1 mm.
 2 : 1 à 4,9 mm.
 3 : 5 à 9,9 mm.
 4 : 10 à 19,9 mm.
 5 : 20 à 29,9 mm.
 6 : 30 à 39,9 mm.
 7 : plus de 40 mm.

La répartition mensuelle par classe des pluies unitaires mesurées durant les quatre années est donnée dans l'annexe II. Les tableaux III.3. et III.4. ci-dessous récapitulent, à l'échelle annuelle et par classe, d'une part, le nombre des pluies unitaires, d'autre part, leur proportion par rapport au total annuel.(figure 15).

Classes	1975	1976	1977	1978
1	16	22	16	13
2	31	53	30	27
3	10	27	7	6
4	9	10	5	4
5	3	2	1	4
6	0	1	2	2
7	2	1	1	1
TOTAL	71	116	62	57

Tabl.III.3. - Nombre de pluies unitaires par classe de hauteur.

Fig. 15 - Proportion des pluies unitaires par classe de hauteur par rapport au total annuel (%)



n = % du nombre de pluies unitaires par rapport au nombre de pluies unitaires annuels.

h = % de la hauteur de pluie par classe par rapport à la pluviométrie annuelle.

Classe de hauteur des pluies unitaires :

 : moins de 1 mm

 : de 1 à 4,9 mm

 : de 5 à 9,9 mm

 : de 10 à 19,9 mm

 : de 20 à 29,9 mm

 : plus de 30 mm

Le nombre annuel de pluies unitaires est peu important, sauf en 1976, année à forte pluviométrie. Celle-ci n'est d'ailleurs pas due à des pluies importantes, mais plutôt à la répétition de pluie de faible hauteur. Les pluies supérieures à 30 mm. sont d'ailleurs rares et nous pouvons noter surtout le nombre de pluies des classes 1, 2 et 3 que l'on retrouve pratiquement d'une année sur l'autre, avec un nombre maximum en 1976.

CLASSES		1975	1976	1977	1978
1	n	22,5	19,0	25,8	22,8
	h	1,4	1,9	1,7	1,4
2	n	43,7	45,7	48,4	47,4
	h	15,0	21,4	21,6	17,4
3	n	14,1	23,3	11,3	10,5
	h	14,0	32,2	15,6	11,8
4	n	12,7	8,6	8,1	7,0
	h	26,3	22,4	19,2	14,9
5	n	4,2	1,6	1,6	7,0
	h	15,4	7,1	7,4	24,1
6	n		0,9	3,2	3,5
	h		6,3	20,2	18,4
7	n	2,8	0,9	1,6	1,8
	h	27,9	8,7	14,3	12,0

Tabl.III.4. - Proportion des pluies unitaires par classe de hauteur par rapport au total annuel.

n = % du nombre de pluies unitaires par classe, par rapport de nombre de pluies annuel

h = % de la hauteur de pluie par classe, par rapport à la pluviométrie annuelle.

Les pluies inférieures à 5 mm. constituent un "fond de base" que l'on retrouve en proportion équivalente durant les quatre années considérées. Elles correspondent en effet à 65-70 % du nombre de pluies unitaires, ce qui représente 16 à 23 % de la hauteur de pluie annuelle.

II - CARACTERISATION DE LA FLUIE

II-1. - Energie cinétique

En s'écrasant au sol, les gouttes de pluie libèrent leur énergie cinétique, qu'elles ont acquies au cours de leur chute. Cette libération d'énergie lors du contact avec la surface du sol, correspond à l'effet "splash" : les agrégats de sol sont désintégrés en particules plus fines, qui sont projetées tout autour du point d'impact des gouttes. Dans le cas de l'érosion en nappe, le ruissellement intervient ensuite, pour déplacer et transporter en suspension les particules libérées par l'effet "splash".

WISCHMEIER et SMITH (1958) montrèrent à partir d'un grand nombre de pluies d'intensité homogène, que l'énergie cinétique (E_c) d'une pluie était liée à son intensité (I) selon la relation empirique suivante :

$$E_c = 916 + 331 \log_{10} I \quad (\text{en unités américaines} = \text{pieds tonnes par acre et par pouce de pluie})$$

A l'aide des enregistrements pluviographiques, il nous sera donc possible de calculer l'énergie cinétique de chaque pluie. Pour cela, on détermine sur un pluviogramme donné, des segments durant lesquels l'intensité est constante. A celle-ci correspond une énergie cinétique unitaire (E_u), déterminée à partir d'une abaque donnant l'énergie par millimètre de pluie en fonction de l'intensité (CORMARY-MASSON, 1964, d'après WISCHMEIER). Pour avoir l'énergie cinétique (E_h) du segment considéré, il suffit de multiplier E_u par la hauteur d'eau (H) précipitée à intensité constante : $E_h = E_u \times H$.

L'énergie cinétique globale (E_g) de la pluie complète est égale à la somme des énergies cinétiques de chacun des segments : $E_g = \sum E_h$.

II-2. - Indice d'agressivité climatique R

A partir des résultats obtenus en parcelles expérimentales, WISCHMEIER (1959-1960), WISCHMEIER et SMITH (1958-1960), établirent des corrélations entre l'érosion et un "index-pluie" R , défini comme le

produit de l'énergie cinétique de la pluie par son intensité maximale en 30 minutes (IM 30), qui est la hauteur d'eau maximale tombée pendant 30 minutes consécutives. IM 30 se détermine sur le pluviogramme. Cet "index pluie" R caractérise l'agressivité d'une pluie :

$$R = E_g \times IM\ 30$$

Nous avons calculé cet indice pour les diverses pluies ayant donné naissance à un ruissellement. Il est exprimé en unités américaines (pied-tonne par acre et par pouce par heure) de manière à pouvoir le comparer aux valeurs citées dans d'autres travaux où il est exprimé le plus souvent avec cette unité.

La relation entre R_{USA} et le R en unités métriques est la suivante :

$$R_{USA} = \frac{R\ \text{métrique}}{1735,6}$$

III - RUISSELLEMENT

III.1. - Bilan annuel

		1975		1976		1977		1978	
		Pg	Pb	Pg	Pb	Pg	Pb	Pg	Pb
H (mm)		469,6		597,6		318,2		372,0	
h	mm	282,2	223,5	217,1	202,4	168,6	168,6	204,8	193,0
	%	60,2	47,6	36,3	33,9	53,0	53,0	55,1	51,9
L (mm)		40,2	2,8	9,9	2,3	14,0	2,0	33,0	2,9
K_H %		8,6	0,6	1,7	0,4	4,4	0,6	8,9	0,8
K_h %		14,2	1,2	4,6	1,1	8,3	1,2	16,1	1,5
N		71		116		62		57	
N_R	n	16	13	18	16	10	10	12	11
	%	22,5	18,3	15,5	13,8	16,1	16,1	21,1	19,3

Tabl.III.5. - Bilan annuel du ruissellement pour les deux parcelles.

Pg = parcelle garrigue.

Pb = parcelle boisée.

H = pluviométrie annuelle en mm.

h = hauteur d'eau annuelle durant laquelle a eu lieu un ruissellement, en mm, et pourcentage par rapport à H.

L = lame d'eau annuelle ruisselée, en mm.

K = coefficient de ruissellement annuel par rapport à $H(K_H)$ et à $h(K_h)$, en %.

N = nombre annuel de pluies unitaires.

N_R = nombre annuel de pluies unitaires durant lequel a eu lieu un ruissellement (n) et pourcentage par rapport à N (%).

Le nombre de pluies unitaires génératrices de ruissellement est relativement faible dans les deux parcelles (15 à 20 %). Dans la parcelle boisée, ce nombre est d'ailleurs inférieur, sauf en 1977, à celui de la parcelle garrigue, ce qui est dû au fait que des pluies de faible hauteur (classes 2 et 3) ont provoqué des ruissellements dans cette dernière parcelle sans en donner en parcelle boisée.

Ce petit nombre de pluies génératrices de ruissellement a cependant une hauteur qui représente une proportion notable de la pluviométrie annuelle : 53 à 60 % en parcelle garrigue et 48 à 53 % en parcelle boisée, sauf en 1976, durant laquelle le nombre de pluies de faible hauteur ne donnant pas lieu à un ruissellement est élevé, ce qui abaisse la proportion de hauteur de pluies ayant ruisselé aux environs de 35 % pour les deux parcelles.

Les chiffres ci-dessus ne mettent pas en évidence un comportement très différent des deux parcelles vis-à-vis du ruissellement. Une différence notable va apparaître avec les coefficients de ruissellement annuel. Alors que celui de la parcelle boisée est très faible et reste à peu près constant durant les quatre années (0,4 à 0,8 % de la pluie annuelle et 1,1 à 1,5 % par rapport à la hauteur d'eau annuelle ayant donné un ruissellement), celui de la parcelle garrigue est toujours plus élevé. Le rapport entre les deux coefficients est d'ailleurs variable d'une année sur l'autre : en 1976, il est 4 fois plus élevé dans la parcelle garrigue que dans la parcelle boisée; en 1977, 7 fois; en 1978, 11 fois et en 1975, 14 fois.

Ces coefficients de ruissellement annuel, s'ils montrent une différence de comportement des deux parcelles vis-à-vis du ruissellement, restent cependant faible en valeur absolue et indiquent qu'une faible partie de la pluviométrie annuelle est susceptible de ruisseler. Les résultats présentés par séquence pluvieuse vont montrer au contraire que certaines pluies peuvent provoquer des ruissellements très importants.

L'analyse et l'interprétation de ces résultats seront présentées plus spécialement dans la 4ème partie, nous donnons seulement ici les résultats bruts obtenus.

III-2. - Résultats par séquence pluvieuse

Nous présentons ci-dessous sous forme de tableaux les résultats obtenus pour chaque pluie unitaire ayant donné lieu à un ruissellement dans les parcelles durant les quatre années d'observation.

Lorsque cela a été possible, la séquence pluvieuse a été subdivisée en plusieurs phases distinctes correspondant chacune à un couple pluie-ruissellement nettement individualisé dans le temps, tout en restant dans les limites de la pluie unitaire définie auparavant.

Pour chaque phénomène, nous donnons les renseignements suivants :

H = hauteur de la pluie en mm. Il s'agit de la hauteur "utile", c'est-à-dire qu'il n'a pas été pris en compte la traîne de quelques millimètres se produisant lorsque le ruissellement est terminé.

IM = intensité maximale de la pluie en x minutes, exprimés en mm/heure.

Eg = énergie cinétique totale de la pluie, déterminée d'après les abaques données par CORMARY-MASSON (1964) - Exprimée en pied-tonne par acre et par mm/heure.

RUSA = indice d'agressivité climatique de WISCHMEIER, en unités américaines (pied-tonne/acre/pouce de pluie et par pouce/heure).

Vp = volume d'eau précipité sur chacune des deux parcelles, en litres

Pg = parcelle garrigue

Pb = parcelle boisée

VR = volume d'eau ayant ruisselé à l'aval des parcelles, en litres

K = coefficient de ruissellement, en % = $\frac{V_R}{V_p} \times 100$

HR = hauteur de la lame d'eau ayant ruisselé, en mm

(la lame d'eau inférieure à 0,1 mm est notée traces)

tr = traces

* = non mesuré.

III-2-1. - Année 1975

Seize séquences pluvieuses ont donné lieu à un ruissellement dans la parcelle garrigue et treize dans la parcelle boisée.

Les séquences 75.1 (février), 75.7 et 75.8 (mai), 75.11 (août) 75.13 (septembre) ont les plus forts coefficients de ruissellement malgré des pluies de faible hauteur (10 à 20 mm), sauf pour la séquence 75.1 qui est la pluie la plus importante observée durant les quatre années d'observation avec 87 mm.

Séquence 75.1 = 3 et 4.2.1975 - Composée de 6 couples averse ruissellement.

- phase 1 = 11h 30 à 15h
- 2 = 20h à 21h
- 3 = 22h 40 à 0h 30
- 4 = 0h 50 à 1h 20
- 5 = 3 h à 4h 40
- 6 = 0h 40 à 15h.

Séquence 75.2 = 12.02.75 de 13h 50 à 15h 30.

Les précipitations sont sous forme de grêle et n'ont donné lieu à un ruissellement que dans la parcelle garrigue.

Séquence 75.3 = 20.03.75 de 17h à 20h 50.

Le ruissellement est très faible dans les deux parcelles.

Séquence 75.4 = 31.03.75.

Sur les trois épisodes de cette séquence pluvieuse seul le second a donné lieu à ruissellement, très faible d'ailleurs.

Episode 1 : 17h à 17h 45; épisode 2 : 19h 15 à 21h; épisode 3 : 22h à 1h.

Phases	1	2	3	4	5	6	1 à 2	1 à 3	1 à 5	1 à 6	
H	9,0	3,5	9,1	1,6	16,9	36,0	15,3	26,5	47,9	87,0	
IM	5'	5,0	5,0	12,0	6,0	31,2	42,7	5,0	12,0	31,2	42,7
	10'	4,8	4,8	10,2	4,2	23,4	37,8	4,8	10,2	23,4	37,8
	15'	5,2	5,2	10,0	3,6	19,6	33,6	5,2	10,0	19,6	33,6
	30'	5,0	5,0	7,6	3,0	16,0	24,0	5,0	7,6	16,0	24,0
	60'	3,6	3,0	5,9	-	12,1	15,5	3,6	5,9	12,1	15,5
Eg Rusa	77,4 0,22	55,1 0,16	170,6 0,74	25,4 0,04	364,4 3,35	737,4 10,20	132,5 0,38	303,1 1,33	692,9 6,39	1430,3 19,78	
Vp	1188	462	1201	211	2231	4752	2020	3498	6323	11484	
Pg	VR	19	50	167	tr.	411	1740	69	236	647	2387
	K	1,6	10,8	13,9	-	18,4	36,6	3,4	6,7	10,2	20,8
	HR	0,14	0,38	1,27	-	3,11	12,2	0,52	1,79	4,9	18,1
Pb	VR	0	0	4	0	*	*	-	-	-	82
	K	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-	0,7
	HR	-	-	tr.	-	-	-	-	-	-	0,62

Tabl.III.6. - Séquence 75.1.

	75-2		75-3		75-4				75-5						
			1	2	3	1à2	1à3	1	2	3	4	1à2	1à3	1à4	
H	7,5	11,2	2,5	7,5	4,0	10,5	15,8	3,0	7,0	4,0	22,0	10,5	15,0	39,5	
IM	5'	6,7	6,7	12,5	19,2	4,3	19,2	19,2	2,7	10,9	12,0	8,8	10,9	12,0	12,0
	10'	6,6	6,6	7,8	11,4	4,2	11,4	11,4	3,0	10,8	12,0	9,0	10,8	12,0	12,0
	15'	6,8	5,6	6,0	8,4	4,0	8,4	8,4	2,8	10,0	12,0	8,8	10,0	12,0	12,0
	30'	6,4	5,0	4,2	6,4	2,4	6,4	6,4	2,6	8,4	7,6	7,4	8,4	8,4	8,4
	60'	5,6	3,0	2,5	5,6	2,0	5,6	5,6	2,0	6,3	4,5	6,3	6,3	6,3	6,3
Eg	129	132	46	148	50	194	244	32	143	90	385	175	265	650	
Rusa	0,47	0,38	0,11	0,55	0,07	0,72	0,90	0,05	0,70	0,40	1,64	0,85	1,28	3,15	
Vp	990	1478	330	990	528	1386	2086	396	924	528	2904	1386	1980	5214	
Pg	VR	97	4	0	10	0	10	10	0	24	20	107	24	44	151
	K	9,8	0,3	-	1,0	-	0,7	0,5	-	2,6	3,8	3,7	1,7	2,2	2,9
	HR	0,73	0,03	-	tr.	-	tr.	tr.	-	0,18	0,15	0,81	0,18	0,33	1,14
Pb	VR	0	tr.	0	8	0	8	8	0	16	2	45	16	18	63
	K	-	-	-	0,8	-	0,6	0,4	-	1,7	0,4	1,6	1,2	0,9	1,2
	HR	-	-	-	tr.	-	tr.	tr.	-	0,12	tr.	0,34	0,12	0,14	0,48

Tabl. III.7. - Séquences 75-2 - 75-3 - 75-4 - 75-5.

Séquence 75-5 : 14.4.1975 = Constituée de 4 couples averse-ruissellement.

Phase 1 : 10h à 11h 20 (pas de ruissellement)

2 : 13h à 14h 15

3 : 18h 10 à 19h

4 : 22h à 3h.

Séquence 75-6 : 23.04.75, de 6h à 7h, avec un ruissellement dans la parcelle garrigue seulement.

Séquence 75-7 : 11.05.75, de 15h 15' à 15h 45'.

Pluie de hauteur faible, mais avec une intensité moyenne, qui provoque un fort ruissellement dans la parcelle garrigue, alors qu'il reste faible dans la parcelle boisée.

Séquence 75-8 : 24.05.75, de 12h 15' à 12h 50'.

Mêmes remarques que ci-dessus. Par suite du fonctionnement défectueux de pluviographe, nous avons utilisé le pluviogramme d'un appareil situé à environ 2500 m. en amont du dispositif.

Séquence 75-9 : 15.08.75, de 15h 45' à 15h 55'.

faible ruissellement dans la parcelle garrigue et dans la parcelle boisée.

Séquences	75-6	75-7	75-8	75-9	75-10			75-11			
					1	2	1 et 2	1	2	1 et 2	
H	3,0	12,5	13,4	5,5	6,0	2,0	8,5	7,5	9,5	19,0	
IM	5'	7,1	99,0		52,0	35,0	25,5	35,0	42,9	72,0	72,0
	10'	7,2	67,8		36,0	26,4	15,0	26,4	35,4	55,8	55,8
	15'	7,2	46,4		24,0	21,2	10,0	21,2	29,2	38,0	38,0
	30'	6,0	24,0		12,0	12,0	5,0	12,0	15,0	19,0	19,0
	60'	3,0	12,0		6,0	6,0	2,5	6,0	4,7	9,5	9,5
Eg	58	342		160	144	60	204	231	266	497	
Rusa	0,20	4,73		1,11	1,00	0,17	1,41	2,00	2,91	5,44	
Vp	396	1650	1769	726	792	264	1122	990	1254	2508	
Pg	V _R	12	365	383	8	8	11	19	87	336	423
	K	3,0	22,1	21,7	1,1	1,0	4,2	1,7	8,8	26,8	16,9
	H _R	tr.	2,77	2,90	tr.	tr.	tr.	0,14	0,66	2,55	3,21
Pb	V _R	0	36	43	3	2	3	5	*	*	-
	K	-	2,2	2,4	0,4	0,25	1,1	0,4	-	-	-
	H _R	-	0,27	0,32	tr.	tr.	tr.	tr.	-	-	-

Tabl.III.8. - Séquences 75-6 à 75-11.

Séquence 75-10 : 16.08.75, de 16h 00' à 16h 20' (1) et de 17h 00' à 17h 15' (2).

Le ruissellement est faible dans les deux parcelles, mais il est plus fort lors de la deuxième phase, bien que la pluie soit moins intense et de hauteur plus faible que lors de la première phase.

Séquence 75-11 : 23.08.75, avec deux couples averse-ruissellement.
Couple 1 = 16h 00' à 16h 20'. Couple 2 = 17h 00' à 17h 15'.

Les deux averses d'intensité moyenne créent un ruissellement dans la parcelle garrigue, qui est fort lors de la deuxième phase. Les observations n'ont pas été effectuées dans la parcelle boisée, mais un ruissellement s'est produit dans cette parcelle.

Séquence 75-12 : 20.09.75, constituée de deux averses, la deuxième seulement donnant un ruissellement.

Averse 1 = 18h 00' à 19h 00'.

Averse 2 = 19h 00' à 23h 00'.

Séquence 75-13 : 21.09.75, de 21h 05' à 21h 30'.

Averse à forte intensité, génératrice d'un ruissellement fort dans la parcelle garrigue et faible dans la parcelle boisée.

Séquence 75-14 : 22.09.75, de 13h 20' à 14h 30'.

Averse à faible intensité provoquant un ruissellement notable dans la parcelle garrigue, alors qu'il est très faible dans la parcelle boisée.

Séquence 75-15 : 24.09.75, de 22h à 1h. (Pluviographe hors de service durant cette pluie).

Séquences	75-12			75-13	75-14	75-15	
	1	2	1 et 2				
H	5,0	14,0	19,5	20,6	9,6	9,2	
IM	5'	13,6	13,1	13,6	87,5	18,7	*
	10'	13,6	9,6	13,6	87,5	16,8	*
	15'	12,0	8,0	12,0	74,0	14,4	*
	30'	8,0	7,2	8,0	41,0	12,2	*
	60'	5,0	6,6	6,6	20,5	8,1	*
Eg	99	316	415	581	185	*	
Rusa	0,46	1,31	1,91	13,73	1,30	*	
Vp	660	1848	2574	2719	1267	1214	
Pg	V _R	0	33	33	1051	147	8
	K	-	1,8	1,3	38,7	11,6	0,7
	H _R	-	0,25	0,25	7,96	1,11	tr.
Pb	V _R	0	7	7	65	4	3
	K	-	0,4	0,3	2,4	0,3	0,2
	H _R	-	tr.	tr.	0,49	tr.	tr.

Tabl. III.9. - Séquences 75-12.75-13.75-14.75-15.

Séquence 75-16 : 3 et 4.11.75. Constituée de 5 averses, ne donnant lieu à un ruissellement que lors des phases 2 et 5 dans les deux parcelles.

Averse 1 = 5h à 6h (pas de ruissellement); averse 2 = 15h à 15h 40'; averse 3 = 18h 30' à 18h 50' (pas de ruissellement); averse 4 = 20h 30' à 21h 05' (pas de ruissellement); averse 5 = 2h 30' à 5h 30'.

Séquence	75-16							
	1	2	3	4	5	1 à 2	1 à 5	
H	4,1	5,0	3,0	3,0	9,0	9,1	21,5	
IM	5'	5,0	21,0	18,8	19,2	6,0	21,0	21,0
	10'	4,8	21,0	15,6	12,0	6,0	21,0	21,0
	15'	4,2	15,6	11,6	8,0	6,0	15,6	15,6
	30'	3,6	10,2	6,0	4,2	5,4	10,2	10,2
	60'	3,0	7,3	1,5	3,0	4,0	7,3	7,3
Eg	50	120	67	62	153	170	452	
Rusa	0,10	0,71	0,23	0,15	0,48	1,00	2,66	
Vp	541	660	396	396	1188	1201	2838	
Pg	V _R	0	95	0	0	102	95	197
	K	-	14,4	-	-	8,6	7,9	6,9
	H _R	-	0,72	-	-	0,77	0,72	1,49
Pb	V _R	0	18	0	0	27	18	45
	K	-	2,7	-	-	2,3	1,5	1,6
	H _R	-	0,14	-	-	0,20	0,14	0,34

Tabl.III.10. - Séquence 75-16.

III-2-2. - Année 1976

18 séquences pluvieuses ont donné un ruissellement dans la parcelle garrigue et 16 dans la parcelle boisée.

D'une manière générale, il s'agit de pluies de faible hauteur (10 à 20 mm), sauf les séquences 76-4 et 76-17 qui ont atteint respectivement 37,5 et 50,3 mm.

Les coefficients de ruissellement sont faibles et dépassent rarement 10 % dans la parcelle garrigue, alors que dans la parcelle boisée ils restent inférieurs à 2 %.

Séquence 76-1 : 9.01.76, de 22h 15' à 7h 15'.

Séquence 76-2 : 23.02.76, de 10h 40' à 11h 40'.

Séquence 76-3 : 11.05.76, de 15h 30' à 16h et de 17h 30' à 18h 30'.

Cette séquence se divise en deux averses séparées d'environ deux heures; seule la deuxième donne un ruissellement très faible dans les deux parcelles. Nous utilisons la hauteur de pluie totale de la séquence pour les calculs.

Séquences		76-1	76-2	76-3	76-4	76-5	76-6	76-7	76-8	76-9	76-10
H		17,1	7,6	6,5	37,5	12,4	14,0	7,2	6,7	16,0	11,3
IM	5'	9,6	10,8	7,2	22,8	33,6	55,2	14,4	60,0	90,0	93,6
	10'	9,0	10,8	7,2	15,6	27,6	44,4	13,8	40,8	70,8	61,8
	15'	8,8	10,8	7,2	12,8	22,4	36,4	12,4	28,8	60,8	44,8
	30'	8,6	7,8	6,2	11,6	13,8	24,2	7,0	15,0	33,0	24,6
	60'	5,0	5,7	4,5	8,3	8,5	13,0	3,5	7,5	16,5	12,5
Eg		286	123	118	696	248	342	112	196	464	340
Rusa		1,42	0,55	0,42	4,65	1,97	4,77	0,45	1,69	8,82	4,82
Vp		2257	1003	858	4950	1637	1848	950	884	2112	1492
Pg	V _R	86	7	3	60	22	106	4	17	184	73
	K	3,8	0,7	0,3	1,2	1,3	5,7	0,4	1,9	8,7	4,9
	H _R	0,65	tr.	tr.	0,45	0,17	0,80	tr.	0,13	1,40	0,55
Pb	V _R	40	5	2	40	15	33	0	8	27	11
	K	1,8	0,5	0,2	0,8	0,9	1,2	-	0,9	1,3	0,7
	H _R	0,31	tr.	tr.	0,30	0,11	0,17	-	tr.	0,20	tr.

Tabl.III.11. - Séquences 76-1 à 76-10.

Séquence 76-4 : 14.05.76, de 16h à 24h.

Séquence 76-5 : 24.06.76, de 20h 30' à 21h 20'.

Séquence 76-6 : 25.06.76, de 13h à 13h 40'.

Séquence 76-7 : 27.06.76, de 15h 30' à 17h 50'.

Séquence 76-8 : 03.07.76, de 15h à 15h 20'.

Séquence 76-9 : 04.07.76, de 16h 30' à 16h 55'.

Séquence 76-10 : 17.07.76, de 18h 45' à 19h 05'.

Séquence 76-11 : 22.07.76, de 18h à 19h 20'.

Séquence 76-12 : 19.08.76, de 16h à 17h 30'.

Séquence 76-13 : 22.08.76, de 17h 10' à 17h 40'.

Séquence 76-14 : 25.08.76, composée de 2 couples averse-ruissellement de 16h 30' à 17h (1) et de 19h à 20h 30'(2).

Séquences	76-11	76-12	76-13	76-14			76-15	76-16	76-17		76-18	
				1	2	1+2			2	1+2		
H	7,6	7,5	9,9	5,9	3,8	9,7	9,8	8,5	12,8	50,3	15,0	
5'	39,6	42,0	62,4	48,0	21,6	48,0	54,0	51,6	8,4	9,6	15,6	
10'	28,2	30,6	51,0	30,0	13,8	30,0	49,2	30,0	7,8	8,4	13,2	
15'	22,0	22,0	36,0	20,0	10,0	20,0	36,0	20,0	8,0	8,0	10,4	
30'	15,8	11,0	18,0	10,0	5,0	10,0	18,0	10,0	8,0	8,0	7,6	
60'	8,0	5,5	9,0	5,0	2,5	5,0	9,0	5,0	7,7	7,7	6,0	
Eg	190	191	244	133	57	190	242	159	266	644	152	
Rusa	1,73	1,21	2,53	0,77	0,16	1,10	2,51	0,92	1,23	2,97	0,66	
Vp	1003	990	1307	779	501	1280	1294	1122	1690	6640	1980	
Pg	VR	29	11	185	12	5	17	173	35	255	255	43
	K	2,9	1,1	14,2	1,5	1,0	1,3	13,4	3,1	15,1	3,8	2,2
	HR	0,22	tr.	1,40	tr.	tr.	1,13	1,31	0,27	1,93	1,93	0,33
Pb	VR	3	0	26	3	1	4	18	8	57	57	7
	K	0,3	-	2,0	0,4	0,2	0,3	1,4	0,7	3,4	0,9	0,4
	HR	tr.	-	0,20	tr.	tr.	tr.	0,14	tr.	0,43	0,43	tr.

Tabl.III.12. - Séquences 76-11 à 76-18.

Séquence 76-15 : 03.09.76, de 21h 15' à 21h 40'.

Séquence 76-16 : 16.09.76, de 16h 15' à 18h 10'.

Séquence 76-17 : 16 et 17.11.76, avec une phase de ruissellement précédée par des averses ne donnant pas lieu à de ruissellement;
Phase 1 = plusieurs averses, les 16 et 17.11, ne donnant pas lieu à de ruissellement.
Phase 2 = le 17.11, de 22h 15' à 0h 50', avec ruissellement.

Séquence 76-18 : 22.12.76, de 21h à 5h.

III-2-3. - Année 1977

Dix séquences pluvieuses ont donné un ruissellement dans chacune des deux parcelles. Malgré des pluies de faible hauteur, le coefficient de ruissellement de la parcelle garrigue est pour cinq séquences, supérieur à 15 %, alors qu'il reste très faible en parcelle boisée.

Séquence 77-1 : 07.01.77, de 7h à 19h. Après une période de pluie peu intense de 7h à 18h et atteignant 16,4 mm, le ruissellement se produit de 18h à 18h 35.

Séquence 77-2 : 08.01.77, de 15h à 17h 35.

Séquence 77-3 : 27.03.77, de 16h à 3h 30. De 16h à 23h, averse de 6,6 mm ne donnant pas de ruissellement, et de 2h 40 à 3h 40, traces de ruissellement dans les deux parcelles, pour 5,5 mm.

Séquence 77-4 : 28.03.77, de 14h 40 à 15h 10.

Séquence 77-5 : 29.03.77, de 16h à 3h. Constituée de 4 phases :
Phase 1 = 16h à 17h, avec ruissellement
Phase 2 = 17h 25 à 17h 50, avec ruissellement.
Phase 3 = 18h 10 à 23h, sans ruissellement.
Phase 4 = 23h 30 à 2h 30, avec ruissellement.

Séquence 77-6 : 17.05.77, de 23h 30 à 0h 45.

Séquence 77-7 : 13.08.77, de 14h 20 à 15h.

Séquences	77-1	77-2	77-3	77-4	77-5						77-6	77-7	
					1	2	3	4	1 et 2	1 à 4			
H	21,	12,1	10,7	7,2	3,3	10,0	16,6	10,5	37,1	8,4	12,5		
IM	5'	6,0	5,4	24,0	60,0	21,6	15,6	6,0	25,2	21,6	25,2	33,6	57,6
	10'	4,8	5,4	18,0	41,4	16,2	12,0	4,8	14,4	16,2	16,2	24,0	52,8
	15'	4,0	5,2	12,8	31,6	13,6	10,0	4,0	10,8	13,6	13,6	17,6	48,8
	30'	4,0	5,2	8,1	19,0	10,0	6,0	3,0	9,6	10,0	1,0	14,0	25,0
	60'	3,4	4,9	5,0	9,5	5,0	3,0	2,5	7,2	5,0	7,2	7,0	12,5
Eg	178	123	209	241	109	63	98	324	172	594	164	340	
R _{usa}	0,41	0,37	0,98	2,64	0,63	0,22	0,17	1,79	1,00	3,42	1,32	4,90	
Vp	2891	1307	1597	1412	950	436	1320	2191	1386	4897	1109	1650	
Pg	V _R	10	54	tr.	300	22	tr.	0	41	22	63	54	253
	K	0,3	4,1	-	21,2	2,3	-	-	1,9	1,6	1,3	4,9	15,3
	H _R	tr.	0,41	-	2,27	0,17	-	-	0,31	0,17	0,48	0,41	1,92
Pb	V _R	10	10	tr.	39	8	tr.	0	31	8	39	22	8
	K	0,3	0,8	-	2,8	0,8	-	-	1,4	0,6	0,8	2,0	0,5
	H _R	tr.	-	-	0,30	tr.	-	-	0,23	tr.	0,30	0,17	tr.

Tabl.III.13. - Séquences 77-1 à 77-7.

Séquence 77-8 : 17.10.77, de 12h 20 à 12h 45.

Séquence 77-9 : 17.10.77, de 20h 10 à 24h, avec deux couples averse-ruissellement:

Couple 1 = 20h 10 à 21h 35

Couple 2 = 22h 30 à 24h.

Séquence 77-10 : 18.10.77, de 11h 30 à 12h.

Séquences	77-8	77-9				77-10	77-11						
		1	2	1 et 2	1		2	3	4	1 à 2	1 à 3	1 à 4	
H	6,3	7,1	14,6	22,2	6,6	9,9	9,3	8,8	2,8	19,8	28,6	33,0	
IM	5'	37,2	-	53,6	53,6	51,6	16,8	36,0	7,2	4,8	36,0	36,0	36,0
	10'	33,6	-	47,4	47,4	28,8	12,0	22,2	6,6	4,8	22,2	22,2	22,2
	15'	24,0	5,2	36,0	36,0	20,4	11,6	18,0	6,6	4,8	18,0	18,0	18,0
	30'	12,0	5,0	20,2	20,2	12,0	10,8	13,2	5,0	4,0	13,2	13,2	13,2
	60'	6,0	5,0	12,7	12,7	6,0	7,0	8,5	4,6	2,5	8,5	8,5	8,5
Eg Rusa	153	128	344	472	150	184	189	148	43	373	521	564	
	1,06	0,37	4,00	5,50	1,04	1,15	1,44	0,43	0,10	2,84	3,96	4,29	
Vp	832	937	1927	2930	871	1307	1228	1162	370	2614	3775	4356	
Pg	V _R	128	11	504	515	133	78	260	4	tr.	338	342	342
	K	15,4	1,2	26,2	17,6	15,3	6,0	21,2	0,3	-	12,9	9,1	7,9
	H _R	1,00	tr.	3,82	3,90	1,01	0,59	1,97	tr.	-	2,56	2,59	2,59
Pb	V _R	13	4	54	58	10	23	27	2	tr.	50	52	52
	K	1,6	0,4	2,8	2,0	1,1	1,8	2,2	0,2	-	1,9	1,4	1,2
	H _R	0,10	tr.	0,41	0,44	tr.	0,17	0,20	tr.	-	0,37	0,39	0,39

Tabl.III.14 - Séquences 77-8 à 77-11.

Séquence 77-11 : 24.11.77, de 15h à 5h 30, composée de 4 couples averse-ruissellement:

- couple 1 = de 15h à 16h 50.
- couple 2 = de 18h à 19h.
- couple 3 = de 19h 40 à 21h 35.
- couple 4 = de 4h 30 à 5h 30.

III-2-4 - Année 1978

Douze séquences pluvieuses ont donné un ruissellement dans la parcelle garrigue et onze dans la parcelle boisée. C'est la séquence 78-7 qui a donné le plus fort coefficient de ruissellement observé durant les quatre années, avec une pluie relativement importante.

Séquence 78-1 : 01.03.78, de 19h à 3h 30. Pluie de faible intensité mais continue qui ne provoque un ruissellement qu'à partir de 22h jusqu'à 1h 30. Au moment du début du ruissellement, la hauteur précipitée est de 8,3mm.

Séquence 78-2 : 18.03.78, de 14h à 18h. Le ruissellement ne débute qu'à 16h 50, après une hauteur de pluie précipitée de 5 mm.

Séquence 78-3 : 30.03.78, de 21h à 22h 50.

Séquences		78-1	78-2	78-3	78-4	78-5	78-6	78-7		
								1	2	1 et 2
H		30,8	18,7	16,9	9,8	7,8	16,7	21,3	18,0	39,3
IM	5'	25,2	10,8	13,8	48,0	64,8	84,0	-	-	98,4
	10'	17,4	10,8	13,8	24,0	46,2	84,0	-	-	98,4
	15'	13,6	10,0	13,6	22,8	32,0	64,0	-	-	77,2
	30'	8,6	8,0	13,2	13,0	16,0	32,0	-	-	50,8
	60'	7,3	6,8	10,4	9,7	8,0	16,0	-	-	36,8
Eg Rusa		579	214	338	265	220	460	-	-	1081
		2,87	1,00	2,58	1,98	2,03	8,48	-	-	31,64
Vp		4066	2468	2231	1294	1030	2204	2812	2376	5188
Pg	V _R	49	22	34	28	31	465	1203	1682	2885
	K	1,2	0,9	1,5	2,2	3,0	21,1	42,8	70,8	55,6
	H _R	0,37	0,17	0,26	0,21	0,23	3,52	9,11	12,74	21,85
Pb	V _R	41	20	15	14	10	47	*	*	165
	K	1,0	0,8	0,7	1,1	1,0	2,1	-	-	3,2
	H _R	0,31	0,15	0,11	0,11	tr.	0,36	-	-	1,25

Tabl.III.14. - Séquences 78-1 à 78-7.

Séquence 78-4 : 06.05.78, de 18h 50 à 19h 20.

Séquence 78-5 : 30.05.78, de 16h 10 à 16h 22.

Séquence 78-6 : 31.05.78, de 15h 10 à 15h 30.

Séquence 78-7 : 01.06.78, de 14h 45 à 16h, composée de 2 couples

averse-ruissellement :

Couple 1 = de 14h 45 à 15h 15

Couple 2 = de 15h 30 à 16h.

Séquence 78-8 : 13.08.78, de 15h 10 à 15h 25.

Séquence 78-9 : 20.08.78, de 13h 30 à 14h.

Séquence 78-10: 01.09.78, de 18h 40 à 19h 05.

Séquence 78-11: 14.10.78, de 12h 55 à 15h 50, avec 2 couples

averse-ruissellement :

Couple 1 = 12h 55 à 13h 20

Couple 2 = 15h 20 à 15h 55.

Séquences	78-8	78-9	78-10	78-11			78-12	
				1	2	1 et 2		
H	7,0	19,0	10,5	8,5	8,0	16,5	11,8	
IM	5'	49,2	90,0	51,6	64,0	36,0	64,0	10,8
	10'	27,0	66,0	42,0	45,0	27,6	45,0	9,6
	15'	18,0	56,0	36,8	32,0	24,4	32,0	8,4
	30'	9,0	35,0	23,8	16,0	15,0	16,0	6,0
	60'	4,5	17,5	12,0	-	-	-	4,0
Eg	122	478	309	320	265	585	208	
Rusa	0,63	9,64	4,24	2,95	2,30	5,40	0,72	
VP	924	2508	1386	1122	1056	2178	1558	
Eg	V _R	7	530	83	192	30	222	tr.
	K	0,8	21,1	6,0	17,1	2,8	10,2	-
	H _R	tr.	4,01	0,63	1,45	0,23	1,68	-
Pb	V _R	4	40	10	13	tr.	13	0
	K	0,4	1,6	0,7	1,2	-	0,6	-
	H _R	tr.	0,30	tr.	0,10	-	0,10	-

Tabl. III.16 - Séquences 78-8 à 78-12.

Séquence 78-12 : 09.11.78, de 18h à 4h 30.

IV - EROSION HYDRIQUE

Sous l'action des gouttes de pluie (effet "splash"), les agrégats de l'horizon de surface du sol sont dissociés en particules élémentaires ou en agrégats de taille plus faible. Les eaux de ruissellement déplacent ces éléments ainsi dissociés sous une forme solide : il s'agit de l'érosion mécanique. Mais ces eaux dissolvent aussi des éléments et les transportent alors sous une forme liquide en solution : il s'agit de l'érosion chimique.

Une partie des matériaux ainsi érodés proviennent d'apports atmosphériques au sol sous deux formes : d'une part, les particules ramenées à la surface du sol par la pluie, d'autre part les retombées sèches. Nous n'avons pas déterminé ces différents apports dans notre étude qui sont peu importants comme l'attestent les chiffres ci-dessous (tableau III.21) avancés par plusieurs auteurs. Cependant il est intéressant de noter leur existence et nous pouvons remarquer que c'est essentiellement dans les zones très urbanisées que ces apports deviennent notables pour certains éléments, ce qui n'est pas le cas pour notre région d'étude.

	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	NO ₃ ⁻
Moyenne pour les Etats-Unis	1,5	-	0,40	0,20	0,30	2,15	-
Moyenne pour l'Europe	1,42	0,39	2,05	0,35	3,47	2,19	0,27
Caroline du Nord et Virginie	0,65	0,14	0,56	0,11	0,57	2,18	0,62
Nord-est des Etats-Unis	0,7	0,17	0,62	0,11	0,65	2,3	0,63
Amazonie	1,40	1,22	-	-	1,9	-	1,10
Jura Suisse	2,95	0,08	0,17	0,21	0,50	3,40	0,32
Alrance (Aveyron)	0,35	0,04	0,25	0,17	0,50	1,5	-
Belleveaux (Haute-Savoie)	2,8	0,20	0,50	0,12	0,50	4,0	0,16
Zone très urbanisée (Versailles)	7,5	0,35	0,87	0,01	0,56	8,9	0,54

Tabl. III.21. - Apports atmosphériques au sol, concentrations en mg/l.

(d'après M.HAUBERT, 1975).

IV-1. - Erosion mécanique

A l'aval de chacune des deux parcelles, les matériaux érodés sont stockés dans des cuves prévues à cet effet. La récupération de ces matériaux se fait après la vidange des eaux de ruissellement, lorsque celles-ci sont décantées.

Les quantités de matériaux érodés sous-estiment légèrement les quantités réelles, car lors de la vidange, il y a toujours des éléments fins en suspension dans les eaux qui sont éliminés. Ceux-ci représentent cependant une fraction faible de l'érosion mécanique et des quantités négligeables.

Par contre, la composition des matériaux érodés peut être considérée comme significative et représentative. En effet, et comme nous l'avons souvent observé lors des phénomènes de ruissellement, le "splash" ne désintègre pas les agrégats de la surface du sol en particules élémentaires (argile, limon et sable), mais plutôt en agrégats de taille plus réduite qui conservent une composition voisine de celle de l'ensemble de l'horizon de surface du sol. Ce n'est qu'ultérieurement, au cours de leur contact avec les eaux de ruissellement dans les cuves, que ces micro-agrégats se dissocient en particules élémentaires. Cela est d'ailleurs confirmé, et nous le verrons ci-dessous, par les analyses des matériaux érodés qui ont une composition voisine de celle de l'horizon de surface du sol.

IV-1-1. - Aspect quantitatif

Si 56 séquences pluvieuses ont donné lieu à un ruissellement au cours des quatre années d'observation, 17 seulement ont été des "pluies érosives" dans la parcelle garrigue et 6 dans la parcelle boisée (tableau III.17).

De plus, les quantités de matériaux érodés sont très faibles, en particulier pour la parcelle boisée.

Séquences	Parcelle garrigue			Parcelle boisée		
	masse totale	terre fine 0 - 2 mm	éléments grossiers	masse totale	terre fine 0 - 2 mm	éléments grossiers
75-1	210	200	10	80	75	5
75-7	230	210	20	0	-	-
75-8	270	265	5	5	5	-
75-13	300	295	5	0	-	-
75-14	550	515	35	0	-	-
TOTAL 75	1560	1485	75	85	80	5
76-4	10	5	5	0	-	-
76-6	70	55	15	140	100	40
76-9	90	80	10	110	90	20
76-13	80	55	25	60	50	10
TOTAL 76	250	195	55	310	240	70
77-5	95	90	5	60	55	5
77-7	210	200	10	0	-	-
77-10	60	55	5	0	-	-
77-11	35	35	-	0	-	-
TOTAL 77	400	380	20	60	55	5
78-7	3600	3065	535	0	-	-
78-9	270	255	15	0	-	-
78-10	200	190	10	0	-	-
78-11	330	315	15	0	-	-
TOTAL 78	4400	3825	575	0	-	-

Tabl. III.17. Matériaux érodés (en g) recueillis lors des pluies érosives dans les deux parcelles de 1975 à 1978.

Ce petit nombre de pluies érosives et les faibles quantités de matériaux érodés peuvent s'expliquer de la manière suivante :

- par l'état de la surface du sol de la parcelle garrigue : celle-ci est en effet recouverte à 57 % par des éléments grossiers contre 27 % de sol nu, le reste étant occupé par la litière (16 %). Les gouttes de pluies, à leur arrivée au sol rencontrent dans la majorité des cas les éléments grossiers et non le sol nu, seul susceptible d'être fragmenté en éléments plus fins sous l'effet de l'énergie cinétique des gouttes de pluie. Dans cette parcelle, l'effet "splash" se trouve ainsi très réduit par la présence d'éléments grossiers protégeant la surface du sol de l'action de la pluie.

De plus, le sol lorsqu'il est à nu se présente à sa partie supérieure sur quelques millimètres d'épaisseur, sous forme d'une pellicule de battance, d'aspect lisse et ayant une cohésion assez forte à l'état sec. Ce "glaçage" de la surface du sol s'opposera à l'effet destructeur des gouttes de pluie, tout au moins au début de la pluie, mais par contre favorisera le ruissellement.

- par la couverture végétale de la parcelle boisée : la végétation de cette parcelle, par sa structure spatiale, intercepte efficacement la pluie qui arrive au sol avec une vitesse quasiment nulle et sans énergie cinétique. Les gouttes de pluie arrivant au sol sans avoir été interceptés par la végétation tombent sur la litière (78 % de la surface dans cette parcelle) qui annihile l'effet "splash" et réduit aussi le ruissellement. Dans ces conditions, il ne peut y avoir qu'une très faible quantité de matériaux susceptibles d'être érodés dans cette parcelle.

Les raisons ci-dessus, qui correspondent à des faits d'observation, peuvent expliquer les faibles valeurs des chiffres d'érosion mécanique obtenues durant les quatre années d'étude. Le bilan total (tableau III. 18) montre une grande différence entre les deux parcelles : la parcelle garrigue a subi en effet une érosion mécanique qui est environ 14 fois plus élevée que celle de la parcelle boisée.

	Parcelle garrigue	Parcelle boisée
Sédiments totaux obtenus de 1975 à 1978	6,61	0,46
Erosion par ha de 1975 à 1978	500	34,8
Erosion moyenne par ha et par an	125	8,7

Tabl.III.18 - Bilan de l'érosion mécanique (en kg)

Les chiffres rapportés à l'hectare, donnent des valeurs de 125 kg par hectare et par an en moyenne dans la parcelle garrigue et 8,7 kg/ha/an dans la parcelle boisée. Ces chiffres, s'ils permettent des comparaisons avec des valeurs obtenues dans d'autres milieux, ne s'appliquent en fait qu'à un hectare de sol qui aurait la même morphologie que les parcelles utilisées, c'est-à-dire un rectangle de largeur 22 m. dans le sens de la pente, sur une longueur perpendiculaire à celle-ci de 454,5 m. En effet, les phénomènes observés se produisent sur 22 mètres, longueur des parcelles, et les résultats obtenus ne se rapportent qu'à cette longueur.

Cette réserve étant faite, nous pouvons donner à titre comparatif quelques valeurs d'érosion obtenues dans différents pays, en précisant pour chacune d'elles les conditions expérimentales (tabl.III.19).

	Long. de la pente (m.)	Pente (%)	Végétation	Erosion (kg/ha/an)	Pluvio. annuelle (mm.)
Gonsé (Haute-Volta)	41,7	0,4	savane arborée	1968 : 150 1969 : 47	809 759
Gampela (Haute-Volta)	41,7	0,4	sol nu culture améliorée	2728 624	
Adiopodoumé (Côte-d'Ivoire)	15	23,3	Forêt secondaire	100	2031
		4,5	sol nu	57×10^3	(moyen.)
		23,3	sol nu	125×10^3 520×10^3	
Djebel Semmama (Tunisie Centrale)	22	9	garrigue dégradée forêt arbustive	125 8,7	440 (moyen.)

Tabl.III.19. - Quelques valeurs de l'érosion mesurée en parcelles expérimentales dans divers pays.

Les valeurs que nous avons obtenues sont à rapprocher de celles observées par ROOSE (E.J.) et BIROT (Y.) (1970) sous une savane arborée du plateau Mossi à Gonsé en Haute-Volta, et elles sont très inférieures à ce qui a pu être mesuré en sol nu à Adiopodoumé par ROOSE (1973), où l'érosion se chiffre en tonnes par hectare, avec toutefois des pluies importantes et agressives.

IV-1-2 - Aspect qualitatif

Le tableau III.20 indique la composition des terres érodées obtenues dans la parcelle garrigue pour chacune des quatre années d'étude. Ces analyses n'ont pu être effectuées, dans la parcelle boisée, les quantités de matériaux érodés ayant été trop faibles.

A titre de comparaison, nous donnons la composition de la partie supérieure (0 à 3 cm) de l'horizon de surface du sol de la parcelle garrigue. Cette composition est la moyenne des résultats analytiques de 16 échantillons prélevés autour de la parcelle.

D'une manière générale, la composition des terres érodées est très proche de celle de la partie supérieure du sol, pour la majorité des éléments qu'il nous a été possible de faire analyser (*).

En ce qui concerne la granulométrie, et en admettant que l'érosion est sélective c'est-à-dire qu'elle entraîne préférentiellement les éléments les plus fins, nous aurions pu nous attendre à ce que ces derniers soient en proportion beaucoup plus forte dans les terres érodées que dans l'horizon de surface du sol. Or il n'en est rien et si les teneurs en argile + limon fin des terres érodées sont légèrement supérieures à celles de l'horizon de surface du sol les teneurs en argile sont par contre plus élevées dans le sol que dans les matériaux érodés.

Nous pouvons noter que de 1975 à 1978, les proportions de limon grossier et de sable fin ont diminué.

(*) L'ensemble des analyses citées dans le présent rapport, a été effectué au laboratoire de la Division des Sols de l'Ariana, sous la Direction de Madame NAANAA que nous remercions pour ce travail.

	1975	1976	1977	1978	Sol *
<u>Granulométrie de la terre fine (%)</u>					
Argile (A)	11,2	9,0	11,5	13,2	14,1
Limon fin (LF)	30,0	28,5	34,0	33,9	25,4
Limon grossier	23,0	22,0	21,5	19,6	18,8
sable fin	23,0	23,5	22,5	15,7	23,8
sable grossier	7,3	13,5	7,0	10,8	12,1
A + L	41,2	37,5	45,5	47,1	39,5
<u>Matière organique tot. %</u>					
Matière organique tot. %	6,4	6,6	5,1	6,7	6,0
Carbone organique %	3,7	3,8	3,0	3,9	3,5
Azote organique %	0,11	0,14	0,16	0,31	0,22
C/N	33,6	27,1	18,8	12,6	15,9
<u>Calcaire total %</u>					
Calcaire total %	13	13	12	11	19
Calcaire actif %	9	9	7	6	12
% calcaire actif	69	69	58	54	63
<u>Complexe absorbant (még/100 g)</u>					
Ca	15,8	16,3	17,8	18,5	-
Mg	2,8	3,0	5,7	6,4	-
K	1,2	1,5	1,8	2,2	-
Na	0,4	0,2	0,6	0,7	-
S	20,2	21,0	25,9	27,8	-
Capacité d'échange T	20,2	21,1	26,0	28,0	24,1
<u>pH eau (1/2.5)</u>					
pH eau (1/2.5)	7,9	7,8	7,7	7,7	8,2
<u>Fer total (‰ Fe₂O₃)</u>					
Fer total (‰ Fe ₂ O ₃)	37,0	36,0	35,0	37,1	36,5
<u>Fer libre (")</u>					
Fer libre (")	23,6	20,0	12,0	12,0	14,8
<u>Taux de fer libre %</u>					
Taux de fer libre %	63,8	55,6	34,3	32,3	40,4

* Moyenne de 16 échantillons de la partie supérieure (0 à 3 cm) de l'horizon de surface du sol prélevés autour de la parcelle.

Tableau III.20. - Composition des terres érodées de la parcelle garrigue.

Les teneurs en matière organique des terres érodées sont semblables à celles du sol, mais du début des mesures jusqu'à 1978, nous constatons que cette matière organique enlevée au sol par érosion est de plus en plus évoluée comme l'indique le rapport C/N qui diminue notablement de 33,6 en 1975 à 12,6 en 1978. Ce changement dans la nature de l'humus s'explique par le fait que durant les deux premières années, nous avons laissé la végétation naturelle se développer dans la parcelle, ce qui a permis des apports périodiques de litière au sol (feuilles, brindilles...). Par contre pendant les deux dernières années, la végétation de la parcelle a été supprimée et les apports de litière ont été pratiquement nuls. Ainsi en 1975 et 1976, le ruissellement a entraîné des matériaux ayant une composition voisine de celle de l'horizon de surface du sol mélangés à des éléments de litière ou de matière organique peu évoluée dont le rapport C/N est élevé. Par contre, en 1977 et 1978, les matériaux érodés ont été constitués essentiellement d'éléments ayant une composition voisine de l'horizon de surface du sol dont la matière organique correspond à un humus évolué au rapport C/N bas et où la matière organique peu évoluée est très peu abondante du fait de l'inexistence d'apports de litière au sol.

La teneur en fer total de l'horizon de surface du sol est semblable à celle des terres érodées, par contre dans ces dernières, la teneur en fer libre diminue notablement de 1975 à 1978. Ceci est à mettre en relation avec les taux de limon grossier et surtout de sable fin qui, comme nous l'avons vu, diminuent durant la même période. En effet, le fer "dit libre" correspond essentiellement au fer existant sous forme d'oxydes et d'hydroxydes qui ont généralement la taille des limons grossiers et des sables. Il est donc normal de voir diminuer corrélativement les teneurs en fer libre et celles des fractions granulométriques limon grossier et sable fin.

IV-2. Erosion chimique

Dès leur contact avec la surface du sol, les eaux de pluie dissolvent des éléments et cette charge dissoute est déplacée par le ruissellement : il s'agit de l'érosion chimique. Pour déterminer celle-ci, des prélèvements ont été recueillis à l'aval de chacune des deux parcelles pour chaque séquence de ruissellement. Ces échantillons sont stockés dans des bouteilles en plastique, soigneusement bouchées jusqu'à l'analyse qui a lieu au laboratoire dans un délai de 20 à 30 jours. Après filtration qui permet d'obtenir la charge solide les différents éléments et paramètres suivants sont analysés :

- cations : Ca, K et Na par photométrie de flamme, la somme Ca + Mg par complexométrie.
- anions : Cl par chlorimétrie, SO₄ par colorimétrie et CO₃H par volumétrie.
- pH et conductivité électrique.

IV-2-1. Caractères généraux des eaux de ruissellement

Les eaux de ruissellement dans les deux parcelles peuvent être caractérisées de la manière suivante :

- le faciès est bicarbonaté calcique : l'ion bicarbonate est très largement dominant parmi les anions tandis que le calcium est dissous dans une large proportion, suivi du magnésium mais dans une proportion beaucoup plus faible. Le sodium et le potassium sont très faiblement dissous, mais dans quelques cas, ils ont des teneurs plus élevées que celle du magnésium.
- le pH est toujours basique, compris entre 7 et 8.
- la proportion des ions dans ces eaux est toujours semblable, mais les quantités dissoutes présentent des variations très notables durant l'année.
- pour un même ruissellement, les eaux sont légèrement plus chargées dans la parcelle boisée que dans la parcelle garrigue.

IV-2-2. Relations conductivité électrique et concentrations en éléments dissous

Une eau pure présente une très faible conductivité électrique, qui augmente rapidement lorsque des éléments sont dissous dans l'eau.

Lorsque la solution ne contient qu'un seul ion, pour une température donnée, la conductivité X est proportionnelle à la concentration C de l'ion selon une relation de la forme $X = aC$ où a est un coefficient constant caracté-

ristique de l'ion considéré.

Si l'eau contient plusieurs ions dont les proportions sont identiques, la conductivité est proportionnelle à la conductivité totale des éléments dissous : $C = kX$, k étant un coefficient variable selon les eaux qui varie entre 0,5 et 1.

IV-2-2-1. Relation conductivité-concentration totale

Nous avons établi pour les deux parcelles la relation pouvant exister entre la conductivité mesurée et la concentration totale des éléments déterminés ci-dessus (en mg/l). Les figures 16 et 17 montrent la corrélation positive liant ces deux variables, qui statistiquement est très significative (coefficient de corrélation supérieur à 0,94).

La conductivité apparaît comme une mesure suffisante permettant de chiffrer la concentration totale en éléments dissous dans les eaux de ruissellement. Le coefficient k ci-dessus, calculé à partir des équations des droites de régression a été respectivement de 0,91, 0,84, 0,84 et 0,89 de 1975 à 1978 dans la parcelle garrigue et de 0,87 en 1975 et 0,83 pour les trois autres années dans la parcelle boisée.

Pour l'ensemble des résultats des deux parcelles, la relation générale permettant de calculer la minéralisation totale à partir de la seule mesure de la conductivité est la suivante :

$$\text{minéralisation totale (mg/l)} = 0,934 \text{ conductivité } (\mu\text{mhos/cm}) - 14,20.$$

IV-2-2-2. Relation conductivité-concentration de chaque ion

Pour chacun des ions déterminés analytiquement, nous avons calculé les paramètres (pente et ordonnée à l'origine) de la droite de régression qui lie la concentration de l'ion considéré et la conductivité, ainsi que le coefficient de corrélation. Ces différentes valeurs sont données dans le tableau III.22.

Seuls les ions Ca et CO_3H sont en corrélation très significative avec la conductivité (voir figure 18, 19, 20 et 21 et tableau III.22) dans les eaux de ruissellement des deux parcelles. Il est à noter que cette corrélation est meilleure avec la somme Ca + Mg qu'avec le calcium seul, alors qu'il n'existe pas de corrélation avec le magnésium. Ceci est à mettre en liaison avec la méthode analytique qui détermine d'abord la somme calcium + magnésium puis le calcium seul ensuite, le magnésium étant obtenu par différence.

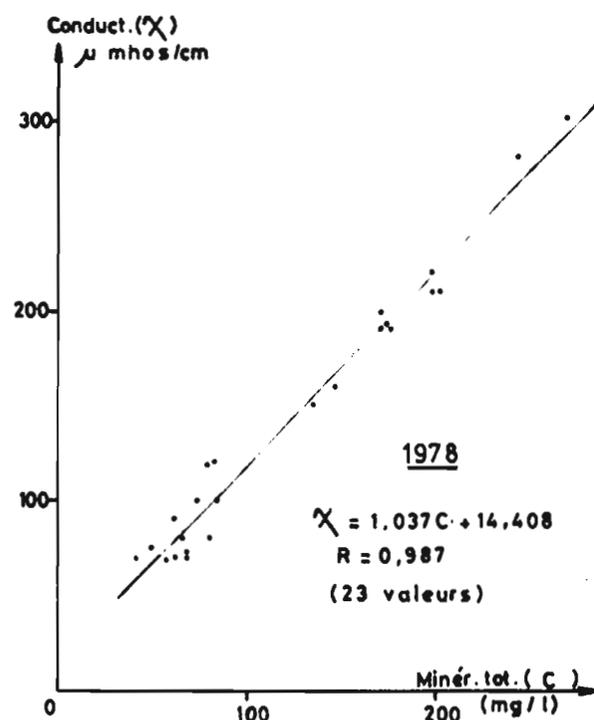
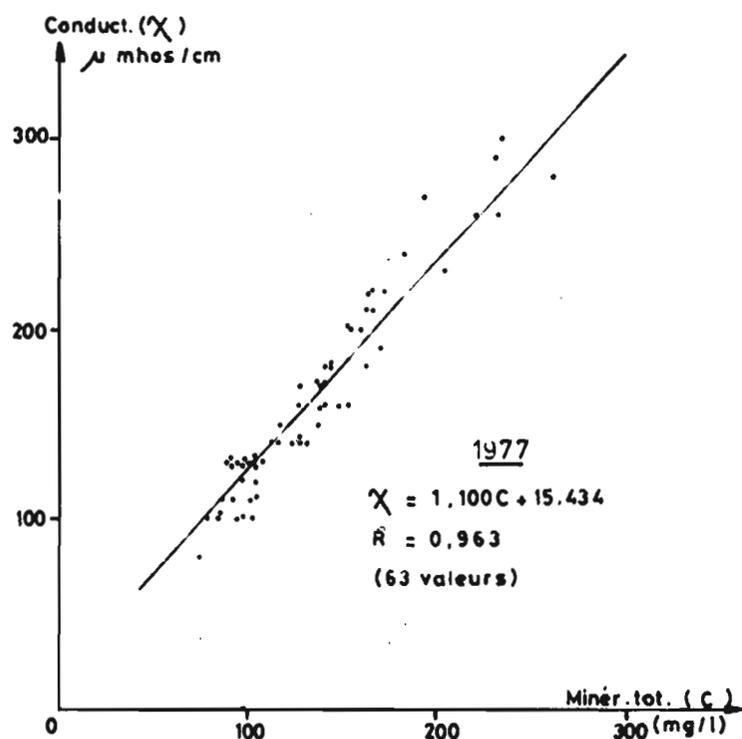
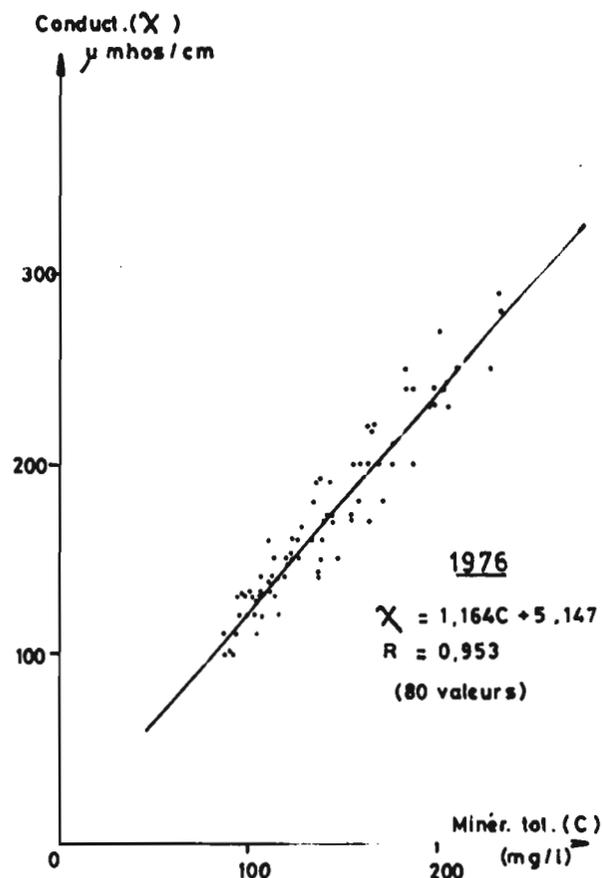
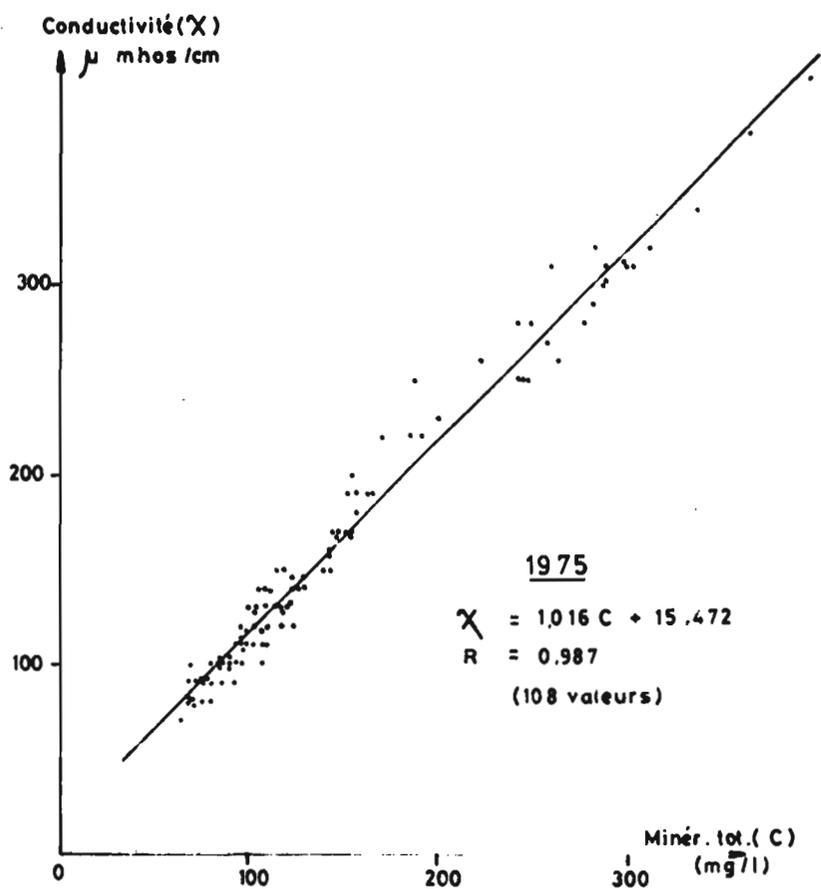


Fig.16 - Parcelle garrigue - Eaux de ruissellement :
relation conductivité en fonction de la
concentration totale mesurée.

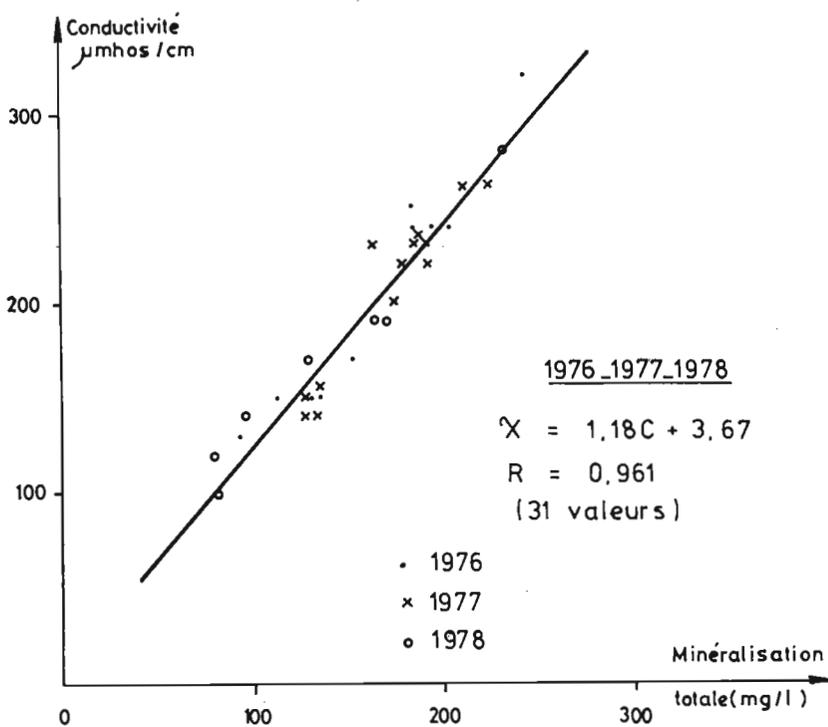
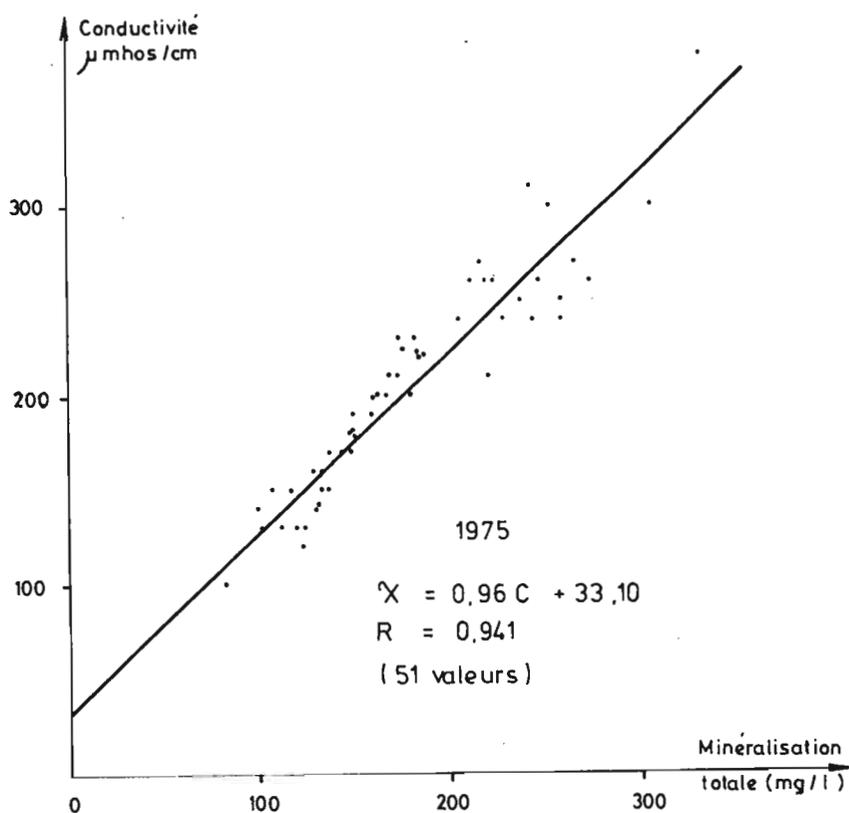


Fig. 17 - Parcelle boisée - Eaux de ruissellement =
relation conductivité en fonction de la
concentration totale mesurée -

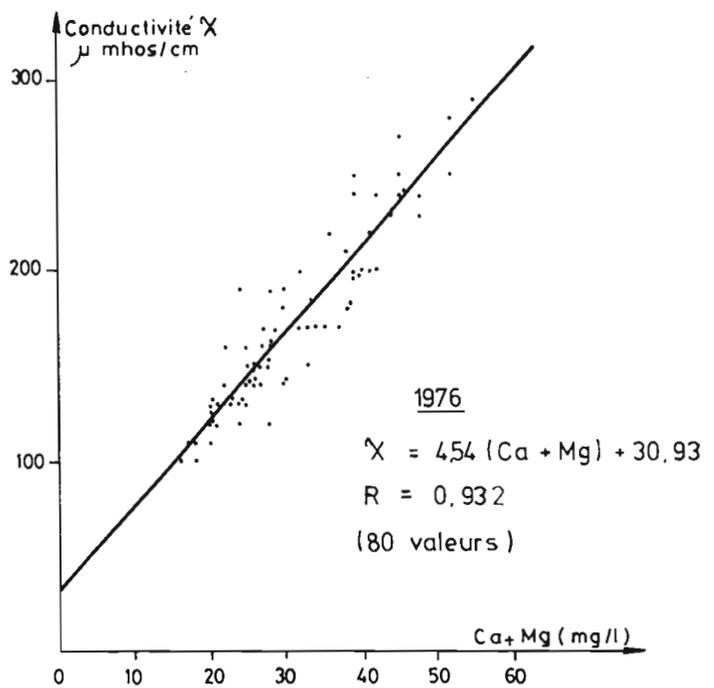
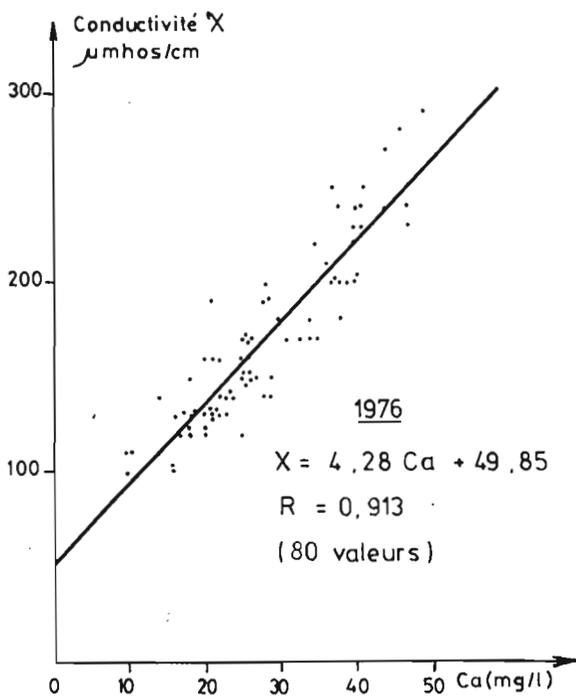
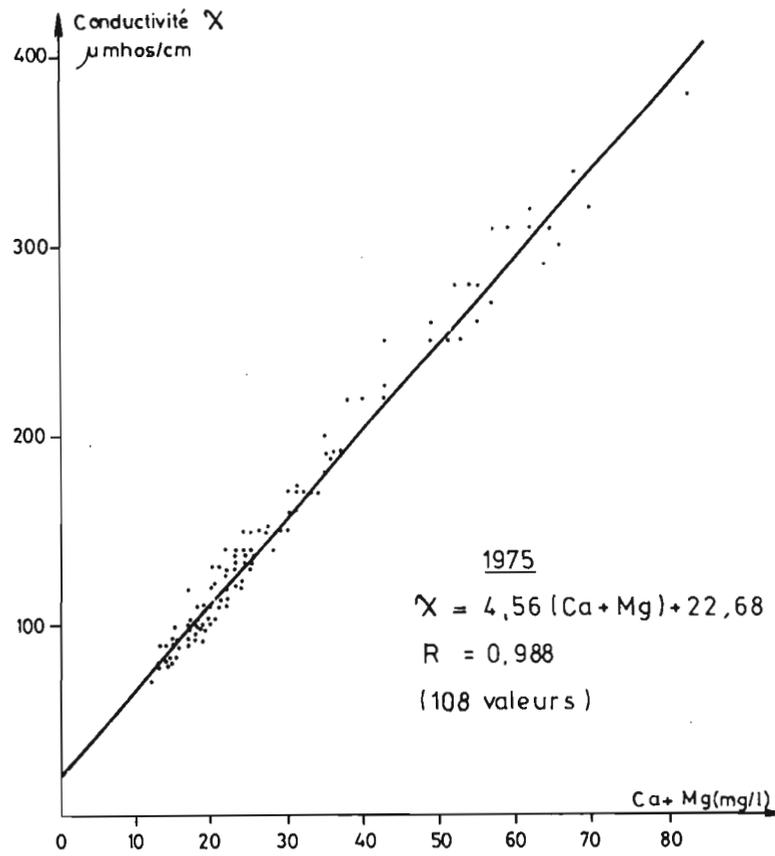
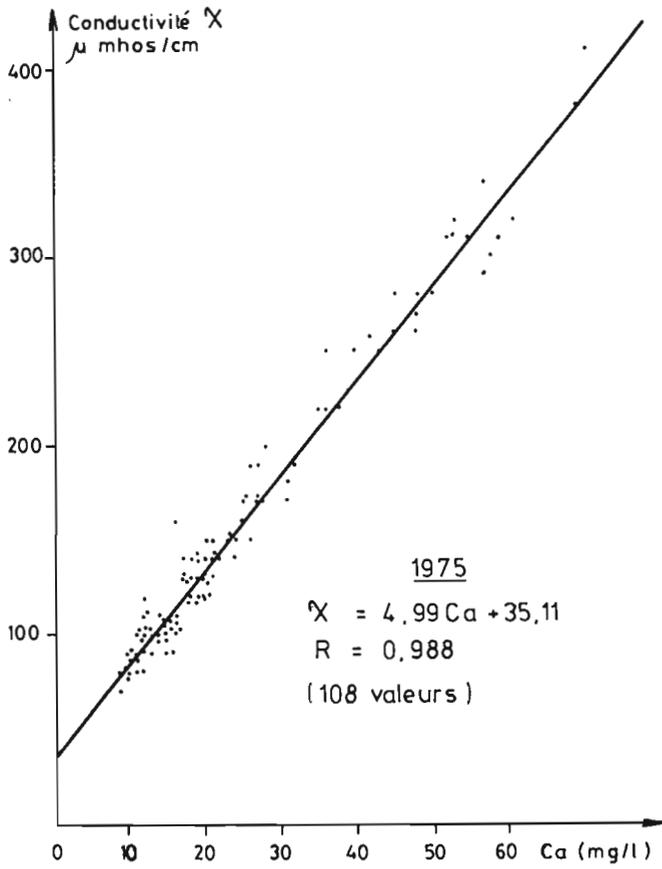


Fig.18 - Parcelle garrigue -Eaux de ruissellement : relation conductivité en fonction de la teneur en calcium et calcium +magnesium

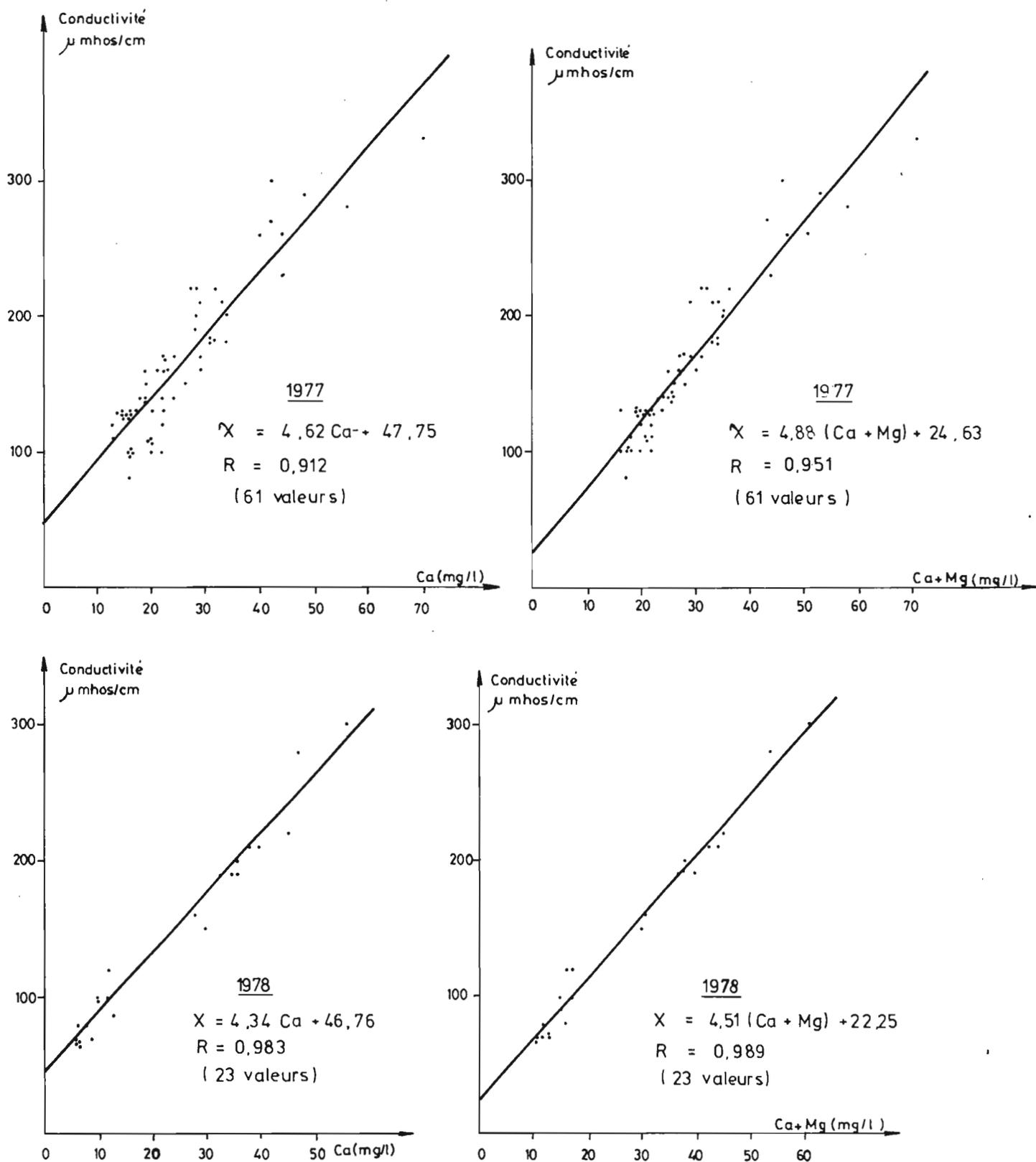


Fig. 19 - Parcelle garrigue - Eaux de ruissellement : relation entre la conductivité et la teneur en calcium et calcium + magnésium

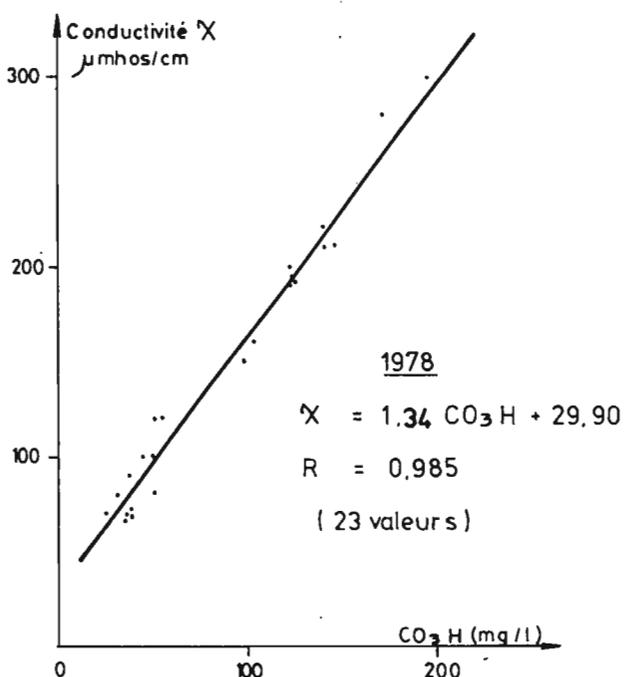
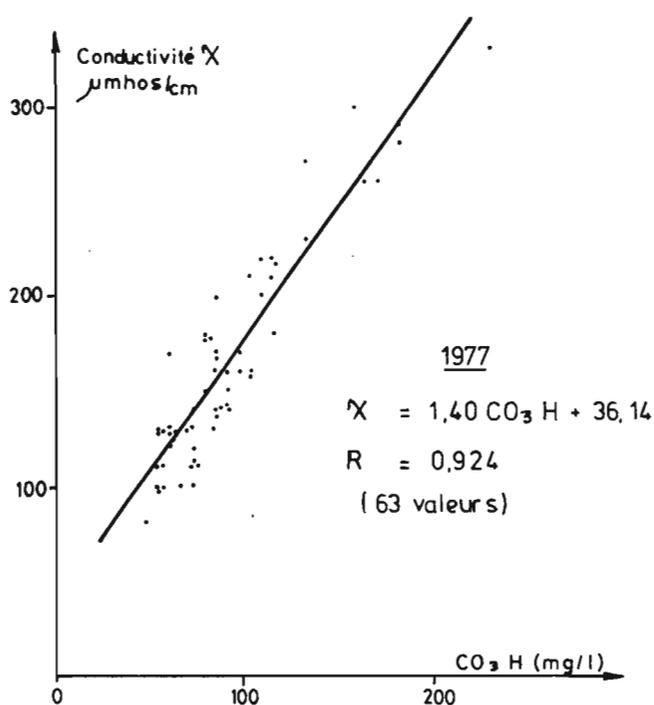
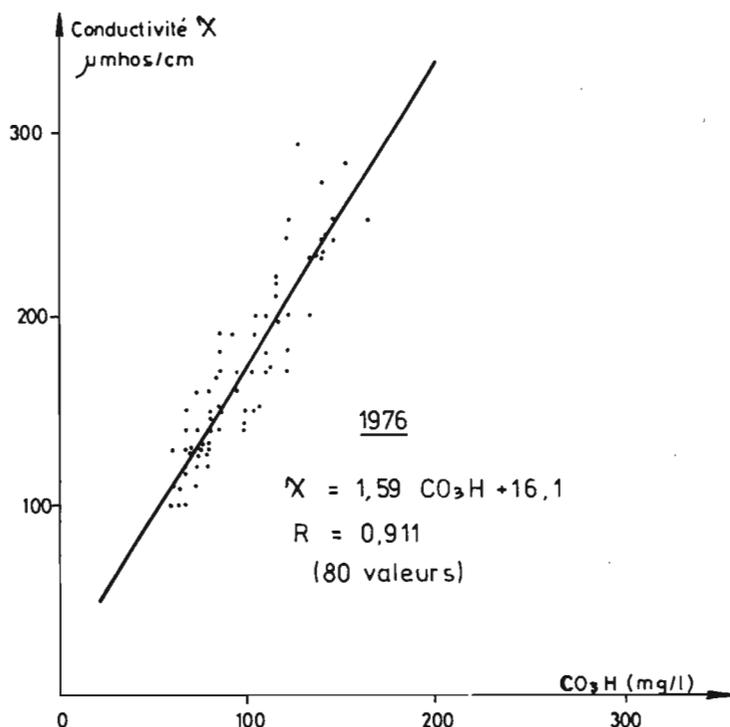
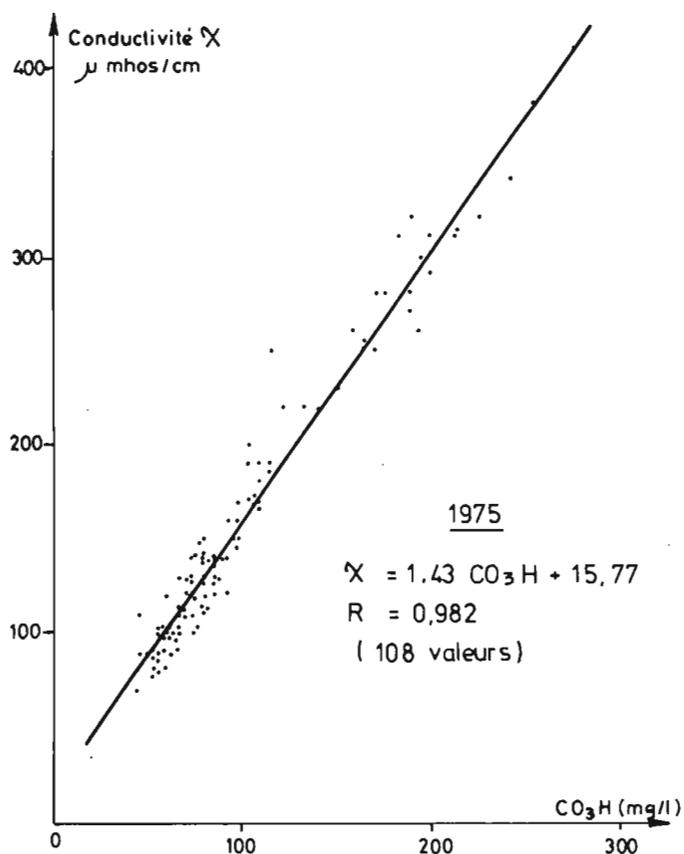


Fig. 20. Parcelle garrigue. Eaux de ruissellement : relation entre la conductivité et la teneur en CO₃H

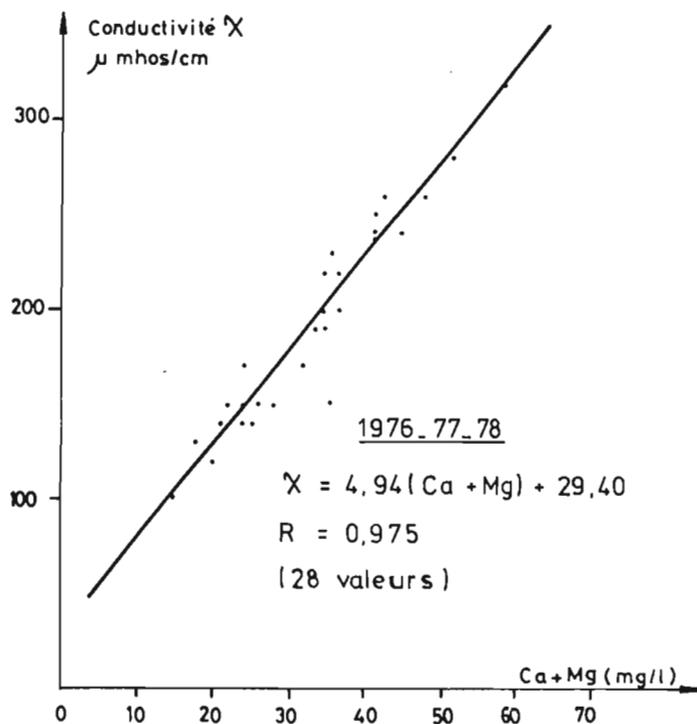
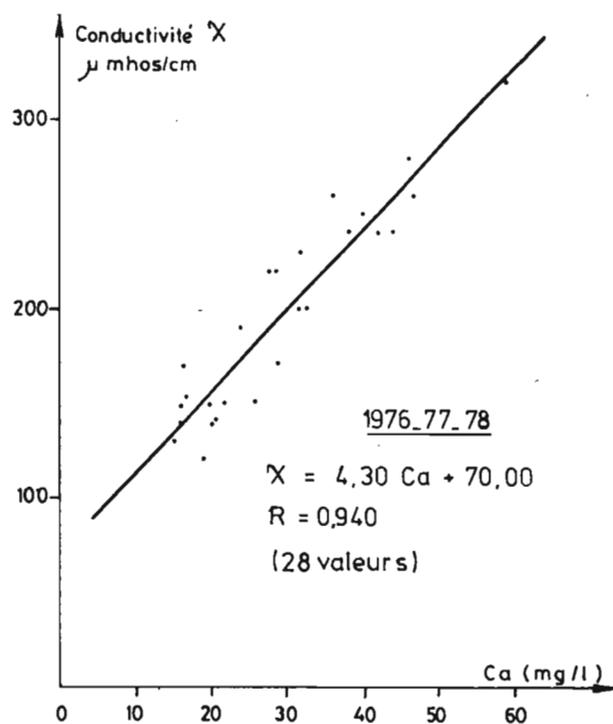
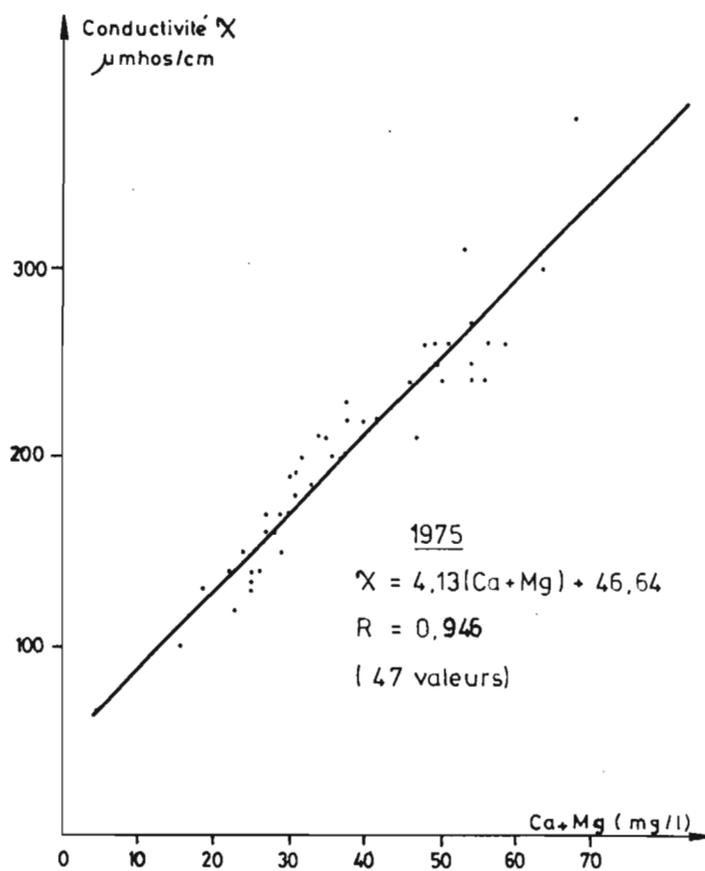
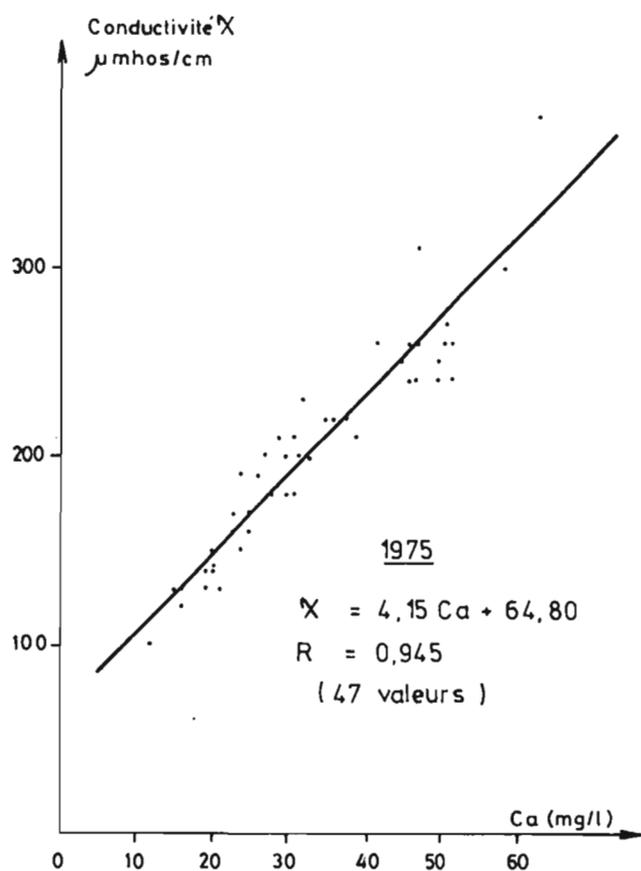


Fig. 21_ Parcelle boisée_ Eaux de ruissellement : relation conductivité en fonction de la teneur en calcium et calcium + magnésium

		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ⁻⁻	Cl ⁻	CO ₃ H ⁻
PARCELLE GARRIGUE	1975 a	4,99						1,43
	b	35,11						15,77
	R	0,988						0,982
	1976 a	4,28	-2,08	3,26	13,8	2,20	6,61	1,59
	b	49,85	176,1	161,4	126,9	163,7	135,6	16,1
	R	0,913	-0,094	0,081	0,481	0,123	0,342	0,911
	1977 a	4,62	2,55	11,00	16,2	-1,09	6,94	1,40
	b	47,74	155,6	128,1	129,9	168,7	121,9	36,14
	R	0,912	0,115	0,536	0,404	-0,099	0,445	0,924
PARCELLE BOISEE	1978 a	4,34	-6,53	23,4	61,5	-0,67	-20,9	1,34
	b	46,76	175,0	83,1	86,4	147,2	282,4	29,9
	R	0,983	-0,194	0,463	0,924	-0,020	-0,681	0,985
PARCELLE BOISEE	1975 a	4,15	2,59	21,47	19,86	7,38	6,61	1,25
	b	64,80	191,4	130,1	101,76	180,9	160,6	48,90
	R	0,945	0,063	0,636	0,701	0,447	0,533	0,876
PARCELLE BOISEE	1976 a	4,30	-4,52	5,80	16,57	3,86	5,23	1,75
	1977 b	70,00	213,2	241,5	116,3	169,3	154,9	8,30
	1978 R	0,940	-0,244	0,036	0,592	0,315	0,326	0,955

Tableau III-22. - Relations conductivité-concentration de chaque ion dans les eaux de ruissellement des deux parcelles.

(régression linéaire $X = aC_1 + b$ où X = conductivité en $\mu\text{mhos/cm}$ à 25°C et C_1 = concentration de l'ion en mg/l; a et b = paramètres de la droite. R = coefficient de corrélation).

Ces relations positives entre la conductivité et les ions Ca, CO₃H et la somme Ca + Mg permettent de calculer avec une très bonne approximation le coefficient k permettant de déterminer à partir de la seule mesure de la conductivité les quantités de Ca et CO₃H dissoutes par les eaux de ruissellement.

En ce qui concerne le calcium, ce coefficient k est pour les années de mesure dans la parcelle garrigue de 0,176, 0,189, 0,179 et 0,189 (moyenne 0,18) et de 0,183 et 0,175 (moyenne 0,18) dans la parcelle boisée.

Pour la somme Ca + Mg, les valeurs de k sont les suivantes, dans le même ordre que ci-dessus : 0,199, 0,194, 0,186 et 0,202 (moyenne 0,19) dans la parcelle garrigue et 0,198 et 0,181 (moyenne 0,19) dans la parcelle boisée.

Ces résultats nous permettent de donner les relations suivantes :

$$Ca \text{ (mg/l)} = 0,226 \text{ conductivité (}\mu\text{mhos/cm à 25}^\circ\text{C)} - 11,95.$$

$$Ca + Mg \text{ (mg/l)} = 0,218 \text{ conductivité (}\mu\text{mhos/cm à 25}^\circ\text{C)} - 6,50.$$

Pour l'ion bicarbonate, les mêmes calculs aboutissent à la relation suivante :

$$CO_3H \text{ (mg/l)} = 0,693 \text{ conductivité (}\mu\text{mhos/cm à 25}^\circ\text{C)} - 18,86.$$

Les autres ions analysés dans les eaux de ruissellement, Mg, Na, K, SO_4 et Cl ne présentent aucune corrélation avec la conductivité, ce qui est dû aux trop faibles quantités dissoutes par les eaux de ruissellement : elles ne présentent en effet que quelques milligrammes par litre pour chacun des éléments et n'atteignent que très rarement 10 mg/l.

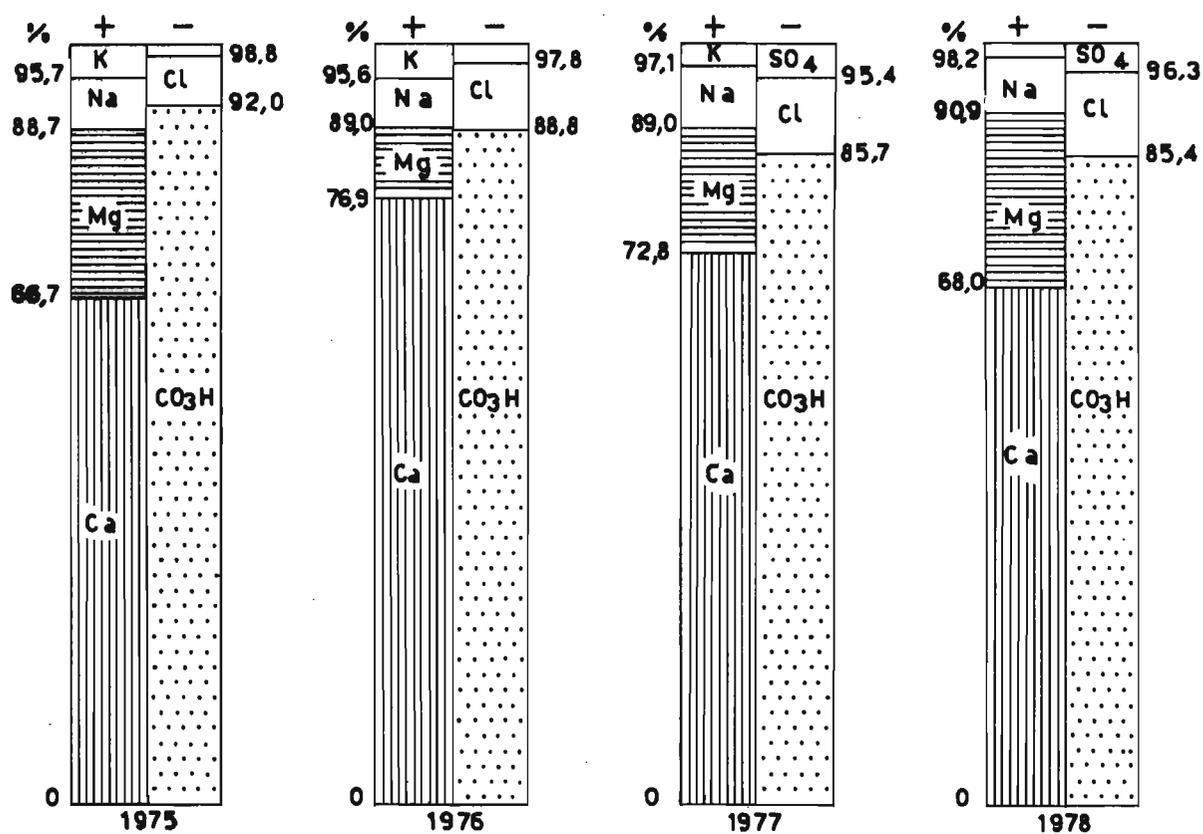
III-2-3. Composition des eaux de ruissellement

III-2-3-1. Composition moyenne annuelle

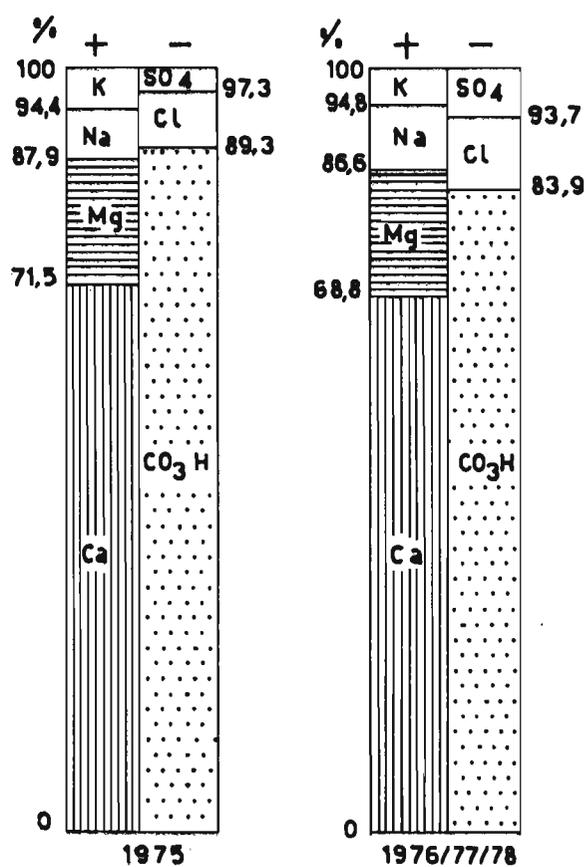
En l'absence de mesures des débits des eaux de ruissellement, qui nous auraient permis de déterminer les relations entre ces débits et les concentrations en éléments dissous et donc de pondérer ces dernières durant un ruissellement, nous avons utilisé la moyenne arithmétique des prélèvements effectués. Ceux-ci sont cependant suffisamment rapprochés dans le temps pour représenter avec une assez bonne précision la composition des eaux de ruissellement.

A l'échelle annuelle, nous obtenons une composition très globale des eaux, mais qui permet de dégager quelques caractéristiques : tableau III-23 et figure 22.

Dans les deux parcelles, les eaux de ruissellement sont bicarbonatées calciques : les ions calcium et bicarbonate représentent respectivement 67 à 77 % et 84 à 92 % des cations et des anions, les autres ions étant très faiblement dissous. La proportion de chaque élément dans les eaux est voisine durant les quatre années de mesure et la somme Ca + Mg équilibre l'ion bicarbonate.



PARCELLE GARRIGUE



PARCELLE BOISÉE

Fig. 22. Composition moyenne des eaux de ruissellement des deux parcelles en % du total des éléments dissous (calculés en meq/l)

	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	CO ₃ H
PARCELLE							
BOISEE 1975	1,66	0,38	0,15	0,13	0,06	0,18	2,03
1976/77/78	1,43	0,37	0,17	0,11	0,13	0,20	1,73
1975	1,24	0,41	0,13	0,08	0,02	0,12	1,64
PARCELLE							
GARRIGUE 76	1,40	0,22	0,12	0,08	0,05	0,15	1,59
77	1,26	0,28	0,14	0,05	0,08	0,17	1,50
78	1,13	0,38	0,12	0,03	0,06	0,18	1,41

Tableau III-23. - Composition moyenne annuelle des eaux de ruissellement
dans les deux parcelles.(en méq/l).

Les eaux de la parcelle boisée sont légèrement plus chargées que celles de la parcelle garrigue, pour chacun des éléments. Il faut voir dans ce phénomène le rôle de la matière organique, plus abondante dans la parcelle boisée, qui favoriserait des dissolutions plus importantes en particulier sous l'influence du gaz carbonique vis-à-vis du carbonate de calcium. Ce dernier est en effet d'autant plus soluble que les eaux contiennent plus de gaz carbonique, ce qui est susceptible de se produire dans les eaux de ruissellement de la parcelle boisée.

IV-2-3-2. Composition à l'échelle du ruissellement

D'une manière très générale, à l'échelle d'un ruissellement, nous constatons que les premiers litres ruisselés sont plus chargés en calcium et bicarbonate et qu'ensuite, les quantités dissoutes diminuent et ont tendance à se stabiliser.

La figure 23 illustre ces variations pour la séquence 75-5. Celle-ci, qui comporte trois phases, a des eaux plus chargées au début du ruissellement (quinze premières minutes de la phase 1) en calcium, calcium + magnésium et bicarbonate. Les quantités dissoutes diminuent ensuite rapidement environ vingt minutes après le début du ruissellement.

Lors de la deuxième phase, qui débute 4h 30 mn après la première, le même phénomène se produit : fortes teneurs en éléments dissous durant

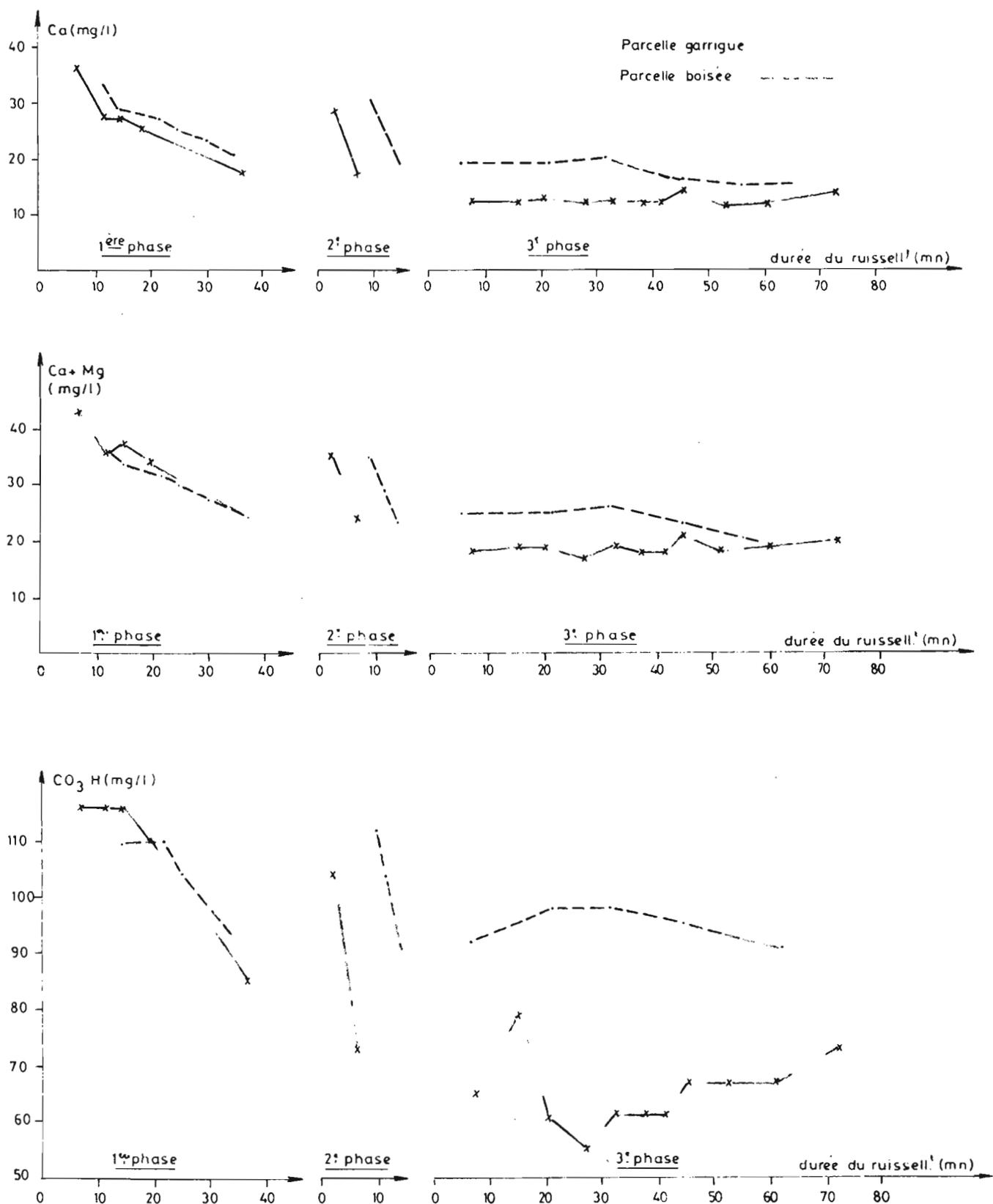


Fig. 23 - Evolution des teneurs en Ca, Mg et CO₃H des eaux de ruissellement des deux parcelles lors de la séquence 75.5

(La séquence comporte 3 phases : temps 0 de la 1^{ère} phase = début du ruissellement de la séquence ; les 2^e et 3^e phases débutent respective-

les cinq premières minutes, puis diminution très rapide ensuite. Dix heures après le début du ruissellement de la séquence, la troisième phase débute, mais les quantités dissoutes par les eaux sont faibles et inférieures à celles des deux phases précédentes; de plus ces teneurs ont tendance à se stabiliser à une valeur moyenne.

Ces variations des teneurs en éléments dissous des eaux de ruissellement des deux parcelles se produisent de façon systématique tout au long de l'année, mais avec des écarts plus ou moins accentués selon les séquences. Nous interprétons ce phénomène de la manière suivante.

Durant la période séparant deux séquences de ruissellement, l'évaporation provoque l'assèchement de la partie supérieure du sol qui avait été humectée par les pluies antérieures. En même temps, il y a précipitation et dépôt, près de la surface du sol, des substances que contenaient les eaux. Lorsque une nouvelle séquence de ruissellement intervient, les premières eaux "reprennent" ces éléments déposés et les dissolvent, d'autant plus aisément sans doute qu'il s'agit d'éléments sous forme très fine plus facilement soluble. Lorsque ces substances fines ont été évacuées, la mise en solution d'éléments ne correspond plus qu'à l'attaque du "squelette minéral" en place (partie supérieure du sol) en fonction des conditions physico-chimiques du moment. Ainsi dans l'exemple ci-dessus de la séquence 75-5, lorsque le ruissellement intervient, après une période sèche de quinze jours, il élimine durant les 10 à 15 premières minutes les substances déposées près de la surface du sol durant la phase sèche. Au cours de l'intervalle sans pluie séparant les première et deuxième phases (environ quatre heures), il y a évaporation qui provoque le dépôt d'éléments. Ceux-ci sont ensuite redissous par les premières eaux de la deuxième phase. Le phénomène ne se reproduit pas avec la troisième phase, car elle a lieu au cours de la nuit, avec une évaporation quasiment nulle durant l'interphase 2-3 (atmosphère très humide). Les eaux ont alors une composition assez constante, ou tout au moins sans variations importantes, qui correspond à la dissolution des éléments de la partie supérieure du sol, régie par les conditions physico-chimiques (température, gaz carbonique...) sans qu'il y ait "reprises" par ces eaux de substances déposées antérieurement dans l'interphase 2-3.

IV-2-4. Variations saisonnières de la composition des eaux de ruissellement

Si la proportion des différents ions dans les eaux de ruissellement reste semblable tout au long de l'année, les quantités dissoutes par ces

eaux présentent des variations saisonnières notables. Nous avons représenté celles-ci sur la figure 23bis pour les éléments majeurs, en affectant à chaque séquence et pour l'ion considéré une valeur correspondant à la moyenne arithmétique des prélèvements durant la séquence. Nous avons relié ces différentes valeurs entre elles, de manière à obtenir une image graphique montrant les variations des teneurs dissoutes au cours de l'année, bien que cette représentation sous forme d'une courbe continue, ne correspond pas à la réalité, car il s'agit en fait de phénomènes bien individualisés dans le temps, sans liaison entre eux.

Le calcium, la somme calcium + magnésium et l'ion bicarbonate présentent un cycle saisonnier très net dans les deux parcelles. En période hivernale, les teneurs des éléments dissous sont minimales : de l'ordre de 10 à 20 mg/l de calcium et de 60 à 80 mg/l de bicarbonate. Ces quantités augmentent lentement au cours du printemps pour arriver à un maximum durant la période estivale au cours de laquelle le calcium atteint 40 à 60 mg/l. Ce maximum, qui se produit généralement en août, est suivi par une chute assez brutale des quantités dissoutes dès le mois de septembre, au cours duquel les valeurs retombent à celles du printemps. Ensuite il y a diminution jusqu'aux valeurs de l'hiver.

La courbe des variations saisonnières ci-dessus est assez irrégulière dans le détail, présentant une succession de pics minimum et maximum. Cette irrégularité est accentuée de plus par le fait que nous sommes tributaires des pluies et des séquences de ruissellement pour obtenir des valeurs. Mais l'allure générale de la courbe est à maximum d'été et minimum d'hiver. La répétition de cette variation pour les trois années d'observation nous autorise à admettre ce cycle comme représentatif des variations saisonnières des quantités dissoutes par les eaux de ruissellement.

La dissolution concerne essentiellement le carbonate de calcium qui est conditionnée par des paramètres interdépendants : température, pH et teneur en gaz carbonique. Il est admis que le calcaire est d'autant plus soluble que la solution est plus riche en gaz carbonique, et ce dernier est d'autant plus soluble dans l'eau que la température est plus basse. Ce sont donc les eaux "froides" qui devraient être les plus agressives vis à vis du carbonate du calcium. Les résultats ci-dessus montrent qu'il se produit exactement l'inverse et apparaissent en contradiction avec les données expérimentales obtenues en laboratoire le plus souvent à partir de solutions simples

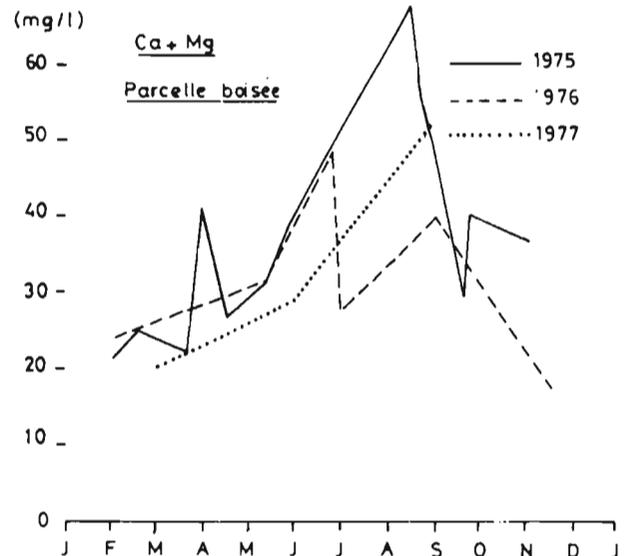
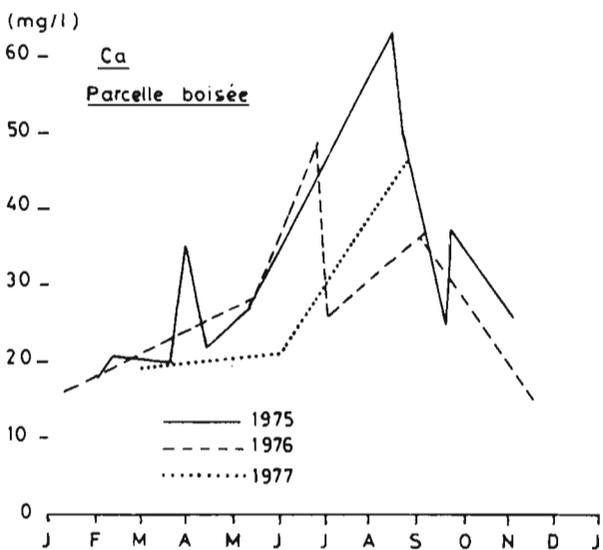
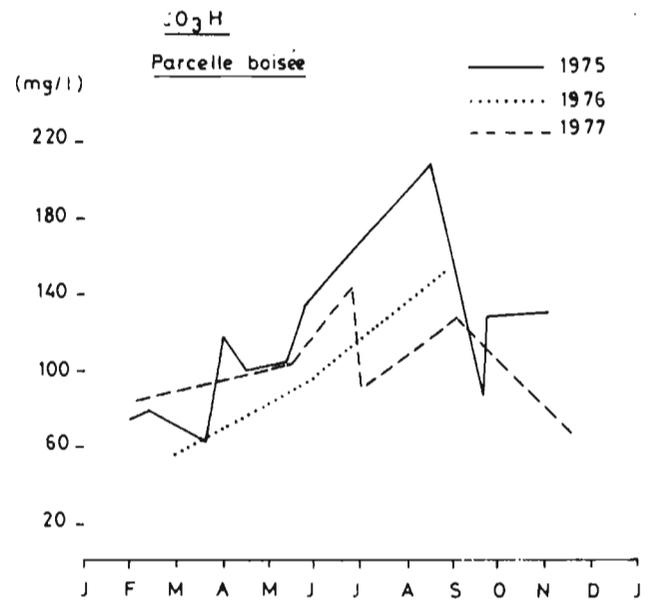
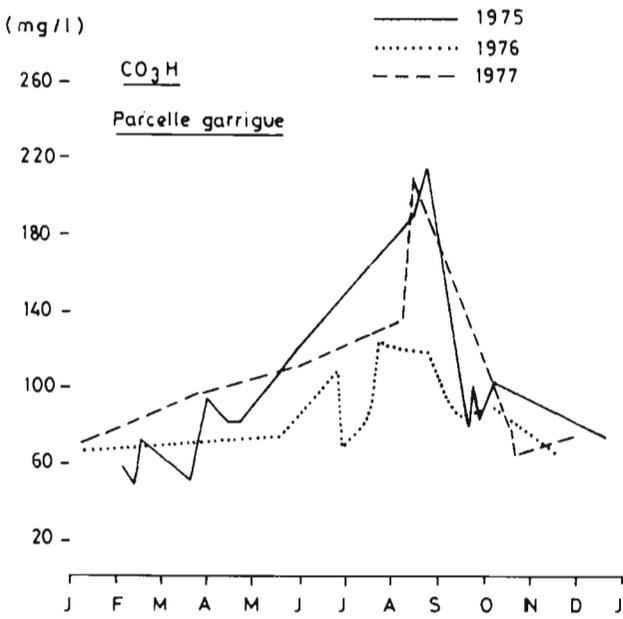
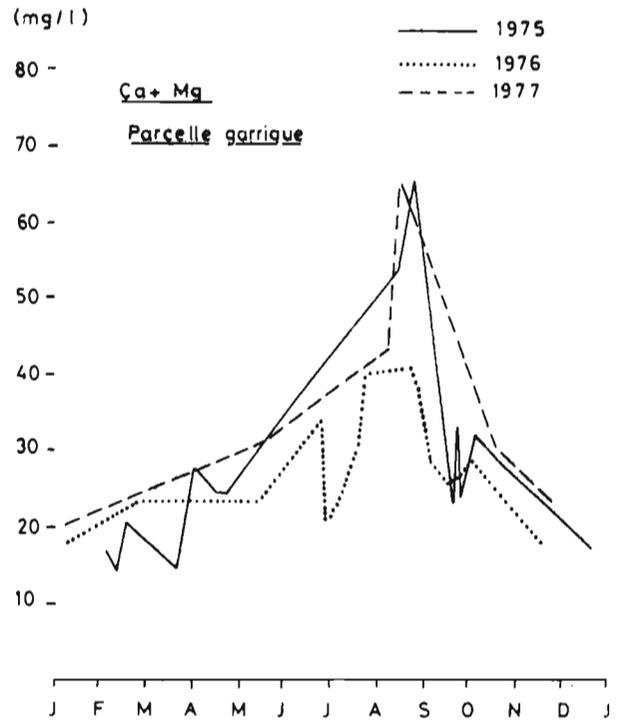
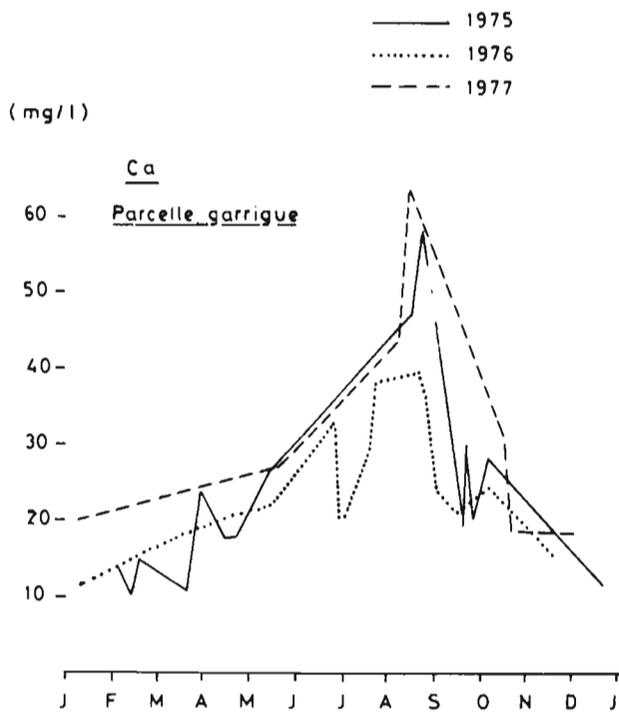


Fig. 23 bis - Evolution durant l'année des teneurs en Ca, Ca + Mg et CO₃H des eaux de ruissellement des deux parcelles

où seulement quelques ions interviennent. Dans notre cas, il s'agit du milieu naturel et les paramètres pouvant intervenir sont nombreux.

Les plus fortes teneurs en calcium et bicarbonate observées au cours de l'été, s'expliquent par la conjonction de deux facteurs : température élevée et humidité du sol. Au cours de la saison estivale des mesures de température nous ont montré que la partie supérieure de l'horizon de surface du sol atteint et même dépasse 50 à 60°C. Lorsqu'il se produit une pluie, elle tombe alors sur un milieu relativement chaud ce qui a pour effet de provoquer un véritable "réveil" de l'activité biologique du sol. Celle-ci produit en particulier un dégagement de gaz carbonique dont la pression partielle augmente, dans l'atmosphère du sol mais aussi à l'interface air-sol. Les eaux de ruissellement se chargent ainsi en gaz carbonique dégagé, ce qui favorise la dissolution du carbonate de calcium et explique les plus fortes teneurs en calcium et bicarbonate dissous.

Nous avons vérifié expérimentalement "in situ" ces phénomènes (programme carbonate avec J. BONVALLOT, Géographe ORSTOM), dans le même secteur d'étude que les parcelles, au cours d'un essai d'humectation du sol, au début de l'été. A mesure que le front humide progresse de la surface du sol vers la base, la teneur en gaz carbonique de l'atmosphère du sol a augmenté notablement (3 à 4 fois plus élevée que la teneur initiale), ainsi que le pH du sol qui est passé de 7,5 à 9.

D'autres paramètres interviennent également et viennent confirmer l'existence d'une forte activité biologique lorsque les conditions de chaleur et d'humidité se trouvent réunies. En particulier, il se produit une importante activité nitrifiante comme l'ont montré des expériences de laboratoire (*). Sur une colonne de sol reconstitué, identique à celui des parcelles, nous avons réalisé des cycles humectation-dessiccation sous des températures variées. Les solutions ayant ainsi drainé le sol présentent des teneurs importantes en nitrates (NO_3^-) dont l'optimum se situe entre 40 et 60°C, qui correspond au maximum de calcium dissous par ces solutions.

La solubilisation du calcaire par les eaux de ruissellement est réalisée par deux voies : une voie physico-chimique se produisant tout au long de l'année mais qui est la seule existante en hiver, et une voie biologique s'ajoutant à la précédente, n'ayant lieu qu'en été lorsque les

* Celles-ci ont été réalisées au laboratoire de Géomorphologie de CNRS de Caen, en collaboration avec M. DUMONT

conditions de chaleur et d'humidité sont réunies et qui explique les plus fortes teneurs en calcium et bicarbonate mesurées durant cette période.

IV-2-5. Bilan de l'érosion chimique

Nous avons calculé pour la parcelle garrigue et par séquence l'érosion chimique, à partir de la minéralisation totale déterminée à chaque prélèvement. Le bilan global pour les quatre années de mesure est de 2 kg d'éléments dissous puis éliminés par les eaux de ruissellement, soit une moyenne annuelle de 0,5 kg ou 40 kg par hectare. Cette érosion chimique, qui concerne essentiellement du calcaire, est faible mais non négligeable comparée à la valeur de l'érosion hydrique qui est de 125 kg/ha/an dans cette parcelle.

Dans la parcelle boisée, étant donné les faibles volumes ruisselés, l'érosion chimique est pratiquement inexistante.

IV-3. Conclusions

Le bilan global de l'érosion hydrique établi à partir des quatre années d'observations est faible pour la parcelle garrigue et pratiquement nul dans la parcelle boisée. Pour la première parcelle, il est évalué à 165 kg/ha/an dont la quart provient de l'érosion chimique et le reste de l'érosion mécanique. Pour l'autre parcelle, l'érosion totale est de 9 kg/ha par an. Ces chiffres mettent en relief le rôle du couvert végétal si nous comparons ces deux parcelles entre elles.

L'état de la surface du sol de la parcelle garrigue explique les faibles valeurs de l'érosion pour celle-ci alors qu'en l'absence de végétation, nous aurions pu nous attendre à une érosion plus forte, d'autant plus que le ruissellement peut être très important durant certaines pluies. La couverture d'éléments grossiers (près des 2/3 de la superficie de la parcelle) protège en fait la surface du sol de l'"effet splash", ce qui limite fortement l'érosion.

En ce qui concerne la géochimie des eaux de ruissellement, les relations constatées d'une part entre la conductivité électrique mesurée et d'autre part, la minéralisation totale et les teneurs en calcium et bicarbo-

nate dissous, peuvent permettre de s'affranchir des analyses chimiques de ces eaux et de ne réaliser que des mesures de conductivité.

Les eaux sont bicarbonatées calciques et les éléments majeurs présentent des variations saisonnières dans leurs teneurs dissoutes qui s'expliquent par deux mécanismes de dissolution : une voie physico-chimique et une voie biologique.

V - EVOLUTION DE LA VEGETATION DES DEUX PARCELLES

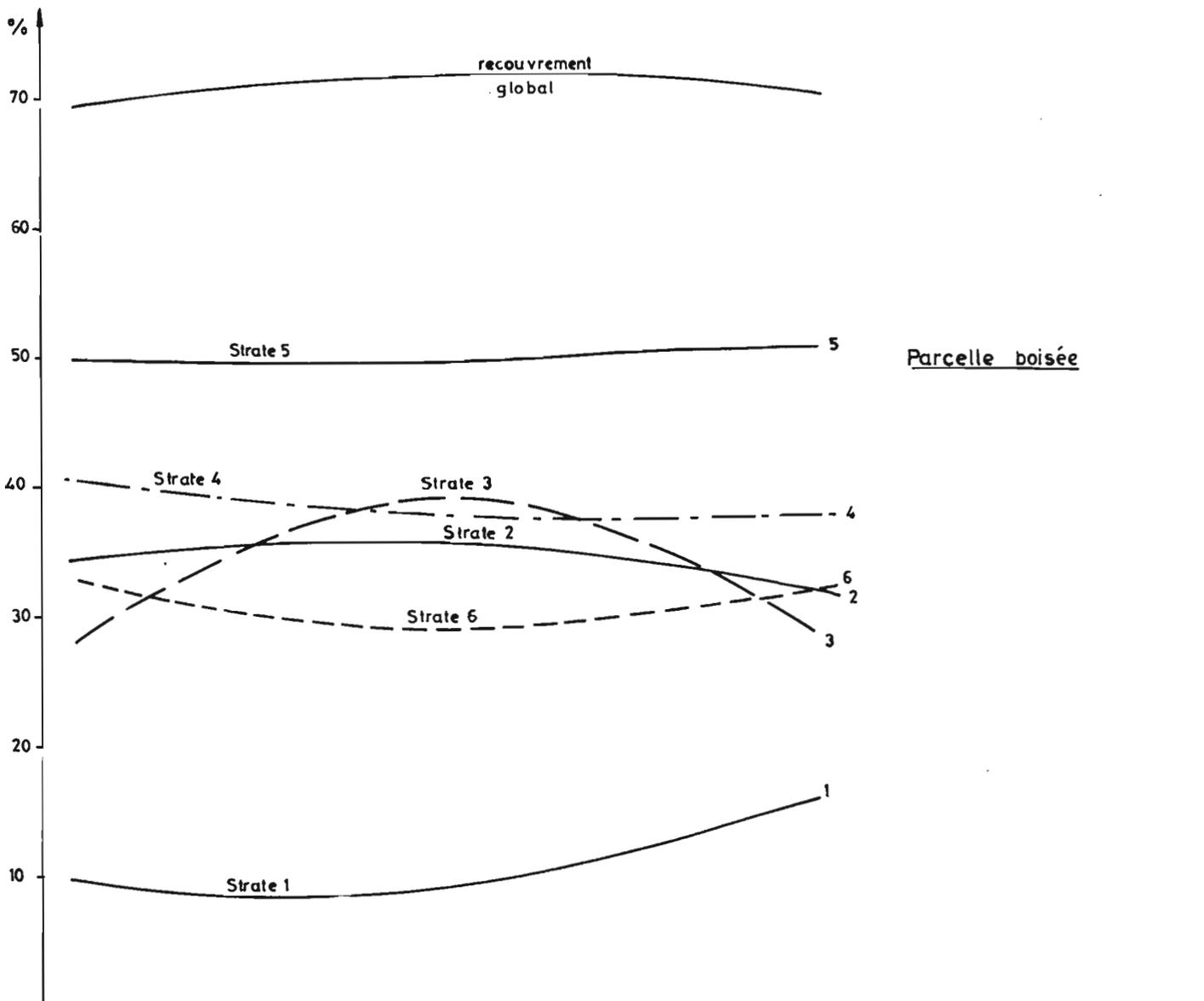
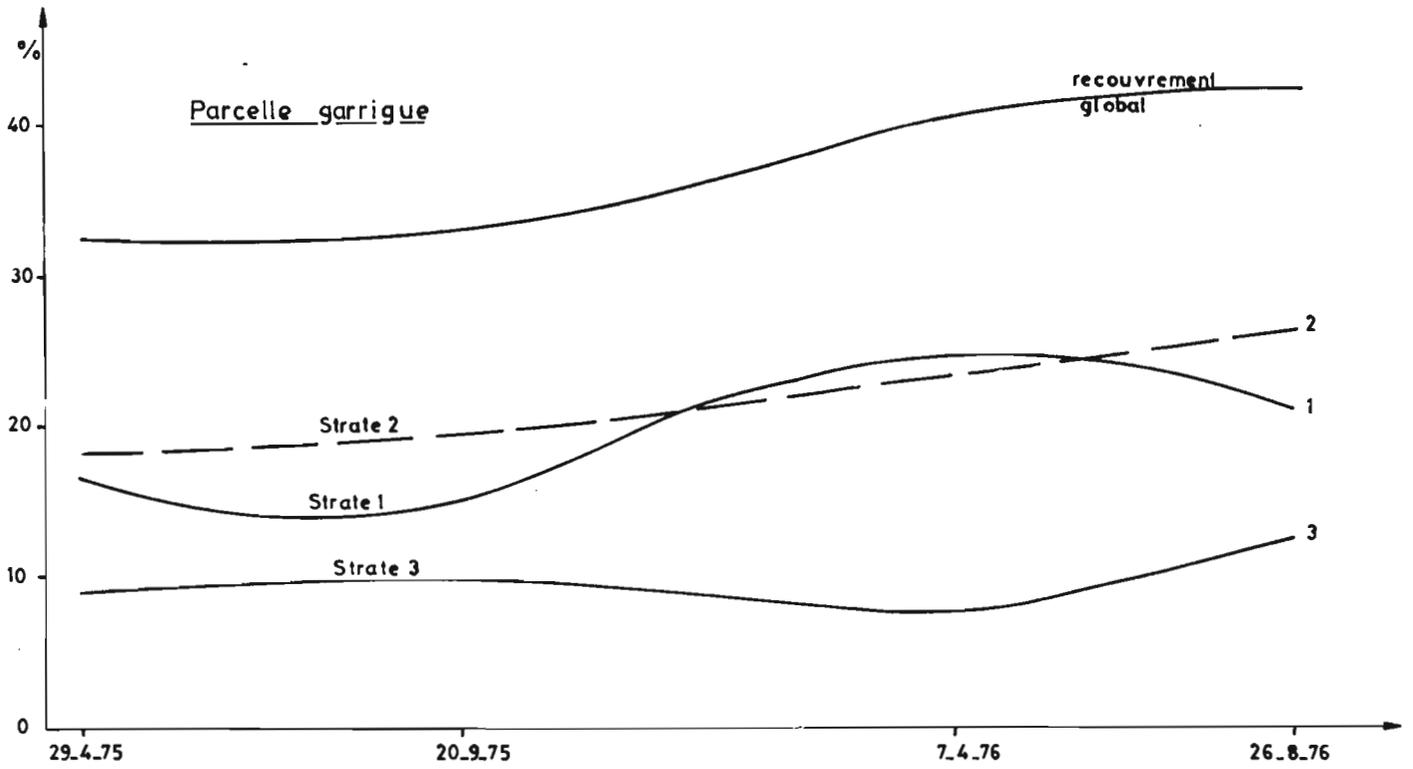
Dès la fin de leur installation, les deux parcelles ont été clôturées pour les protéger de l'intrusion des animaux qui pâturent habituellement le secteur (ovins, caprins, bovins). Cette protection nous a permis de mettre en évidence l'influence de la mise en défens sur l'évolution de la végétation des deux parcelles en fonction du temps.

Avec les phyto-écologues, nous avons effectué quatre relevés de végétation au cours des années 1975 et 1976 et la méthode retenue pour étudier la structure et le couvert végétal est le sondage systématique par points quadrats le long d'une ligne, que nous avons exposée ci-dessus (voir 2ème partie; chapitre IV-4). Les résultats obtenus sont les suivants.

V-1. Evolution du couvert végétal

Le couvert végétal correspond au recouvrement de la végétation en projection verticale sur le sol, exprimé en "pour cent" de la surface de celui-ci. Nous l'avons calculé d'une part globalement, c'est-à-dire pour l'ensemble de la végétation, d'autre part pour chaque strate. Dans ce dernier cas, la somme des recouvrements des différentes strates est supérieure au recouvrement global ci-dessus étant donné les interférences entre chaque strate. Les résultats sont présentés dans le tableau III.24. ci-dessous et schématisés sur la figure 24.

Fig.24 - EVOLUTION DU COUVERT VEGETAL DANS LES DEUX PARCELLES EN FONCTION DU TEMPS (en % de la surface du sol)



	Parcelle GARRIGUE				Parcelle BOISEE			
	29.4.75	20.9.75	7.4.76	28.8.76	29.4.75	20.9.75	7.4.76	
<u>Recouvrement</u> <u>global</u>	32,4	33,0	40,4	42,0	69,5	71,9	70,3	
1	16,4	14,8	24,8	21,1	9,4	8,6	15,6	
2	18,2	19,5	23,6	26,6	34,4	35,9	32,0	
<u>Recouvrement</u> <u>par</u> <u>strate</u>	3	9,0	9,8	7,4	12,3	28,1	39,1	23,9
4	0,4	1,0	0,8	4,1	40,6	38,3	38,3	
5	-	-	-	-	50,0	50,0	50,8	
6	-	-	-	-	32,8	28,9	32,0	

Tableau III.24. - Evolution du couvert végétal des deux parcelles en fonction du temps (en % de la surface du sol).

(NOTA: les mesures et relevés aux différentes dates ont été réalisés par les mêmes opérateurs).

Si pour la parcelle boisée le recouvrement de la végétation n'a pas varié dans le temps, celui de la parcelle garrigue par contre a augmenté notablement, passant de 32,4 % en avril 1975 à 42 % en août 1976. Cette augmentation est très significative et traduit bien l'effet d'une simple mise en défens sur une végétation de type garrigue telle que celle existant dans la zone d'étude, qui est susceptible d'évoluer et de s'accroître lorsqu'elle est protégée.

Toutes les strates de la parcelle garrigue contribuent à l'augmentation du recouvrement végétal, alors que dans la parcelle boisée, seul le recouvrement de la strate 1 a augmenté.

Nous pouvons remarquer que les relevés effectués pour la strate 1 après la période sèche d'été (septembre et août 1976) montrent une diminution du couvert végétal. Il faut y voir le rôle des plantes annuelles qui à cette époque ont pratiquement disparu.

V-2 Evolution de la structure globale de la végétation

Le recouvrement de la végétation tel qu'il est exprimé ci-dessus ne correspond qu'à une projection verticale du couvert végétal dans un plan,

ce qui n'apporte aucune précision sur la structure spatiale de la végétation. Pour estimer cette dernière, nous avons défini un indice de biovolume végétal aérien en admettant que le nombre de contacts de la végétation pour 100 points de mesure était représentatif du biovolume végétal.

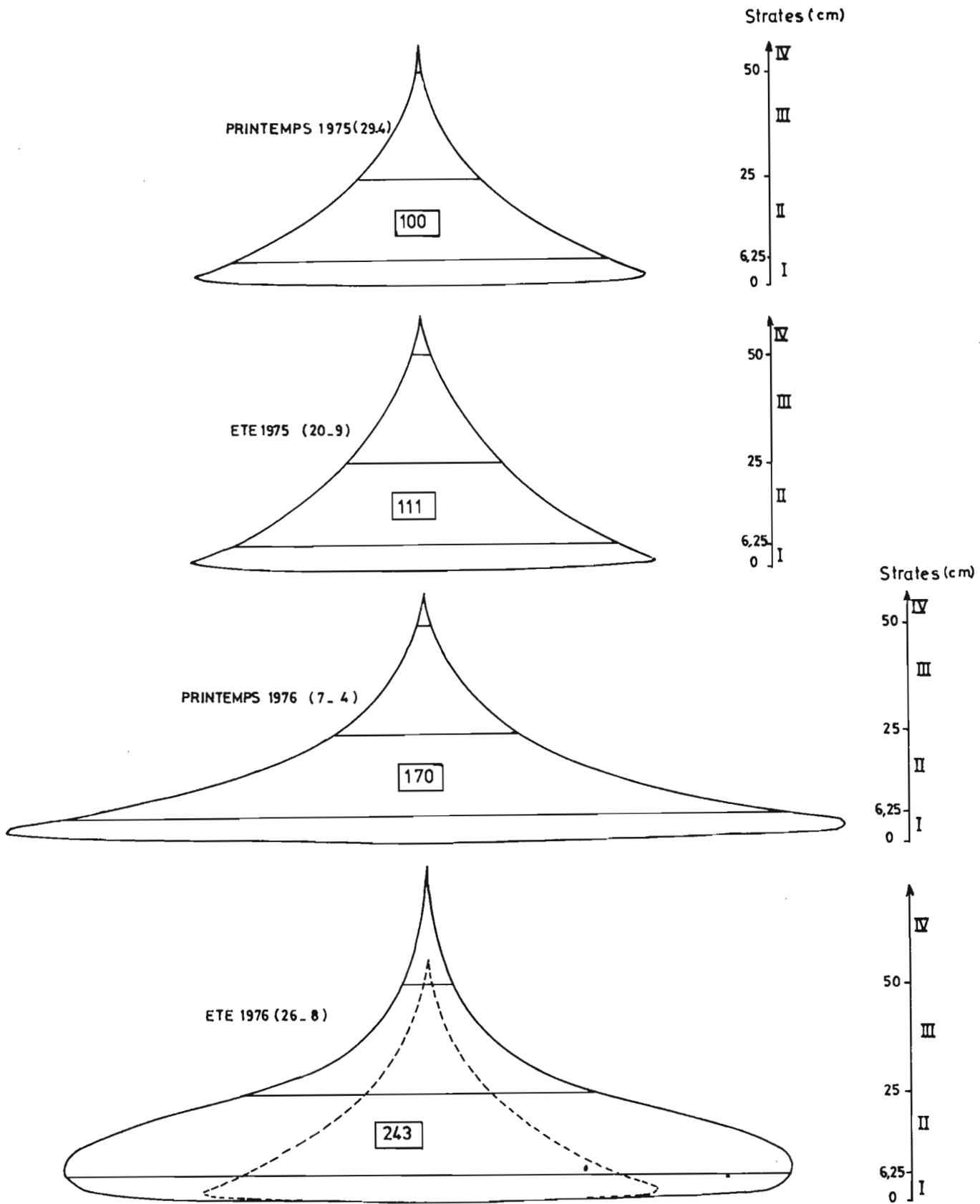
Ainsi, nous constatons (Tabl.III.25 et fig.25) que l'indice de biovolume de la parcelle garrigue a progressé très nettement, passant de 100 à 243, ce qui montre un accroissement important du volume végétal aérien de cette parcelle que ne mettait pas en évidence le pourcentage du recouvrement végétal de la végétation (32,4 à 42 %). Chacune des strates participe à l'augmentation du biovolume, ce qui indique une évolution spatiale de la végétation à la fois verticale et horizontale.

	Parcelle GARRIGUE				Parcelle BOISEE		
	29.4.75	20.9.75	7.4.76	26.8.76	29.4.75	20.9.75	7.4.76
Indice de biovolume global	100	111	170	243	100	120	126
Indice 1	100	104	198	170	100	71	141
Indice 2	100	100	154	250	100	111	126
biovolume 3	100	157	162	305	100	137	103
par strate 4	-	-	-	-	100	119	95
strate 5	-	-	-	-	100	123	148

Tabl.III.25. - Evolution de la structure globale de la végétation.

(exprimée en indice de biovolume; base 100 pour la première mesure dans chaque parcelle pour chaque série de mesure).

Le pourcentage de recouvrement de la parcelle boisée qui restait pratiquement constant, ne montrait pas le léger accroissement de la végétation de cette parcelle, comme l'indique l'indice de biovolume qui passe de 100 à 126 au bout d'une année (pour la même durée, l'indice de la parcelle garrigue passe de 100 à 170). La combinaison des deux données (recouvrement et indice de biovolume) pour la parcelle boisée montre que l'accroissement végétal a eu lieu surtout de manière verticale (augmentation de la taille des arbres) et très peu horizontalement, ce qui en terme de recouvrement ne pouvait être mis en évidence. Ce sont les strates 1 et 2 et surtout la strate 5 qui ont vu leur biovolume s'accroître dans cette



□ Aire proportionnelle a 1 contact / 100 points

243 Indice de biovolume total (base 100 = mesure du 29.4.75)

Fig.25_ÉVOLUTION DE LA STRUCTURE GLOBALE DE LA VÉGÉTATION DE LA PARCELLE GARRIGUE DURANT LA MISE EN DÉFENS

parcelle boisée, tandis que les strates 3 et 4 sont restées stables.

De manière à comparer entre elles les végétations des deux parcelles, nous avons exprimé les indices de biovolume globaux et ceux pour chaque strate avec la même base 100 correspondant à l'indice global de la première mesure de la parcelle garrigue (Tabl. III-2-6). Ceci montre que le biovolume végétal aérien de la parcelle boisée est quatre à cinq fois plus important que celui de la parcelle garrigue. De plus, la contribution de chacune des strates au biovolume global est évaluée, ce qui permet de mettre en évidence le grand développement des strates de la parcelle boisée par rapport à celles de la parcelle garrigue, surtout pour les strates 4 et 5.

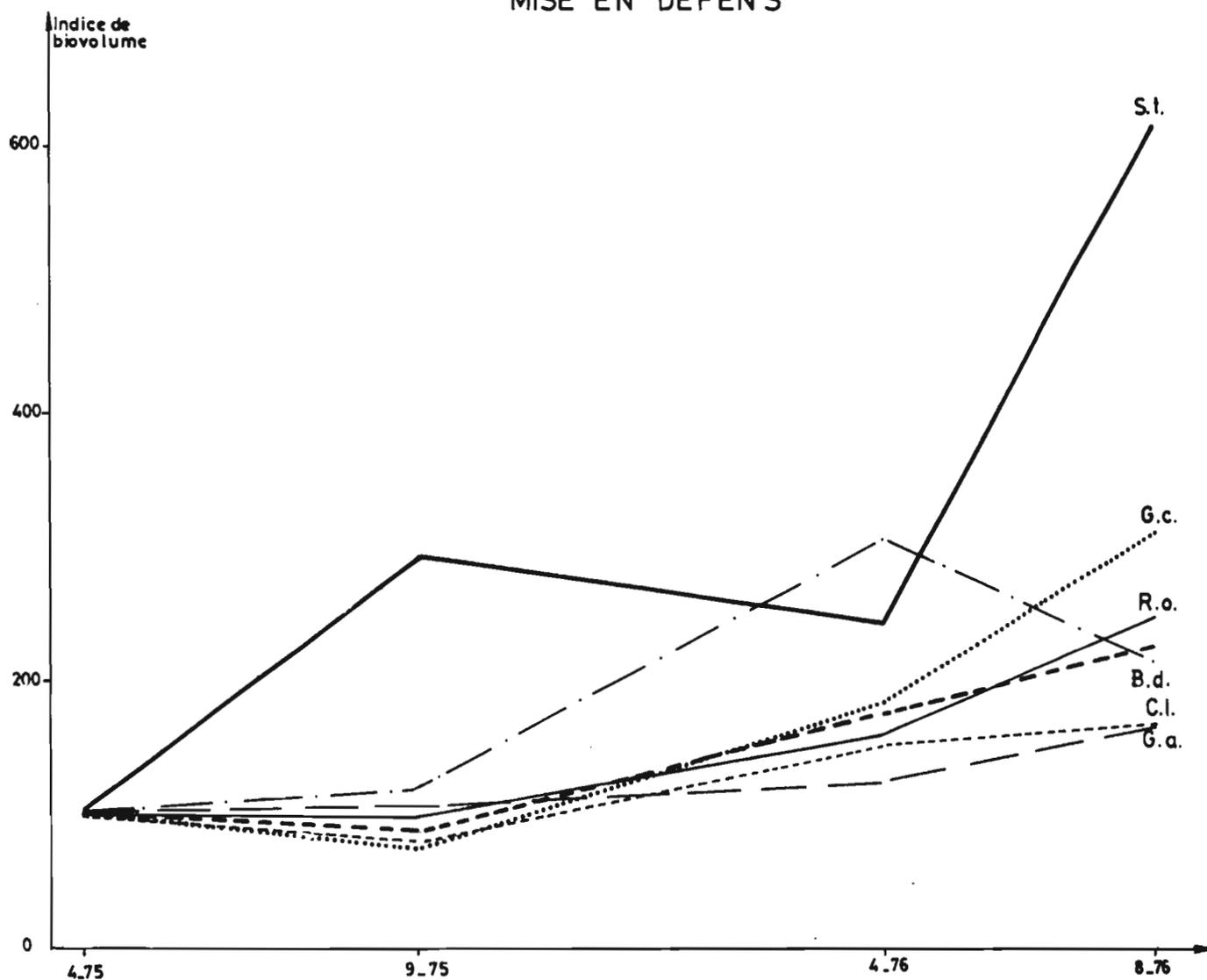
		Parcelle GARRIGUE				Parcelle BOISEE		
		29.4.75	20.9.75	7.4.76	26.8.76	29.4.75	20.9.75	7.4.76
Indice de biovolume global		100	111	170	243	486	582	611
Indice du biovolume par strate	1	31	32	61	52	21	15	30
	2	55	55	85	139	73	87	98
	3	14	22	22	42	71	97	73
	4	-	-	-	-	107	127	102
	5	-	-	-	-	209	257	308

Tabl. III-2-6 Structure globale de la végétation (exprimée en indice de biovolume; l'indice 100 étant unique et servant de base pour toutes les autres mesures).

V-3 Comportement des principales espèces végétales

Six espèces forment l'essentiel du biovolume végétal de la parcelle garrigue. Le Romarin (*Rosmarinus officinalis*) est l'espèce qui domine nettement avec 34 % du biovolume végétal alors que la contribution des autres espèces est plus réduite : *Globularia alypum* (19 %); *Cistus libanotis* (14 %); *Stipa tenacissima* (13 %); *Brachypodium distachyum* (3 %) et *Genista cinerea* (4 %). L'évolution des indices de biovolume (tabl. III-27 et fig. 26) des espèces ci-dessus en fonction du temps, calculés en prenant pour base 100 la

Fig. 26. ÉVOLUTION DU BIOVOLUME DES PRINCIPALES
ESPÈCES DE LA PARCELLE GARRIGUE DURANT LA
MISE EN DÉFENS



- | | | |
|-------|-------------------------|--------|
| ———— | Rosmarinus officinalis | (R.o) |
| ———— | Globularia alypum | (G.a.) |
| ----- | Cistus libanotis | (C.l.) |
| ———— | Stipp tenacissima | (S.t.) |
| | Brachypodium distachyum | (B.d.) |
| | Genista cinerea | (G.c.) |
| ----- | Autres espèces | |

première mesure de chaque espèce, montre que l'Alfa a eu une croissance très importante avec un indice de biovolume multiplié par 6,13.

	29.4.75	20.9.75	7.4.76	26.8.76
Rosmarinus officinalis	100	98	159	245
Globularia alypum	100	105	123	163
Cistus libanotis	100	80	149	158
Stipa tenacissima	100	292	242	613
Brachypodium distachyum	100	117	304	213
Genista cinerea	100	73	182	309

Tabl.III.27. - Indices de biovolume des principales espèces de la parcelle garrigue.

Le Genet cendré (x3,09) et le Romatin (x2,45) ont un indice supérieur à l'indice de biovolume global (2,43), alors que les autres espèces ont leur indice inférieur à celui-ci. "Cette croissance différentielle pourrait traduire un effet qualitatif de la mise en défens". (L. AMANDIER - 1977)

Dans la parcelle boisée, c'est le Pin d'Alep qui domine largement le couvert végétal, surtout dans les strates supérieures. La contribution de cette espèce par strate est la suivante : strate 1 = 15,1 %; strate 2 = 22,5%; strate 3 = 50,8 %; strate 4 = 91 %; strate 5 = 100 %.

Le sous-bois est constitué essentiellement par le Romarin, le Genet cendré et le Ciste du Liban.

L'évolution des indices de biovolume des principales espèces de cette parcelle boisée (tabl.III.28.) montre qu'au bout d'une année, le biovolume de Pinus halepensis a progressé alors qu'au contraire celui des autres espèces a diminué.

Il semblerait donc que le Pin d'Alep concurrence le sous-bois et freine son développement.

	29.4.75	20.9.75	7.4.76
Pinus halepensis	100	107	116
Rosmarinus officinalis	100	82	75
Cistus libanotis	100	27	22
Genista cinerea	100	134	57

Tabl. III.28. - Indices de biovolume des principales espèces de la parcelle boisée.

V-4 Conclusions

Sous l'action d'une simple mise en défens de 10 ans, la végétation des deux parcelles a eu deux comportements très différents.

Dans la parcelle boisée, la végétation a peu évolué et c'est surtout le Pin d'Alep qui a progressé au détriment des autres espèces du sous-bois dont la croissance est concurrencée par l'évolution du Pin d'Alep. Cette végétation correspond à un stade d'équilibre avec le milieu, qui ne peut plus progresser car il y a un facteur limitant, le sol, qui par sa faible épaisseur s'oppose à l'accroissement de la taille et du volume des arbres.

La végétation de la parcelle garrigue représente un état de dégradation du milieu précédent par suite d'une forte pression de pâturage et de l'action humaine (coupes, défrichements...). Si l'on supprime ces facteurs négatifs, la végétation évolue alors très vite comme le montre l'importante augmentation du biovolume végétal. Nous avons même observé dans cette parcelle des germinations de Pin d'Alep à partir de cônes. La végétation de type garrigue n'est donc pas un milieu irréversiblement dégradé dans la zone où nous avons effectué les mesures.

Ces résultats qui ne concernent que la végétation située sur les surfaces structurales, montrent la vocation essentiellement forestière de ces milieux, qu'il est possible d'utiliser à des fins pastorales mais avec des aménagements et des rotations organisées de manière rigoureuse.

4ème PARTIE : ANALYSES - INTERPRETATIONS

Afin de rendre plus explicite les différents tableaux présentés dans la 3ème partie, nous allons les analyser, ce qui nous permettra de mettre en évidence le rôle des différents facteurs conditionnant le ruissellement et l'érosion.

I - LE RUISSÈLEMENT

I-1 Comparaisons entre les deux parcelles

Les deux parcelles diffèrent uniquement par la densité et la structure de la végétation, tous les autres éléments étant semblables. Il en résulte que les différences constatées entre les deux parcelles auront pour cause directe la végétation.

Nous avons vu (p.61/62) qu'à l'échelle annuelle les coefficients de ruissellement dans les deux parcelles sont différents : de 1,1 à 1,5 % dans la parcelle boisée, il est 4 à 14 fois plus élevé dans la parcelle garrigue: 4,6 à 16,1 %. Mais cette différence de comportement des deux parcelles vis à vis du ruissellement va être nettement plus accentuée au niveau de la séquence pluvieuse.

Ainsi (tabl.IV-1), alors que le coefficient de ruissellement dans la parcelle boisée varie de 0,2 à 3,2 %, dans la parcelle garrigue il a une gamme de valeurs très ouverte de 0,3 à 55,6 % pour les mêmes pluies. Le coefficient dans cette dernière parcelle est toujours supérieur à celui de la parcelle boisée.

Nous pouvons noter pour cinq pluies l'absence de ruissellement dans la parcelle boisée alors qu'il se produit dans l'autre parcelle, mais avec de faibles valeurs (0,3 à 3,0 %) sauf pour la séquence 75-2 où le ruissellement atteint près de 10 %. Dans ce dernier cas le type de précipitations (grêle) explique ce taux relativement élevé. En effet, la grêle s'est accumulée rapidement sur les zones de sol nu de la parcelle et en particulier vers l'aval, donnant ensuite naissance à un pseudo-ruissellement, ce qui n'a pu se produire dans la parcelle boisée, les arbres ayant intercepté la grêle avant son arrivée au sol.

D'une manière générale, les coefficients de ruissellement les plus élevés concordent dans les deux parcelles : ainsi pour 10 séquences où K_r est supérieur à 1,6 % dans la parcelle boisée, le coefficient de ruissellement dans la parcelle garrigue est supérieur à 14 %. Cependant, on observe quelques exceptions à cette "règle". Dans 3 cas (75-1, 77-7 et 77-10), le K_r de la parcelle garrigue bien que supérieur à 14 % ne correspond pas à un K_r supérieur à 1,6 % dans la parcelle boisée. Inversement, dans cette dernière et pour 2 cas (75-16 et 77-6), le coefficient de ruissellement qui est de 1,6 et 2,0 % n'a atteint respectivement que 6,9 et 4,9 % dans la parcelle garrigue.

Si des coefficients semblables dans une parcelle correspondent à des coefficients voisins dans l'autre (séquences 75-7, 75-8 et 78-6), il existe pour un coefficient donné dans une parcelle, un coefficient variable dans l'autre parcelle. Ainsi, les séquences 77-7, 77-8 et 77-10, avec un K_r de 15,3 % dans la parcelle garrigue ont un coefficient de ruissellement de 0,5, 1,6 et 1,1 % dans la parcelle boisée. Inversement, les séquences 75-16 et 77-8 ayant un ruissellement de 1,6 % dans la parcelle boisée, donnent des K_r de 6,9 et 15,4 % dans la parcelle garrigue.

Il apparaît donc des différences dans le comportement des deux parcelles vis-à-vis du ruissellement qui pour être expliquées doivent tenir compte de la végétation mais aussi des facteurs conditionnant le ruissellement : pluie (hauteur, intensité, fréquence...) et humidité préalable du sol.

La comparaison du ruissellement dans les deux parcelles montre le rôle primordial de la végétation. Un couvert végétal de type arbustif comme celui de la parcelle boisée est suffisant pour réduire très fortement ou même supprimer le ruissellement. Le rôle d'écran protecteur de la végétation est donc indéniable et dans la gamme des pluies étudiées, le ruissellement de la parcelle boisée semble "bornée" à une valeur maximum de l'ordre de 3 %.

Avec la végétation plus ouverte, dégradée et de structure spatiale très différente de la parcelle garrigue, le ruissellement varie dans de fortes proportions et l'étude de ces variations va nous permettre de montrer le rôle des différents facteurs qui influencent et conditionnent le ruissellement.

Séquences	Pg	Pb	Séq.	Pg	Pb	Séq.	Pg	Pb
1975-1	20,8	0,7	76-3	0,3	0,2	77-4	21,2	2,8
2	9,8	0	4	1,2	0,3	5	1,3	0,8
3	0,3	0	5	1,3	0,2	6	4,9	2,0
4	0,5	0,4	6	5,7	1,2	7	15,3	0,3
5	12,9	1,2	7	0,4	0	8	15,4	1,6
6	3,0	0	8	1,9	0,9	9	17,6	2,0
7	22,1	2,2	9	8,7	1,3	10	15,3	1,1
8	21,7	2,4	10	4,9	0,7	11	7,9	1,2
9	1,1	0,4	11	2,9	0,3	78-1	1,2	1,0
10	1,7	0,4	12	1,1	0	2	0,9	0,8
11	16,9	*	13	14,2	2,0	3	1,5	0,7
12	1,3	0,3	14	1,3	0,3	4	2,2	1,1
13	38,7	2,4	15	13,4	1,4	5	3,0	1,0
14	11,6	0,3	16	3,1	0,7	6	21,1	2,1
15	0,7	0,2	17	3,8	0,9	7	55,6	3,2
16	6,9	1,6	18	2,2	0,4	8	0,8	0,4
						9	21,1	1,6
76-1	3,8	1,8	77-1	0,3	0,3	10	6,0	0,7
2	0,7	0,5	2	4,1	0,8	11	10,2	0,6

Tabl. IV-1 - Comparaisons des coefficients de ruissellement des deux parcelles (en %).

(Pg = parcelle garrigue)

(* : non mesuré).

(Pb = parcelle boisée).

I-2 Etude du ruissellement dans la parcelle garrigue

I-2-1- Influence de la hauteur de pluie

Si nous comparons quelques pluies de hauteur voisine (tabl.IV-2), nous constatons que le coefficient de ruissellement varie fortement.

Ainsi pour deux pluies de hauteur semblable, 39,5 et 39,3 mm, ce coefficient a eu des valeurs aussi extrêmes que 2,9 et 55,6 %. Dans la gamme des pluies de 20 mm, le ruissellement a varié de 0,3 à 38,7 %, tandis que pour les pluies de 10-12 mm, il a varié de 0 à 22,1 %.

Une pluie de hauteur notable ne donne pas obligatoirement un ruissellement fort, comme par exemple la séquence 76-7 qui avec 50,3 mm n'a donné lieu qu'à un ruissellement de 3,8 % ou comme la séquence 75-5 ci-dessous. Par contre, des pluies de faibles hauteurs peuvent provoquer des ruissellements importants (voir tabl.IV-2) : séquences 75-7 et 77-4 par exemple.

Séquences	H (mm)	K (%)	IM 30 (mm/h)	Rusa
75-5	39,5	2,9	8,4	3,15
78-7	39,3	55,6	50,8	31,34
75-11	19,0	16,9	19,0	5,44
75-12	19,5	1,3	8,0	1,91
75-13	20,6	38,7	41,0	13,73
77-1	21,9	0,3	4,0	0,41
75-7	12,5	22,1	24,0	4,73
76-5	12,4	1,3	13,8	1,97
77-3	12,1	tr.	8,1	0,98
77-4	10,7	21,2	19,0	2,64
77-7	12,5	15,3	25,0	4,90

Tabl. IV-2 - Coefficient de ruissellement et caractéristiques de quelques pluies dans la parcelle garrigue.

Le ruissellement n'est donc pas lié à la hauteur d'eau précipitée et une pluie quelconque peut donner naissance à un ruissellement d'intensité très variable ou bien ne pas en provoquer. Il faut cependant nuancer ce résultat car à partir d'un minimum de hauteur d'eau et pour des pluies très peu "agressives" tombant sur un sol sec, il y a déclenchement du processus de ruissellement dans la parcelle garrigue. Ce minimum ou seuil de déclenchement, compte tenu de la gamme de pluies étudiées durant les quatre années d'observation, peut être estimé à une valeur voisine de 28 mm. Cette hauteur de pluie signifie qu'en conditions les plus défavorables pour le ruissellement (pluie non agressive et sol sec), il y a apparition d'un ruissellement à partir de 28 mm, mais celui-ci peut se produire pour une pluie de hauteur plus faible si les conditions "d'agressivité" de la pluie et d'humidité préalable du sol sont favorables au ruissellement.

Les chiffres du tableau IV-2 ci-dessus montrent que le ruissellement dépend fortement de l'intensité maximale de la pluie en 30 mn et de l'indice d'agressivité climatique Rusa. Cependant les corrélations pouvant exister entre ces grandeurs ne sont pas toujours rigoureuses et deux pluies

semblables, de même intensité maximale en 30 mm ou de même "index-pluie Rusa" ne donnent pas obligatoirement le même ruissellement. D'autres facteurs viennent influencer ce dernier, comme l'humidité préalable du sol ou la couverture végétale.

I-2-2 Influence de l'humidité préalable du sol

Plusieurs coefficients tenant compte de l'humidité du sol avant la pluie ont été proposés, mais d'après ROOSE (1973), ce facteur "humidité préalable du sol se confond avec celui de la hauteur des pluies cumulées pendant plusieurs semaines".

N'ayant pu effectuer des mesures périodiques d'humidité du sol des parcelles, nous utiliserons des indices de hauteur de pluie cumulée antérieure au ruissellement tels que h_1 , h_2 , h_5 et h_{10} qui correspondent respectivement aux hauteurs de pluies cumulées dans les 24 heures, 48 heures, 5 jours et 10 jours précédant la séquence de ruissellement considérée.

Les exemples du tableau IV-3 permettent d'estimer l'influence de l'humidité préalable du sol sur le ruissellement. Deux pluies identiques en hauteur, intensité et agressivité peuvent donner un ruissellement très différent selon l'état d'humidité du sol, comme le montrent les séquences 75-14 et 78-4 : l'une donne un coefficient de ruissellement de 11,6 % et l'autre 2,2 % mais la première se produit sur un sol humide ($h_1 = 20,6$ mm et $h_2 = 44,9$ mm) tandis que la seconde a lieu sur un sol sec.

Séquences	H (mm)	I ₁ 30 (Lm/h)	Rusa	K(%)	h1	h2	h5	h10
75-14	9,8	12,2	1,30	11,6	20,6	44,9	44,9	46,6
78-4	9,8	13,0	1,98	2,2	0	0	0,3	0,3
77-2	9,9	5,2	0,37	4,1	23,4	30,6	30,6	32,8
75-3	11,2	5,0	0,33	0,3	0	0	1,6	1,6
75-13	20,6	41,0	13,73	38,7	24,3	24,3	24,3	26,0
78-9	19,0	35,0	9,64	21,1	0	0	0	5,2
77-10	6,6	12,0	1,04	15,3	38,9	38,9	44,9	44,9
75-9	5,5	12,0	1,11	1,1	0	0	2,4	2,4
78-10	10,5	23,8	4,24	6,0	0	0	20,0	20,0

Tabl. IV-3 - Humidité préalable du sol pour quelques séquences de la parcelle garrigue.

(h_1 , h_2 , h_5 et h_{10} = pluie cumulée dans les 24 heures, 48 heures, 5 jours et 10 jours précédant le ruissellement).

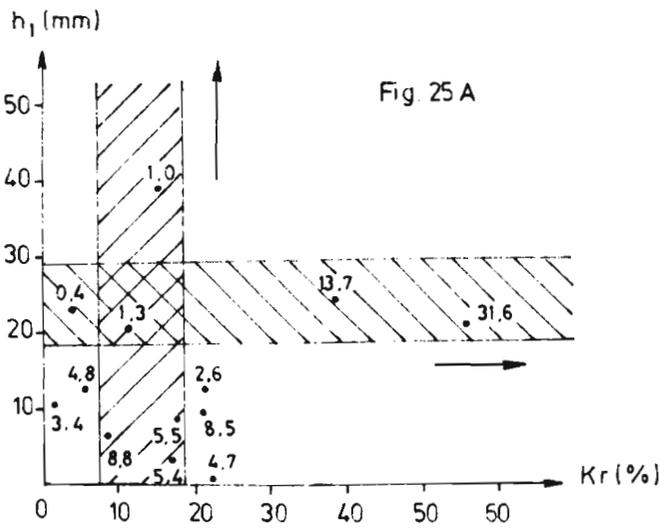
La comparaison ci-dessus concerne les pluies dont la hauteur est voisine de 10 mm et pour des pluies plus importantes de l'ordre de 20 mm, l'influence de l'humidité préalable du sol sur le ruissellement est aussi nette, comme nous pouvons le constater avec les séquences 75-13 et 78-9. Celles-ci, assez semblables dans leurs caractéristiques, se produisent l'une sur sol humide et l'autre sur sol sec et le ruissellement varie presque du simple au double = 38,7 % et 21,1 % respectivement. "L'agressivité" de la séquence 78-9 est moins accentuée toutefois que celle de la séquence 75-13, mais cela n'est pas suffisant pour expliquer la différence entre les deux coefficients de ruissellement.

Pour les pluies supérieures à 20 mm, nous manquons de données pour faire les mêmes comparaisons, la plupart de ces pluies étant tombées sur des sols secs.

Il est intéressant de remarquer que des pluies de faible hauteur et relativement peu agressives peuvent provoquer des ruissellements notables lorsqu'elles tombent sur un sol humide. Le cas de la séquence 77-10 est très significatif à cet égard: cette pluie de 6,6 mm, peu intense, donne un ruissellement de 15,3 %. Comparée à une pluie semblable (75-9) mais ayant lieu sur sol sec, le ruissellement n'est plus que de 1,1 %, ce qui met en évidence le rôle de l'état d'humectation du sol.

Lorsqu'une séquence de ruissellement se produit après une période de quelques jours sans pluie, l'influence de l'état hydrique du sol devient secondaire. La séquence 78-10 explicite cette observation. Cette pluie de 10,5 mm, agressive, ne donne lieu qu'à un ruissellement moyen de 6 % alors que nous aurions pu prévoir une valeur plus élevée si nous comparons cette séquence à 75-14 qui pour une pluie moins intense provoque un ruissellement plus fort : 11,6 %. Mais pour ce dernier, le sol était humide et avait reçu une pluie dans les 24 heures précédant le ruissellement, alors que pour la séquence 78-10, les hauteurs d'eau cumulées antérieures sont nulles pour les trois jours précédant la pluie et atteignent 20 mm pour h5 et h10.

Nous avons essayé de résumer les différents résultats ci-dessus sur la figure 27. Il s'agit d'un schéma très général montrant quelques relations entre l'état d'humectation du sol et les facteurs liés à la pluie et au ruissellement, mais qui demanderait de nombreux autres résultats pour préciser ces relations.



• 13.7 = Chaque valeur correspond à Rusa
 h_1 = Hauteur de pluie dans les 24h. précédents le ruissellement
 Kr = Coefficient de ruissellement

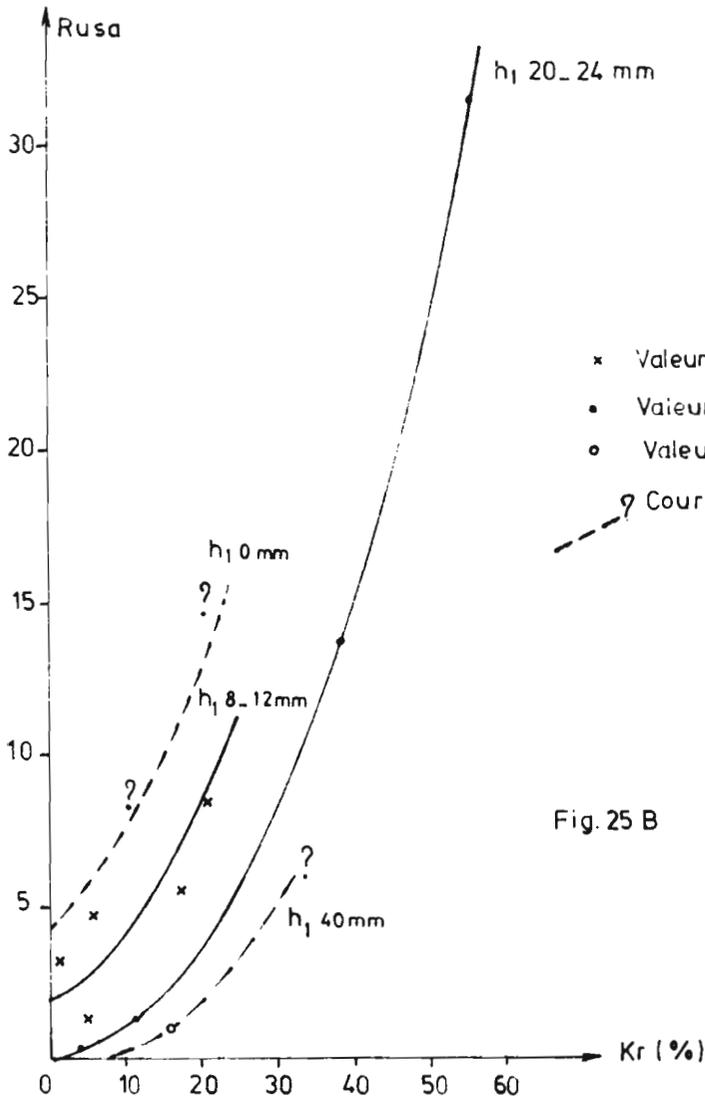


Fig. 25 B

Fig. 7 Parcelle garrigue = relations entre h_1 , Rusa et Kr

Pour une humidité préalable h_1 donnée (figure 27A), le ruissellement est d'autant plus fort que la pluie est agressive (sens horizontal sur le schéma). Un même ruissellement K_R sera produit par une pluie de moins en moins agressive lorsque h_1 augmente (sens vertical sur le schéma).

Pour différentes classes de hauteur de pluie précipitée durant les 24 heures précédant le ruissellement (h_1), nous constatons (figure 27B) que les courbes correspondant à chaque classe affectent une forme parabolique et qu'elles sont parallèles. Lorsque l'agressivité de la pluie devient importante (Rusa), le coefficient de ruissellement tend vers une limite supérieure d'autant plus élevée que l'humidité préalable h_1 est importante.

Sur sol sec ($h_1 = 0$ mm), il faudra une pluie suffisamment agressive pour déclencher le ruissellement (Rusa 3 à 4) et cette agressivité de la pluie diminuera lorsque l'humidité préalable du sol augmentera.

I-2-3 Influence du couvert végétal

En comparant entre eux les résultats de 1975 et 1976 dans la parcelle garrigue, nous constatons que certaines pluies identiques dans leurs caractéristiques et tombant sur un sol ayant le même état d'humectation, ne provoquent pas de ruissellements semblables.

Les séquences 75-7 et 76-10 illustrent cela (tabl. IV-4), puisque avec des paramètres voisins, les ruissellements mesurés sont très différents: 22,1 % en 1975 contre 4,9 % en 1976.

Séquences	H (mm)	$I_{h,30}$ (mm/h)	Rusa	K (%)	h_1	h_2	h_5	h_{10}
75-7	12,5	24,0	4,73	22,1	1,3	1,3	7,6	11,1
76-10	11,3	24,6	4,82	4,9	0	0	1,1	1,1
75-11	19,0	19,0	5,44	16,9	3,0	3,1	3,1	21,7
76-6	14,0	24,2	4,77	5,7	12,4	12,4	14,7	15,3

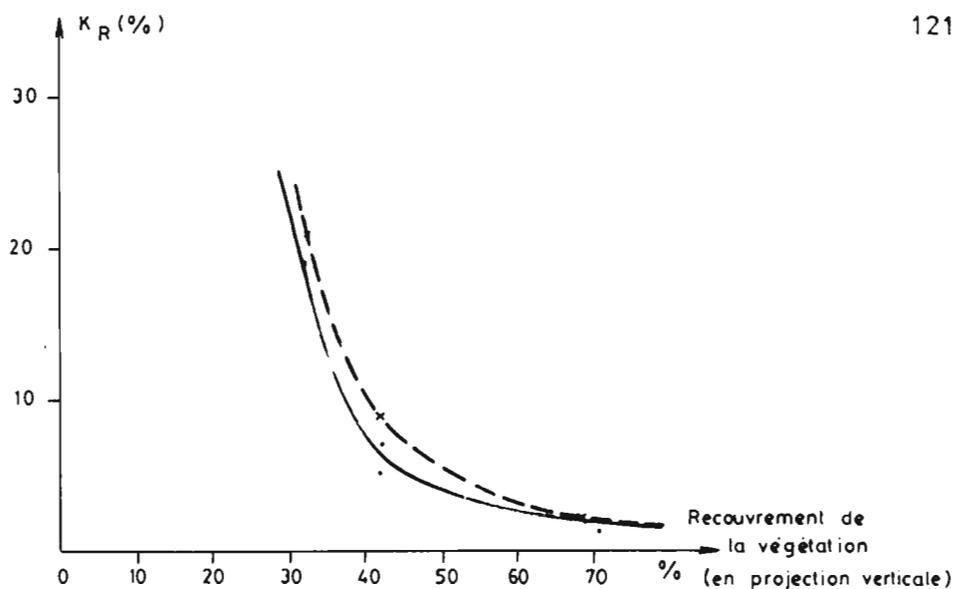
Tabl. IV-4 Caractéristiques de quelques séquences dans la parcelle garrigue.

Il en est de même pour les séquences 75-11 et 76-6 : la première pluie tombant sur un sol très peu humide provoque un ruissellement de 16,9 %; la seconde d'intensité maximale en 30 mm plus élevée mais de hauteur moindre, ne provoque qu'un ruissellement de 5,7 %. Nous aurions pu prévoir une valeur plus forte d'autant plus que l'humidité préalable du sol est notable.

Lorsque les différents facteurs influençant le ruissellement sont voisins (paramètres de la pluie et humidité préalable du sol), il apparaît malgré cela une réaction différente de la parcelle au ruissellement qui doit être attribuée au couvert végétal. Nous avons vu ci-dessus (chapitre V de la 3e partie) que les mesures de végétation ont mis en évidence une augmentation du recouvrement végétal qui est passé d'avril 1975 à août 1976 de 32,4 % à 42 % (en terme de recouvrement) et de l'indice 100 à 243 en terme de biovolume aérien. Cet accroissement végétal apparaît ainsi comme suffisant pour réduire assez fortement le ruissellement, comme le montre les exemples ci-dessus.

Malgré le nombre restreint de séquences pouvant être comparées entre elles au cours des années 1975 et 1976, nous avons représenté graphiquement la relation entre le ruissellement et la végétation (figure 28) en utilisant les résultats de l'évolution de la végétation dans les deux parcelles et les coefficients de ruissellement correspondant. Cette relation, tout au moins pour les deux types de pluies pour lesquels nous avons pu l'établir, et qu'elle soit exprimée en fonction du recouvrement de la végétation en projection verticale ou en fonction de l'indice de biovolume végétal, met en évidence une importante variabilité du ruissellement en fonction de la végétation.

Le taux de recouvrement végétal de la parcelle boisée apparaît comme le facteur très largement limitant du ruissellement. Ce taux est d'ailleurs relativement élevé (70 % environ et indice de biovolume de 500 à 600) et il est important de noter qu'il n'est pas nécessaire d'atteindre ces valeurs pour que le ruissellement soit limité, comme le montrent les mesures d'évolution de la végétation durant 18 mois. Durant cette période, l'accroissement du couvert végétal de la parcelle garrigue qui a été en valeur relative de 30 % (32,4 à 42 %) pour le recouvrement et de plus de 200% pour l'indice de biovolume végétal, a réduit de plus de la moitié le coef-



_____ Relation ruissellement = f (végétation) pour une pluie de 12 mm (Rusa voisin de 4,8 à 5,0 et IM30 et 24,0 mm/h) tombant sur un sol sec.

----- Relation ruissellement = f (végétation) pour une pluie de 16-19 mm (Rusa 8,8 à 9,6 et IM30 = 33,0 à 35,0 mm/h) tombant sur un sol peu humide ($h_1 < 7$ mm, $h_5 < 10$ mm)

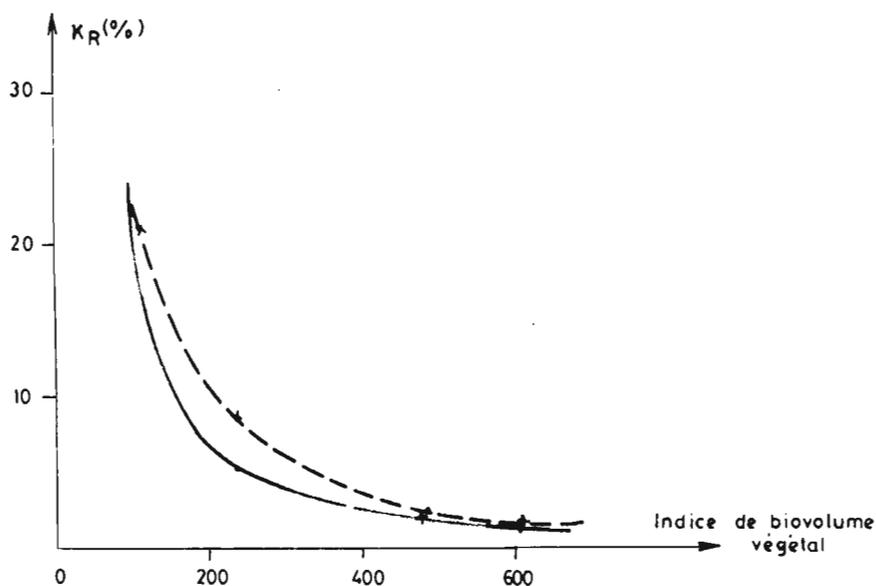


Fig. 28 - Relations entre le coefficient de ruissellement et le couvert végétal

efficient de ruissellement pour des pluies identiques. Cette augmentation du recouvrement végétal est malgré tout limitée en valeur absolue, 10 % environ, mais elle est suffisante pour réduire très fortement le ruissellement.

Une végétation de type arboré n'est donc pas la seule qui limite le ruissellement et une végétation basse arbustive ou buissonnante joue le même rôle à condition que le recouvrement et le biovolume végétal aérien atteignent une certaine valeur. Celle-ci peut-être estimée à 40 % pour le recouvrement (en projection verticale) et à un indice de 200 pour le biovolume. Au-dessous de ces limites, le ruissellement augmente alors très rapidement en "progrression géométrique".

I-2-4. Conclusions

Alors que le coefficient de ruissellement dans la parcelle garrigue varie dans de larges proportions, 0,3 à 55,6 %, celui de la parcelle boisée semble "bornée" à une valeur maximum de 3 %, tout au moins pour la gamme de pluies que nous avons étudiée. Cette différence de comportement des deux parcelles est due au type de végétation.

L'étude détaillée du ruissellement dans la parcelle garrigue montre l'influence relative de différents facteurs. Ce n'est pas la hauteur de pluie qui détermine "l'intensité" du ruissellement, mais essentiellement l'agressivité de la pluie. Cependant, ceci doit être nuancé, d'une part par l'humidité préalable du sol et d'autre part par l'évolution du couvert végétal au cours des saisons. Sur un sol sec, le ruissellement sera plus ~~faible~~ ^{faible} que sur sol humide, tous les autres paramètres étant semblables. Une faible augmentation du couvert végétal de cette parcelle garrigue suffit, pour réduire fortement le ruissellement et une végétation de type arboré n'est pas la seule susceptible de réduire le ruissellement.

I-3 Relations pluie-ruissellement

Comme nous l'avons remarqué ci-dessus (p.115), le ruissellement dans la parcelle garrigue dépend essentiellement de "l'agressivité" de la pluie qui peut être caractérisée par l'intensité maximale en un temps donné.

Le tableau IV-5 récapitule les caractéristiques des équations des régressions linéaires existants entre le coefficient de ruissellement et les intensités maximales de la pluie sur des périodes de durée croissante = cinq minutes à 1 heure. Pour établir ces relations, nous avons utilisé les résultats obtenus de 1975 à 1978 pour lesquels K_R est supérieur à 5 %, tout en laissant de côté les valeurs de 1976 où le ruissellement a été fortement influencé par l'augmentation du couvert végétal (voir ci-dessus, chapitre I-23, p. 119).

Relations	Coefficient de Corrélation R	Equation de la régression
$K_R = f(IM5)$	0,662	$K_R = 0,298 IM5 + 3,75$
$K_R = f(IM10)$	0,748	$K_R = 0,354 IM10 + 4,12$
$K_R = f(IM15)$	0,758	$K_R = 0,452 IM15 + 4,15$
$K_R = f(IM30)$	0,833	$K_R = 0,900 IM30 + 1,37$
$K_R = f(IM60)$	0,872	$K_R = 1,497 IM60 + 2,13$

(K_R = coefficient de ruissellement; IM5, 10... = intensité maximale de la pluie en 5,10...mn).

Tableau IV-5- Relations ruissellement-intensité maximale de la pluie dans la parcelle garrigue 1975-1978.

(n = 23 valeurs)

Pour 21 degrés de liberté, le test du coefficient de corrélation est significatif à 0,05 pour $R = 0,413$ et à 0,001 pour $R = 0,642$.

Les corrélations ci-dessus sont très hautement significatives, mais la relation entre le coefficient de ruissellement et l'intensité maximale de la pluie est d'autant plus significative que cette dernière est plus élevée : c'est IM60 qui permet d'avoir la meilleure estimation du ruissellement. Au delà de 60 minutes, il devient illusoire d'utiliser un indice d'intensité maximale, car les pluies dépassent rarement cette durée.

A l'échelle d'une séquence pluvieuse, nous constatons (figures 29 et 30) que le temps de réponse dans la parcelle garrigue se situe entre 5 et 10 minutes pour des pluies d'intensité maximale notable : 40 mm/h en 5 minutes au moins.

Dans le cas d'une séquence composée de plusieurs averses successives, le ruissellement reste faible lorsque les intensités ne dépassent pas 10 à 20 mm/h en 5 minutes. Au-delà, il augmente très rapidement, comme le montre la séquence 75-1 (figure 29). Celle-ci comporte plusieurs averses à faible intensité ne provoquant que des ruissellements peu importants. Lorsque survient une averse d'intensité notable, il y a une très forte augmentation du ruissellement, favorisée de plus par le fait que le sol est très humide et proche de la saturation.

Dans le cas d'une séquence pluvieuse homogène, bien individualisée, le ruissellement se produit très rapidement et son débit est la reproduction de celui de la pluie, mais avec quelques minutes de décalage : séquences 75-8, 75-13 et 76-9 (figure 30). Si la séquence présente des alternances de maximum et minimum de pluie, le ruissellement montrera des variations avec parfois interruption puis reprise de l'écoulement : séquence 75-11 par exemple (figure 30).

II - L'EROSION

Si une relation très nette existe entre l'intensité maximale de la pluie et le ruissellement, il n'en est pas de même entre les caractéristiques de la pluie (intensité, index-pluie...) et l'érosion, du fait des très faibles quantités de matériaux érodés, même durant les séquences à fort ruissellement.

Nous avons déjà évoqué ci-dessus (chapitre IV de la 3e partie) ces faibles valeurs de l'érosion qui s'expliquent d'une part dans la parcelle garrigue par la couverture d'éléments grossiers (57 % de la surface du sol) et d'autre part dans la parcelle boisée par la végétation (voir ci-dessus p.80).

Nous arrivons ainsi au résultat suivant, valable surtout pour la parcelle garrigue : existence d'un ruissellement pouvant devenir très important, mais ne s'accompagnant dans tous les cas que d'une très faible érosion, tout au moins dans la gamme des pluies étudiées.

Aussi l'utilisation d'une équation de prévision de l'érosion comme celle de WISCHMEIER et SMITH (1960) est impossible dans notre cas.

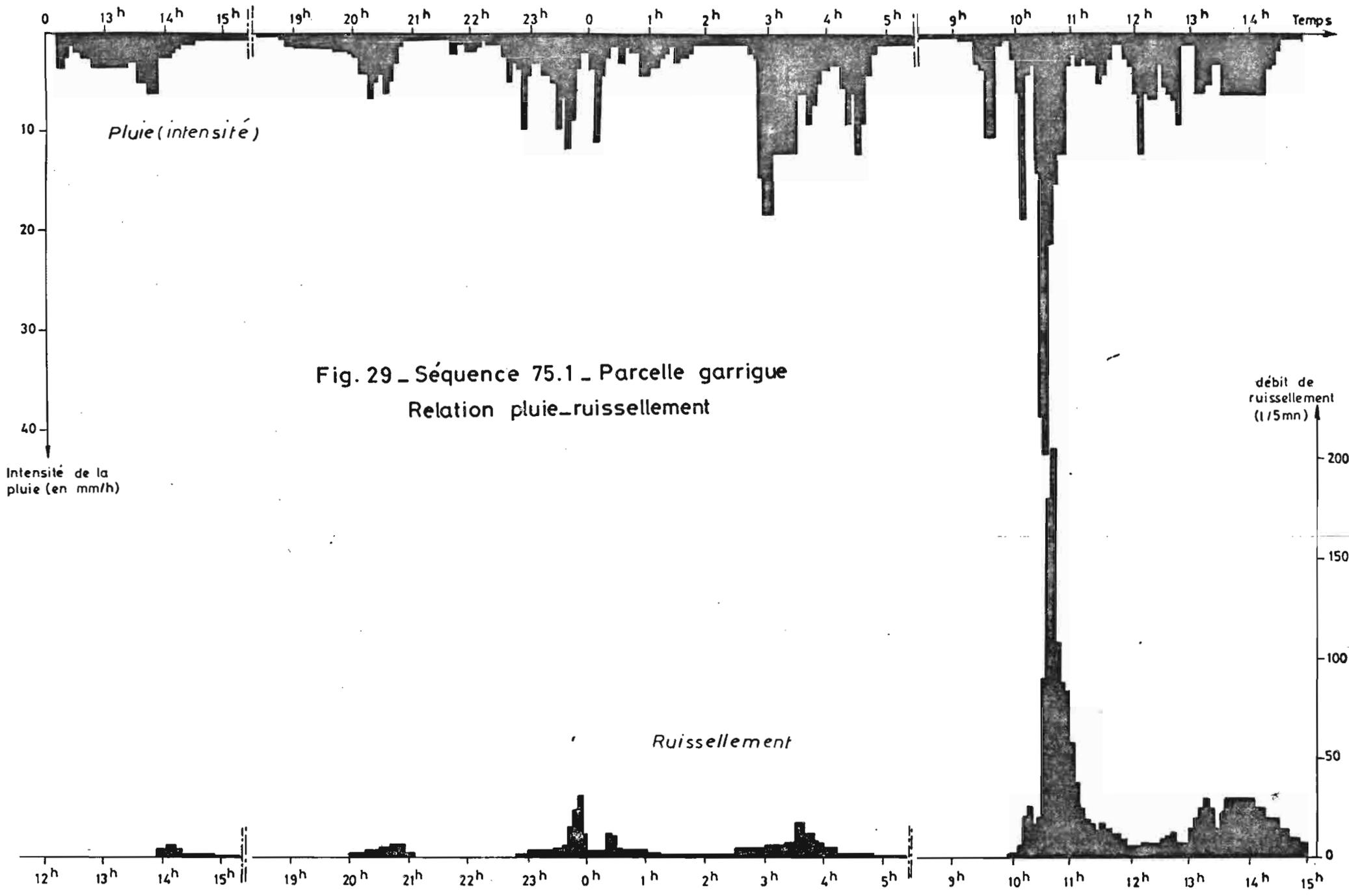


Fig. 29 _ Séquence 75.1 _ Parcelle garrigue
 Relation pluie_ruissellement

débit de ruissellement (l/5mn)

Intensité de la pluie (en mm/h)

Ruissellement

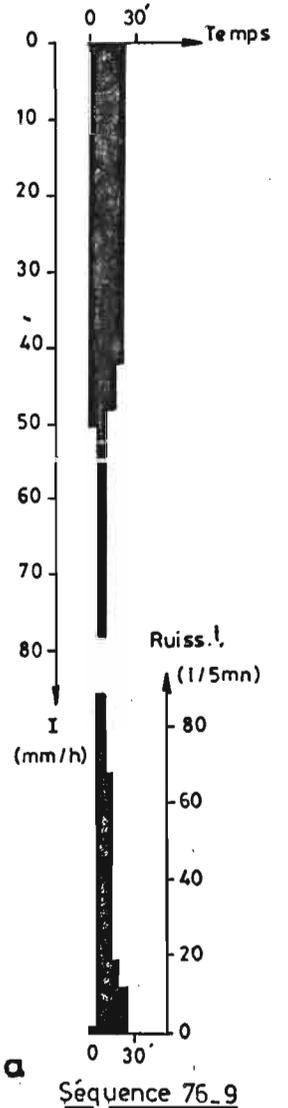
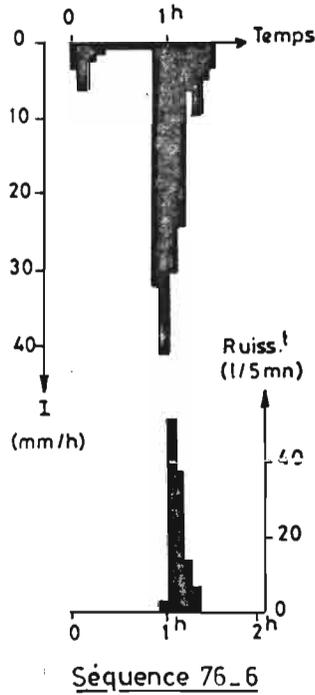
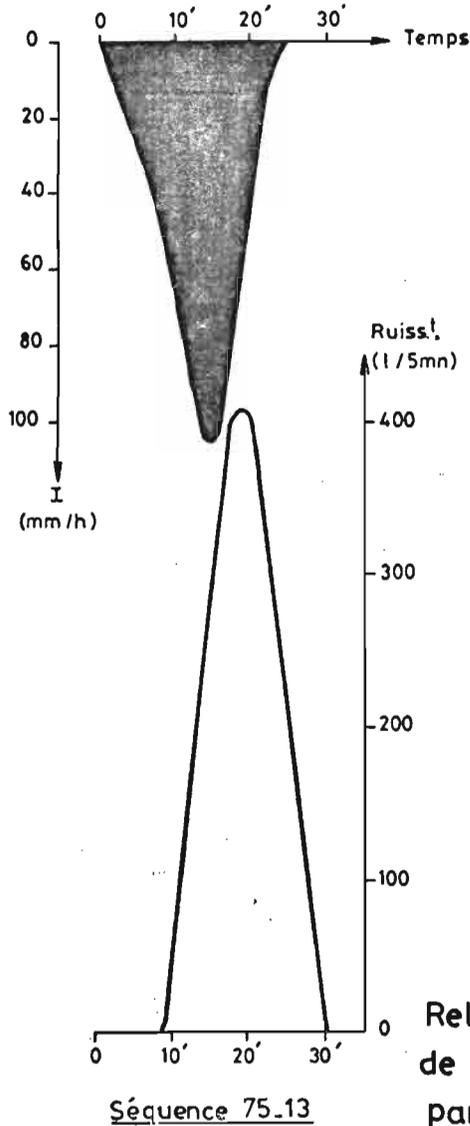
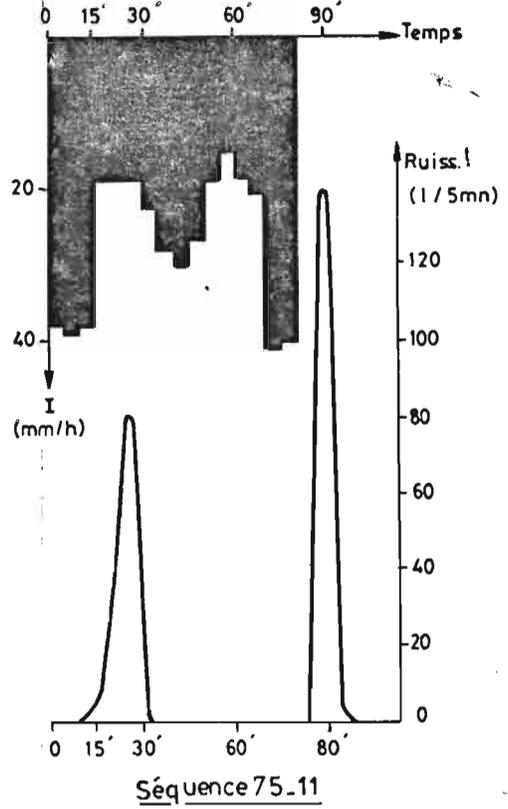
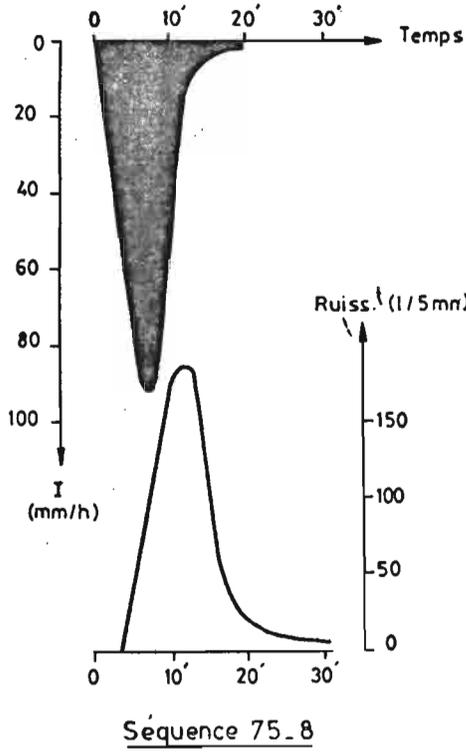


Fig. 30
Relations pluie_ruissellement
de quelques séquences dans la
parcelle garrigue

Cependant les observations que l'on peut faire dans l'environnement sont en contradiction avec les résultats ci-dessus, car elles montrent que le paysage tel qu'il se présente actuellement est fortement marqué par l'érosion.

Pour expliquer ces contradictions, il y a lieu de faire intervenir la notion de temps dans les processus d'érosion. Par exemple, l'abondante couverture d'éléments grossiers de la parcelle garrigue est le résultat d'une érosion laminaire qui par un entraînement des éléments les plus fins a provoqué l'accumulation résiduelle des graviers, cailloux..., non susceptibles d'être déplacés sur de grandes distances. Ce processus est sans doute ancien et il s'est "auto-freiné" au fur et à mesure que les éléments grossiers sont devenus progressivement plus abondants à la surface du sol.

Mais il est nécessaire aussi de situer les résultats obtenus en parcelles par rapport aux conditions expérimentales. Nous avons en effet étudié des processus sur une longueur de 22 mètres seulement alors qu'au-delà d'autres facteurs interviennent, comme la longueur et la forme de la pente, qui modifient les processus de ruissellement et d'érosion et augmentent leur intensité. Nous avons souvent observé ce phénomène sur les surfaces structurales de calcaire dur, de pente régulière (10 % environ) sur plusieurs centaines de mètres de longueur. Alors que la partie amont de ces surfaces portent un sol calcaire de 30 à 40 cm d'épaisseur, nous assistons progressivement à la diminution de l'épaisseur du profil à mesure que la longueur augmente et cette diminution va jusqu'à la disparition totale du sol qui met le calcaire dur à l'affleurement, dans la zone aval des surfaces structurales. Dans ce cas, la longueur de la pente intervient provoquant un effet cumulatif du ruissellement et une érosion notable, ce que ne permettent pas de mettre en évidence des parcelles courtes comme celles que nous avons utilisées.

De plus l'étude de l'érosion en milieu semi-aride doit tenir compte de la notion "d'évènement pluviométrique", c'est à dire de la pluie très intense provoquant une forte érosion mais qui est imprévisible et peut se produire à tout moment. On peut très bien avoir une telle pluie plusieurs fois au cours d'une même année, ou au contraire n'en avoir qu'une en dix ou quinze années. Dans ces conditions, l'érosion peut-être très importante à une époque donnée et négligeable durant plusieurs années.

Il est nécessaire aussi de situer les résultats pluviométriques obtenus durant les cinq années d'observations (1975-79) dans le contexte pluviométrique général de la région. A. LAFFORGUE (1981) en étudiant la pluviosité de Kasserine et Sbeitla (situées respectivement au SO et SE de la zone d'étude) de 1932 à nos jours, a pu montrer, par le cumul des écarts de pluviosité par rapport à la moyenne, l'existence de deux périodes distinctes, valable à l'échelle régionale : l'une, de 1935-36 à 1955-56 considérée comme relativement sèche, l'autre, de 1955-56 à 1975-76 comme relativement humide. A partir de 1975-76, la tendance serait à nouveau à une "période sèche" et nos observations sur parcelles correspondent à cette dernière période, ce qui permet de limiter la représentativité des résultats obtenus.

Les remarques ci-dessus, qui permettent d'expliquer les contradictions apparaissant entre les valeurs de l'érosion mesurées en parcelles et les observations que l'on peut faire dans le paysage montrent les limites du système d'étude utilisé, qui ne permet en aucun cas de généraliser les mesures faites à l'ensemble de la région.

5ème PARTIE - RESULTATS POUR 1979 *

Les résultats complets concernant l'année 1979 nous étant parvenus trop tardivement, nous n'avons pu les inclure avec ceux des années précédentes. Nous les présentons dans cette cinquième partie en les commentant par rapport aux analyses et interprétations faites dans la quatrième partie.

I - PLUVIOMETRIEI-1. Hauteur d'eau précipitée

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
5,3	55,3	57,0	78,6	13,7	23,6	0	70,1	70,2	17,6	15,9	0	407,3

Tableau V-1. Pluviométrie 1979 (en mm)

La pluviométrie annuelle de 1979 (407,3 mm) apparaît comme moyenne si on la compare à celle des quatre années précédentes : 469,6 mm en 1975, 597,6 mm en 1976, 318,2 mm en 1977 et 372 mm en 1978.

Les chiffres mensuels confirment l'irrégularité et la variabilité de la pluviosité. Deux mois ont été totalement secs, juillet, ce que nous avons déjà constaté et décembre, ce qui peut paraître plus surprenant. A noter les fortes hauteurs de pluies en avril et août, les plus importantes mesurées au cours des cinq années d'étude et inversement les faibles pluviométries de mai et novembre, les plus basses constatées de 1975 à 1979.

* La rédaction de cette 5e partie a été réalisée alors que le texte des quatre parties précédentes étaient à l'impression, ce qui explique certaines modifications dans les interprétations des résultats de 1979 par rapport aux années antérieures.

I-2. Répartition des pluies

	h	n
	(mm)	(%)
hiver	65,1	15,8
printemps	149,3	36,3
été	93,7	22,7
automne	103,7	25,2

Tableau V-2. Répartition saisonnière de la pluviométrie.

h = hauteur de pluie, en mm.

n = pourcentage par rapport à la pluie annuelle

hiver = D.J.F.

printemps = M.A.M.

été = J.J.A.

automne = S.O.N.

La répartition saisonnière de la pluviométrie confirme la prépondérance des pluies de printemps par rapport aux autres saisons. Si l'hiver accuse un déficit pluviométrique notable, l'automne a reçu une proportion moyenne de pluies, comparée aux années 1975 à 1978, alors que l'été a eu une pluviosité importante, qui s'est produite surtout durant le mois d'août.

Nous constatons comme pour les années précédentes l'existence de plusieurs périodes sèches : une première au printemps de 20 jours (10 mai au 29 mai), une seconde en été de 46 jours (17 juin au 1er août) et une troisième à la fin de l'automne - début de l'hiver de 42 jours (20 novembre au 31 décembre).

Nous retrouvons pour 1979 les deux périodes sèches qui se répètent assez régulièrement d'une année sur l'autre : la période sèche de l'été et la période sèche de l'automne.

I-3. Pluies unitaires

CLASSES	1	2	3	4	5	TOTAL
nombre de pluies unitaires	19	22	11	10	5	67
% n	28,4	32,8	16,4	14,9	7,5	
% h	2,6	12,7	20,8	32,7	31,2	

Tableau V-3. Pluies unitaires par classe de hauteur.

(% n = % du nombre de pluies unitaires par classe, par rapport au nombre annuel)

% h = % de la hauteur de pluie par classe par rapport à la pluviométrie annuelle.

Classe 1 = moins de 1 mm

Classe 2 = de 1 à 4,9 mm

Classe 3 = de 5 à 9,9 mm

Classe 4 = de 10 à 19,9 mm

Classe 5 = de 20 à 29,9 mm.

Le nombre de pluies unitaires est peu important et l'on constate l'absence de pluies supérieures à 30 mm, au cours de l'année 1979. La pluviométrie est constituée essentiellement par des pluies de faible hauteur, inférieures à 5 mm qui représentent 61,2 % du nombre annuel de pluies et 15,3% de la pluviométrie de l'année. Environ un tiers de cette dernière provient de 5 pluies de classe 5 et un autre tiers de 10 pluies de classe 4.

I-4. Conclusions

La pluviométrie mesurée durant l'année 1979 est analogue dans ses caractéristiques à celle des quatre années précédentes.

II - RUISSELLEMENTII-1. Bilan annuel

	H (mm)	h		L (mm)	K _H (%)	K _h (%)	N	NR	
		mm	%					n	%
Pg	407,3	169,2	41,5	31,7	7,8	18,7	67	11	16,4
Pb	407,3	169,2	41,5	1,8*	0,4*	1,1*	67	11	16,4

(* valeur sous-estimée car ruissellement non mesuré lors de deux séquences)

Tableau V-4. Bilan annuel du ruissellement en 1979 dans les deux parcelles.

(H = pluviométrie annuelle; h = hauteur d'eau annuelle des séquences ayant donné lieu à un ruissellement et pourcentage par rapport à H; L = lame d'eau annuelle ruisselée; K = coefficient de ruissellement annuel, par rapport à H et à h; N = nombre annuel de pluies unitaires; N_R = nombre annuel de pluies unitaires durant lesquelles a eu lieu un ruissellement (n) et pourcentage par rapport à N).

La proportion du nombre de pluies unitaires génératrices de ruissellement est faible, avec 16 %, ce qui représente 41,5 % de la hauteur de pluies annuelle.

La différence de comportement des deux parcelles apparaît avec le coefficient de ruissellement : alors que celui de la parcelle boisée reste très faible (0,4 %), celui de la parcelle garrigue a atteint 7,8 %.

Le bilan annuel de ruissellement, tel qu'il ressort des chiffres ci-dessus, est très semblable à celui des quatre années précédentes.

II-2. Résultats par séquence pluvieuse

L'ensemble des résultats concernant les onze séquences ayant donné lieu à un ruissellement dans les deux parcelles est présentée dans le tableau V-5 (voir explication des abréviations utilisées page 63).

Les différentes séquences sont les suivantes :

séquence 79-1 = 27.2.79(2). Ruissellement de 16h 15' à 17h 00.

séquence 79-2 = 10.4.79. De 15h 45' à 16h 10.

séquence 79-3 = 11.4.79. De 13h 40' à 14h 30'.

séquence 79-4 = 15.4.79. De 7h 00 à 7h 45'.

séquence 79-5 = 13.6.79. De 15h 10' à 16h 00.

séquence 79-6 = 2.8.79. De 18h à 18h 40'.

séquence 79-7 = 30.8.79.

séquence 79-8 = 31.8.79. De 15h 30' à 16h 10'.

séquence 79-9 = 1.9.79(1). De 9h 55' à 10h 15'.

séquence 79-10 = 1.9.79(2). De 18h 20' à 18h 45'.

séquence 79-11 = 21.9.79. De 6h 10' à 6h 30'.

Séquences	79-1	79-2	79-3	79-4	79-5	79-6	79-7	79-8	79-9	79-10	79-11	
H	11,8	15,4	5,5	23,6	12,4	28,9	12,2	20,7	19,7	11,8	7,2	
IN	5'	10,8	62,4	14,4	42,0	60,0	78,0	*	50,4	118,0	42,0	24,0
	10'	10,2	55,2	12,6	30,6	54,0	75,0	*	49,2	95,0	42,0	16,2
	15'	10,0	38,4	10,4	26,4	66,0	72,0	*	38,0	68,0	32,0	13,2
	30'	9,0	22,6	5,1	117,2	24,2	50,0	*	26,6	36,4	20,8	11,4
	60'	7,5	13,1	5,0	11,9	14,5	30,0	*	20,5	-	-	-
Eg	286	502	155	630	554	1250	-	800	770	415	215	
Rusa	1,48	6,54	0,46	6,24	7,72	36,0	-	12,26	16,15	4,98	1,41	
VP	1558	2033	726	3115	1637	3815	1610	2732	2600	1558	950	
Pg	VR	118	380	33	520	310	190	415	600	1080	480	53
	K	7,6	18,7	4,5	16,7	18,9	5,0	25,8	22,0	41,5	30,8	5,6
	HR	0,90	2,88	0,25	3,94	2,35	1,44	3,14	4,55	8,18	3,64	0,40
Fb	VR	18	27	6	33	27	40	33	43	*	*	13
	K	1,2	1,3	0,8	1,1	1,6	1,0	2,0	1,6	-	-	1,4
	HR	0,14	0,20	tr.	0,25	0,20	0,30	0,25	0,33	-	-	0,10

Tableau V-5. Caractéristiques des séquences pluvieuses ayant donné un ruissellement dans les deux parcelles en 1979.

II-3. Interprétations

II-3-1. Comparaison entre les deux parcelles

A l'échelle de la séquence pluvieuse, la différence de comportement des deux parcelles est très nette. En effet, alors que le coefficient de ruissellement dans la parcelle boisée a varié de 0,8 à 2 % pour les onze séquences concernées, dans la parcelle garrigue les valeurs de ce coefficient sont nettement plus fortes : de 4,5 à 41,5 %.

Des coefficients élevés dans cette dernière parcelle correspondent, d'une manière générale, aux plus forts coefficients dans la parcelle boisée, mais ce n'est pas toujours le cas et des coefficients, faibles pour la parcelle garrigue, peuvent correspondre à des coefficients qui sont notables pour la parcelle boisée : séquence 79-11 par exemple.

Ces résultats ne font que confirmer le rôle protecteur de la végétation vis-à-vis du ruissellement = une végétation de type arbustif comme celle de la parcelle boisée est suffisante pour réduire très fortement le ruissellement, par comparaison avec une végétation dégradée, de type buissonnant comme celle de la parcelle garrigue.

II-3-2. Le ruissellement dans la parcelle garrigue

Comme nous l'avions constaté ci-dessus (4ème partie, page 114-115), la hauteur de pluie n'est pas le facteur conditionnant le ruissellement. Ainsi la séquence 79-6 avec la plus forte pluviométrie ne donne lieu qu'à un ruissellement très faible de 5 %, tandis que des séquences de hauteurs moindres, comme les séquences 79-9 et 79-10, provoquent des ruissellements respectivement de 41,5 et 30,8 %.

D'une manière générale, il apparaît là aussi que le ruissellement dépend fortement des caractéristiques de la pluie (intensité maximale, index-pluie...).

Les résultats obtenus en 1979 ne permettent pas de préciser ou de modifier le minimum au seuil de déclenchement du processus de ruissellement en conditions les plus défavorables, que nous avons estimé à une valeur voisine de 28 mm de hauteur de pluie (voir p.115).

Certaines séquences, comme 79-2 et 79-3, comparables entre elles par leurs caractéristiques, provoquent un ruissellement semblables (tableau V-6).

	H (mm)	III 30 (mm/h)	Rusa	K(%)	h ₁	h ₂	h ₅	h ₁₀
79-2	15,4	22,6	6,54	18,7	9,3	9,3	9,3	18,2
79-8	20,7	26,6	12,26	22,0	12,2	12,2	12,2	16,7
79-1	11,8	9,0	1,48	7,6	15,6	25,8	25,8	25,8
79-10	11,8	20,8	4,98	30,8	20,7	43,5	55,7	55,7
79-9	19,7	36,4	16,15	41,5	22,8	35,0	35,0	39,5
78-9	19,0	35,0	9,64	21,1	0	0	0	5,2
79-6	28,9	50,0	36,0	5,0	0	0	0	0

Tableau V-6. Caractéristiques de quelques séquences de 1979.

(h₁, h₂... = pluie cumulée dans les 24, 48 heures, 5 et 10 jours précédent le ruissellement).

Comme pour les quatre années précédentes, nous constatons que l'humidité du sol avant le ruissellement influence ce dernier. Ainsi, la séquence 79-9 (tableau V-6) provoque un ruissellement très important = 41,5 %. Comparée à une séquence identique dans ses caractéristiques (78-9) mais ne provoquant qu'un ruissellement réduit de moitié environ (22,1 %), nous mettons en évidence le rôle de l'humidité préalable du sol : alors que la séquence 79-9 a lieu sur un sol humide (h₁ = 22,8 mm et h₂ = 35 mm), la séquence 78-9 se produit sur un sol "sec" n'ayant pas reçu de pluie dans les huit jours précédent le ruissellement.

Un pluie de faible hauteur comme la séquence 79-3 (5,5 mm) et très peu agressive (III 30 = 5,1 mm/h) provoque cependant un ruissellement notable de 4,5 %, favorisé par l'état d'humectation du sol avant la pluie : h₁ = 15,4 mm et h₂ = 24,7 mm. En comparaison, la séquence 79-11 (7,2 mm) qui est pourtant plus agressive (III 30 = 11,4 mm/h) provoque un ruissellement comparable (5,6 %) mais cette séquence a lieu sur un sol n'ayant pas reçu de pluie dans les huit jours antérieurs.

Le cas de la séquence 79-6 peut paraître anormal = il s'agit en effet d'une pluie très intense ne provoquant qu'un très faible ruissellement (5 %). Mais elle intervient après une longue période sèche de 46 jours, ce qui explique le faible coefficient de ruissellement.

Pour une pluie de hauteur donnée, le ruissellement est d'autant plus fort que l'agressivité de la pluie est élevée et que l'état d'humectation du sol est important, comme le montrent les séquences 79-1 et 79-10. Cette dernière provoque en effet un ruissellement de 30,8 %, quatre fois plus fort que la séquence 79-1, et l'agressivité de la pluie n'est pas suffisante pour expliquer seule la différence entre les ruissellements. Il faut faire intervenir aussi l'humidité préalable du sol avant la pluie, qui amplifie le ruissellement lors de la séquence 79-10 (tableau V-6).

Les résultats obtenus en 1979 viennent s'intégrer parfaitement aux graphiques synthétiques montrant les relations entre le coefficient de ruissellement, l'indice d'agressivité climatique et l'humidité préalable du sol (voir figure 27, p.119).

En particulier les séquences 79-2/79-8 d'une part, et 79-9/79-10 d'autre part, viennent compléter et préciser respectivement les courbes h_1 8-12 mm et h_1 20-24 mm de la relation $R_{usa} = f(K_R)$ = figure 27A, p.119). Pour ces quatre séquences, les résultats sont les suivants :

séquence 79-2	$h_1 = 9,3$ mm,	$R_{usa} = 6,54$;	$K_R = 18,7$ %
" 79-8	$h_1 = 12,2$ mm,	$R_{usa} = 12,26$;	$K_R = 22,0$ %
" 79-9	$h_1 = 22,8$ mm,	$R_{usa} = 16,15$;	$K_R = 41,5$ %
" 79-10	$h_1 = 20,7$ mm;	$R_{usa} = 4,98$;	$K_R = 30,8$ %

Les quatre points obtenus viennent ainsi confirmer les 2 courbes h_1 8-12 mm et h_1 20-24 mm, ce qui permet d'établir une liaison assez précise entre le ruissellement de la parcelle garrigue et l'indice d'agressivité climatique, pour une humidité préalable du sol h_1 variant de 8 à 24 mm.

Relations	Coefficient de corrélation	Equation de la régression
$K_R = f(IM\ 5)$	0,850	$K_R = 0,310\ IM\ 5 + 4,35$
$K_R = f(IM\ 10)$	0,883	$K_R = 0,388\ IM\ 10 + 3,12$
$K_R = f(IM\ 15)$	0,870	$K_R = 0,549\ IM\ 15 + 1,56$
$K_R = f(IM\ 30)$	0,889	$K_R = 1,192\ IM\ 30 - 4,84$

Tableau V-7. Relations ruissellement-intensité maximale de la pluie dans la parcelle garrigue pour 1979.

(n = 8 valeurs)

Comme pour les années précédentes, les corrélations entre le coefficient de ruissellement et les intensités maximales de la pluie sur des périodes de 5 à 30 minutes sont très significatives (tableau V-7), mais à la différence des années antérieures, les relations établies pour 1979 ont un coefficient de corrélation voisin. Nous n'avons pas calculé la corrélation avec IM 60, étant donné le faible nombre de pluies ayant atteint cette durée.

III - EROSION HYDRIQUE

III-1. Erosion mécanique

Sur 11 séquences ayant donné lieu à un ruissellement dans les deux parcelles en 1979, sept ont été des "pluies érosives" dans la parcelle garrigue et aucune dans la parcelle boisée.

L'érosion totale dans la parcelle garrigue (tableau V-8) a été de 13,7 kg soit 1,03 tonne à l'hectare, ce qui dépasse largement le résultat cumulé des quatre années antérieures, qui avait atteint 6,61 kg soit 0,6 tonne à l'hectare pour 4 ans.

Si avec 1 tonne/ha l'érosion dans la parcelle garrigue est notable, il est curieux de constater au contraire, l'absence d'érosion dans la parcelle boisée.

Nous remarquons que trois séquences (79-8, 79-9 et 79-10) représentent à elles seules près de 60 % de l'érosion annuelle de 1979, ce qui dépasse l'érosion cumulée de 1975 à 1979.

Séquences	masse totale	terre fine	éléments grossiers
79-2	1,8	1,7	0,1
79-4	0,2	0,2	-
79-5	1,3	1,1	0,2
79-6	2,6	2,2	0,4
79-8, 79-9 et 79-10	7,8	7,0	0,8
TOTAL 1979	13,7	12,2	1,5

Tableau V-8. Matériaux érodés dans la parcelle garrigue pour 1979 (en Mg).

Ce résultat rejoint la notion "d'évènement pluviométrique" évoquée ci-dessus (4ème partie, p.127) : trois pluies successives réparties sur 48 heures, respectivement de 20,7, 19,7 et 11,8 mm et relativement agressives, ont en effet provoqué une érosion supérieure à celle des quatre années précédentes.

Le caractère imprévisible du "processus érosif" est ainsi mis en évidence et il nous a fallu attendre près de cinq années pour mesurer une érosion assez importante, due essentiellement à la répétition de trois pluies rapprochées dans le temps. Celles-ci n'ont d'ailleurs aucun caractère exceptionnel que ce soit dans leur hauteur ou dans leur "agressivité" (IM 30 de 20 à 36 mm/h et Rusa de 5 à 16), et des pluies plus agressives doivent provoquer une érosion plus importante.

La composition des terres érodées pour les différentes séquences est donnée dans l'annexe IV.

III-2. Erosion chimique

Les caractères généraux des eaux de ruissellement des deux parcelles pour 1979 sont semblables à ceux des années antérieures (p.85).

La relation conductivité-concentration totale en éléments dissous est la suivante, pour l'ensemble des résultats des deux parcelles (voir annexe IV) :

$$\text{minéralisation totale (mg/l)} = 0,353 \text{ conductivité (mhos/cm)} + 7,0$$

(coefficient de corrélation = 0,989; n = 45 valeurs)

Comme pour les années précédentes, seuls les ions Ca et CO_3H sont en corrélation très significatives avec la conductivité dans les eaux de ruissellement des deux parcelles. Là aussi, la corrélation est meilleure avec la somme Ca + Mg qu'avec le calcium seul.

Les relations entre ces différents éléments sont les suivantes :

Parcelle garrigue :

(n : 37 valeurs)

$$\text{Ca (mg/l)} = 0,200 \text{ conductivité} - 8,61 \text{ (corrélation } r = 0,984)$$

$$\text{Ca + Mg (mg/l)} = 0,203 \text{ conductivité} - 3,10 \text{ (corrélation } r = 0,992)$$

$$\text{CO}_3\text{H (mg/l)} = 0,646 \text{ conductivité} - 11,31 \text{ (corrélation } r = 0,984)$$

Parcelles boisée :

(n = 8 valeurs)

$$\text{Ca (mg/l)} = 0,174 \text{ conductivité} - 4,74 \text{ (corrélation } r = 0,989)$$

$$\text{Ca + Mg (mg/l)} = 0,186 \text{ conductivité} - 1,94 \text{ (corrélation } r = 0,992)$$

$$\text{CO}_3\text{H (mg/l)} = 0,656 \text{ conductivité} - 23,64 \text{ (corrélation } r = 0,996)$$

Les eaux de ruissellement dans les deux parcelles sont bicarbonatées calciques - le calcium domine largement les cations et le bicarbonate les anions tandis que les ions Ca + Mg équilibrent l'ion bicarbonate.

Les variations dans la composition des eaux de ruissellement à l'échelle d'un ruissellement sont vérifiées pour 1979 et les premiers litres ruisselés sont en général les plus chargés en calcium et bicarbonate, alors

qu'ensuite, il y a tendance à une diminution puis à une stabilisation des quantités dissoutes.

Le cycle saisonnier mis en évidence au cours des années antérieures se retrouve en 1979, malgré le faible nombre de séquences. Au printemps les quantités de calcium dissoutes par les eaux de ruissellement se situent aux environs de 20 mg/l. En août, elles atteignent 65 mg/l (début du mois) puis 50 mg/l vers la fin août et au début du mois de septembre. Pour le bicarbonate, les quantités dissoutes sont respectivement les suivantes pour les mêmes époques : 70 mg/l, 220 mg/l et 190 mg/l. C'est durant la période estivale que les eaux de ruissellement sont le plus chargées en calcaire, ce que nous avons expliqué ci-dessus (p.101) par l'existence de deux voies de dissolution du carbonate : une voie physico-chimique et une voie biologique.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Une étude sur les processus du ruissellement et de l'érosion a été entreprise dans une zone montagneuse de Tunisie centrale, en milieu méditerranéen semi-aride, de 1975 à 1979.

Cette région est un milieu forestier plus ou moins dégradé où le ruissellement et l'érosion sont conditionnés par la couverture végétale. Pour étudier cette influence, nous avons installé deux parcelles classiques dites "d'érosion" (22 x 6 m) qui diffèrent uniquement par la densité et la structure de la végétation, tous les autres paramètres étant semblables. La totalité des eaux de ruissellement et des transports solides sont récupérés à l'aval de chacune des deux parcelles, permettant ainsi l'analyse des sédiments et des eaux et le calcul des volumes écoulés.

La pluie est la cause primaire du ruissellement et de l'érosion-hydrrique. Elle se caractérise par une forte irrégularité, aussi bien à l'échelle annuelle qu'au niveau inter-annuel. Il n'y a pas de saison des pluies bien définie et un même mois peut être très pluvieux une année et sec l'année suivante. De plus, en replaçant les cinq années d'observations (1975-79) dans le contexte pluviométrique général de la région de 1932 à nos jours, il semblerait qu'à partir de 1975-76, la pluviosité serait dans une phase de relative sécheresse, succédant à une période plus humide de 1955-56 à 1975.

Ces caractéristiques pluviométriques font que l'étude du ruissellement et de l'érosion devient aléatoire sur de courtes périodes et les résultats que nous avons obtenus ne peuvent être totalement représentatifs des diverses possibilités climatiques de la région.

Le ruissellement est très différent dans les deux parcelles. Dans l'une (parcelle boisée), avec une végétation de type arboré, le ruissellement est "borné" à une valeur maximum de 3 %, alors que dans l'autre (parcelle garrigue) où le couvert végétal est beaucoup plus ouvert et moins abondant, il atteint 55 %. Le rôle de la végétation apparaît ainsi primordial vis-à-vis de l'intensité du ruissellement, mais il n'est pas nécessaire que le couvert végétal soit très dense comme dans la parcelle boisée pour que le ruissellement soit réduit notablement. En effet, au cours de la mise

en défens des parcelles durant deux années, nous avons pu mesurer un accroissement spatial important de la végétation de la parcelle garrigue (de 32 à 42 % en terme de recouvrement et de 100 à 243 en terme de biovolume) qui a été suffisant pour réduire le ruissellement dans cette parcelle. Durant cette même période, la végétation de la parcelle boisée a peu évolué car se trouvant à un stade d'équilibre avec le milieu.

Sur le plan pratique, ces résultats montrent qu'une végétation arbustive basse du type garrigue, qui occupe de grandes surfaces dans les zones montagneuses de Tunisie centrale, n'est pas irréversiblement dégradée puisque une simple mise en défens provoque un accroissement notable des diverses espèces végétales. En plus de sa vocation forestière, un tel milieu pourrait être utilisé à des fins pastorales mais avec des aménagements et des rotations organisés et surveillés de manière rigoureuse.

Ce n'est pas la hauteur d'eau précipitée qui détermine l'intensité du ruissellement, mais essentiellement l'agressivité de la pluie, et en particulier son intensité maximale sur 30 ou 60 minutes. Secondairement intervient l'état d'humectation du sol et une pluie pourra produire un ruissellement d'autant plus fort que le sol sera plus humecté dans les 24 ou 48 heures antérieures.

L'érosion mécanique est pratiquement nulle dans la parcelle boisée et faible dans la parcelle garrigue : 125 kg/ha/an de 1975 à 1978. Cette basse valeur de l'érosion s'explique par la présence d'une couverture d'éléments grossiers en surface de la parcelle qui protège le sol de l'effet destructeur des gouttes de pluie. De plus, durant la période d'étude, les pluies intenses susceptibles de provoquer des phénomènes d'érosion importants ont été pratiquement inexistantes. Seule une succession de trois pluies en 48 heures, d'intensité moyenne ont provoqué en 1979 une érosion notable (1 tonne/ha) très supérieure à l'érosion cumulée des quatre années antérieures.

La composition des terres érodées est très voisine de celle de la partie supérieure de l'horizon de surface du sol.

Les eaux de ruissellement sont bicarbonatées calciques et elles sont légèrement plus chargées en parcelle boisée qu'en parcelle garrigue.

Il existe une très bonne relation entre la conductivité électrique mesurée de ces eaux avec respectivement la concentration totale en éléments

dissous, la teneur en calcium, la teneur en calcium et magnésium et la teneur en bicarbonate.

Ces relations permettent de déterminer avec une bonne précision les teneurs de ces éléments à partir de la seule mesure de la conductivité. La détermination de cette dernière "in situ" pourrait permettre de s'affranchir des analyses d'eaux en laboratoire.

La composition des eaux de ruissellement présente des variations à la fois à l'échelle du ruissellement et au niveau saisonnier.

D'une manière générale, ces eaux sont plus chargées en début de ruissellement car elles "reprennent" les éléments très fins déposés antérieurement durant les périodes séparant chaque séquence. Ensuite les quantités dissoutes diminuent puis se stabilisent.

Les eaux présentent des variations saisonnières notables. Alors que les eaux d'hiver et de printemps sont en général peu chargées, elles le deviennent progressivement beaucoup plus pour atteindre un maximum en été. Ensuite, il y a diminution durant l'automne jusqu'aux faibles valeurs de l'hiver. Ce cycle saisonnier s'explique par deux processus de solubilisation du calcaire : une voie physico-chimique se produisant tout au long de l'année mais qui est la seule existante en hiver, et une voie biologique s'ajoutant à la précédente essentiellement en été lorsque les conditions de chaleur et d'humidité sont réunies et qui explique les plus fortes teneurs en calcium et bicarbonate dissous durant cette période.

B I B L I O G R A P H I E

AMANDIER (L.) - 1977 -

Rapport sur les mesures phyto-écologiques diachroniques du bassin versant du centre tunisien.

Rapport CRSTOM Tunis, dactylogr. , 14 p.

BAGNOULS (F.), GAUSSEN (H.) - 1957 -

Les climats biologiques et leur classification.

Ann. Géogr., 335, pp. 193-220.

BALDY (C.). - 1965 -

Projet de planification rurale intégrée de la Tunisie Centrale.

Climatologie et bioclimatologie agricole de la Tunisie Centrale.

Rapport définitif abrégé - 1 vol., ronéo, 40 p., 1 vol., annexes, 1 vol., cartes

EISMUTH (H.). - 1973 -

Réflexions stratigraphiques sur l'Albo-Aptien dans la région des djebels Douleb et Semmana et son environnement. (Tunisie du Centre-Nord) - in "Livre Jubilaire E. SOLIGNAC", Annales des Mines et de la Géologie, Tunis, n° 26, pp. 179-212, bibl. (33 réf.).

BROWN (D.) - 1954 -

Methods of surveying and measuring vegetation.

Bull. (42), Com. Agric., Dom. Farnham Royal, Bucks, 1 vol., 223 p.

Carte Phyto-Écologique de la Tunisie Septentrionale - Echelle 1/200.000.

1967 - Feuille IV = Maktar - Kairouan - Feuille V = Le Kef - Thala - Fériana -

Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie, vol. 40, fasc. 2, notice détaillée 426 p. cartes et tableaux.

CLAUZON (G.), VAUDOUR (J.) - 1971 -

Ruissellement, transports solides et transports en solution sur un versant aux environs d'Aix-en-Provence.

Rev. Géogr. phys. géol. dyn., Paris, (2), vol. XIII, fasc.5, pp.489-504, bibl. (35 réf.).

Climatologie et bioclimatologie de la Tunisie septentrionale,-1969.

Ann. Inst.Nat. Rech. Agron. Tunisie, Tunis, vol. 42, fasc.1, 1 vol., texte, 235 p., cartes et tableaux.

COMBEAU (A.) - 1972 -

Cours sur l'érosion, donné aux élèves pédologues de l'ORSTOM.
Non publié.

CORMARY (Y.), MASSON (J.) - 1964 -

Etude de conservation des eaux et du sol au centre de recherches du génie rural de Tunisie. Application à un projet-type de la formule de perte de sols de Wischmeier.

Cah. ORSTOM, série Pédologie, Paris, vol.II, fasc.3, pp.3-26, bibl. (6 réf.)

DAGET (Ph.), POISSONET (J.) - 1969 -

Analyse phytologique des prairies - Applications agronomiques.
CNRS-CEPE, doc. n°48, 67 p.

DAGET (Ph.), POISSONET (J.) - 1971 -

Une méthode d'analyse phytologique des prairies - Critères d'application.

Ann. Agron., 22 (I), pp.5-41.

DEFFONTAINES (J.P.), MOUTARD (E.) - 1968 -

Essai d'appréciation du danger d'érosion dans les vergers de fortes pentes en Moyen Vivarais.

Ann. Agron., 19, 3, pp. 349-364.

Direction des Forêts - 1967 -

Forêt domaniale du djebel Sannama - 1ère série : 4042 ha. Procès-verbal d'aménagement 1967-1

République tunisienne - arrondissement des études et aménagements. 1 vol., 103 p., 1 carte.

EMBERGER (L.) - 1930 -

La végétation de la région méditerranéenne, essai d'une classification des groupements végétaux.

Rev. Gén. de Botanique, t.42, pp. 641-662 et pp. 705-721.

EMBERGER (L.) - 1955 -

Une classification biogéographique des climats - Recueil des Trav. de la Fac. des Sci. de Montpellier, série Botanique, fasc.7, pp.3-43.

EMBERGER (L.) - 1960 -

Le climat méditerranéen au point de vue biologique.

Inst. Botanique, Montpellier, 16 p., ronéo.

Etude hydrologique préliminaire des oueds Zérouk et Nerguellil - 1975 -

Ouvrage collectif - DRES, ORSTOM, Tunis, 6 livrets.

FOURNIER (F.) - 1954 -

La parcelle expérimentale . Méthode d'étude expérimentale de la conservation du sol, de l'érosion et du ruissellement.

Extrait du rapport de la mission C.E.C.E. "Etude des Sols" aux Etats-Unis (T.A. 38-63).

I.D.E.R.T. Bondy, 1 vol., 70 pp., multigr.

FOURNIER (F.) - 1956 -

Les formes et types d'érosion du sol par l'eau en Afrique occidentale française.

Note présentée à l'Académie d'Agriculture de France (séance du 29 Février 1956), 14.p., multigr

FOURNIER (F.) - 1960 -

Climat et érosion.

P.U.F., Paris, 1 vol., 201 p.

GAUSSEN (H.), VERNET (A.) - 1959 -

Carte des précipitations en Tunisie - 2 feuilles au 1/500.000.

Ministère de l'Agriculture, Tunis.

GODRON (M.) - 1968 -

Quelques applications de la notion de fréquence en écologie végétale.

Oecol. Plant., III, pp. 185-212.

GOUNOT (M.), LE HOUEROU (H.N.) - 1967 -

Carte bioclimatique de la Tunisie septentrionale - Etages et variantes - 1 feuille au 1/500.000° - Gouvernement tunisien, CNRS Paris.

GRAS (F.) - 1975 -

Les sols très calcaires du Liban-sud. Evolution et mise en valeur.

Thèse Doct. Ing., ORSTOM Paris, Institut européen d'Ecologie Metz, 1 vol., 206 pp., bibl. (3 p.).

GREIG-SMITH (P.) - 1964 -

Quantitative plant ecology.

Butterworths Sc. Publ., London, 256 p.

HASSETT (J.J.), JURINACK (J.J.). - 1971 -

Effect of Mg^{++} ion on the solubility of solid carbonates.

Soil. Sci. Amer. Proc., vol. 35, pp. 403-406.

HAUBERT (M.). - 1975 -

Bilan hydrochimique d'un bassin versant de moyenne montagne = la Dranse de Bellevaux (Brevon) - Haute-Savoie -

Thèse de Doctorat de 3^e cycle géodynamique externe, Université Pierre et Marie Curie, Centre de Recherches Géodynamique de Thonon, 1 vol., 331 p.

- HEUSCH (B.), KALMAN (R.), DUHAMEL (P.L.), ROBERT (P.). - 1970 -
Etudes sur l'érosion.
Numéro spécial des Annales de la recherche forestière au Maroc,
tome 12, station de recherches forestières de Rabat.
- LE HOUEROU (H.N.). - 1959 -
Recherches écologiques et floristiques sur la végétation de la
Tunisie Méridionale. Première partie : Les Milieux Naturels,
La Végétation.
Université d'Alger, Institut de Recherches Sahariennes, mémoire
n° 6, 1 vol., 281 p., bibl. (11 p.).
- LE HOUEROU (H.N.). - 1969 -
La végétation de la Tunisie Steppique.
Annales Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie, vol. 42, fasc. 5, 646 p.
annexe 4 (cartes et tableaux).
- I.N.S. - 1975 -
Population par unité administrative. Densité de population -
République tunisienne, Ministère du Plan, Institut National
de la Statistique.
- JOFFRE (R.) - 1978 -
Notice des cartes de la végétation du bassin versant de l'oued
el Hissiane (Centre Tunisien).
ORSTOM, Tunis, 1 vol., ronéo, 34 pp., 3 cartes.
- MARTIN (C.). -1975 -
L'érosion des sols sur roches métamorphiques en milieu méditer-
ranéen provençal : les enseignements d'une station expérimenta-
le.
Rev. Géomorph. dyn., Paris, XXIV, 2, pp. 49-63, bibl. (8 réf.).
- MARTIN (C.). - 1975 -
Composition chimique des eaux et érosion des sols sur phyllades,
dans le massif des Maures.
Note inédite fournie par l'auteur, 20 p. dactylo. bibl. (10 réf.).

MASSON (J.M.). - 1971 -

L'érosion des sols par l'eau en climat méditerranéen.
Méthodes expérimentales pour l'étude des quantités érodées à l'échelle du champ.
Thèse Sci., 1 vol. 351 p.

MOLINIER (M.). - 1976 -

Qualité des eaux de surface en zone forestière équatoriale de Côte d'Ivoire.
Cah. ORSTOM, sér. hydrol., vol. XIII, n°1, pp. 7-36, biblio. (6 réf.).

FOCHON (M.). - 1974 -

Origine et évolution des sols et phénomènes d'altération en pays calcaire tempéré humide (le Haut-Jura Suisse).
Thèse - Université de Neuchâtel.

ROOSE (E.). - 1967 -

Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement au Sénégal.
Agron. Trop., vol.22, n°2, pp. 123-152, bibl. (28 réf.).

ROOSE (E.) - BIROT (Y.). - 1970 -

Mesure de l'érosion et du lessivage oblique et vertical sous une savane arborée du plateau Mossi. (Gongé - Haute-Volta).
I - Résultats des campagnes 1968-69.
Rapport multigr. ORSTOM (Abidjan), CTFT (Ouagadougou), 148 p. bibl. (72 réf.).

ROOSE (E.). - 1973 -

Dix sept années de mesures expérimentales de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de basse Côte d'Ivoire. Contribution à l'étude de l'érosion hydrique en milieu intertropical.
Rapport multigr. ORSTOM (Abidjan), 149 p. bibl. (123 réf.).
(Thèse de Docteur Ingénieur, Faculté des Sciences d'Abidjan).

- ROOSE (E.J.), ARRIVETS (J.), POULAIN (J.F.). - 1974 -
 Etude du ruissellement, du drainage et de l'érosion sur deux
 sols ferrugineux de la région centre Haute-Volta. Bilan de
 trois années d'observation à la station de Saria.
 Rapport multigr. ORSTOM, IRAT (Abidjan), 80 p. Bibl. (29 réf.).
- SMITH (D.D.), WISCHMEIER (W.H.). - 1962 -
 Rainfall erosion.
 Advances in agronomy, vol. 14, pp. 109-144.
- STCHOUZKOY - LUXART (T.). - 1971 -
 Contribution à l'étude de la solubilité de la calcite dans l'eau
 en présence d'anhydride carbonique à 20° et 30°. Bull. de l'As-
 soc. des Géogr. Français - n°389-390, mai-juin 1971.
- Symposium "Erosion et transports solides dans les eaux continentales"-1977-
 Actes du Colloque de Paris, juillet 1977, AISH Publication n°
 122, 1 vol., 352 p.
- WISCHMEIER (W.H.), SMITH (D.D.), UHLAND (R.E.). - 1958 -
 Evaluation of factors in the soil loss equation.
 Agr. Engineering, t. 39, n°8, pp. 458-462.
- WISCHMEIER (W.H.), SMITH (D.D.). - 1958 -
 Rainfall energy and its relationship to soil loss.
 Trans. Amer. Géol. Un., t. 39, n° 2, pp. 285-291.
- WISCHMEIER (W.H.). - 1959 -
 A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation.
 Soil Sci. Soc. Amer. Proc., t.23, pp. 246-249.
- WISCHMEIER (W.H.). - 1960 -
 Crapping-management factor evaluations for a universal soil
 loss equation.
 Soil Sci. Soc. Amer. Proc., t. 24, pp. 322-326.

WISCHMEIER (W.H.), SMITH (D.D.). - 1960 -

A universal soil-loss estimating equation to guide conservation form planning.

Trans - 7th. Intern. Congr. Soil. Sci., vol.1, pp. 418-425.

LAFFORGUE (A.). - 1981 -

Etude hydrologique de l'oued Négada à la station de BLED LASSOUED.

D.R.E.S., Div. Ress. en Eau, TUNIS, 1 vol., multigr., 102 p.

Annexe I = Pluviométrie : pluies unitaires (en mm) de 1975 à 1979.

Annexe II = Répartition des pluies unitaires par classe de hauteur de 1975 à 1979.

Annexe III = Composition chimique des eaux de ruissellement des deux parcelles de 1975 à 1979.

Annexe IV = Composition des terres érodées des deux parcelles de 1975 à 1979.

ANNEXE I

PLUVIOMETRIE - PLUIES UNITAIRES (mm)

- ANNEE 1975 -

MOIS	DATE	PLUVIO. 1	1A	1B	MOYENNE
Janvier	01.01.75	1,2	1,3	1,9	1,5
	20.01.75	10,3	10,5	10,5	10,4
	22.01.75	0,45	0,5	0,5	0,5
	24.01.75 (1)	2,0	1,7	1,6	1,8
	24.01.75 (2)	3,0	3,3	3,6	3,3
Février	03.02.75	89,8	89,4	88,9	89,4
	10.02.75	2,55	2,5	2,5	2,5
	11.02.75	2,0	2,0	2,1	2,0
	12.02.75	8,7	7,6	7,3	7,9
	15.02.75	3,15	2,9	2,9	3,0
	17.02.75 (1)	5,4	5,8	6,4	5,9
	17.02.75 (2)	6,6	7,2	6,5	6,8
	18.02.75	0,3	1,2	0,7	0,7
	25.02.75	1,0	1,1	1,1	1,1
26.02.75	0,1	0,2	0,1	0,1	
Mars	07.03.75	0,35	0,3	0,4	0,4
	09.03.75	2,05	1,85	2,05	2,0
	16.03.75	1,6	1,7	1,55	1,6
	20.03.75	percé	11,5	10,9	11,2
	22.03.75	percé	3,6	3,05	3,3
	31.03.75	16,5	16,5	15,3	16,1
Avril	01.04.75	1,6	1,7	1,3	1,5
	09.04.75	0,25	0,2	0,25	0,2
	13.04.75	0,9	0,95	0,9	0,9
	14.04.75	41,5	41,2	41,1	41,3
	22.04.75	5,4	5,4	5,4	5,4
	23.04.75 (1)	3,4	2,9	3,3	3,2
	23.04.75 (2)	0,75	0,65	0,5	0,6
	27.04.75	1,15	1,0	1,0	1,1
	29.04.75	0,15	0,15	0,2	0,2
30.04.75	3,1	3,0	3,2	3,1	
Mai	04.05.75	3,65	3,5	3,5	3,5
	06.05.75	1,2	1,2	1,15	1,2
	05.05.75	5,05	5,15	5,05	5,1
	11.05.75 (1)	1,3	1,2	1,3	1,3
	11.05.75 (2)	13,9	13,2	13,6	13,6
	13.05.75	0,3	0,8	0,8	0,6
	23.05.75	5,7	5,6	5,8	5,7
	24.05.75	15,1	15,6	16,1	15,6

MOIS	DATE	PLUVIO. 1	1A	1B	MOYENNE
Juillet	23.07.75	1,1	1,0	1,0	1,0
Août	13.08.75	2,3	2,4	2,5	2,4
	15.08.75	5,2	6,25	6,2	5,9
	16.08.75	10,0	10,8	10,2	10,3
	22.08.75	3,0	3,1	3,3	3,1
	23.08.75	18,4	19,25	19,7	19,1
	30.08.75	3,1	3,4	2,5	3,0
Septembre	03.09.75	1,2	1,3	1,4	1,3
	13.09.75	1,8	1,8	1,6	1,7
	20.09.75	24,2	23,7	25,0	24,3
	21.09.75	20,6	21,1	20,2	20,6
	22.09.75	9,9	9,2	9,8	9,6
	24.09.75	11,9	12,4	12,8	12,4
	25.09.75	1,4	1,5	1,3	1,4
Octobre	28.10.75	3,9	4,2	4,0	4,0
	29.10.75	1,2	1,2	1,1	1,2
Novembre	03.11.75 (1)	4,2	4,1	4,0	4,1
	03.11.75 (2)	28,1	27,1	27,4	27,5
	04.11.75	13,5	15,3	15,65	14,8
	06.11.75	0,55	0,55	0,5	0,5
	08.11.75	7,6	7,8	8,5	8,0
	18.11.75	2,4	2,2	2,45	2,4
	23.11.75	0,4	0,5	0,5	0,5
Décembre	02.12.75	1,0	1,0	1,0	1,0
	10.12.75	4,4	4,3	4,4	4,4
	12.12.75	0,4	0,4	0,4	0,4
	13.12.75	0,3	0,3	0,3	0,3
	19.12.75	2,6	2,4	2,5	2,5
	20.12.75	5,5	5,5	5,7	5,6
	25.12.75	0,25	0,25	0,25	0,2
	26.12.75	0,35	0,3	0,3	0,3
	27.12.75	0,25	0,25	0,2	0,2

ANNEE 1976

Janvier	08.01.76	2,4	2,5	2,4	2,4
	09.01.76	20,8	24,1	20,9	21,9
	11.01.76	0,1	0,1	0,1	0,1
	14.01.76	1,5	1,4	0,6	1,5
	16.01.76	2,7	2,8	2,8	2,8
	17.01.76	0,5	0,6	0,5	0,5
	18.01.76	0,6	0,55	0,65	0,6
	27.01.76	1,8	1,3	1,9	1,7

MOIS	DATE	PLUVIO.1	1A	1B	MOYENNE
Février	01.02.76	4,3	4,1	4,0	4,1
	05.02.76	1,8	1,3	1,8	1,6
	06.02.76	1,9	1,3	1,9	1,9
	07.02.76	6,3	7,2	7,15	6,9
	08.02.76	0,5	0,5	0,5	0,5
	10.02.76	0,1	0,1	0,05	0,1
	11.02.76	0,6	0,7	0,6	0,6
	12.02.76	3,4	3,2	3,4	3,3
	15.02.76	6,0	6,5	7,0	6,5
	21.02.76	2,9	3,2	3,2	3,1
	23.02.76	10,6	9,3	10,55	10,2
	24.02.76	1,1	1,0	1,0	1,0
	25.02.76 (1)	1,3	1,3	1,3	1,3
	25.02.76 (2)	3,0	2,6	3,0	2,9
	26.02.76	2,3	2,3	2,3	2,3
	27.02.76	13,2	12,7	13,4	13,1
28.02.76	0,2	0,1	traces	0,1	
Mars	03.03.76	2,0	1,5	2,2	1,9
	05.03.76	3,0	2,3	2,9	2,9
	06.03.76	1,8	1,85	2,0	1,9
	09.03.76	11,7	11,6	11,3	11,5
	10.03.76	9,9	8,8	9,9	9,5
	11.03.76	8,2	7,95	8,95	8,4
	13.03.76	7,9	8,0	8,0	8,0
	16.03.76	2,0	1,5	2,0	1,8
	17.03.76	0,5	0,2	0,6	0,4
	23.03.76	1,5	0,7	0,7	1,0
	26.03.76	16,8	16,2	17,2	16,7
	27.03.76	2,2	1,7	3,0	2,3
29.03.76	3,3	2,9	3,6	3,3	
Avril	07.04.76	2,7	2,4	2,6	2,6
	08.04.76	4,3	4,2	4,3	4,3
	09.04.76	0,9	0,8	0,7	0,8
	10.04.76	2,4	2,5	3,0	2,6
	12.04.76	2,1	2,0	2,3	2,1
	13.04.76	3,8	4,1	3,7	3,9
	14.04.76	0,8	0,8	0,8	0,8
	24.04.76	1,5	1,5	1,5	1,5
	25.04.76	5,3	5,2	5,4	5,3
28.04.76	0,4	0,6	0,6	0,5	

MOIS	DATE	PLUVIO. 1	1A	1B	MOYENNE
Mai	03.05.76	0,5	0,6	0,6	0,6
	05.05.76	18,0	21,7	22,5	20,7
	06.05.76	0,8	1,1	1,1	1,0
	08.05.76	0,7	0,8	1,0	0,8
	10.05.76	3,0	3,1	3,3	3,1
	11.05.76	6,4	6,5	6,6	6,5
	14.05.76	35,0	37,7	39,8	37,5
	16.05.76	6,6	7,4	6,9	7,0
	17.05.76	0,6	0,8	0,9	0,8
	19.05.76	4,1	4,5	4,8	4,5
	20.05.76	3,1	3,2	3,0	3,1
	27.05.76	5,2	5,6	6,0	5,6
29.05.76	5,5	5,7	6,0	5,7	
Juin	04.06.76	2,7	2,7	2,8	2,7
	06.06.76	0,5	0,6	0,6	0,6
	10.06.76	5,5	5,6	5,9	5,7
	16.06.76	0,5	0,6	0,8	0,6
	22.06.76	2,1	2,4	2,4	2,3
	24.06.76	12,0	12,0	13,1	12,4
	25.06.76	13,5	13,7	14,7	14,0
	27.06.76 (1)	3,3	3,1	2,2	2,9
	27.06.76 (2)	7,0	7,1	7,5	7,2
	28.06.76	1,5	1,7	1,7	1,6
	29.06.76	6,8	7,6	7,6	7,3
30.06.76	2,0	2,2	2,4	2,2	
Juillet	01.07.76	0,4	0,5	0,5	0,5
	03.07.76	6,3	6,7	7,2	6,7
	04.07.76	15,8	15,6	16,7	16,0
	13.07.76	0,9	1,2	1,2	1,1
	17.07.76	11,3	11,4	13,9	12,2
	20.07.76	3,9	3,6	3,9	3,8
	22.07.76	7,4	7,6	7,9	7,6
	23.07.76	0,5	0,6	0,6	0,6
Août	11.08.76	1,2	1,4	1,8	1,5
	13.08.76	0,8	1,3	1,2	1,1
	17.08.76	2,8	3,2	4,0	3,3
	18.08.76	0,1	0,1	0,2	0,1
	19.08.76	8,3	8,5	8,7	8,5
	22.08.76	9,2	9,9	10,5	9,9
	25.08.76	9,0	10,2	9,9	9,7
	26.08.76	7,0	6,6	7,4	7,0
	27.08.76	1,5	1,8	1,5	1,6
	30.08.76	2,7	2,6	2,5	2,6

MOIS	DATE	PLUVIO.1	1A	1B	MOYENNE
Septembre	01.09.76	0,3	0,7	0,3	0,3
	02.09.76	0,3	0,4	0,4	0,4
	03.09.76	10,5	10,3	11,1	10,3
	06.09.76	7,3	7,5	7,5	7,4
	07.09.76	2,7	3,0	2,8	2,3
	16.09.76	8,5	8,5	8,65	8,5
	19.09.76	2,8	2,8	2,7	2,8
	26.09.76	1,4	0,9	0,9	1,1
Octobre	03.10.76	7,0	7,9	7,0	7,3
	04.10.76	5,4	5,6	5,1	5,4
	08.10.76	5,4	6,3	6,0	5,9
	11.10.76	2,0	2,3	2,5	2,3
	14.10.76	0,4	0,5	0,5	0,5
	15.10.76	2,6	2,6	3,0	2,7
	25.10.76	2,8	2,8	2,9	2,8
	27.10.76	1,2	1,3	1,4	1,3
Novembre	04.11.76	6,5	7,8	8,6	7,6
	16.11.76	49,8	53,6	52,2	51,9
	18.11.76	3,6	3,6	3,6	3,6
	22.11.76	3,2	3,9	3,9	3,7
Décembre	12.12.76	1,1	1,5	1,6	1,4
	21.12.76	3,0	3,0	3,2	3,1
	22.12.76	16,8	16,9	17,5	17,1
	26.12.76	5,9	6,3	6,2	6,1

ANNEE 1977

MOIS	DATE	PLUVIO.1	1A	1B	MOYENNE
Janvier	2	2,3	2,2	2,2	2,2
	6	6,9	7,4	7,2	7,2
	7	23,0	24,4	22,8	23,4
	8	12,2	12,8	12,9	12,6
	18	0,4	0,5	0,4	0,4
	23	1,8	1,6	1,7	1,7
	24	0,1	0,2	0,2	0,2
		<u>46,7</u>	<u>49,1</u>	<u>47,4</u>	<u>47,7</u>
Février	3	0,1	0,2	0,1	0,1
	13 (1)	11,8	12,3	12,5	12,2
	13 (2)	0,2	0,2	0,2	0,2
	14	1,9	2,1	2,2	2,1
	25	0,1	0,1	tr.	0,1
	28	tr.	0,1	0,15	0,1
		<u>14,1</u>	<u>15,0</u>	<u>15,15</u>	<u>14,8</u>

MOIS	DATE	PLUVIO.1	1A	1B	MOYENNE
Mars	1	0,2	0,2	0,2	0,2
	27	11,9	12,1	12,4	12,1
	28	10,5	11,0	10,5	10,7
	29	43,7	47,2	45,5	45,5
			<u>66,3</u>	<u>70,5</u>	<u>68,6</u>
Avril	2	0,9	1,0	0,9	0,9
	9	1,1	1,2	1,1	1,1
	10	2,6	3,2	3,3	3,0
	12	1,4	1,5	1,6	1,5
	13	1,7	3,1	2,6	2,5
	17	4,1	4,3	4,1	4,2
	19	4,2	4,3	4,2	4,2
	20	2,0	2,5	2,4	2,3
	21 (1)	1,2	1,9	1,7	1,6
	21 (2)	1,2	1,5	1,3	1,4
		<u>20,4</u>	<u>24,5</u>	<u>23,2</u>	<u>22,7</u>
Mai	7	0,4	0,3	0,3	0,3
	8	3,5	3,9	3,7	3,7
	16	8,4	8,5	8,6	8,5
	17	8,5	8,5	8,1	8,4
	27	2,6	2,8	2,5	2,6
		<u>23,4</u>	<u>24,0</u>	<u>23,2</u>	<u>23,5</u>
Juin	1	5,6	6,1	6,2	6,0
	3	1,1	1,0	1,0	1,0
		<u>6,7</u>	<u>7,1</u>	<u>7,2</u>	<u>7,0</u>
Juillet	11	1,2	1,9	1,6	1,6
	25	3,7	3,9	4,0	3,9
	26	4,5	4,3	4,5	4,4
		<u>9,4</u>	<u>10,1</u>	<u>10,1</u>	<u>9,9</u>
Août	7	2,5	2,7	3,1	2,8
	9	4,8	5,2	5,7	5,2
	10	0,2	0,2	0,25	0,2
	13	13,6	13,3	13,5	13,5
	18	0,6	0,6	0,7	0,6
		<u>21,7</u>	<u>22,0</u>	<u>23,25</u>	<u>22,3</u>

MOIS	DATE	PLUVIO. 1	1A	1B	MOYENNE
Septembre	2	3,0	2,9	3,0	3,0
	6 (1)	1,4	1,5	1,5	1,5
	6 (2)	2,0	2,0	2,0	2,0
	18	1,4	1,1	1,3	1,2
			7,8	7,5	7,8
Octobre	8	0,4	0,7	0,7	0,6
	13	0,3	0,3	0,2	0,3
	14	2,2	2,3	2,4	2,3
	15	3,3	3,5	3,55	3,4
	17 (1)	0,7	0,7	0,9	0,8
	17 (2)	7,5	8,0	8,1	7,8
	17 (3)	30,2	32,5	28,2	30,3
	18	6,5	6,6	6,6	6,6
31	0,1	tr.	0,1	0,1	
		51,2	54,6	50,75	52,2
Novembre	22	0,0	1,0	1,1	1,0
	24	32,1	35,2	34,9	34,0
	25	2,0	2,1	2,1	2,1
	26	0,8	1,1	1,0	1,0
		35,7	39,4	39,1	38,1
Décembre	9	2,2	2,4	2,6	2,4
	18	0,4	0,5	0,4	0,4
	23	0,8	1,2	1,0	1,0
		3,4	4,1	4,0	3,8

ANNEE 1973

Janvier	13	4,5	5,0	5,0	4,8
	19	0,6	0,7	0,7	0,7
	20	6,4	6,6	6,8	6,6
	23	0,3	0,3	0,2	0,3
		11,8	12,6	12,7	12,4

MOIS	DATE	PLUVIO. 1	1A	1B	MOYENNE
Février	1	0,2	0,1	0,15	0,1
	2	0,4	0,4	0,45	0,4
	3	1,8	2,3	2,5	2,2
	5	0,4	0,4	0,4	0,4
	7	1,8	1,7	1,9	1,8
	12	26,9	29,4	28,9	28,4
	14	3,5	2,9	5,5	4,0
		<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
		35,0	37,2	39,8	37,3
Mars	1	37,0	38,5	35,8	37,1
	6	3,6	3,6	3,8	3,6
	18	17,5	20,6	22,4	20,2
	22	1,6	1,8	1,9	1,8
	30	31,4	29,6	32,8	31,3
		<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
		91,1	94,1	96,7	94,0
Avril	1	1,4	1,8	1,9	1,7
	2	8,1	8,9	9,2	8,7
	8	1,3	1,3	1,4	1,3
	14	2,0	2,1	2,1	2,1
	19	2,2	2,4	2,4	2,3
	25	0,8	0,8	1,0	0,9
		<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
		15,8	17,3	18,0	17,0
Mai	1	0,2	0,3	0,3	0,3
	6	14,6	16,2	16,5	15,8
	17	3,1	2,8	3,4	3,1
	22	2,0	2,5	2,5	2,3
	30 (1)	9,1	8,4	9,1	8,8
	30 (2)	0,5	0,3	0,4	0,4
	31	20,5	21,7	20,8	21,0
		<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
		50,0	52,2	53,0	51,7
Juin	1	43,0	44,3	47,0	44,8
Août	12	2,3	2,4	2,3	2,3
	13	6,8	7,0	7,0	7,0
	15	3,6	3,6	3,7	3,6
	16	1,4	1,3	1,5	1,4
	17	3,8	3,9	4,4	4,0
	18	1,2	1,1	1,3	1,2
	26	19,7	20,6	19,6	20,0
		<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
		38,8	39,9	39,8	39,5

MOIS	DATE	PLUVIO. 1	1A	1B	MOYENNE
Septembre	1	10,7	11,2	11,0	11,0
	27	0,5	0,8	0,9	0,7
		<u>11,2</u>	<u>12,0</u>	<u>11,9</u>	<u>11,7</u>
Octobre	1	7,2	7,4	7,3	7,3
	2	3,2	3,4	3,5	3,4
	14	16,4	17,5	17,0	17,0
	18	3,9	4,4	4,2	4,2
	19	5,5	5,5	5,6	5,5
	20	1,3	1,5	1,5	1,4
		<u>37,5</u>	<u>39,7</u>	<u>39,1</u>	<u>38,8</u>
Novembre	9	10,5	12,2	12,6	11,8
	10	0,2	0,2	0,3	0,2
	12	1,8	1,6	1,7	1,7
	14	0,3	0,3	0,3	0,3
	15	1,4	1,2	1,6	1,4
	18	3,0	3,7	3,1	3,3
	22	0,3	0,3	0,3	0,3
	24	0,1	0,1	0,1	0,1
29	1,0	1,5	1,2	1,2	
		<u>18,6</u>	<u>21,1</u>	<u>21,2</u>	<u>20,3</u>
Décembre	4	1,6	1,7	2,0	1,8
	5	1,0	1,2	1,2	1,1
	22	1,3	1,7	1,7	1,6
		<u>3,9</u>	<u>4,6</u>	<u>4,9</u>	<u>4,5</u>

MOIS	DATE	PLUVIO. 1	1A	1B	MOYENNE
Janvier	9	2,4			2,4
	12	1,0			1,0
	13	0,4			0,4
	16	0,4			0,4
	18	0,2			0,2
	22	0,5			0,5
	28	0,4			0,4
		<u>5,3</u>			<u>5,3</u>
Février	3	1,1			1,1
	12	7,5			7,5
	15	4,5			4,5
	16	3,0			3,0
	25	10,2			10,2
	26	12,3			12,3
	27 (1)	3,3			3,3
	27 (2)	13,4			13,4
		<u>55,3</u>			<u>55,3</u>
Mars	5	11,2			11,2
	9	9,6			9,6
	15	0,3			0,3
	19	8,7			8,7
	28	1,2			1,2
	31	26,0			26,0
		<u>57,0</u>			<u>57,0</u>
Avril	1	7,7			7,7
	4	1,2			1,2
	9	8,3	9,2	9,3	9,3
	10	15,2	15,0	16,0	15,4
	11	12,8	14,8	15,2	14,3
	15	27,3	28,0	29,2	28,2
	16	0,7	0,9	0,9	0,8
	18	0,8	0,8	0,8	0,8
	28	0,9	0,9	0,9	0,9
				<u>78,6</u>	
Mai	9	7,7	7,9	8,0	7,9
	30	5,7	6,2	5,5	5,8
				<u>13,7</u>	

MOIS	DATE	PLUVIO. 1	1A	1B	MOYENNE
Juin	3	3,3	3,8	4,1	3,4
	7	2,8	3,5	3,3	3,2
	11	1,4	1,5	1,4	1,4
	13	14,2	14,5	16,4	15,0
	16	0,3	0,7	0,7	0,6
					23,6
Juillet		pas	de	pluies	
Août	2	29,6	29,6	29,1	29,4
	3	0,6	0,7	0,6	0,6
	17	0,2	0,4	0,3	0,3
	20	0,3	0,3	0,3	0,3
	24	4,6	4,5	4,5	4,5
	30	12,0	11,5	13,0	12,2
	31	22,6	22,3	23,6	22,8
					70,1
Septembre	1 (1)	20,2	20,4	21,6	20,7
	1 (2)	14,8	14,7	14,9	14,8
	2	0,4	0,6	0,6	0,5
	4	2,2	2,5	1,9	2,2
	6	1,2	1,1	1,0	1,1
	7	3,1	3,2	3,1	3,1
	9 (1)	0,7	0,6	0,7	0,7
	9 (2)	0,3	0,3	0,7	0,6
	12	6,2	5,6	5,7	5,8
	13	1,8	2,0	2,0	1,9
	21	7,0	7,0	7,3	7,1
	23	3,4	3,7	3,7	3,6
27 (1)	7,2	7,2	7,2	7,2	
27 (2)	0,8	0,9	0,9	0,9	
					70,2
Octobre	25 (1)	0,9	1,0	1,0	1,0
	25 (2)	0,2	0,5	0,5	0,4
	28	14,5	14,5	14,4	14,5
	29	1,6	1,7	1,7	1,7
					17,6

MOIS	DATE	PLUVIO . 1	1A	1B	MOYENNE
Novembre	3	2,3	2,8	2,5	2,5
	4	7,0	7,8	9,2	8,0
	16	1,5	1,6	1,5	1,5
	17	1,2	1,3	1,2	1,2
	19	2,4	2,8	3,0	2,7
					<hr/> 15,9
Décembre		pas	de		pluies

ANNEXE II

REPARTITION DES PLUIES UNITAIRES PAR CLASSE
DE HAUTEUR

ANNEE 1975

CLASSES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL	
1	n	1	2	1	4	1					2	5	16	
	h	0,5	0,8	0,4	1,9	0,6					1,0	1,4	6,6	
2	n	3	4	3	4	3	1	3	3	2	2	3	31	
	h	6,6	8,6	6,9	8,9	6,0	1,0	8,5	4,4	5,2	6,5	7,9	70,5	
3	n		3		1	2		1	1		1	1	10	
	h		20,6		5,4	10,8		5,9	9,6		8,0	5,0	65,9	
4	n	1		2		2		2	1		1		9	
	h	10,4		27,3		29,2		29,4	12,4		14,8		123,5	
5	n								2		1		3	
	h								44,9		27,5		72,4	
6	n													
	h													
7	n		1		1								2	
	h		89,4		41,3								130,7	
TOTAL	n	5	10	6	10	8	0	1	6	7	2	7	9	71
	h	17,5	119,4	34,6	57,5	46,6	0	1,0	43,8	71,3	5,2	57,8	14,9	469,6

n = nombre de pluies unitaires par classe
h = hauteur de pluie, en mm, par classe.

Classes de hauteur = 1 = moins de 1 mm
2 = 1 à 4,9 mm
3 = 5 à 9,9 mm
4 = 10 à 19,9 mm
5 = 20 à 29,9 mm
6 = 30 à 39,9 mm
7 = plus de 40 mm

ANNEE 1976

CLASSES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL	
1	n	3	4	1	3	3	2	2	1	2	1		22	
	h	1,2	1,3	0,4	2,1	2,2	1,2	1,1	0,1	1,2	0,5		11,3	
2	n	4	9	7	6	4	5	2	5	3	4	2	2	53
	h	8,4	21,5	15,1	17,0	11,7	11,7	4,9	10,1	6,7	9,1	7,3	4,5	128,0
3	n		2	3	1	4	3	2	4	3	3	1	1	27
	h		13,4	25,9	5,3	24,8	20,2	14,3	35,1	21,0	18,6	7,6	6,1	192,3
4	n		2	2			2	2		1			1	10
	h		23,3	28,2			26,4	28,2		10,8			17,1	134,0
5	n	1				1								2
	h	21,9				20,7								42,6
6	n					1								1
	h					37,5								37,5
7	n										1			1
	h										51,9			51,9
TO-TAL	n	8	17	13	10	13	12	8	10	9	8	4	4	116
	h	31,5	59,5	69,6	24,4	96,9	59,5	48,5	45,3	39,7	28,2	66,8	27,7	597,6

n = nombre de pluies unitaires par classe
h = hauteur de pluie, en mm., par classe.

Classe 1 = moins de 1 mm.
2 = 1 à 4,9 mm.
3 = 5 à 9,9 mm.
4 = 10 à 19,9 mm.
5 = 20 à 29,9 mm.
6 = 30 à 39,9 mm.
7 = plus de 40 mm.

ANNEE 1977

CLASSES	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL	
1	n	2	4	1	1	1		2		4		1	16	
	h	0,6	0,5	0,2	0,9	0,3		0,3		1,8		0,4	5,5	
2	n	2	1	9	2	1	3	1	4	2	3	2	30	
	h	3,9	2,1	21,8	6,3	1,0	9,9	2,3	7,7	5,7	4,1	3,4	68,7	
3	n	1			2	1		1		2			7	
	h	7,2			16,9	6,0		5,2		14,4			49,7	
4	n	1	1	2				1					5	
	h	12,6	12,2	22,8				13,5					61,1	
5	n	1											1	
	h	23,4											23,4	
6	n									1	1		2	
	h									30,3	34,0		64,3	
7	n			1									1	
	h			45,5									45,5	
TC-TAL	n	7	6	4	10	5	2	3	5	4	9	4	3	62
	h	47,7	14,8	68,5	22,7	23,5	7,0	9,9	22,3	7,7	52,2	38,1	3,8	318,2

n = nombre de pluies unitaires par classe.

h = hauteur de pluie, en mm., par classe.

Classes de hauteur = 1 = moins de 1 mm.

2 = 1 à 4,9 mm.

3 = 5 à 9,9 mm.

4 = 10 à 19,9 mm.

5 = 20 à 29,9 mm.

6 = 30 à 39,9 mm.

7 = plus de 40 mm.

ANNEE 1973

CLASSES		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
1	n	2	3		1,	2				1		4		13
	h	1,0	0,9		0,9	0,7				0,7		0,9		5,1
2	n	1	3	2	4	2			5		3	4	3	27
	h	4,8	8,0	5,4	7,4	5,4			12,5		9,0	7,6	4,5	64,6
3	n	1			1	1			1		2			6
	h	6,6			8,7	8,8			7,0		12,8			43,9
4	n					1				1	1	1		4
	h					15,8				11,0	17,0	11,8		55,6
5	n		1	1		1			1					4
	h		28,4	20,2		21,0			20,0					89,6
6	n			2										2
	h			66,4										66,4
7	n						1							1
	h						44,8							44,8
TO-TAL	n	4	7	5	6	7	1	0	7	2	6	9	3	57
	h	12,4	37,3	94,0	17,0	51,7	44,8	0	39,5	11,7	38,8	20,3	4,5	372,0

n = nombre de pluies unitaires par classe.

h = hauteur de pluie, en mm., par classe.

Classes de hauteur : 1 = moins de 1 mm
 2 = 1 à 4,9 mm.
 3 = 5 à 9,9 mm.
 4 = 10 à 19,9 mm.
 5 = 20 à 29,9 mm.
 6 = 30 à 39,9 mm.
 7 = plus de 40 mm.

ANNEE 1979

Classes		J	F	M	A	M	J	J	A	S	C	N	D	TOTAL
1	n	5		1	3		1		3	4	2			19
	h	1,9		0,3	2,5		0,6		1,2	2,7	1,4			10,6
2	n	2	4	1	1		3		1	5	1	4		22
	h	3,4	11,9	1,2	1,2		8,0		4,5	11,9	1,7	7,9		51,7
3	n		1	2	2	2				3		1		11
	h		7,5	18,3	17,0	13,7				20,1		8,0		84,6
4	n		3	1	2		1		1	1	1			10
	h		35,9	11,2	29,7		15,0		12,2	14,8	14,5			133,3
5	n			1	1				2	1				5
	h			26,0	28,2				52,2	20,7				127,1
6	n													
	h													
7	n													
	h													
TOTAL	n	7	8	6	9	2	5		7	14	4	5		67
	h	5,3	55,3	57,0	78,6	13,7	23,6	0	70,1	70,2	17,6	15,9	0	407,3

n = nombre de pluies unitaires par classe.

h = hauteur de pluie, en mm, par classe.

Classes de hauteur : 1 = moins de 1 mm.

2 = 1 à 4,9 mm.

3 = 5 à 9,9 mm.

4 = 10 à 19,9 mm.

5 = 20 à 29,9 mm.

6 = 30 à 39,9 mm.

7 = plus de 40 mm.

ANNEXE III

Composition chimique des eaux de ruissellement des
deux parcelles de 1975 à 1979.

Conductivité électrique = en micro-mhos/cm à 25°C

Minéralisation totale = somme des ions dosés en mg/l

Ca, Mg, K, Na = cations dissous en mg/l

SO₄, Cl, CO₃H = anions dissous en mg/l

(les analyses sont données dans l'ordre des prélèvements).

Parcelle GARRIGUE - ANNEE 1975

Séquences	Conduc- tivité	Minéralisa- tion totale	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	CO ₃ H	pH
75-1	130	100	18	2	3	3	3	4	67	7,1
	100	107	16	4	3	3	3	2	76	7,2
	110	96	16	2	3	3	2	3	67	7,0
	110	94	16	3	2	2	2	2	67	7,2
	100	86	15	2	2	2	2	2	61	7,2
	100	94	16	3	4	2	2	3	64	7,2
	90	76	15	0	2	1	0	2	56	7,2
	90	81	13	4	2	1	2	4	55	7,1
	80	81	12	3	3	2	2	4	55	7,1
	90	86	15	2	3	2	2	4	58	7,1
	90	76	11	4	3	1	2	6	49	7,2
	100	84	14	4	3	1	tr.	7	55	7,1
	100	90	12	6	3	1	1	6	61	7,2
	90	68	10	3	3	1	0	5	46	7,0
	80	68	9	4	3	1	2	3	46	6,8
	90	76	10	5	3	1	0	5	52	6,8
	70	64	9	3	2	1	0	3	46	7,0
75-2	90	72	10	5	3	0	0	5	49	7,6
	80	68	10	3	2	1	0	3	49	7,8
	80	69	11	3	2	1	0	3	49	7,9
	80	76	10	5	2	1	0	3	55	7,8
75-3	110	69	12	2	3	1	2	3	46	8,2
	100	69	11	3	2	1	1	2	49	8,0
	100	84	11	4	2	1	1	1	64	7,8
	80	70	9	5	2	1	1	3	49	7,8
75-4	150	121	20	5	3	2	7	5	79	7,0
	160	141	25	6	3	2	5	2	98	7,4
	140	108	20	2	3	2	0	2	79	7,3
	170	146	25	5	2	2	0	2	110	7,4
	170	146	27	4	2	2	0	1	110	7,2

Séquences	Conduc- tivité	Minéralisa- tion totale	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	CO ₃ H	pH
75-5	250	188	36	7	4	3	7	9	122	7,8
	190	165	27	9	3	2	1	4	119	7,9
	190	164	28	9	2	2	2	2	119	8,0
	170	155	25	9	2	2	2	2	113	7,8
	130	116	17	7	2	2	1	2	85	7,6
	200	154	28	7	3	2	1	3	110	7,8
	130	108	17	7	2	1	2	3	76	8,0
	100	85	12	6	2	1	4	2	58	7,8
	110	102	12	7	2	1	0	1	79	7,5
	100	88	13	6	2	1	1	1	64	7,8
	100	80	12	5	2	1	1	1	58	7,9
	100	90	12	7	1	1	3	2	64	7,0
	100	86	12	6	2	1	0	1	64	7,6
	100	86	12	6	2	1	0	1	64	7,6
	110	97	14	7	2	1	2	1	70	7,2
	90	88	11	7	1	1	0	1	67	7,6
	90	93	12	7	2	1	0	1	70	8,0
100	97	14	6	2	1	0	1	73	7,8	
75-6	140	126	18	7	3	2	0	4	92	7,8
	140	112	17	7	3	2	3	4	76	7,6
	140	113	18	5	4	2	1	4	79	7,3
75-7	170	149	27	5	2	1	2	3	109	8,2
	140	126	24	4	2	1	2	2	91	8,0
75-8	230	201	39	4	2	2	0	2	152	7,2
	220	192	36	4	2	2	0	2	146	7,3
	150	128	23	4	1	1	0	2	97	7,0
	140	116	19	5	2	1	0	4	85	7,6
75-9	250	244	43	8	5	7	0	7	171	7,5
	310	302	52	7	8	9	0	9	214	7,6
	280	277	45	7	15	10	0	11	189	7,6
75-10	340	336	57	11	5	9	0	10	244	7,3
	320	283	53	9	5	9	2	16	189	7,4
	280	248	48	7	3	9	2	8	171	7,2
	250	242	40	9	5	9	4	10	165	7,5
	310	259	52	5	3	9	0	7	183	7,3
	310	288	55	7	5	8	1	11	201	7,4
	250	247	42	11	3	8	3	15	165	7,1

Séquences	Conductivité	Minéralisation totale	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	CO ₃ H	pH
75-11	380	365	69	14	3	5	9	9	256	7,1
	320	311	61	9	3	5	3	4	226	7,2
	260	263	48	7	2	9	0	2	195	7,2
	270	256	48	9	3	4	1	2	189	7,3
	410	396	70	1	17	23	3	7	275	7,2
	300	207	58	8	3	5	0	18	195	7,4
	310	298	59	6	3	9	2	5	214	7,0
	280	241	50	4	2	3	0	8	174	7,2
	290	282	57	7	3	6	5	3	201	7,1
75-12	150	114	21	3	3	3	2	3	79	7,3
	150	142	24	5	3	5	2	5	98	7,4
	130	114	17	4	4	5	0	5	79	7,3
	120	124	18	6	3	3	0	2	92	7,3
	120	117	21	3	2	3	0	3	85	7,5
	260	222	45	4	2	5	3	4	159	7,4
	120	105	19	3	2	4	0	4	73	7,5
	130	103	19	3	2	3	0	3	73	7,3
	130	103	19	3	2	3	0	3	73	7,2
	120	103	17	3	2	5	0	3	73	7,4
	130	120	20	5	2	4	0	4	85	7,4
75-14	190	152	32	3	3	3	0	7	104	7,2
	190	157	32	4	3	2	0	6	110	7,8
	220	186	38	5	2	2	0	5	134	7,7
	140	106	22	2	2	2	0	5	73	7,6
	150	114	23	3	2	2	0	5	79	7,2
75-15	130	121	21	4	3	2	0	6	85	7,5
	140	109	21	2	2	2	0	3	79	7,5
	120	109	20	4	2	2	0	2	79	7,5
	130	108	20	3	2	2	0	2	79	7,7
75-16	220	171	35	3	3	2	0	6	122	7,6
	180	154	31	4	3	2	3	4	110	7,5
	170	154	31	2	5	2	3	7	104	7,3
	150	139	26	4	3	2	0	6	98	7,6
	170	143	27	4	3	2	0	9	98	7,3
	140	123	21	4	4	2	0	7	85	7,4

ANNEE 1976

76-1	110	105	10	10	3	2	0	7	73	7,1
	100	92	10	6	3	2	0	4	67	7,4
	110	93	10	7	3	2	0	7	64	7,4
	100	91	16	2	3	2	0	4	64	7,5

Séquences	Conduc- tivité	Minéralisa- tion totale	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	CO ₃ H	pH
76-2	150	127	18	7	5	1	18	7	70	7,9
	140	113	14	8	5	1	10	5	70	7,9
76-3	130	115	21	3	3	3	0	6	79	7,4
76-4	150	140	25	2	5	4	0	6	98	7,8
	120	108	25	3	5	5	5	4	67	7,3
	120	100	17	3	3	3	4	3	67	6,7
	100	88	16	1	2	3	3	2	61	6,8
	150	114	25	1	3	2	1	3	79	7,4
	130	106	22	1	3	2	1	4	73	7,3
	150	125	27	1	3	2	3	4	85	7,5
	130	112	23	1	2	2	1	4	79	7,4
	130	98	21	1	2	2	3	2	67	7,4
	120	102	20	1	2	2	1	3	73	7,8
120	95	18	2	2	2	1	3	67	7,3	
76-5	250	183	37	2	3	9	1	9	122	7,2
	240	184	38	1	2	9	4	9	122	7,2
	220	166	35	1	2	7	1	5	116	7,2
	190	137	28	0	2	6	2	6	92	6,7
	170	129	25	2	3	6	2	6	85	7,1
76-6	270	201	44	1	2	6	2	6	140	7,2
	190	144	28	2	2	4	1	2	104	7,3
	160	127	25	2	2	4	1	2	92	7,3
76-7	130	102	20	1	2	5	3	5	67	7,0
	130	107	18	2	2	5	3	3	73	7,1
76-8	130	97	18	2	1	3	1	3	67	7,0
	130	111	21	2	2	4	1	3	79	7,0
76-9	190	138	21	3	7	5	4	12	85	7,2
	130	93	21	4	1	2	2	2	61	7,3
76-10	170	146	33	1	2	3	5	4	98	7,2
	180	135	30	0	3	4	2	10	85	7,0
	150	123	26	1	2	2	1	5	85	7,2
	140	121	24	2	2	2	1	4	85	7,2
	140	107	23	2	1	2	1	4	73	7,3
	150	121	26	1	2	2	1	10	79	7,3
	140	113	23	2	2	2	1	4	79	7,4
	170	146	31	2	2	2	1	4	104	7,4
	200	164	40	0	2	2	1	3	116	7,5

Séquences	Conduc- tivité	Minéralisa- tion totale	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	CO ₃ H	pH
76-11	230	206	47	1	5	4	5	4	140	7,5
	140	139	28	2	2	3	1	4	98	7,4
	200	187	39	3	2	3	2	4	134	6,8
76-12	290	233	49	4	3	4	3	7	128	7,4
	220	165	40	1	3	3	2	6	116	7,5
	200	167	37	2	3	3	1	5	116	6,8
	240	198	44	1	3	3	2	5	140	7,4
	160	135	26	2	4	4	3	6	92	7,3
76-13	180	171	34	4	2	2	1	6	122	7,1
	240	203	47	1	2	3	3	7	140	7,1
	250	230	47	5	2	3	3	5	165	7,2
	170	165	35	2	2	2	3	0	122	7,5
	200	160	38	1	2	2	2	5	110	7,5
	170	155	34	1	2	2	2	4	110	7,1
	200	176	40	1	2	2	2	6	122	7,2
	140	138	29	1	2	2	2	4	98	7,2
	150	148	29	4	2	2	2	5	104	7,3
76-14	200	169	37	2	3	3	2	7	116	7,2
	180	160	38	0	2	3	2	5	110	7,6
	210	176	36	2	4	5	9	4	116	7,2
76-15	170	156	25	7	3	2	3	6	110	7,3
	170	141	25	4	3	2	3	6	98	7,6
	150	142	26	2	4	4	1	8	98	7,0
	120	117	18	6	3	3	3	5	79	7,4
76-16	240	204	40	5	3	3	2	5	146	7,7
	230	195	40	4	3	3	1	4	140	7,7
	230	197	40	4	3	3	2	5	140	7,9
	240	186	40	2	2	3	1	4	134	7,8
	140	117	22	4	2	2	2	12	73	7,5
	130	100	16	5	3	2	1	6	67	7,8
	170	142	26	5	3	2	2	6	98	7,9
	160	140	20	8	3	2	2	7	98	7,9
76-17	130	105	17	3	4	1	4	3	73	7,9
	110	86	14	2	3	1	2	3	61	7,8

ANNEE 1977

77-1	110	101	20	1	3	2	1	1	73	7,7
	100	94	20	0	3	2	1	1	67	7,7

Séquences	Conduc- tivité	Minéralisa- tion totale	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	CO ₃ H	pH
77-2	120	103	22	0	3	2	1	2	73	7,7
	100	102	22	0	3	2	1	1	73	7,7
	100	93	16	2	3	2	2	1	57	7,8
	100	78	16	0	3	2	1	1	55	7,7
	100	83	16	1	3	2	2	4	55	7,7
	100	84	16	1	3	2	2	4	55	7,8
	80	74	16	1	3	2	2	1	49	7,9
	110	102	20	1	3	2	2	1	73	7,7
77-4	260	232	44	7	4	2	0	4	171	7,2
	200	220	40	7	4	2	0	2	165	7,4
	140	116	19	5	4	1	0	2	85	7,1
	140	130	20	3	4	7	0	4	92	7,2
77-5	290	250	48	5	6	3	0	5	183	7,4
	180	162	34	0	5	3	0	4	116	7,0
	160	138	29	1	5	2	0	3	98	7,0
	150	136	26	2	3	4	5	4	92	7,0
	140	126	24	1	3	3	5	5	85	7,2
77-6	300	233	42	4	13	4	0	11	159	7,3
	220	165	32	0	7	3	0	7	116	7,5
	220	168	27	9	6	3	0	7	116	7,3
	220	163	28	3	10	4	0	8	110	7,3
	210	165	29	4	6	3	0	7	116	7,4
	190	170	28	5	8	4	0	15	110	7,4
	160	137	21	4	6	3	4	7	92	7,6
	160	152	19	9	6	3	4	7	104	7,4
	170	137	22	5	6	3	8	8	85	7,5
	170	138	22	5	7	3	8	8	85	7,4
	160	147	23	4	7	3	0	6	104	7,4
77-7	280	261	56	2	5	3	0	12	183	7,4
	330	320	70	1	5	3	0	9	232	7,3
77-8	200	152	34	1	0	5	17	10	85	7,1
	180	140	31	2	0	3	17	8	79	7,1
	180	142	31	2	0	3	18	9	79	7,3
	170	126	29	2	0	3	22	9	61	7,2
	180	142	31	3	0	3	17	9	79	7,1
	210	163	33	1	5	3	11	6	104	7,1
77-9	130	103	22	2	0	2	11	5	61	7,6
77-10	130	108	16	0	0	3	0	4	85	7,5
	130	94	20	2	0	0	8	9	55	7,5
	110	91	20	2	0	0	8	6	55	7,3

Séquences	Conduc- tivité	Minéralisa- tion totale	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	CO ₃ H	pH
77-11	140	123	18	8	2	1	5	4	85	7,4
	130	101	16	5	1	1	5	2	73	7,3
	130	98	14	6	1	1	6	3	67	7,4
	160	125	22	5	1	2	6	4	85	7,3
	200	159	28	7	1	0	4	9	110	7,1
	170	136	24	5	1	1	5	2	98	7,4
	140	126	18	8	1	1	4	3	91	7,3
	130	91	15	4	1	0	3	7	61	7,2
	130	88	15	4	2	0	2	10	55	7,4
	130	90	15	4	2	1	4	9	55	7,1
	130	103	17	5	2	0	5	13	61	7,0
	140	112	22	4	1	0	3	9	73	7,5
	150	116	19	7	1	0	3	7	79	7,4
	120	94	13	7	1	0	3	9	61	7,2
	130	104	16	6	1	1	5	2	73	7,3
	110	86	13	5	1	1	3	8	55	7,4
	130	95	15	5	2	0	3	9	61	7,0

ANNEE 1978

78-1	90	61	13	2	0	0	0	9	37	7,2
	70	42	9	2	0	0	0	7	24	7,1
78-2	70	68	6	7	2	0	5	11	37	7,2
	70	62	6	6	2	0	2	9	37	7,4
	70	59	6	5	2	0	0	9	37	7,4
	70	69	6	7	2	0	2	9	43	7,5
	120	81	10	6	2	0	2	6	55	7,4
	120	80	12	5	2	0	3	9	49	7,4
	80	79	6	10	2	0	4	8	49	7,4
	100	84	10	7	2	0	8	8	49	7,6
78-3	80	65	8	4	6	0	7	9	31	7,2
	100	73	12	3	4	0	5	6	43	6,9
78-5	190	170	35	2	3	2	2	4	122	7,0
	200	171	36	2	3	2	2	4	122	6,9
	190	174	36	4	3	2	2	5	122	7,1
	160	147	28	3	3	2	2	5	104	6,9
78-6	190	173	33	4	3	2	5	4	122	6,9
	210	197	38	4	3	2	5	5	140	7,1
	210	201	40	4	3	2	2	4	146	7,1

Séquences	Conductivité	Minéralisation totale	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	CO ₃ H	pH
78-7	280	244	47	7	6	3	2	8	171	6,8
	150	136	28	2	2	1	2	3	98	7,1
	220	197	41	4	3	2	2	5	140	7,0
	300	269	56	5	3	2	4	4	195	6,9

Parcelle BOISEE - Année 1975

Séquences	Conductivité	Minéralisation totale	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	CO ₃ H	pH
75-1	190	160	26	4	6	8	4	11	101	7,1
	130	102	16	3	4	5	1	6	67	6,9
	100	83	12	4	3	2	2	5	55	7,3
75-3	140	101	20	2	3	3	3	6	64	7,6
75-4	230	171	32	6	5	5	12	13	98	6,8
	190	150	24	6	3	4	10	5	98	7,2
	260	212	42	6	4	5	2	7	146	7,2
	200	163	30	6	3	4	10	6	104	7,3
	310	244	47	6	6	8	15	16	146	7,6
75-5	210	174	29	5	4	6	7	13	110	7,4
	200	161	27	5	4	5	1	9	110	7,4
	170	149	25	5	5	5	1	6	104	6,8
	170	138	23	4	3	4	0	6	98	7,0
	170	145	25	4	3	4	0	5	104	7,0
	130	125	19	6	3	4	0	1	92	7,3
	140	131	19	6	3	4	0	1	98	7,4
	140	132	20	6	2	4	1	1	98	6,8
	120	124	16	7	2	4	0	0	95	7,7
	130	121	15	5	2	4	0	0	92	7,6
75-7	160	129	23	4	2	3	2	4	91	7,9
	210	170	31	4	3	5	3	9	115	7,8
75-8	220	185	35	3	2	5	0	6	134	7,0
	200	181	32	6	2	3	0	4	134	7,0
	220	186	36	4	2	4	0	6	134	7,5
75-10	380	333	63	5	11	14	6	27	207	7,1

Séquences	Conduc- tivité	Minéralisa- tion totale	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	CO ₃ H	pH
75-11	300	290	59	5	6	8	6	11	195	6,9
	270	263	51	3	8	8	7	4	177	7,1
	250	260	47	5	3	7	0	3	195	7,3
	210	222	39	8	2	5	0	3	165	7,1
	260	276	52	7	4	5	3	4	201	7,3
	240	245	52	2	4	6	5	5	171	6,9
	240	261	50	6	4	9	4	5	183	7,3
	260	248	51	5	3	5	3	4	177	7,3
	240	229	47	3	3	5	2	4	165	7,2
	250	239	50	4	3	5	2	4	171	7,1
75-12	200	168	33	4	3	5	5	8	110	7,4
	150	117	20	4	3	5	4	8	73	7,2
	150	134	24	5	3	5	4	14	79	7,1
	160	134	24	4	3	7	4	7	85	7,2
75-13	260	224	47	4	3	4	6	7	153	7,7
	260	219	46	3	3	5	3	6	153	7,7
	240	205	42	4	3	5	0	5	146	7,4
	180	149	30	3	2	4	1	5	104	7,5
	180	149	31	2	2	4	1	5	104	7,6
	180	150	28	3	3	5	0	7	104	7,6
75-14	220	184	38	4	2	4	2	6	128	7,5

ANNEE 1976

76-1	150	117	16	6	5	4	0	7	79	7,3
	150	137	16	10	5	4	0	10	92	7,3
76-4	170	156	29	3	3	6	3	8	104	6,5
76-5	320	245	59	0	2	5	4	5	171	7,3
76-6	240	186	42	0	2	5	5	11	122	7,4
	240	205	44	1	2	5	13	5	134	7,8
76-8	150	132	26	2	1	4	4	3	92	7,3
76-15	200	173	32	5	3	4	2	5	122	7,1
	250	185	40	1	4	4	2	6	128	7,0
	240	196	38	4	5	5	3	7	134	7,3
76-17	130	94	15	3	3	3	1	2	67	7,8

ANNEE 1977

Séquences	Conduc- tivité	Minéralisa- tion totale	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	CO ₃ ^H	pH
77-5	140	134	20	4	5	4	3	7	92	7,6
	220	130	28	7	0	4	3	8	122	7,7
	150	134	20	6	5	4	5	9	85	7,5
	140	129	20	5	6	4	8	7	79	7,5
77-6	260	226	36	7	9	7	8	13	146	7,3
	220	193	28	9	7	7	8	12	122	7,4
	230	187	32	4	9	7	7	12	116	7,2
77-8	260	212	47	1	0	8	18	16	122	6,6
77-11	150	131	22	2	6	7	7	8	79	7,2
	200	174	33	2	6	7	7	9	110	7,4

ANNEE 1978

78-1	120	82	19	1	0	0	0	7	55	6,9
78-2	100	83	8	7	2	2	8	7	49	7,5
78-7	190	166	24	10	2	3	14	3	110	6,7
	140	98	16	5	1	2	10	3	61	6,9
	170	130	16	8	1	2	8	3	92	6,9
	190	172	28	7	2	2	8	3	122	7,3
78-9	280	235	46	6	4	7	12	7	153	7,1

Séquences	Conductivité	Minéralisation totale	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	CO ₃ H	pH	
79-1	140	113	22	3	1	0	0	2	85	7,3	
	100	80	15	3	1	0	10	2	49	7,2	
	110	85	15	3	2	0	6	4	55	7,4	
	110	95	17	3	3	0	2	3	67	7,5	
79-2	180	164	27	9	3	1	12	8	104	7,0	
	130	125	19	6	2	1	12	6	79	7,5	
	160	142	23	6	2	1	10	6	92	7,3	
	150	134	23	7	2	1	10	6	85	7,4	
79-3	230	165	35	3	2	1	5	3	116	7,9	
79-4	120	93	17	4	1	0	4	0	67	7,2	
	120	94	18	3	1	0	5	0	67	7,1	
	110	83	16	2	1	0	3	0	61	7,1	
	100	97	14	6	1	0	3	0	73	7,1	
	100	76	15	2	1	0	3	0	55	7,0	
79-5	400	347	74	3	1	2	7	5	250	7,6	
	200	177	30	10	1	1	5	2	128	7,4	
	490	404	86	10	1	3	5	6	293	6,9	
	390	334	70	7	1	4	5	3	244	7,1	
	480	417	87	11	1	3	3	1	311	6,9	
	340	269	62	2	1	3	3	3	195	7,2	
	460	341	74	7	1	3	5	1	250	7,2	
	340	274	62	5	1	1	3	1	201	7,3	
	380	319	70	6	0	2	2	1	238	7,3	
	340	279	62	5	0	1	3	1	207	7,5	
	240	181	40	5	2	1	1	4	128	7,7	
	79-8	310	240	50	6	2	2	3	6	171	7,2
		360	302	60	8	2	2	3	7	220	7,7
260		213	44	7	1	1	3	4	153	7,5	
320		265	55	5	1	1	5	3	195	7,4	
260		217	44	6	1	1	3	3	159	7,4	
79-9		350	316	60	11	2	2	0	3	238	7,7
	300	274	50	12	1	1	2	1	207	7,4	
	290	258	50	8	1	1	2	1	195	7,7	
79-10	350	318	60	12	1	1	2	4	238	7,6	
	220	172	38	2	2	0	0	2	128	7,7	
	340	262	60	2	1	0	2	2	195	7,4	
79-11	320	242	50	5	6	0	2	14	165	7,5	

Séquences	Conductivité	Minéralisation totale	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	CO ₃ H	pH
79-8	520	441	82	10	15	4	3	10	317	7,7
	300	257	50	8	2	3	7	4	183	7,9
	300	241	50	0	1	3	5	5	171	7,7
	320	250	55	3	2	3	5	5	177	7,5
	260	217	40	0	2	3	5	6	153	7,5
79-8	170	135	25	5	1	1	7	4	92	7,8
	180	133	25	5	1	1	7	2	92	7,6
	230	179	32	5	6	2	5	7	122	7,6

Composition des terres érodées de 1975 à 1979.

Parcelle garrigue. Années 1975 et 1976.

Séquences	75-1	75-7	75-8	75-13	75-14	1976
<u>Granulométrie de la terre fine (0-2mm)%</u>						
argile	12,5	10,0	8,5	14,0	11,0	9,0
limon fin	34,5	25,0	29,5	36,0	25,0	28,5
limon grossier	20,0	22,0	23,5	21,0	23,5	22,0
sable fin	21,5	30,0	19,5	13,0	31,0	23,5
sable grossier	8,5	10,0	7,0	3,5	7,5	13,5
lat. org. totale(%)	7,4	6,2	6,0	5,7	6,7	6,6
Carbone (%)	4,3	3,6	3,5	3,3	3,9	3,8
Azote (%)	0,11	0,11	0,11	0,12	0,09	0,14
C/N	39,1	32,7	31,8	27,5	43,3	27,1
calcaire total (%)	15,0	13,0	13,0	12,0	13,0	13,0
calcaire actif (%)	11,0	8,0	8,0	7,0	10,0	9,0
<u>Complexe absorbant (méq./100g)</u>						
Ca	15,7	13,2	15,9	17,5	15,9	10,3
Mg	3,3	2,5	2,8	4,6	1,9	3,0
Na	1,2	1,1	1,3	1,4	1,1	1,5
K	1,1	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2
S	21,3	17,1	20,4	23,8	19,1	21,0
Capacité d'échange T	21,5	17,3	20,0	24,2	18,8	21,1
pH eau 1/2,5	7,8	8,1	8,0	7,6	8,1	7,8
Conductivité électrique (mmhos/cm)	2,2	1,3	1,5	1,6	1,4	2,1
Fer total (Fe ₂ O ₃ %)	36,0	35,0	37,0	43,0	35,0	30,0
Fer libre (")	25,0	23,0	23,5	26,0	22,0	20,0
Taux fer libre (%)	69,4	65,7	63,5	60,5	62,9	55,6

Parcelle garrigue 1977 et 1978 et parcelle boisée 1976

	Parcelle garrigue			Parcelle boisée	
	1977	Séquence 78-7 Gouttière	1978 Mosse	Séq. 78-9 78-10 et 78-11	1976
<u>Granulométrie de la terre fine (0-2mm)%</u>					
Argile	11,5	10,0	14,0	14,5	14,0
Limon fin	34,0	23,5	40,2	26,5	24,5
Limon grossier	21,5	23,5	17,7	21,0	22,5
Sable fin	22,5	26,5	9,5	22,0	23,5
Sable grossier	7,0	10,0	12,3	7,0	10,0
Refus 2 mm (%)	5,5	13,1	15,9	5,4	*
Mat. org. totale (%)	5,1	5,7	7,1	6,6	6,6
Carbone (%)	3,0	3,3	4,1	3,8	3,8
Azote (%)	0,16	0,25	0,37	0,19	0,13
C/N	18,8	13,2	11,1	20,0	29,2
Calcaire total (%)	12,0	12,0	11,0	12,0	13,0
Calcaire actif (%)	7,0	7,0	6,0	6,0	9,0
P ₂ O ₅ total (ppm)	1700	1500	1392	1525	*
P ₂ O ₅ assimil. (ppm)	105	90	108	110	*
K ₂ O total (‰)	4,75	4,46	4,66	4,11	*
Azote NH ₄ ⁺ (ppm)	65,6	15,6	26,1	50,4	*
Azote NO ₃ ⁻ (ppm)	115,6	29,2	43,1	182,8	*
<u>Complexe absorbant (méq./100g)</u>					
Ca	17,8	16,8	16,4	27,7	16,5
Mg	5,7	7,1	5,8	7,3	2,2
K	1,8	1,6	2,6	2,0	1,5
Na	0,6	0,4	0,9	0,5	0,1
S	25,9	25,9	25,7	37,5	20,3
Cap. d'échange T	26,0	26,0	25,7	37,8	20,2
pH eau 1/2,5	7,7	7,8	7,7	7,7	7,7
Cond. élect. (mmhos par cm)					2,1
Fer total (Fe ₂ O ₃ ‰)	35,0	34,0	39,7	34,0	33,0
Fer libre (")	12,0	11,5	12,8	10,5	19,0
Taux fer libre (%)	29,2	29,6	32,2	30,9	57,6
pF 4,2 (%)	27,6	20,0	42,2	40,0	*
pF 2,8 (%)	35,5	33,9	27,3	30,0	*

* non analysé.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION

1ère partie : ETUDE DU LIEU

I - Cadre géographique	3
II - Cadre géologique	4
II-1 Paléogéographie et orogénèse	4
II-2 Lithologie	6
III - Cadre géomorphologique	9
IV - Cadre pédologique	9
IV-1 Sols peu évolués d'apport alluviaux	11
IV-2 Sols des zones basses - vertisols et sols salés	11
IV-3 Sols calcimorphes	12
IV-4 Sols isohumiques	13
V - Cadre climatique	14
V-1 Caractères généraux	14
V-2 Pluviométrie	14
V-3 Températures	18
V-4 Régime des vents	19
V-5 Humidité de l'air	19
V-6 Evapotranspiration	20
V-7 Caractérisation du climat	21
VI - La végétation	25
VI-1 Etage de végétation semi-aride supérieur	25
VI-2 Etage de végétation semi-aride inférieur	26
VI-3 Etage de végétation aride supérieur	27
VII - Le facteur humain.	28

2ème partie : METHODOLOGIE - DISPOSITIF EXPERIMENTAL

I - Localisation de la station et dispositif de mesures	30
II - Motivations et objectifs	32
III - Méthodologie	33
IV - Description des parcelles	34
IV-1 Réalisation pratique	34
IV-2 Dimensions	35
IV-3 Le sol	38
IV-4 La végétation	41
IV-5 Etat de la surface du sol	47
V - La station météorologique	49

3ème partie : RESULTATS POUR 1975 à 1978

I - Pluviométrie	51
I-1 Hauteur d'eau précipitée	51
I-2 Répartition des pluies	54
I-3 Pluies unitaires	57
II - Caractérisation de la pluie	60
II-1 Energie cinétique	60
II-2 Indice d'agressivité climatique R.	60
III - Ruissellement	61
III-1 Bilan annuel	61
III-2 Résultats par séquence pluvieuse	63
IV- Erosion hydrique	77
IV-1 Erosion mécanique	78
IV-2 Erosion chimique	85
IV-3 Conclusions	102

V - Evolution de la végétation des deux parcelles	103
V-1 Evolution du couvert végétal	103
V-2 Evolution de la structure globale de la végétation	105
V-3 Conclusion	111

4ème partie : ANALYSES - INTERPRETATIONS

I - Le ruissellement	112
I-1 Comparaison entre les deux parcelles	112
I-2 Etude du ruissellement dans la parcelle garrigue	114
I-2-1 Influence de la hauteur de pluie	114
I-2-2 Influence de l'humidité préalable du sol	116
I-2-3 Influence du couvert végétal	119
I-2-4 Conclusions	122
I-3 Relations pluie-ruissellement	123
II - L'érosion	124

5ème partie : RESULTATS POUR 1979

I - Pluviométrie	129
I-1 Hauteur d'eau précipitée	129
I-2 Répartition des pluies	130
I-3 Pluies unitaires	131
II - Ruissellement	132
II-1 Bilan annuel	132
II-2 Résultats par séquence pluvieuse	132
II-3 Interprétations	134
III - Erosion hydrique	137
III-1 Erosion mécanique	137
III-2 Erosion chimique	139

<u>CONCLUSIONS GENERALES</u>	141
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	144
<u>ANNEXES</u>	152
Annexe I = pluviométrie = pluies unitaires (en mm) de 1975 à 1979	153
Annexe II = répartition des pluies unitaires par classe de hauteur de 1975 à 1979	165
Annexe III = composition chimique des eaux de ruissellement des deux parcelles de 1979	170
Annexe IV = composition des terres érodées des deux parcelles de 1975 à 1979	182
<u>Table des matières</u>	185
