



MICROFICHE N°

09596

République Tunisienne

الجمهورية التونسية

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

وزارة الزراعة

CENTRE NATIONAL DE

المركز القومي
للتوثيق الزراعي

DOCUMENTATION AGRICOLE

تونس

TUNIS

F

1

ES 292

REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE
DIRECTION DES SOLS



évaluation des paramètres physico-hydriques
de la sensibilité des sols à l'érosion hydrique
(référentiel sur l'érodabilité des terres en Tunisie)

A. Mtimet, R. Attia Ch. Derouiche et R. Pontanier
collaboration technique S. Agrebaoui et B. Dridi

1996

ES 292

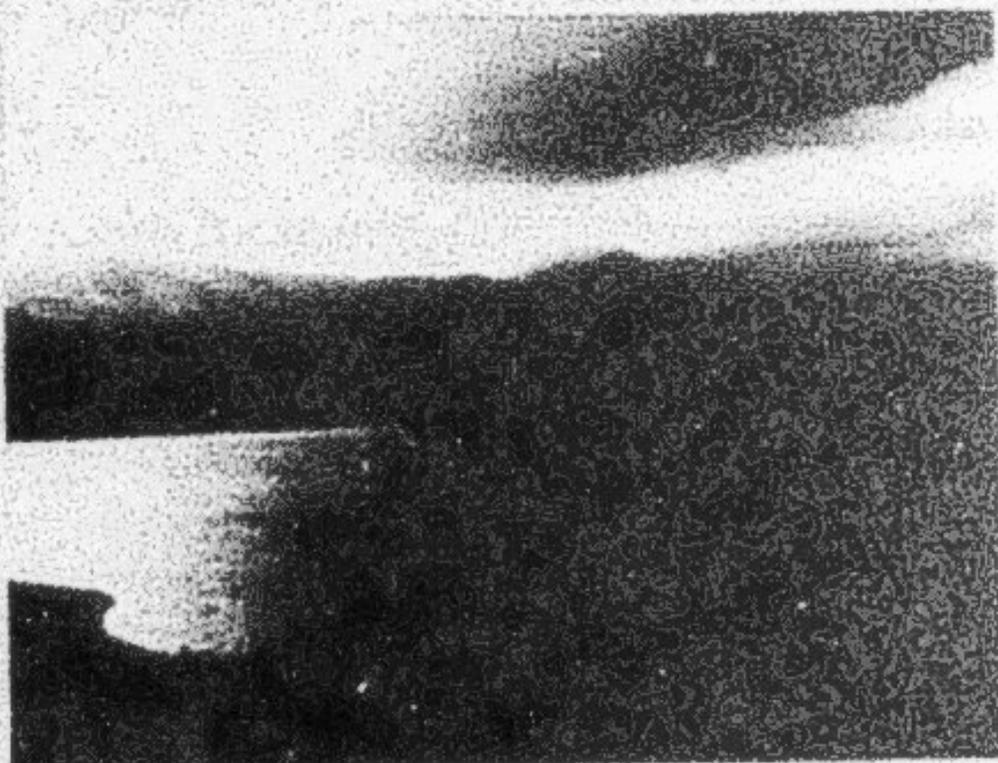
REPUBLIQUE TUNISIENNE
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE
DIRECTION DES SOLS



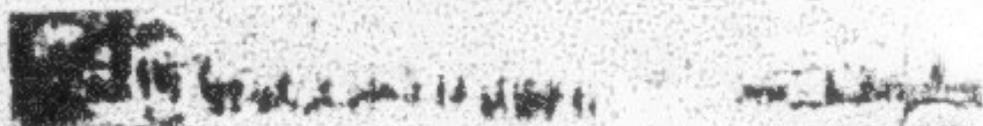
évaluation des paramètres physico-hydrauliques
de la sensibilité des sols à l'érosion hydrique
(référentiel sur l'érodabilité des terres en Tunisie)

A. Mtimet, R. Attia Ch. Derouiche et R. Pontanier
collaboration technique S. Agrebaoui et B. Dridi

1996



①



②



Milnes, Ama, Derouiche, Fontanier
Agrebaoui, Driaï

③

Sommaire

I - Introduction	1
- PARTIE I: ASPECTS THEORIQUES ET PRINCIPAUX FACTEURS ET EFFETS DE L'EROSION EN TUNISIE (climatiques, pédologiques et agro-écologiques)	3
II - Les différentes formes de l'érosion en Tunisie Diagnostic	4
1- Définition	4
2- Les différentes formes d'érosion	4
2.1- Les ravins	
2.2- L'érosion en nappe	
2.3- L'érosion en rigole	
2.4- Erosion par éboulement	
2.5- Erosion par solifluxion	
III- Les effets de l'érosion en Tunisie	7
1- Effet de l'érosion sur la fertilité des sols	
2- Envasement	
3- La désertification	
IV- Les processus, facteurs et causes de l'érosion	10
1- Les données climatiques régionales	11
2- Quantité, intensité et répartition des pluies	11
3- Les sols et leur contexte éco-géographique	14
4- L'occupation des sols (Végétation naturelle)	17
4.1- Végétation du tell humide	17
4.2- Végétation steppique	19
4.3- Végétation subdésertique et désertique	22
4.4- Les agrosystèmes, cultures en Tunisie	22
* Les zones du Nord de la Tunisie	
* Les zones subhumide	
* Les zones semi aride	
* Les zones arides	

V- Moyens d'estimation, de mesures et de quantification de l'érosion	25
1- Estimation des volumes globaux de matériaux érodés à l'échelle d'une région ou d'un bassin versant	27
1.1- Les mesures des débits solides des cours d'eau	27
1.2- Evaluation de la sédimentation dans les retenues des barrages.	28
1.3- L'utilisation des indices d'érodibilité ou d'érosion	28
2- La quantification de la perte en terre au niveau stationnel	31
3- L'évaluation qualitative: cartographie de l'érosion.	31
4- Simulation des pluies.	35
- PARTIE II : SIMULATION DE PLUIE (principes, sites et résultats).	36
I - La simulation de Pluie	
Introduction	
1- Description de l'appareil de lecture des états de surface.	37
2- La simulateur de pluie	38
2.1- Description	38
2.2- Pratiques d'utilisation	42
2.2-1- Mise en place de la parcelle	
2.2-2- Mise en place de la cuve	
2.2-3- Mise en place de labour	
2.2-4- Réglage des intensités	
2.2-5- Protocole des Averses.	
3- Les phases observées lors des pluies simulées.	46
II - Dépouillement des données de terrains par Micro-ordinateur	48
1- Utilisation des logiciels Infiltro et Etsurf	48
1.1- Exploitations des états de surface (Etsurf)	
1.2- Dépouillement du linéigramme (Infiltro)	
1.3- Saisi calcul et impression de résultats	
1.4- Présentation et expression des résultats	

III - Gestion et Exploitation des données de simulation des pluies.	53
1- Utilisation des logiciels DeSimul et Statgraph	
1.1- Moyens de gestion des données.	
IV - Approches adoptées	55
V - Résumé des résultats des campagnes réalisées	61
-Bassin versant de Beni Atta (Nord de la Tunisie)	61
-Bassin versant de l'Oued Fersallah (M'khachebia NW de la Tunisie)	64
-Bassin versant de l'Oued Lahmeur (région de Béja NW de la Tunisie)	67
-Bassin versant de la région de Medjez el Bab	71
-Bassin versant de l'Oued el Melah (région de Zaghouan)	74
-Bassin versant de l'Oued Mrichef el Anze (région de Siliana)	80
-Bassin versant de l'Oued Ettour (région de Haffouz-Tunisie Centrale)	83
-Bassin versant de l'Oued el Matz (région de Haffouz)	91
-Observatoire de Menzel Habib	
-Micro-Bassin type jessour Matamata (Tunisie Présaharienne)	94
- PARTIE III : SYNTHESE ET RECOMMANDATIONS	100
- ANNEXES	114
- REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	115

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
TAB N° 1 : Quelques valeurs d'apport solide et de l'érosion spécifique suite à l'envasement des barrages.	26
TAB N° 2 : Erosion et stratégie conservatoire.	32
TAB N° 3 : Charge solide à la station de l'Oued El Meiah.	47
TAB N° 4 : Caractéristiques des pluies simulées.	58
TAB N° 5 : Tableau de classification des sites étudié par simulation.	62
TAB N° 6 : Les valeurs de Rx relatives aux différentes parcelles.	66
TAB N° 7 : Résultats des parcelles de simulation.	68
TAB N° 8 : Caractéristiques des parcelles de sites de simulation.	68
TAB N° 9 : Résultats globaux de simulation à l'Oued Lahmeur.	73
TAB N° 10 : Comparaison globale entre les campagnes et les traitements.	77
TAB N° 11 : Tableau de résultats de la simulation réalisée à Zaghouan.	77
TAB N° 12 -13 : Les unités fonctionnelles du bassin versant de l'Oued Mriehet El Anze. Tab de résultats de simulation.	81
TAB N° 14-15-16-17 : Tableaux de résultats de la campagne du B V de l'O et l'Oud Hadfouz.	85
TAB N° 18 : Tableau de résultats de l'O EL Meiz.	90
TAB N° 19 : " " " Menzel el Habib.	92
TAB N° 20-21-22-23 : Tableaux de résultats des sites bassin type lesieur.	94
TAB N° 24 : Etude de la lame infiltrée, de l'érosion et l'érosivité des parcelles ayant des états de surface différents.	105
TAB N° 25 : Etude de la lame infiltrée, de l'érosion et l'érosivité par type de climat et par type d'occupation de sol.	107

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
TAB N° 1 : Quelques valeurs d'apport solide et de l'érosion spécifique suite à l'envasement des barrages.	26
TAB N° 2 : Erosion et stratégie conservatoire.	32
TAB N° 3 : Charge solide à la station de l'Oued El Meïah.	47
TAB N° 4 : Caractéristiques des pluies simulées.	58
TAB N° 5 : Tableau de classification des sites étudié par simulation.	62
TAB N° 6 : Les valeurs de Rx relatives aux différentes parcelles.	66
TAB N° 7 : Résultats des parcelles de simulation.	68
TAB N° 8 : Caractéristiques des parcelles de sites de simulation.	68
TAB N° 9 : Résultats globaux de simulation à l'Oued Lahmeur.	73
TAB N° 10 : Comparaison globale entre les campagnes et les traitements.	77
TAB N° 11 : Tableau de résultats de la simulation réalisée à Zaghouan.	81
TAB N° 12-13 : Les unités fonctionnelles du bassin versant de l'Oued Mricbet El Anze. Tab de résultats de simulation.	81
TAB N° 14-15-16-17 : Tableaux de résultats de la campagne du B V de l'O et l'Oud Hadfouz.	85
TAB N° 18 : Tableau de résultats de l'O EL Meïz.	90
TAB N° 19 : " " " Menzel el Habib.	92
TAB N° 20-21-22-23 : Tableaux de résultats des sites bassin type lesieur.	94
TAB N° 24 : Etude de la lame infiltrée, de l'érosion et l'érosivité des parcelles ayant des états de surface différents.	105
TAB N° 25 : Etude de la lame infiltrée, de l'érosion et l'érosivité par type de climat et par type d'occupation de sol.	107

تقييم العوامل الفيزيائية و المائية للأتربة التونسية و حساسيتها للإنجراف

ملخص :

- يتعرض هذا التقرير لمجموعة الدراسات حول مسألة تدهور الأراضي الفلاحية التونسية بسبب الإنجراف و هي حصيلة نتائج توصلنا إليها باستعمال آلة رش أو المثلر الإصطناعي استغرقت أكثر من عشر سنوات في كل البيئات التونسية إنطلاقا من ولايات تطاوين و مدين و قابس مرورا بالأراضي الزراعية لتونس الوسطى و الشبه العاقبة الشمالية.

هذه الآلة تحدث المطر و تمكنا من معرفة دقيقة للماء الجزء النافذ في الأرض و الجزء الباقي و هو المركب الرئيسي للسيلان و الإنجراف الناصل (بطريقة أخذ العينات من الماء الجاري الممثل للتربة) و ذلك بعد درس دقيق لكميات الأمطار الهاطلة ووضع بروتوكول يقضي بوضع ثلاث معدلات لقوة الهطل = نسب ضعيفة - و متوسطة و قوية - و نتحكم فيها بواسطة أجهزة الآلة فنكون بذلك قد ربحنا وقت المتابعة العقلية الطويل و التمس في بعض الأحيان نقتصر إلى كميات المطر في سنين الجفاف و من مشمولات هذه الآلة أيضا الدراسة الدقيقة للمجمعات المائية بعد حصر معطيات التربة و سطحها و طريقة حرثها، مع إعتبار المنحدر و الغشاء النباتي، و هي عوامل تلعب دورا هاما عند السيلان ثم الإنجراف، و مع التذكير بأن سطح الأرض له انعكاسات إيجابية على مردود الرش و الريان المائي السطحي.

- و مثل هذه التقنيات العديدة تتيح للمرة الأولى للمهندس الفني التحكم في المعطيات المختلفة للتدهور قوة الهطل، نسب السيلان معدل الرش و الإنجراف على مساحة صغيرة يمكن تغييرها حسب النظم البيئية المتعددة و قد جمعت بعدها انبيانات و تمّت معالجتها بقاعدة المعلومات بحيث يتاح للجميع : الدارس و صاحب القرار في التهيئة الزراعية المشاركة الفعلية ووضع الإستراتيجيات المتاحة للحد من هذه الظاهرة الخطيرة و التصدي لها و قد وضحت هذه الدراسة حسب إستعراض مفصل لفترة الإختبارات 1500 نوعية هطل - 600 مطر و 174 موقع بحث، أهمية إستعمالات الأتربة المتنوعة في البلاد من أراضي حبوب و مراعي و حجرية و كيفية تأقلمها مع التطورات السطحية للتربة، و كذلك الدور الموكول للتجهيزات المائية بمحركات جبلية و جسور و الربط بين التقنيات الحديثة والأساليب التقليدية و بهذا تدعم كمية المعلومات المتواجدة حاليا حول الإنجراف المائي و خاصة في مجال الفرانط بتكنولوجيا المعلومات و استعمال النظم الجغرافية الحديثة لكل الباحثين في هذا الميدان. كل هذا ضمن إستراتيجية التوعية في الحفاظ على الموارد الطبيعية و العزيمة السياسية التي تدعمها و ترعاها.

Le territoire tunisien fait partie de la zone méditerranéenne subtropicale caractérisée par l'agressivité et la diversité de ses processus hydriques et éolens. Plusieurs causes sont à l'origine de cette situation alarmante. En effet, catalysée par des conditions naturelles particulières - agressivité des pluies et du ruissellement, compartimentage du relief - cette érosion est en grande partie due à l'indaptation des activités anthropiques aux exigences d'équilibre des écosystèmes.

Ces derniers, très fragiles ont rendu le territoire du pays dans sa quasi majorité très sensible aux différents processus de dégradation.

Environ trois millions d'hectares sont soumis aux processus d'érosion hydrique. L'ampleur de l'impact produit par ces processus sur les terres varie d'une région à l'autre. Elle est fonction de leur nature physique et du degré d'équilibre des sols avec les autres composantes des écosystèmes. La protection des terres contre ce phénomène favorise l'infiltration, améliore l'alimentation des nappes et atténue l'envasement des barrages, des plaines côtières et de la mer. La lutte contre l'érosion revêt une importance capitale dans la sauvegarde du patrimoine national constitué des eaux et des terres qui sont les éléments de base de toute activité agricole. Pour que cette lutte soit bien menée il faut nécessairement bien comprendre les causes et les mécanismes de l'érosion et surtout les effets de l'occupation des sols et leur mode d'utilisation. Bien que de nombreuses études expérimentales aient été consacrées à ce problème, les connaissances sur ces phénomènes sont encore partielles.

Les données et recherches sur l'érosion (érodabilité, coefficient de ruissellement, infiltration, bilans hydriques) à différentes échelles de temps et espace - voir travaux de Lafforgue 1978, Boiffon 1984, Casenave et Valentin 1989, Escadafal, Mimet 1983, Sols de Tunisie, 11 et 14 -), ont permis la mise au point d'un protocole de mesure qui permet de reconstituer des averse analogues aux averse naturelles, de mesurer le ruissellement et l'érosion et d'avoir une meilleure compréhension du comportement des différents sols, de leur état de surface. Les mesures sont réalisées au moyen d'un appareil facilement transportable, le simulateur de pluie, ou infiltromètre.

La Direction des Sols et FORSTOM, dans le cadre de travaux communs, ont mis au point un programme d'étude des modalités de l'infiltration de l'eau et de l'érodabilité des terres à l'aide de cet appareil déjà expérimenté dans d'autres régions africaines. Pendant une dizaine d'années les mesures se sont succédées sur des bassins versants représentatifs afin d'établir les éléments de comparaison.

C'est dans ce contexte que nous proposons de présenter ce travail qui est une récapitulation et une synthèse de tous les essais de mesures sous pluies simulées, les essais étant effectués sur un grand nombre de situations naturelles ou cultivées variées de la Tunisie. Ces milieux sont écologiquement et biochimiquement différents (type de sols, utilisation des terres, aspects de dégradation, précipitations).

Parmi les objectifs visés par cette étude on peut citer

- La détermination du rôle des différents facteurs du milieu dans les mécanismes du ruissellement, de l'infiltration et de l'érosion.

Le territoire tunisien fait partie de la zone méditerranéenne subtropicale caractérisée par l'agressivité et la diversité de ses processus hydriques et éolens. Plusieurs causes sont à l'origine de cette situation alarmante. En effet, catalysée par des conditions naturelles particulières - agressivité des pluies et du ruissellement, compartimentage du relief - cette érosion est en grande partie due à l'indaptation des activités anthropiques aux exigences d'équilibre des écosystèmes.

Ces derniers, très fragiles ont rendu le territoire du pays dans sa quasi majorité très sensible aux différents processus de dégradation.

Environ trois millions d'hectares sont soumis aux processus d'érosion hydrique. L'ampleur de l'impact produit par ces processus sur les terres varie d'une région à l'autre. Elle est fonction de leur nature physique et du degré d'équilibre des sols avec les autres composantes des écosystèmes. La protection des terres contre ce phénomène favorise l'infiltration, améliore l'alimentation des nappes et atténue l'envasement des barrages, des plaines côtières et de la mer. La lutte contre l'érosion revêt une importance capitale dans la sauvegarde du patrimoine national constitué des eaux et des terres qui sont les éléments de base de toute activité agricole. Pour que cette lutte soit bien menée il faut nécessairement bien comprendre les causes et les mécanismes de l'érosion et surtout les effets de l'occupation des sols et leur mode d'utilisation. Bien que de nombreuses études expérimentales aient été consacrées à ce problème, les connaissances sur ces phénomènes sont encore partielles.

Les données et recherches sur l'érosion (érodabilité, coefficient de ruissellement, infiltration, bilans hydriques) à différentes échelles de temps et espace - voir travaux de Lafforgue 1978, Boiffun 1984, Casenave et Valentin 1989, Escadafal, Mimet 1983, Sols de Tunisie, 11 et 14 -), ont permis la mise au point d'un protocole de mesure qui permet de reconstituer des averses analogues aux averses naturelles, de mesurer le ruissellement et l'érosion et d'avoir une meilleure compréhension du comportement des différents sols, de leur état de surface. Les mesures sont réalisées au moyen d'un appareil facilement transportable, le simulateur de pluie, ou infiltromètre.

La Direction des Sols et FORSTOM, dans le cadre de travaux communs, ont mis au point un programme d'étude des modalités de l'infiltration de l'eau et de l'érodabilité des terres à l'aide de cet appareil déjà expérimenté dans d'autres régions africaines. Pendant une dizaine d'années les mesures se sont succédées sur des bassins versants représentatifs afin d'établir les éléments de comparaison.

C'est dans ce contexte que nous proposons de présenter ce travail qui est une récapitulation et une synthèse de tous les essais de mesures sous pluies simulées, les essais étant effectués sur un grand nombre de situations naturelles ou cultivées variées de la Tunisie. Ces milieux sont écologiquement et biochimiquement différents (type de sols, utilisation des terres, aspects de dégradation, précipitations).

Parmi les objectifs visés par cette étude on peut citer

- La détermination du rôle des différents facteurs du milieu dans les mécanismes du ruissellement, de l'infiltration et de l'érosion.

- L'étude de l'évolution du régime hydrique et l'érodabilité des terres en fonction des techniques culturales, et les états de surface tout en essayant de prévoir des modèles prédictifs permettant aux aménagistes du milieu rural de faire le meilleur choix des travaux de conservation des eaux et du sol.

- Aboutir enfin à définir un découpage régional permettant de classer les régions de même caractère écologique et présentant les même degrés de risque d'érosion.

Par ailleurs cette étude aura plusieurs thèmes d'application : la mise au point des modèles d'érosion des unités de milieu et de paysage types représentatifs de notre pays, l'optimisation de l'irrigation par aspersion, enfin la définition de modèles de ruissellement et d'infiltration.

Ce travail comprendra :

- Un bref rappel sur les aspects théoriques de l'érosion et les principaux facteurs de ce processus. Il s'agira également d'établir un résumé sur l'occupation des sols en Tunisie avec la vocation des zones agricoles, agro-écologiques, forestières et nues avec quelques données pédologiques.

- Dans une deuxième partie, on insistera sur la représentativité des sites sur lesquels seront réalisés la simulation, l'exploitation des résultats, le bilan, l'établissement de fiches modèles pour certaines régions.

La troisième partie comprendra la synthèse des résultats de mesure par la méthode de simulation

L'étude se terminera par une conclusion et des recommandations

- L'étude de l'évolution du régime hydrique et l'érodabilité des terres en fonction des techniques culturales, et les états de surface tout en essayant de prévoir des modèles prédictifs permettant aux aménagistes du milieu rural de faire le meilleur choix des travaux de conservation des eaux et du sol.

- Aboutir enfin à définir un découpage régional permettant de classer les régions de même caractère écologique et présentant les mêmes degrés de risque d'érosion.

Par ailleurs cette étude aura plusieurs thèmes d'application : la mise au point des modèles d'érosion des unités de milieu et de paysage types représentatifs de notre pays, l'optimisation de l'irrigation par aspersion, enfin la définition de modèles de ruissellement et d'infiltration.

Ce travail comprendra :

- Un bref rappel sur les aspects théoriques de l'érosion et les principaux facteurs de ce processus. Il s'agira également d'établir un résumé sur l'occupation des sols en Tunisie avec la vocation des zones agricoles, agro-écologiques, forestières et nues avec quelques données pédologiques.

- Dans une deuxième partie, on insistera sur la représentativité des sites sur lesquels seront réalisés la simulation, l'exploitation des résultats, le bilan, l'établissement de fiches modèles pour certaines régions.

La troisième partie comprendra la synthèse des résultats de mesure par la méthode de simulation

L'étude se terminera par une conclusion et des recommandations

PARTIE I

**ASPECTS THEORIQUES ET PRINCIPAUX FACTEURS ET EFFETS DE L'EROSION
EN TUNISIE**

II.1. Définitions

L'érosion est définie comme étant la combinaison des processus de détachement, de transport et de dépôt des particules du sol. Cette dégradation du sol est le résultat de deux types d'érosion.

- L'érosion naturelle : il s'agit d'un processus normal qui se produit sans l'intervention de l'homme, elle est responsable de l'usure des montagnes et de la transformation graduelle de certains paysages.

- l'érosion anthropique (érosion des sols agricoles) : elle amplifie l'érosion naturelle et est due aux activités humaines par modification de la couverture naturelle et de l'état du sol. On l'observe généralement sur les sols cultivés.

II.2. Les différentes formes d'érosion.

Toute connaissance réelle de l'ampleur de l'érosion affectant une région exige l'identification du ou des processus actifs et la détermination concrète des impacts produits par ces processus sur les terres.

Ces processus s'organisent souvent en systèmes d'érosion. Les différents systèmes d'érosion qui produisent le phénomène d'érosion hydrique en Tunisie se composent tous de la même panoplie de processus, à savoir le décapage superficiel, les ravinelements, les sapements de berges, les mouvements de masse pour ne citer que les plus importants. Cependant, ces systèmes se distinguent les uns des autres par le type et l'agressivité de ou des processus actifs et dynamiques qui prédominent sur l'ensemble des processus en action.

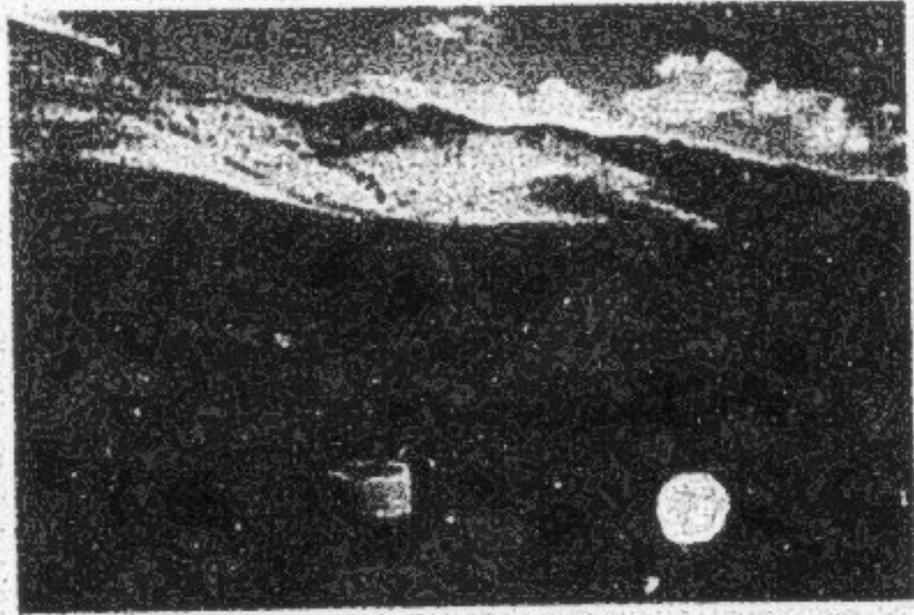
II.2.1. Les ravins constituent les formes les plus spectaculaires de cette destruction : ils débutent sous l'apparence de petites fissures et peuvent atteindre des dimensions terrifiantes, même s'ils n'ont que soixante ou quatre vingt centimètres de profondeur. Ils constituent un obstacle à la culture et permettent plus difficilement d'utiliser la terre pour les pâturages. Il est souvent très difficile d'intervenir pour arrêter la croissance des ravins. Si les précipitations se prolongent et sont de forte intensité et que la pente est forte, le ravinement se généralise et donne lieu à des formes de paysage caractéristiques.

C'est ainsi que dans les formations exclusivement marnées de Foued el Meleh ainsi que dans la combe de jebel Ouesselat et plus particulièrement dans les colluvions anciennes où se trouve si Mohamed el Hader s'étend un réseau d'entailles assez profondes et d'autres formes variées de ravinement. Ces derniers ne sont interrompus qu'à la suite d'une discontinuité, notamment des bancs résistants de calcaires.

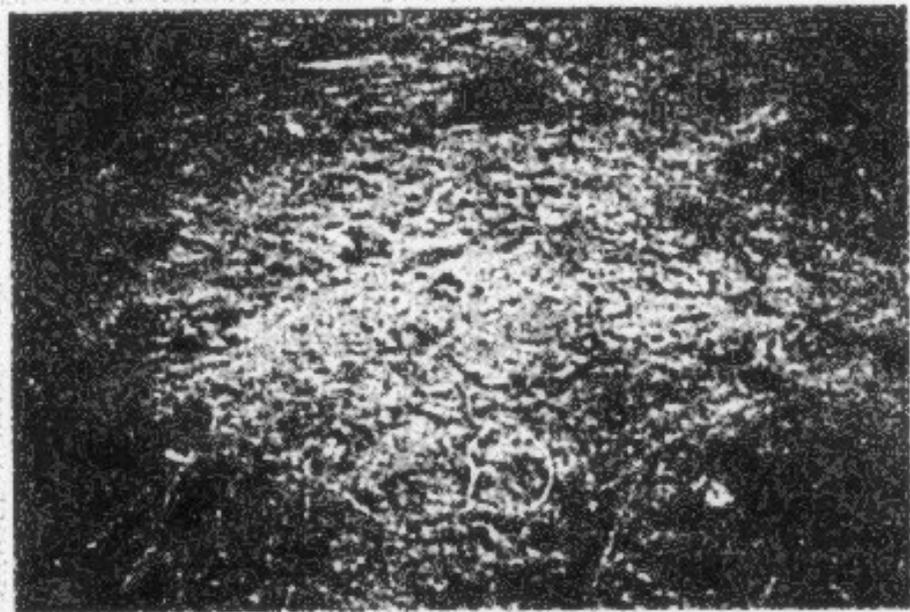
II.2.1. L'érosion en nappe (décapage superficiel).

L'érosion en nappe entraîne la dégradation du sol sur l'ensemble de sa surface. On parle d'érosion en nappe ou suréolaire (sheet erosion) parce que l'énergie des gouttes de pluie s'applique à toute la surface du sol et le transport des matériaux détachés s'effectue par le ruissellement en nappe. C'est le stade initial de la dégradation des sols par érosion.

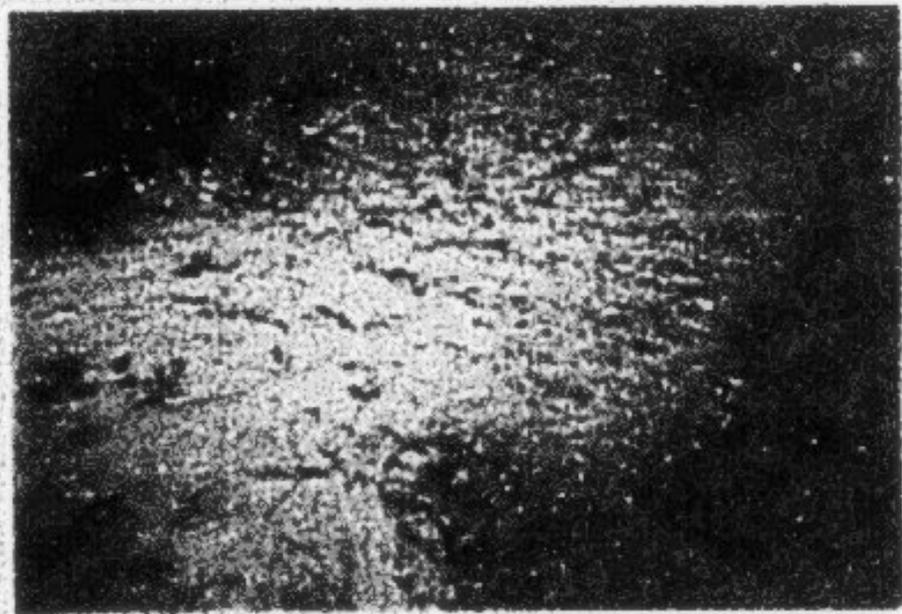
DIFFERENTES FORMES DE L'EROSION



Bad lands



Erosion en nappe



Canaux de drainage suite à une érosion en nappe

Elle se produit lors d'une averse brusque, abondante et courte par l'étalement d'une fine pellicule d'eau coulant à la surface. Cette forme de ravage est tout particulièrement nuisible parce qu'elle s'attaque d'abord à l'humus. La véritable érosion en nappe ne suit pas des courants bien définis. Toutefois, les ruissellements d'eau ont tendance à se concentrer si bien que des canaux de drainage apparaissent bientôt. L'érosion en nappe peut entraîner un décapage de la majorité de l'horizon humifère en quelques dizaines d'années. Le signe le plus connu de l'érosion en nappe est donc la présence de plages de couleurs claires aux endroits les plus décapés, les plus agressés des champs (haut de collines et rupture de pentes). L'érosion en nappe est le phénomène le plus répandu en Tunisie ; elle existe un peu partout et marque le paysage.

11.2.3. L'érosion en rigole.

Le phénomène d'érosion en nappe peut évoluer et creuser des rigoles de plusieurs centimètres de profondeur qui ne sont pas assez larges pour être aplanies par les procédés normaux de culture. Cette forme existe surtout au nord-ouest et au centre du pays.

11.2.4. Erosion par éboulement.

C'est la forme d'érosion des zones culminantes, par exemple Jebil et Ousselat qui sont formés de roches calcaires dures mises à nu, très fracturées et endommagées.

En période sèche, quand l'humidité de la roche est faible, les bancs calcaires se désagrègent et libèrent des petits éléments rocheux qui tombent sur le versant sous l'effet de la gravité et qui s'accumulent à la base sous forme de cônes et talus d'éboulis. Cette forme d'érosion marque généralement les régions montagneuses.

11.2.5. Erosion par solifluxion.

Elle se présente sous la forme d'un glissement du terrain argileux. Lorsque celui-ci est imbibé d'eau, il augmente de poids et si ce sol repose sur une dalle rocheuse ou une couche argileuse imperméable on assiste à un glissement dans le sens de la pente. Cette forme est typique du nord et du centre du pays, particulièrement dans les zones où les sols argileux occupent les zones d'épandage, et où les pentes sont fortes et entraînent le glissement des terres.

En se basant sur ces derniers concepts, la réalité de l'érosion hydrique dans le pays pourrait être présentée en fonction des systèmes d'érosion actifs. Ces derniers se répartissent spatialement ainsi :

- Les terres dans les régions du Nord concernées par les bioclimats subhumides et humides sont agressées par un système d'érosion où prédominent en permanence les actions du ravinement et les mouvements de masse. L'effet de ces deux processus se relayent dans le temps et l'espace pour exercer une dégradation profonde des terres même dans les secteurs forestiers.

- Dans les régions semi-arides, les processus liés aux ravinements diffus et concentrés (ravissements, décapages superficiels, sapement des berges) occasionnent la proportion la plus importante d'érosion hydrique qui affecte les terres. La fréquence des terres aux sols trances (30 à 50 cm) et meubles conjuguée à la prédominance de la céréaliculture, des parcours dégradés et de l'arboriculture non traitées font que même un décapage superficiel d'intensité moyenne, ne provoquant qu'un faible volume de matériaux arrachés, produit un impact grave sur la terre qui perd vite au fil des années ses potentialités productives.

Ce phénomène est encore plus grave dans les régions sub-arides. Dans ces régions qui occupent de larges espaces en Tunisie steppe, le décapage superficiel et les sapements de berge le long des oueds commandent la dynamique du système d'érosion hydrique qui est par endroit contrarié ou activé, selon les conditions, par les processus de déflation-accumulation à courte distance.

III. LES EFFETS DE L'ÉROSION EN TUNISIE

III.1. Effet de l'érosion sur la fertilité des sols

L'érosion des sols a plusieurs conséquences parmi lesquelles la diminution de la fertilité des sols. Cependant l'action de l'érosion sur la fertilité des sols est indirecte. En effet, on assiste d'abord à une phase de détérioration de la structure du sol qui devient compacte et asphyxiante, provoquant par conséquent une diminution de la perméabilité du sol.

L'eau ne peut plus circuler en profondeur, ce qui fait qu'aucune réserve ne se forme dans le sol. Du point de vue chimique et biologique, la faune et la microflore du sol disparaissent par manque de perméabilité du sol et dans les couches profondes où il n'y a pas d'eau, les éléments nutritifs assimilables sont résistants et non disponibles à la végétation (absence du vecteur de circulation). La structure du sol devenant compacte et asphyxiante, la stagnation de l'eau durant la période humide provoque une réduction des éléments nutritifs qui deviennent non assimilables par les cultures en place.

De même, les éléments fins qui constituent la majeure partie du complexe absorbant du sol, disparaissent laissant sur place un squelette stérile d'éléments grossiers. Le sol perd par conséquent sa fertilité initiale et la reconstitution des réserves organiques et minérales devient difficile.

III.2. Envasement

La terre érodée est toujours transportée : plaines, lits des cours d'eau et barrages. Ces dépôts vont engendrer les problèmes suivants :

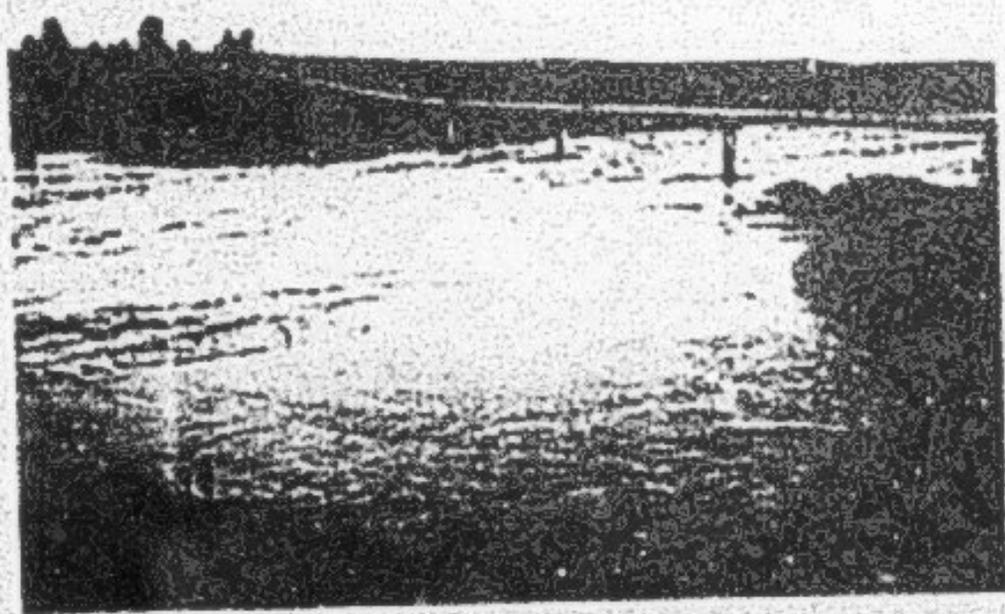
- Sédimentation des plaines inondables : les eaux de débordement des cours d'eau sont parfois associés à de grosses quantités de matériaux non fertiles qui vont être déposés sur des terres agricoles. C'est ce qui s'est passé en Tunisie lors des crues de 1969 (exemple : les dégâts causés par l'inondation de l'oued Zéroud dans la plaine de Kairouan).

- Envasement des barrages. Les dépôts de sédiments dans les barrages réduisent leur capacité de rétention et raccourcissent leur durée de vie. En Tunisie, la majorité des barrages versants des barrages ne sont pas protégés.

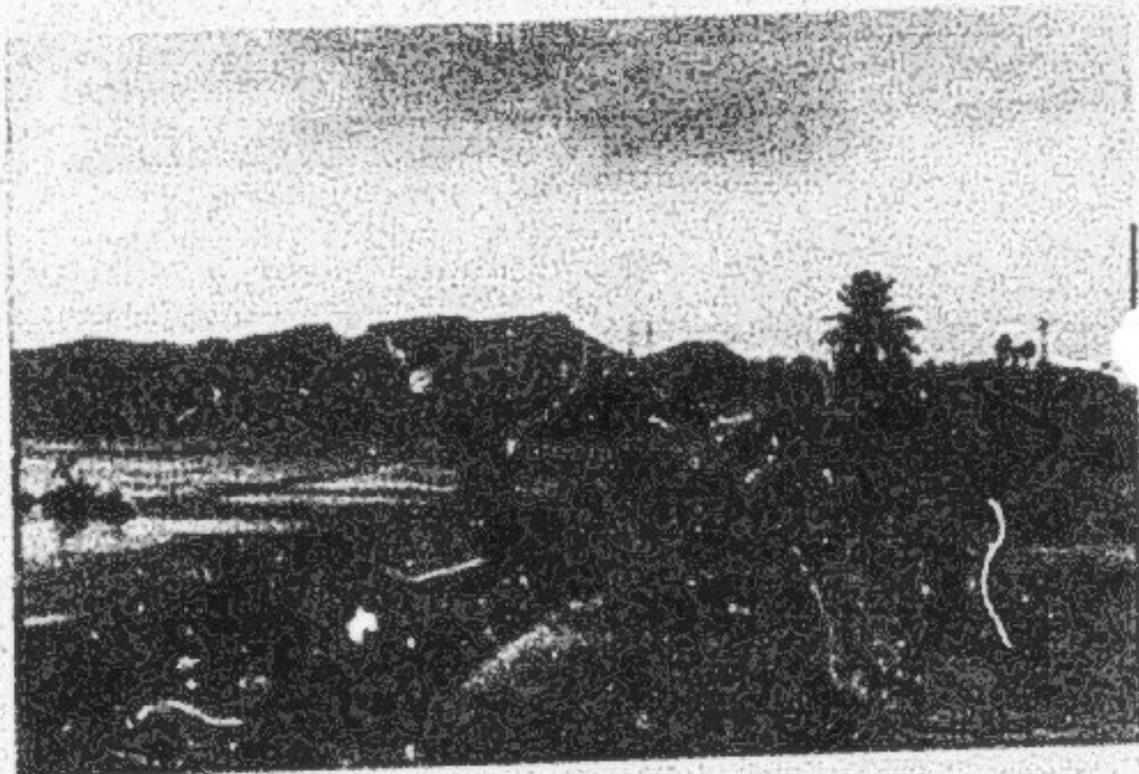
- 8 -
Les pluies exceptionnelles dans les régions arides



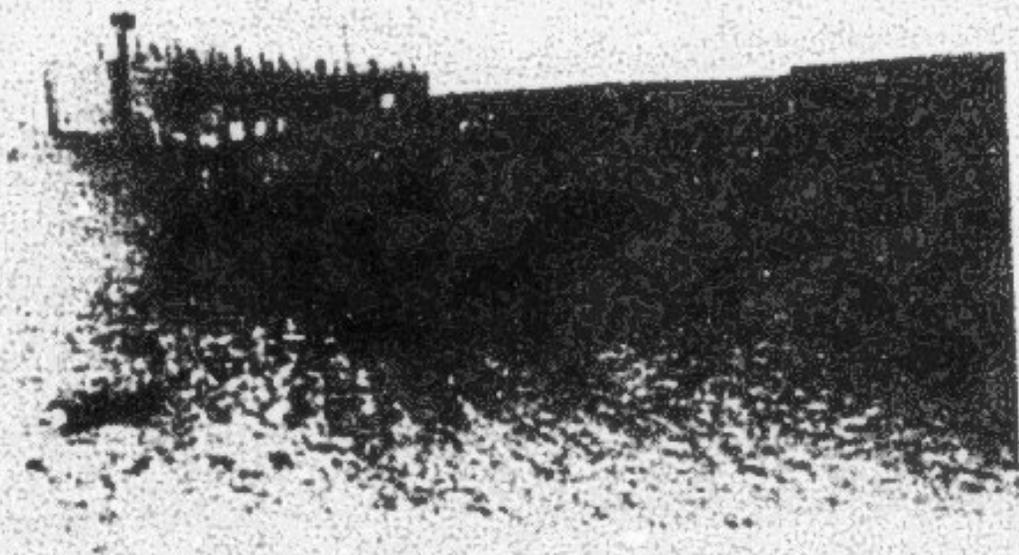
Crue de l'O. Koutine 1979.



Crue de l'O Bouhamed Jeffara 1979.



**Crue d'oued el Hamma Janvier 1990
(observer la turbidité des eaux
et la charge solide)**



**Importance des dépôts derrière le barrage O. Iir
Tunisie Présaharienne.**

Bassin versants (B.V)	Apport moyen du transport solide (milli. tonnes/an)	Erosion spécifique (tonnes/Km ² /an)
Mejerdah	21.5	1020
Zéroud	5.967	690
Marquellil	1.451	1630
Silliana	1.664	160

Tabl. N° 1 (D'après PISUD-FAO (1982) et Radha A. (1986))

III.3. La désertification

Elle entraîne la diminution de la productivité du sol due aux mauvaises pratiques culturales et à la dégradation du couvert végétal, tout en tenant compte des conditions climatiques qui accélèrent également la dégradation du sol.

Dans le sud tunisien, on a estimé une désertification annuelle de 18.000 hectares de terres potentiellement productives (F.A.O. 1977)

Cette désertification est causée à la fois par l'érosion hydrique et éolienne. Dans cette étude on ne s'intéressera qu'à l'érosion hydrique

IV. LES PROCESSUS, FACTEURS ET CAUSES DE L'EROSION.

L'érosion résulte de nombreux processus qui jouent au niveau de trois phases : le détachement des particules, le transport solide et la sédimentation. Quelle que soit l'échelle d'étude, du mètre carré du bassin versant aux centaines de milliers de Km², on retrouve partout ces trois phases de l'érosion avec des intensités différentes : d'où la diversité des acteurs de l'érosion en fonction des phases dominantes.

En montagne, lorsque la couverture végétale est détruite, le ravinement, les torrents et les glissements de terrain entraînent beaucoup de transferts solides qui causent d'énormes dégâts aux réseaux de communication : les ingénieurs des Ponts et chaussées ainsi que les forestiers interviennent alors pour entretenir les voies de communication, revégétaliser les parcours.

Dans les piémonts, où les pentes sont encore fortes, les dégâts d'érosion proviennent du ravinement, des torrents qui charrient une énorme charge solide et pour une moindre part, de la dégradation de la végétation par le surpâturage.

Enfin, dans les plaines, les problèmes concernent le plus souvent l'alluvionnement dans les canaux, les rivières, l'inondation des lits majeurs des rivières, le colmatage boueux de quartiers résidentiels (mal placés sous des versants cultivés mécaniquement sans précaution) et

enfin la pollution des eaux (charge solide en suspension fine ou produits toxiques rejetés par l'agriculture ou l'industrie).

IV.1. Les données climatiques régionales.

Le climat est un facteur important dans la détermination de la végétation naturelle et de la nature du sol d'une région particulière à une autre.

De même les éléments du climat déterminent en très grande partie le taux et le caractère de l'érosion naturelle. L'usure et la désintégration des roches sont conditionnées par la chaleur et le froid, l'humidité, la sécheresse et les autres conditions qui dépendent de la température et du climat.

L'humus et les roches érodées, désagrégées sous l'action des intempéries, sont entraînés par l'écoulement des pluies, par les vents ou les glissements de terrains et de rochers causés par la gravitation et le processus général des mouvements géologiques massifs. De cette façon, les grandes formations constructives de terrains sont graduellement érodées par l'eau. Des plateaux et des montagnes finissent par être à tel point ravines par les torrents que leur apparence change entièrement.

La différence entre les traits caractéristiques des régions arides et des régions humides est due en grande partie à la protection offerte par la végétation. Dans les climats humides où la surface du sol est couverte par des forêts, l'érosion du sol ne peut avoir que des effets mineurs (voir carte n° ...).

Les régions s'étendant essentiellement au nord de la Mejerda et dans le nord du Cap Bon se caractérisent par un climat méditerranéen à hivers pluvieux (Yahorka). Elles reçoivent annuellement plus de 600 mm de pluie, mais les secteurs montagneux les mieux exposés bénéficient de précipitations supérieures à 1 000 mm. La saison sèche dure de 3 à 5 mois. Les forêts de chênes-lièges et de chênes-verts constituent des formations climatiques.

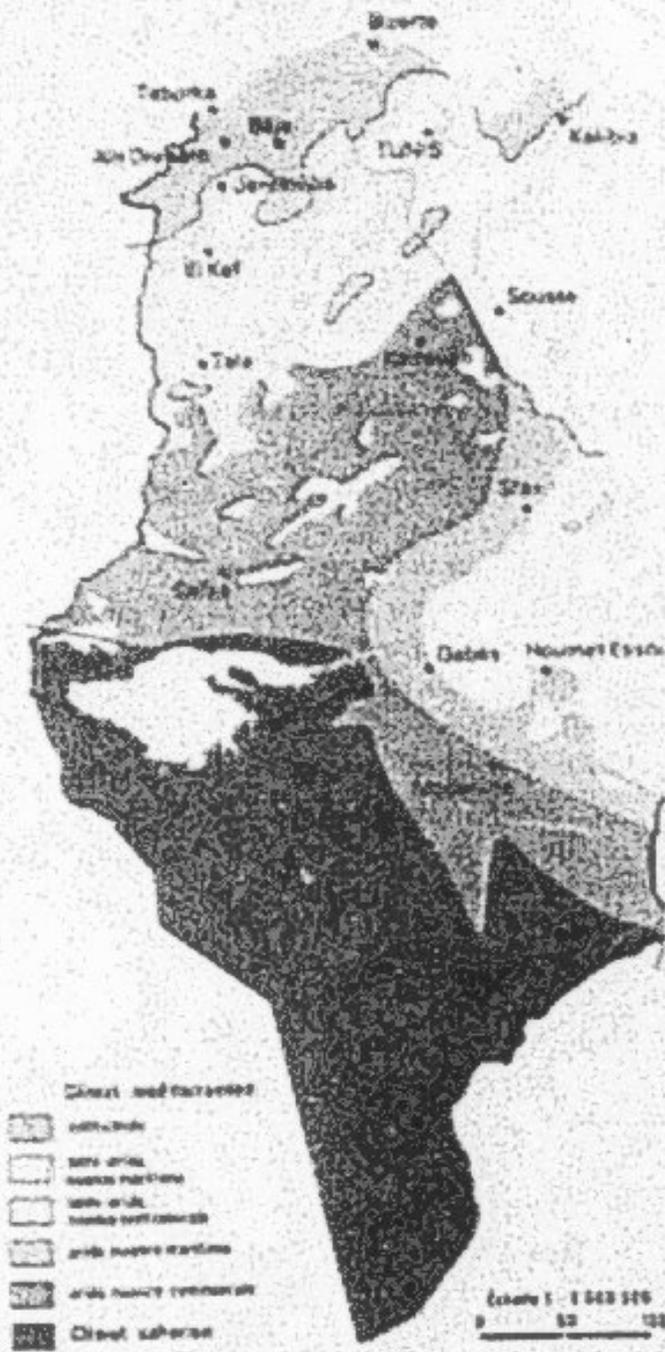
Plus au sud s'individualise un climat méditerranéen semi-aride (Tunis, Jendouba). Il tombe entre 300 et 600 mm de pluie par an ; la durée de la saison sèche varie de 5 à 8 mois. L'amplitude thermique maximale plus faible à proximité de la mer (23-24°) qu'à l'intérieur (32 à 33°) et le taux d'humidité atmosphérique qui atteint 72% à Tunis et 65% à Jendouba, mettent en évidence l'existence d'une nuance maritime et d'une nuance continentale. L'originalité bioclimatique de ce domaine et ses contrastes internes se traduisent dans la couverture végétale dominée par le thuyas de berbérie, le chêne kermès, le pin d'Alep et le chêne vert.

Le climat méditerranéen aride (Kairouan, Sfax), avec 150 à 200 mm de pluie par an, subit une longue saison sèche de 8 à 12 mois. Il présente deux nuances liées à la proximité ou à l'éloignement de la mer.

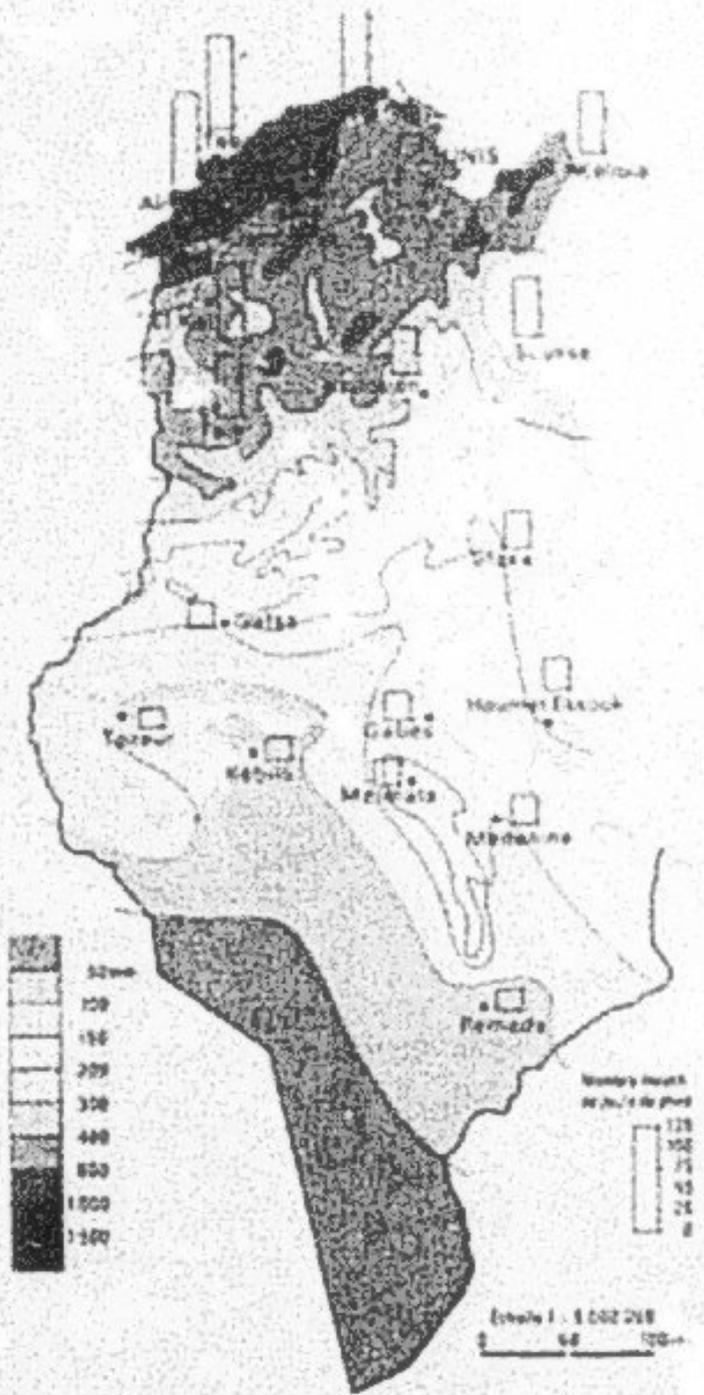
Le climat de type saharien s'affirme au delà de l'isohyète annuelle 150 mm avec des caractères thermiques et hygrométriques continentaux tandis que les caractères spécifiquement méditerranéens s'estompent. La saison sèche se prolonge tout au long de l'année.

La steppe remplace la forêt dans la Tunisie aride : steppe d'aïfa, à jubière et armoise champêtre dans le centre ; steppe monotone et ouverte dans les régions sahariennes.

Carte N°1: carte des regions climatiques



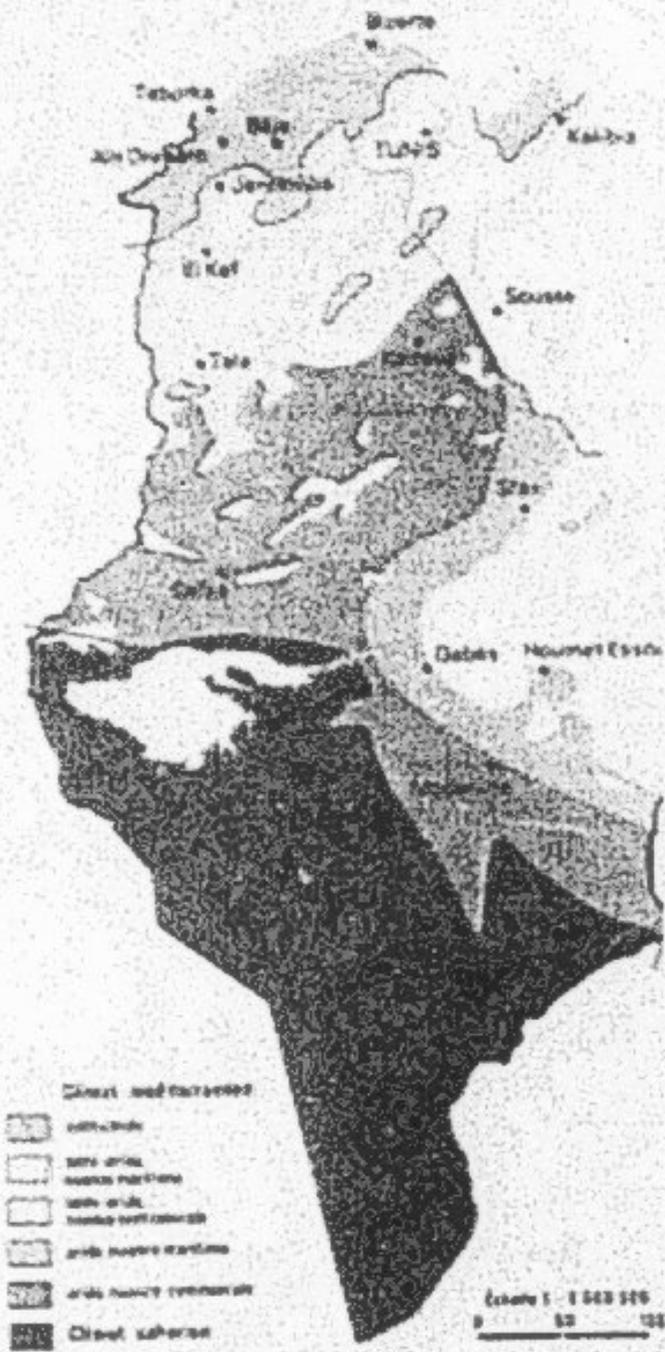
Carte N°2: carte des précipitations en mm



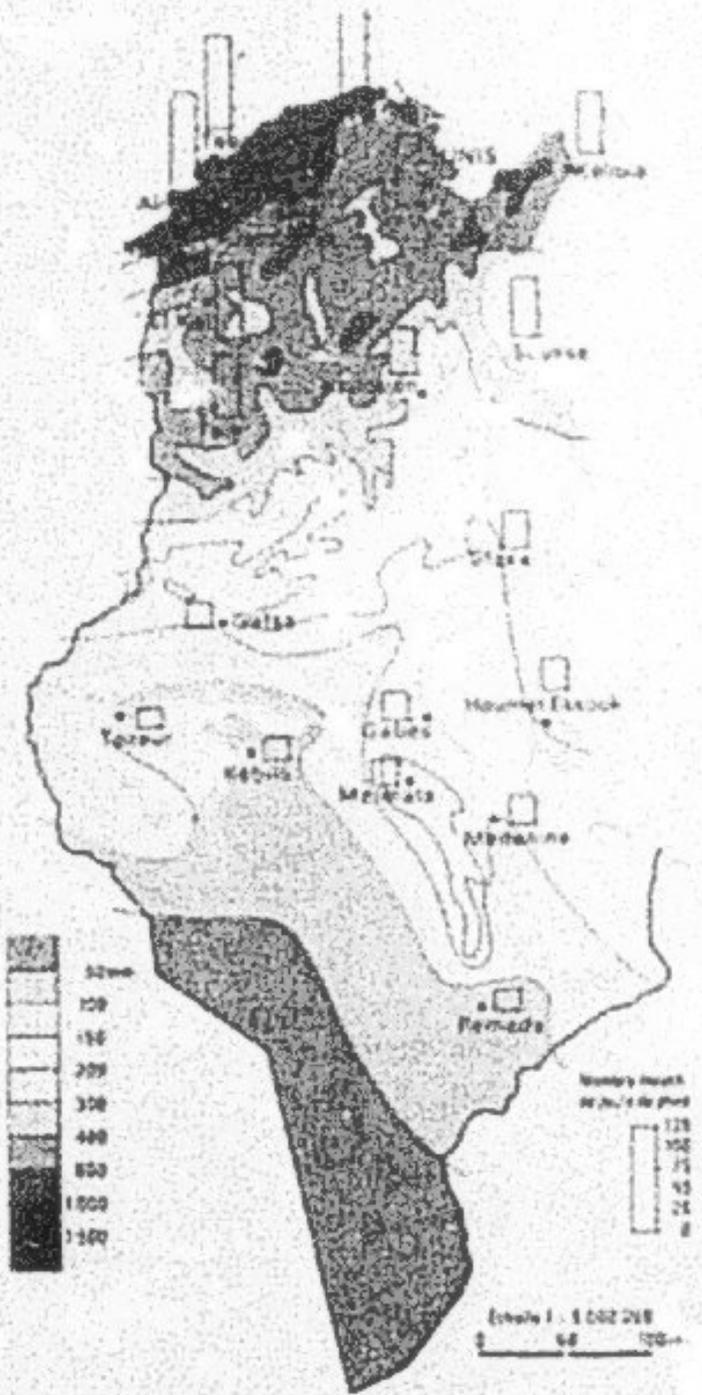
Nombre de jours
de pluie de plus
de 20 mm

120
100
75
50
25
0

Carte N°1: carte des regions climatiques.



Carte N°2: carte des précipitations en mm.



La nature de l'érosion du sol dans une région donnée et la différence d'érosion selon les saisons dépendent en partie du caractère des précipitations atmosphériques.

Des pluies intenses déterminent une plus grande proportion d'écoulement immédiat des couches superficielles que des petites pluies fines et lentes si bien que les pluies intenses ne durent généralement que très peu de temps et ne s'abattent que sur des zones très restreintes. Ce sont elles qui sont responsables de la plus grande partie de l'érosion en nappe et des ravinements.

En Tunisie, des inondations catastrophiques ont eu lieu en 1969 du fait de pluies intenses :

Sidi Bouzid - au mois de septembre : 330 mm en 24 h
(moyenne de ce mois : 35 mm)
- au mois d'octobre : 490 mm en 24h
(moyenne de ce mois : 35 mm)

La même année, sur le bassin versant de Zéroud (8577 Km²), on a estimé les pertes en terre à 260 millions de tonnes, soit 30.313 tonnes/Km². Cela correspond à un décapage d'une couche de terre de 30 mm (Z. Chaâbouni, 1979).

IV.2. Quantité, intensité et répartition des pluies.

Les précipitations traduisent l'influence prépondérante de la latitude, renforcée par les effets de l'orientation générale du relief. Ces précipitations tombent sous forme de brèves averses, souvent très intenses. La neige demeure exceptionnelle en raison de la latitude et de l'absence de hauts reliefs mais de fréquentes chutes de grêles se produisent chaque année, en fin de printemps, sur les régions céréalières de l'intérieur. Une grande variabilité interannuelle et saisonnière caractérise aussi ces précipitations. Cette variabilité est d'autant plus importante que le total pluviométrique est relativement régulier (1032 mm/an). On a mesuré 1406 mm en 1953 et 646 mm seulement en 1961. A la station Jendouba qui enregistre une pluviométrie moyenne de 473 mm/an, il est tombé 681 mm en 1946 et 256 mm l'année suivante. Mais c'est la variabilité saisonnière affectant tout particulièrement l'automne et le printemps qui bouleverse le déroulement normal des campagnes agricoles et leur production.

L'indice d'agressivité climatique annuel moyen (RUSA de Wischmeier). Aux Etats-Unis, l'indice de Wischmeier varie de 20 à 650 unités (Wischmeier, 1960). En Europe, l'indice varie de 20 à 150 : Pihan (1970), Bolline & col. en Belgique (1982).

En région méditerranéenne, RUSA = 50 à 350 (Masson, en Tunisie, Kalmann, au Maroc, Heusch au Maroc, Arabi en Algérie, Pihan en France)

En zone tropicale sèche, RUSA = 100 à 450.
En zone tropicale humide, de 500 à 1200.

Il faut cependant noter de graves écarts constatés entre l'érosion en nappe dans certaines régions et l'agressivité des pluies selon l'équation de Wischmeier.

La répartition des pluies, très inégale, permet de distinguer trois domaines pluviométriques :

- Au nord, le domaine tellien est limité vers le sud par l'isohyète 400 mm (limite sud du croissant céréaliier en sec). Les secteurs montagneux les mieux exposés aux vents humides du nord-ouest constituent des îlots de forte pluviosité (1582 mm à Ain Drahim), tandis que les couloirs et les bassins abrités reçoivent moins de 500 mm (473 mm à Jendouba). A l'exception des plateaux du Sud Ouest (région de Thala), les pluies tombent surtout en hiver alors que l'été reste particulièrement sec.

- Le domaine steppique (aride) s'étend au sud de la Dorsale entre les isohyètes 350 et 150 mm. Le fléchissement très marqué des pluies hivernales est à peine compensé par leur recrudescence au cours des saisons de transition ;

- Le domaine saharien reçoit des précipitations très irrégulières, inférieures à 150 mm. Cette irrégularité pluviométrique est d'autant plus grave que l'évaporation est très active en raison de la sécheresse de l'air et que les températures sont particulièrement élevées.

IV.3- Les sols et leur contexte éco-géographique

Les sols, résultat des conditions bioclimatiques spécifiques des pays méditerranéens qui favorisent plus la désagrégation des roches que leur décomposition chimique et leur enrichissement en matières organiques (humus), sont peu évolués et peu profonds. La jeunesse du relief et l'importance de l'érosion les empêchent d'arriver à maturité.

Dans les jebels et les collines du NE ce sont généralement des sols calcimagnésiques qui sont associés à des sols bruts d'érosion, des lithosols et des régosols sur les versants (jebel Zaghonan, Zriba).

Sur les piedmonts des jebels et des collines dominent les rendzines et les sols bruns calcaires sur croûtes ou conglomérats (glacis de piedmont de la région de Tunis).

Les plaines sont le domaine des sols peu évolués d'apport nordaux. Ces sols sont faiblement salés dans la basse vallée de la Medjerda et dans la région de Bouficha autour de l'Oued Rmel.

On note également la présence de quelques lambeaux de sols d'apport à caractères vertiques du côté de Saouf et au Sud-Ouest d'Enfida ville.

Les piedmonts dominant la rive gauche de la Medjerda sont couverts de sols isohumiques et de sols à croûte calcaire.

Au sud de l'oued Medjerda, presque tous les sols font partie de la classe des sols calcimagnésiques (rendzines, sols bruns calcaires).

Dans les synclinaux marneux, les vertisols lithomorphes ont un bon développement.

Au niveau du centre du pays on rencontre :

les sols calcimagnésiques : ce sont des sols de type rendzine ou bruns calcaires mais aussi beaucoup de régosols, le plus fréquemment minces reposant sur le substrat calcaire des jebels ou des collines encroûtées. Ces sols ont une bonne vocation forestière.

- Au nord, le domaine tellien est limité vers le sud par l'isohyète 400 mm (limite sud du croissant céréaliier en sec). Les secteurs montagneux les mieux exposés aux vents humides du nord-ouest constituent des îlots de forte pluviosité (1582 mm à Ain Drahim), tandis que les couloirs et les bassins abrités reçoivent moins de 500 mm (473 mm à Jendouba). A l'exception des plateaux du Sud Ouest (région de Thala), les pluies tombent surtout en hiver alors que l'été reste particulièrement sec.

- Le domaine steppique (aride) s'étend au sud de la Dorsale entre les isohyètes 350 et 150 mm. Le fléchissement très marqué des pluies hivernales est à peine compensé par leur recrudescence au cours des saisons de transition ;

- Le domaine saharien reçoit des précipitations très irrégulières, inférieures à 150 mm. Cette irrégularité pluviométrique est d'autant plus grave que l'évaporation est très active en raison de la sécheresse de l'air et que les températures sont particulièrement élevées.

IV.3- Les sols et leur contexte écogéographique

Les sols, résultat des conditions bioclimatiques spécifiques des pays méditerranéens qui favorisent plus la désagrégation des roches que leur décomposition chimique et leur enrichissement en matières organiques (humus), sont peu évolués et peu profonds. La jeunesse du relief et l'importance de l'érosion les empêchent d'arriver à maturité.

Dans les jebels et les collines du NE ce sont généralement des sols calcimagnésiques qui sont associés à des sols bruts d'érosion, des lithosols et des régosols sur les versants (jebel Zaghonan, Zriba).

Sur les piedmonts des jebels et des collines dominent les rendzines et les sols bruns calcaires sur croûtes ou conglomérats (glacis de piedmont de la région de Tunis).

Les plaines sont le domaine des sols peu évolués d'apport nordaux. Ces sols sont faiblement salés dans la basse vallée de la Medjerda et dans la région de Bouficha autour de l'Oued Rmel.

On note également la présence de quelques lambeaux de sols d'apport à caractères vertiques du côté de Saouf et au Sud-Ouest d'Enfida ville.

Les piedmonts dominant la rive gauche de la Medjerda sont couverts de sols isohumiques et de sols à croûte calcaire.

Au sud de l'oued Medjerda, presque tous les sols font partie de la classe des sols calcimagnésiques (rendzines, sols bruns calcaires)

Dans les synclinaux marneux, les vertisols lithomorphes ont un bon développement.

Au niveau du centre du pays on rencontre :

les sols calcimagnésiques : ce sont des sols de type rendzine ou bruns calcaires mais aussi beaucoup de régosols, le plus fréquemment minces reposant sur le substrat calcaire des jebels ou des collines encroûtées. Ces sols ont une bonne vocation forestière.

Carte N°3 carte phéologique de la Tunisie

F. R. 205 (1/1000000)

LEGENDE

ROCKS PRIMAIRES

- Roche granitique
- Roche métamorphique
- Roche sédimentaire

ROCKS INTERMÉDIAIRES

- Roche magmatique intrusives (granite, gabbro, diorite, etc.)
- Roche magmatique effusives (basalte, andésite, etc.)

VERTEBRES

- Trilobites
- Crinoïdes

ROCKS SÉDIMENTAIRES

- Sable, argile, marne, etc.
- Calcaire, grès, etc.
- Roche sédimentaire métamorphique (schiste, etc.)

- Grès
- Sable

ROCKS CALCAIRES

- Calcaire
- Calcaire argileux
- Calcaire siliceux
- Calcaire métamorphique (marbre, etc.)

ROCKS SILICIEUX

- Sable, argile, etc.
- Grès, etc.
- Roche siliceuse métamorphique (quartzite, etc.)

ROCKS MÉTAMORPHIQUES

- Roche métamorphique granitique (gneiss, etc.)
- Roche métamorphique calcaire (marbre, etc.)
- Roche métamorphique siliceuse (quartzite, etc.)

ROCKS SÉDIMENTAIRES

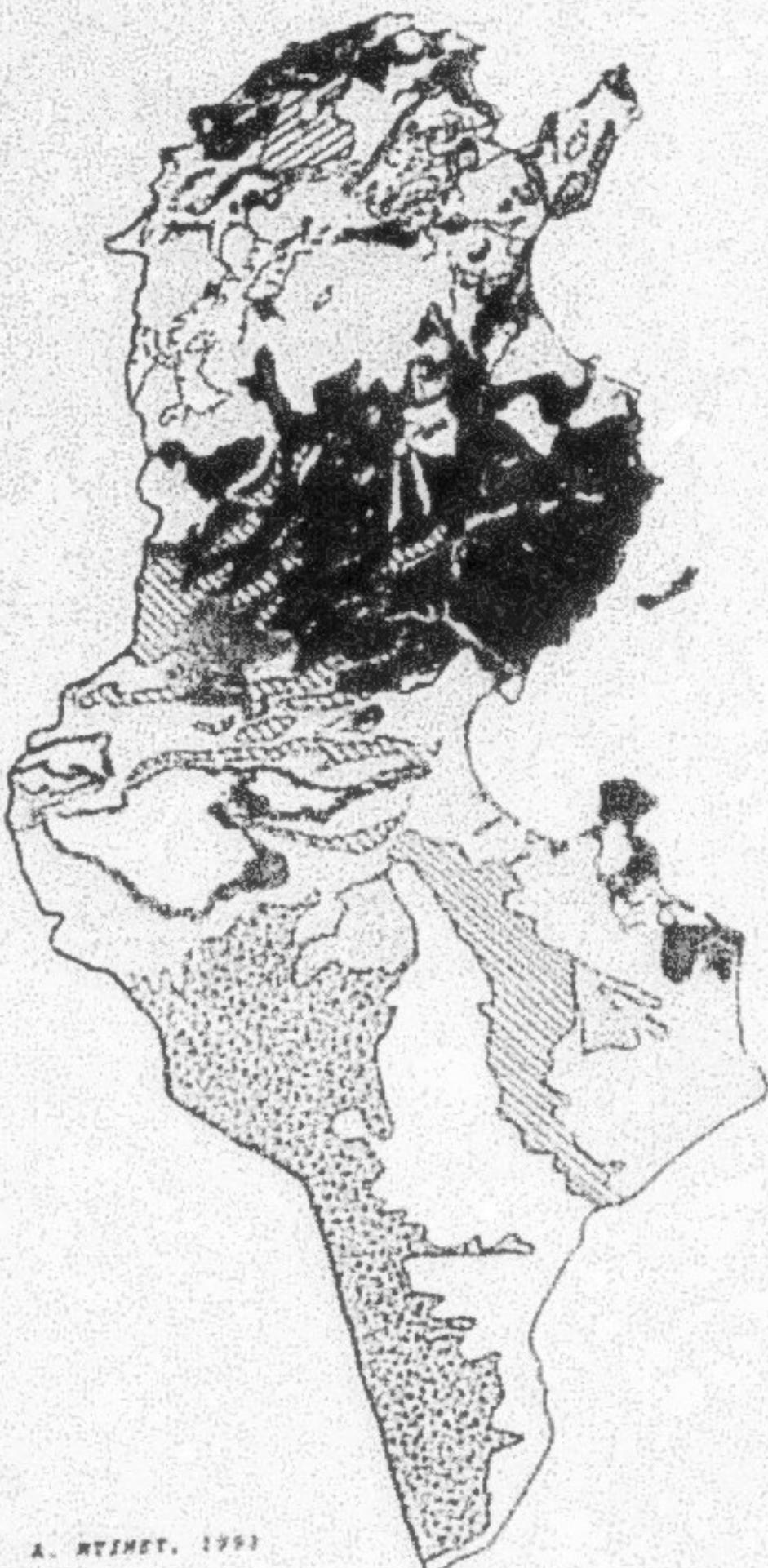
- Sable, argile, etc.
- Calcaire, grès, etc.
- Roche sédimentaire métamorphique (schiste, etc.)

ROCKS SÉDIMENTAIRES

- Sable, argile, etc.
- Grès, etc.
- Roche sédimentaire métamorphique (schiste, etc.)

1. - Eau douce

2. - Eau salée



A. REINHOLD, 1953

Les sols isobumiques : sont en général sableux et sensibles à l'érosion. Ils sont souvent associés à des sols sur croûte calcaire ou sur croûte gypseuse beaucoup plus mince. Ils sont actuellement utilisés pour la céréaliculture.

Les sols bruns steppiques à nodules et croûtes calcaires sont également rencontrés au centre (Kasserine, Sidi Bouzid).

Les sols peu évolués d'apports : ce sont des sols lourds et mal drainés, argilo-limono-sableux, hydromorphes et fréquemment salés. Ils occupent d'immenses superficies dans les zones d'épandage et du fait de leur salure sont peu utilisés pour l'agriculture sauf autour des dépressions.

Les sols isobumiques sableux très meubles sont souvent repris par le vent lorsque des façons culturales détruisent leur faible structure et ceci d'autant plus qu'on va vers le Sud.

Au centre-ouest, les sols calcimagnésiques sont également présents dans la plus grande partie des hauts massifs de la dorsale et sont localisés sur les versants septentrionaux et étroitement liés à une bonne couverture forestière.

Les sols des plaines, développés sur des alluvions à texture moyenne, fine ou très fine, sont fréquemment inondés lors des crues. Quand les pentes s'accroissent, les sols à texture moyenne sont bien drainés. Dans le cas contraire, ils deviennent lourds, vertiques, avec des fentes de dessiccation profondes qui favorisent le ravinement. Ces sols sont hydromorphes et salés dans les plaines (Kasserine, Rohia, Sbiba, Sidi Bou-Zid et surtout le long des oueds . el) et Hajel). Ils sont très sensibles à l'érosion éolienne car la présence des sels entraîne la dispersion des argiles et provoque l'apparition d'une structure poudreuse très fragile en surface.

Dans le Sud, les sols gypseux et salés s'étendent largement et limitent ainsi les possibilités de culture (terrains de parcours). Ils sont développés sur les croûtes gypseuses des glacis (hautes steppes et chotts), sur le trias diapirique ou sur les bourrelets éoliens des grandes dépressions salées. Ils sont limono-argileux avec un taux de gypse élevé et profonds, peu favorables aux cultures ; le couvert végétal dégradé nécessite une mise en défens.

Si les sols spécifiquement hydromorphes sont rares, les sols halomorphes sont très répandus dans le centre et le sud. Ils sont gorgés d'eau de façon temporaire ou permanente ; ils sont très salés dans les dépressions fermées (à encroûtement salin superficiel), fortement salés autour des seokhas (chotts), et salés à alcalin dans les plaines (Rouhia, Kairouan) avec un horizon sableux en surface. Lorsqu'ils sont bien drainés et fertilisés ils conviennent aux cultures irriguées d'oasis.

Enfin les sols d'érosion et d'apport, essentiellement localisés dans le sud, sont peu évolués à cause d'une érosion intense (la morphogénèse est supérieure à la pédogénèse). Leur mise en place est récente d'où ces conditions climatiques arides qui empêchent la pédogénèse.

Les sols sableux, profonds et de texture grossière, sont souvent fixés par l'arboriculture sèche (oliveraies de Sfax et Zarzis). La pauvreté en humus et en eau est corrigée par le dryfarming ; lorsqu'ils sont limono-sableux et situés dans des zones d'épandage des eaux (Segui et vallons des Matrara) ils peuvent servir comme pâturage saisonnier ou à l'arboriculture sèche (jessours).

La répartition de ces sols est ainsi fortement liée à leur situation sur différentes unités morphopédologiques. Les conditions plus ou moins favorables de la dynamique d'évolution passée et actuelle de ces unités morphologiques se reflètent dans l'état de dégradation plus ou moins poussé de ces sols. Cette dégradation est par ailleurs fonction des caractéristiques climatiques (surtout de l'agressivité du climat qui influence le rythme et l'intensité de l'érosion) et des processus anthropiques.

IV.4. L'occupation des sols.

- Végétation naturelle

Le couvert végétal est un facteur très important dans la détermination de l'érosion sous ses différentes formes. En effet, la couverture végétale diminue d'une part l'érosion en absorbant l'énergie cinétique des pluies et du ruissellement, d'autre part elle joue un rôle de tamis pour les eaux de ruissellement et maintient une bonne porosité du sol grâce aux trous laissés par les racines pourries et aux terriers des animaux fouisseurs (I. NAHAL, 1975 et F.A.O., 1967).

Sur une jachère nue, une pellicule de surface de battance se forme rapidement après le début de la pluie et un ruissellement très élevé se produit ce qui a pour conséquence une érosion plus ou moins forte (dépendant du facteur pente).

Contrairement à la jachère nue, les prairies bien entretenues forment à la surface du sol un tapis épais qui dissipe presque complètement l'énergie des gouttes de pluie.

Pour les sols cultivés (grandes cultures), le risque d'érosion existe surtout avant la croissance des plantes sur toute la superficie occupée.

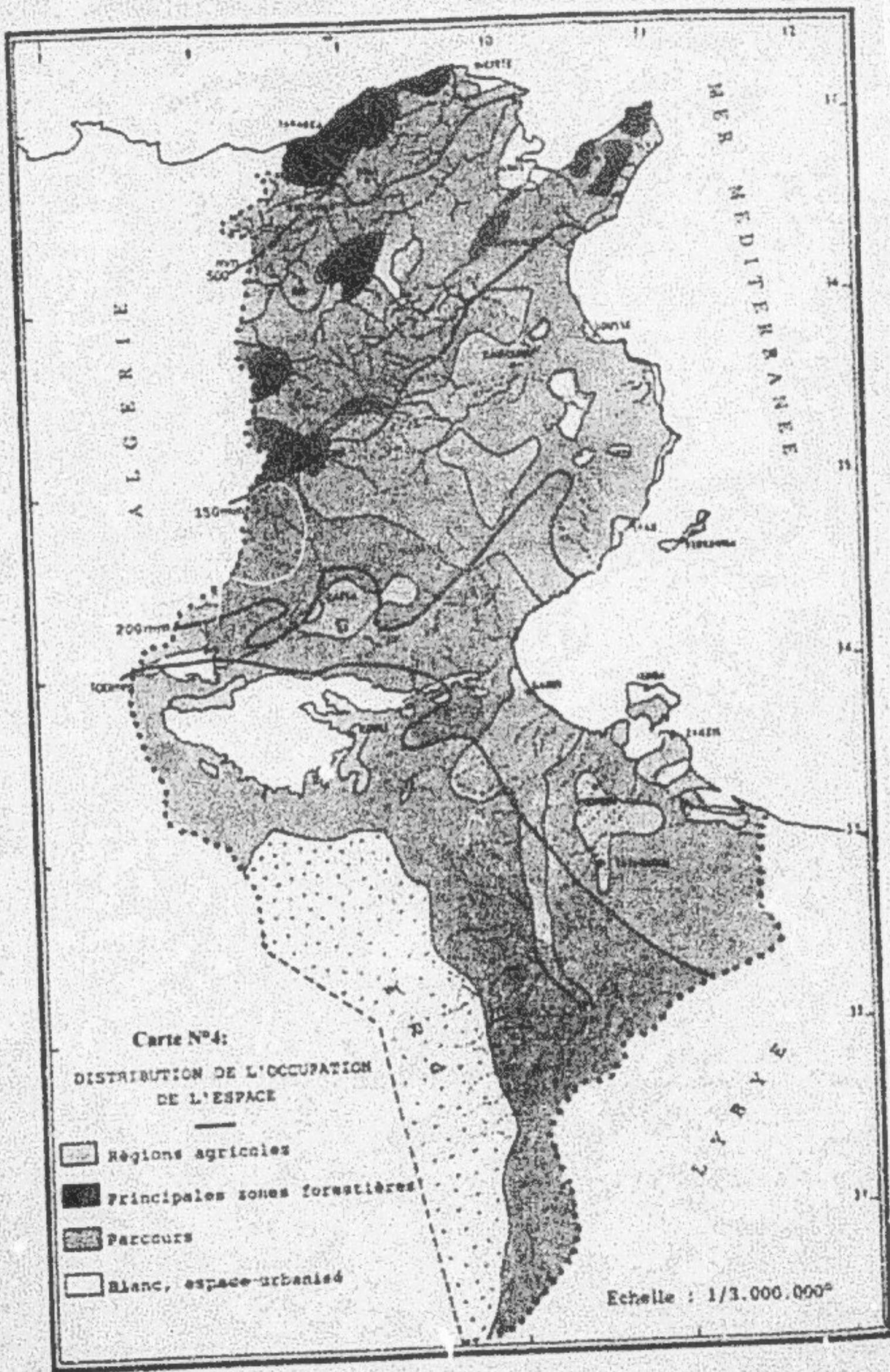
La forêt constitue le moyen le plus efficace de lutte contre l'érosion, surtout si elle est équilibrée du point de vue biologique et bien aménagée. D'autre part la formation d'un tapis de litière à la surface du sol empêche le ruissellement, améliore la structure du sol, augmente la porosité et par conséquent la perméabilité à l'eau.

La végétation naturelle est ainsi conditionnée par le bioclimat (surtout la pluviométrie), la nature du sol et l'altitude.

Dans le Tell humide du N.O où les réserves d'eau sont assez abondantes, se développent des espèces hyrophiles. Dans tout le reste du pays, le bilan hydrique est toujours déficitaire et seules les espèces xérophiles parviennent à s'implanter. Ces dures conditions naturelles, auxquelles s'ajoute l'action destructrice de l'Homme, expliquent la fragilité des formations climaciques dont la dégradation entraîne celle des sols et l'apparition d'associations végétales secondaires plus pauvres (exemple garrigue à romarin à la place de la forêt de pins d'Alep).

IV.4.1. La végétation tellienne.

Elle est de type méditerranéen au nord de la Dorsale (subhumide au N.O.). La végétation est méditerranéenne aride proprement dite dans le reste du Tell septentrional, méditerranéenne semi-aride de type continental dans le Haut Tell et de type maritime dans le Tell oriental.



* La végétation méditerranéenne subhumide

Sur les montagnes de Khroumirie, région la plus arrosée du pays (plus de 800 mm) où l'hiver est frais et pluvieux et le sol siliceux (grès de Numidie), la formation climacique est la forêt de chênes-lièges aux feuilles persistantes (surtout sur le sommet) et de chênes-verts aux feuilles caduques (surtout sur les versants moins ensoleillés). Le pin maritime, ou pin pignon, est localisé près de Tabarka. Le sous-bois (bruyères, fougères, scythes, etc.) est assez dense. Dans le Mogod et les jebels du Cap Bon occidental où le sol est siliceux et où l'altitude détermine des pluies moins abondantes (600 à 800 mm), la forêt laisse la place à un maquis de cistes, arbousiers, genêts, etc., avec de îlots de chênes Kermès et des chênes-lièges isolés.

* La végétation méditerranéenne

Sur les autres jebels du Tell septentrional, en grande partie calcaire ou marneux situés vers l'intérieur et avec une pluviométrie comparable à la précédente - 600 à 800 mm - (Amdoun, Béjaoua, Hedhal, monts de Teboursouk et de Medjez el Bab), la formation climacique (chênes-verts et pins d'Alep) a pratiquement disparu, laissant la place aux garrigues et plantes odoriférantes (lavande, genêt, romarin, thym). Sur les bas versants et dans les plaines telliennes (Medjerda, Béja, Mateur, Cap Bon), la formation climacique était une brousse à oléo-lentisques (olivier sauvage associé au lentisque), caroubier et palmier-nain (doum). Elle a presque disparu par suite des défrichements et de l'extension des cultures.

Dans le Tell oriental, sur les jebels bien arrosés et soumis à l'influence maritime (J. Zaghouan, Ressas), subsiste une forêt claire de thuya de Berbérie.

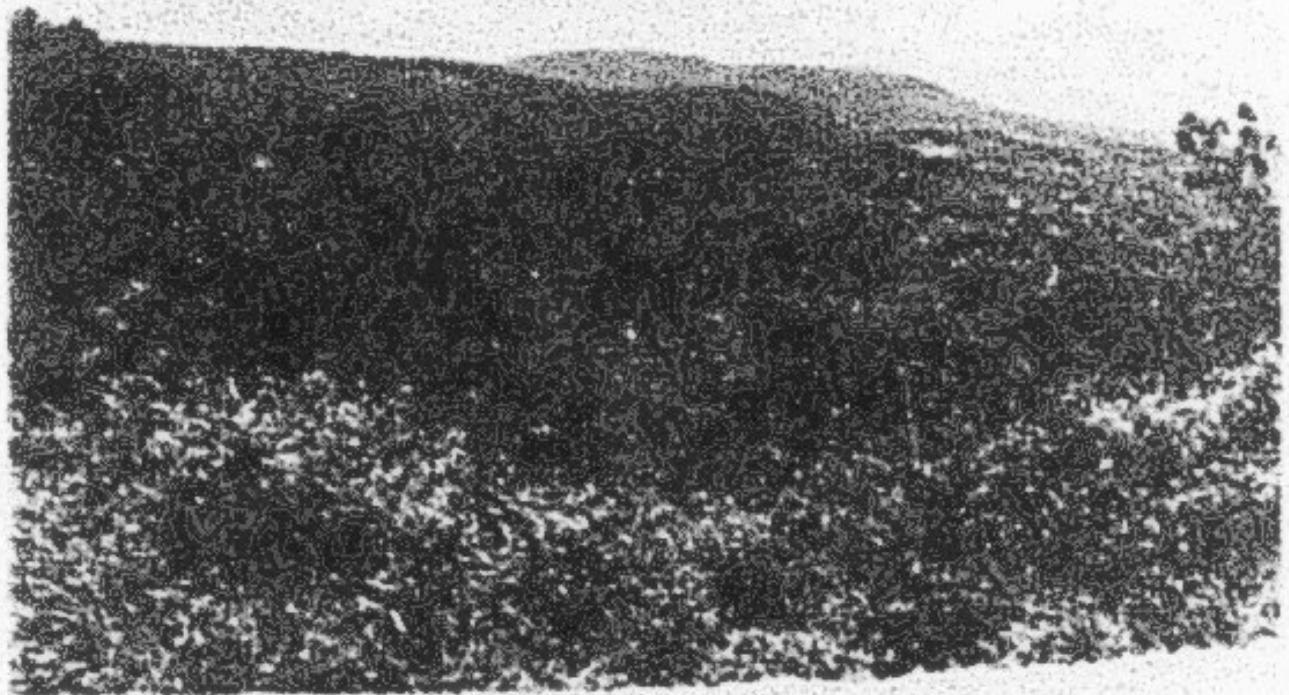
* La végétation méditerranéenne semi-aride

Elle s'étend dans les régions où la pluviométrie varie de 400 à 600 mm (Haut Tell et Tell oriental). Dans le Haut Tell, la végétation de type continental est essentiellement formée, en montagne, de chênes-verts et de pins d'Alep. Le chêne vert, moins résistant à la chaleur et à la sécheresse, subsiste surtout sur les plus hauts sommets, en particulier sur la Dorsale (Chaïmbi, Kessa-Belouta, Serj, etc...)

Au dessous de 1.000 m d'altitude, il se mélange au pin d'Alep (Ouargha, Dye el Kei, etc...). Ce dernier, xérophile et plastique, est le mieux adapté au sol calcaire, de 500 à 800 m, il forme les plus vastes boisements de Tunisie (340.000 ha contre 130.000 ha pour le chêne-liège), entre 200 et 500 m on trouve la garrigue à romarin (collines du Tell oriental et hautes plaines : Es Serj, Sliana, etc...), les cultures et les pacages.

IV.4.2. La végétation steppique

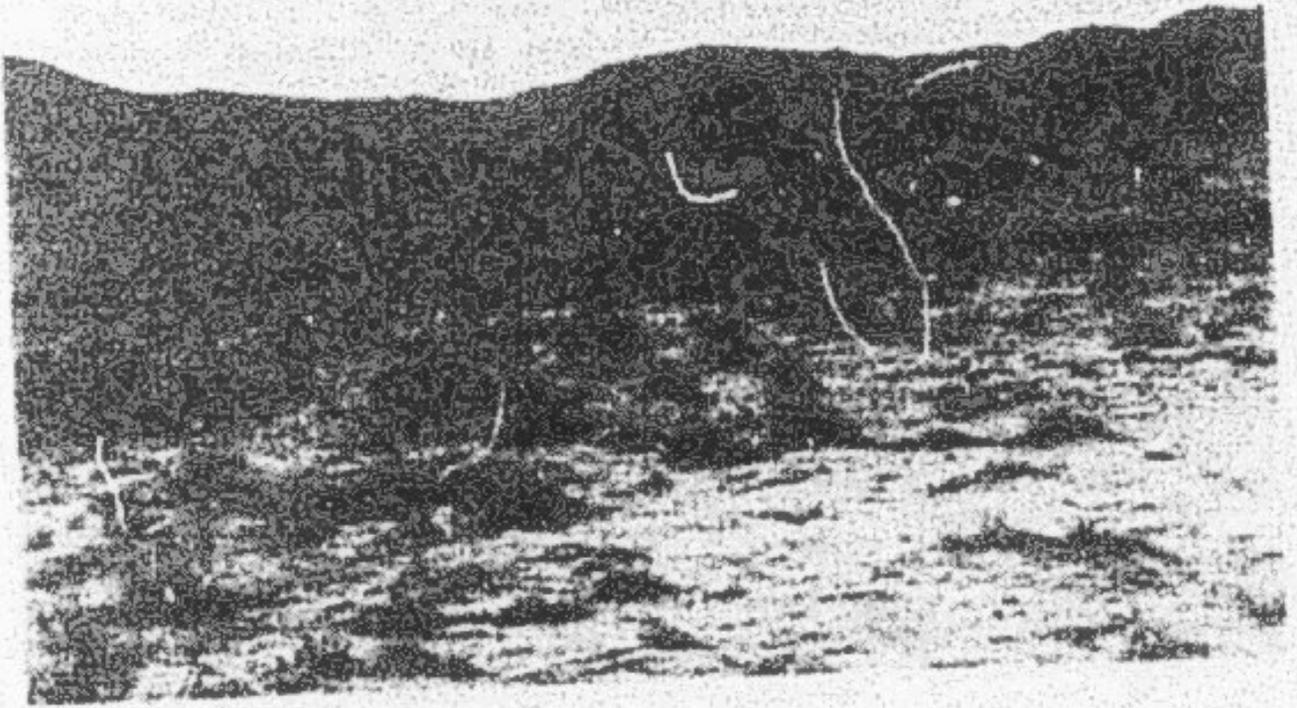
La Tunisie centrale est le domaine de la steppe aride aux formations xérophiles adaptées aux faibles précipitations, à l'intense évaporation et à la fréquence des vents secs. Elle varie de l'ouest vers l'est.



Région forestière de Fernana -Ain Draham
Tunisie subhumide



Couverture forestière dans une région du N.E



**Glacis encroué à formation steppique
Tunisie aride**



Steppe d'alfa dans le sud Tunisien.

IV.4.2.1. Sur les dômes montagneux des Hautes Steppes (Mihila) persiste encore une très claire forêt de pin d'Alep et, plus bas, apparaît le genévrier de Phénicie, résineux le plus adapté au climat continental et à la sécheresse. Le sous-bois est formé de romarin et d'alfa. De 300 à 800 m d'altitude, les hautes plaines (Feriana) et les versants montagneux sont occupés par la steppe à alfa, associé à l'armoise blanche qui a pris la place de l'ancienne forêt de pin d'Alep sur près de 400 000 hectares. Aujourd'hui l'alfa, très dégradée par suite des coupes trop fréquentes, dépasse rarement 60 cm de haut contre plus de 1.50 m au début du siècle.

IV.4.2.2. Dans les basses Steppes.

L'armoise champêtre couvrait autrefois les sols sablonneux et le jujubier dans les dépressions, garaâ et fonds d'oued aux sols argileux. Autour des sebkhâs, les plantes halophytes (atriplex ou guetaf et salsola tetendra ou "meth") forment actuellement des terrains de parcours (ou association salicole) très réduits.

Les meilleurs pâturages de ces régions sont constitués par les plantes annuelles "acheb", en particulier le plantain ou plantago albicans, et par le figuier de Barbarie.

IV.4.3. La végétation subdésertique et désertique (aride inférieur et supérieur).

Elle correspond aux régions présahariennes où les précipitations sont de 100 à 200 mm. C'est une végétation de graminées très clairsemées. Dans la zone subdésertique littorale, elle est formée de thantérium ou arfej qui occupe de vastes espaces (plateaux encroûtés jusqu'en libye. Sur le Dahar apparaît le "baguel" ou "meth" et, sur sol sablonneux, le "drinn".

En zone saharienne (erg oriental) on trouve, très clairsemées, l'arich (calligonum), sorte d'arbre pouvant atteindre 5 m de haut, mais en voie de disparition dans les secteurs de "sheu". Autour des sebkhâs, ce sont les mêmes formations halophiles que dans la steppe mais plus clairsemées.

Autour des points d'eau permanents (sources, forages anciens ou récents), les oasis, autrefois formations spontanées, sont devenues des terroirs de cultures intensives irriguées, le palmier-dattier étant la culture dominante (deglét Ennour)

IV.4.4. Les agroécosystèmes et les vocations culturelles.

L'aptitude des terres pour les cultures se différencie selon leur utilisation en sec (cultures pluviales) ou en irrigué. La distribution de ce potentiel selon le découpage bioclimatique permet dans une large mesure de mieux visualiser la différenciation régionale du Nord au Sud.

Les travaux cartographiques de synthèse réalisés par des pédologues et géomorphologues se rapportant aux grandes régions sont (A.Mimiet, 1993, 1996) :

Le Nord : M. el Fekih, A. Souissi 1968, R. Belaid 1969, J.P. Cointepas 1973, K. Belkoja 1971/73, M. Delbumeau 1971, A. Mami 1973/74, S. Selmi 1978, M. Mizouri 1982/84.

Le Centre: R. Gaddas 1968, M. Mobdi 1969, A. Hentati 1977, A. Hamza, 1977, J. Bouvalot 1978, H. Bannour 1978, M. el Amami 1977/79, I. Barbery 1980/82, H. Ben Hassine 1983.

Le Sud : M. Hamza 1961, A. Ben Salah 1964, R. Pontanier 1967/77/82, R. Escadafal 1979/85, A. Mihet 1982/83/84, M. Gira 1992, B. Belgacem 1992.

La distribution des cultures sèches est étroitement liée aux facteurs pédo-climatiques. En effet, en Tunisie, il existe des régions naturelles conditionnées par le climat et le sol qui présentent une aptitude culturale bien précise. Nous distinguons ainsi:

- *La zone humide du Nord de la Tunisie* : la vocation de cette région est la sylviculture et l'élevage compte tenu des contraintes climatiques et pédologiques.

Une meilleure utilisation de ces terres consiste à :

- aménager les parcours forestiers par l'installation de cultures fourragères sur la plus grande partie de la surface agricole utile (création de prairie permanentes avec mélange d'espèces fourragères choisies en fonction des différents types de sols et assolements fourragers) ;

- développer les cultures aromatiques et albustives sur les plateaux, les glacis et les terrasses représentant les sols les plus fertiles.

- *La zone subhumide* (Gouvernorats de Jendouba, Bizerte, Béja) est une zone qui reçoit une pluviométrie annuelle de 600 à 900 mm. Nous rencontrons des sols calcimagnésiques et des sols rouges. Sur les terrasses et dans les plaines, les sols sont marqués par la vertisolisation (fentes de retrait en saison sèche).

Ainsi, la principale vocation agricole de cette région est la céréaliculture : blé dur, blé tendre, orge, avoine, etc.

- *La zone semi-aride* (gouvernorats du Kef et de Siliana) est très variée du point de vue climatique et pédologique. L'altitude relativement élevée de la dorsale et des hauts plateaux du Kef et leur exposition aux vents humides font qu'ils reçoivent des précipitations moyennes de 400 à 600 mm par an, alors que les reliefs peu élevés et les plaines sont plus secs avec 300 à 400 mm par an (gouvernorat de Kasserine).

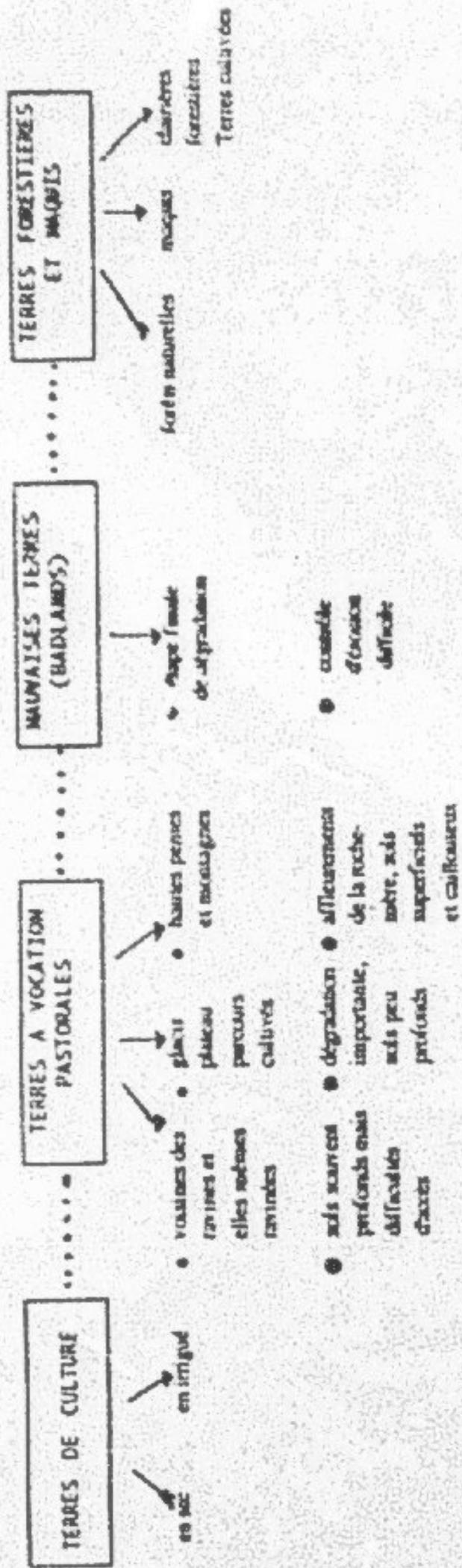
Nous observons dans cette région (du croissant fertile) les sous-ensembles suivants :

* Le semi-aride supérieur à hivers doux, intéressant les régions du Tunix, du Cap-Bon, de Zaghouan, de Medjet et Pont du Fahs qui sont formés essentiellement de sols calcimagnésiques dont la meilleure utilisation est l'arboriculture ; néanmoins, la céréaliculture trouve aussi sa place sur les sols peu évolués d'apport des plaines et des vallées.

* Le semi-aride supérieur à hiver frais, intéressant les régions du Kef, Sers, Dahmani et Ksour qui présentent les mêmes types de sols avec la même vocation.

* Le semi-aride inférieur à hiver doux, couvrant le Sahel et Soussa et la partie Nord du gouvernorat de Kairouan.

CLASSEMENT DES TERRES



o = courants = profond du sol ;
 s = salinisé ; t = topographie ; p = pente
 c = calcaire/pierreux

risque de l'érosion hydrique et éolienne

Les sols isohumiques et alluviaux, profonds et de texture plus ou moins grossière conviennent à l'arboriculture (arbres fruitiers et oliviers). Quand les sols deviennent plus lourds, un appoint d'eau pour ruissellement du type "Meskat" est nécessaire (gouvernorats de Sousse, Monastir).

Le semi-aride inférieur à hivers frais dans les régions de Kalaât-Khasba, Thala, Sbiba et Kasserine. Les sols de ces régions présentent les mêmes aptitudes que celles de la zone climatique précédente. Cependant, les sols à parcours et à céréales (orge) sont les plus étendus. Ceux convenant à l'arboriculture sont très localisés (Sbiba, Kasserine, zones de piedmont et terrasses d'oueds) et conviendraient à être plantés en espèces résistantes au froid hivernal.

Les zones à climat aride supérieur (gouvernorats de Kairouan, Sidi Bouzid et Sfax) sont constituées par les plaines du Centre, les zones de steppes (basses et hautes) et par les basses plaines orientales qui constituent le sud du Sahel. Les précipitations annuelles sont comprises entre 200 et 300 mm. Les terres sont constituées de sols bruns isohumiques (oléivier de Sfax) associés à des sols calcimorphes et à des lithosols et régosols couvrant la majeure partie de l'unité.

Compte tenu du climat, seuls les sols à texture grossière et profonds (sols alluviaux et isohumiques) conviennent à l'arboriculture. Le reste, sur sols squelettiques, ne peut constituer que des terrains de parcours.

Certains sols lourds des plaines alluviales (plaines de Kairouan, Sidi Bouzid) peuvent convenir plus ou moins aux céréales à condition de recevoir des épandages fréquents d'eau de ruissellement ou de pratiquer l'irrigation d'appoint.

Les zones à climat aride inférieure et saharien (pluviométrie inférieure à 200 mm et 100 mm dans les 6 gouvernorats du Sud). Dans l'aride inférieur, les sols de texture grossière (sols isohumiques localisés dans les régions côtières Sud de Sfax et Zarzis...) et les sols loessiques des Monts de Matmata et du Dahar bénéficiant d'un apport d'eau de ruissellement (jessours, talwegs de Hled Bou Oumran et l'Aradh et des Segui Mareth et Gabès...) sont localement aptes à l'arboriculture (figuiers, oliviers, pommiers), domaine de l'aridoculture.

Les autres sols de nature variée (sols à croûtes calcaire et gypseuse, sols limoneux encroûtés, sols salés et sols des régions désertiques) conviennent à des cultures très localisées mais surtout aux parcours.

V. MOYENS D'ESTIMATION, DE MESURES ET DE QUANTIFICATION DE L'ÉROSION

Dans le but de mieux connaître le comportement des systèmes d'érosion en fonction des conditions régionales, locales et même stationnelles, des paramètres naturels et anthropiques les influençant, d'importants efforts d'évaluation et de quantification de la perte en terres ont été réalisés en Tunisie depuis les années cinquantes. Plusieurs méthodes de mesure ont été utilisées.

TAB N°2. EROSION ET STRATEGIE CONSERVATOIRE

TERRES MENACEES PAR L'EROSION HYDRIQUE (SOLS SENSIBLES)	3.000.000 ha (NW, CW) dont 1.100.000 ha cultivés	
PERTES EN SOLS EN TERMES DE SURFACE AGRICOLES UTILES SAU	érosion hydrique	10.000 ha / an
	érosion éolienne	8.000 ha / an
PREVISION DE PROTECTION	1.000.000 ha gravement menacées 400.000 ha desterrés à céréales	
PREVISION DE CONSTRUCTION DE LACS COLLINAIRES	1000 lacs dont 250 sont déjà construits	
ENVASEMENT DES BARRAGES	25 M m'	
PROGRAMME DE RECHARGE DE LA NAPPE	500 M m' d'eau perdue dans la mer ou les Sebkhass	

V.1. Estimation des volumes globaux de matériaux érodés à l'échelle d'une région ou d'un bassin versant

Trois principales méthodes ont été utilisées en Tunisie pour apprécier de façon quantifiée l'érosion et ce en évaluant les volumes globaux des matériaux arrachés par les différents processus d'érosion hydrique au niveau d'un bassin versant ou d'un groupe de bassins.

V.1.1. Les mesures des débits solides des cours d'eau

La Tunisie dispose d'un réseau hydrométrique relativement bien réparti contrôlant l'ensemble des systèmes de ruissellement du pays. Ce réseau, bien équipé par des stations de mesure des débits solides permet de fournir des informations concernant l'évaluation de l'érosion dans les bassins versants contrôlés. En effet, le suivi des mesures des débits solides enregistrés depuis deux décennies a révélé l'amplification du phénomène d'érosion de la plupart des bassins versants (Nebhana, el Hjal, Hatab, Siliana, Tessa) pour ne citer que les cas les plus flagrants. Le cas du bassin de Nebhana (semi-aride) est révélateur : de 15 g/l de débit solide enregistré dans les années trente, cet Oued a enregistré 33 g/l dans les années cinquante, 37 g/l au début des années soixante et 46 g/l en 1976.

En se basant sur la moyenne des débits solides enregistrés par toutes les stations hydrométriques réparties à travers le territoire national, on a un volume annuel global de matériaux charriés pour les différents systèmes de ruissellement contrôlés d'environ 30 millions de m³ répartis sur environ 10 millions d'hectares. En termes plus explicites, l'érosion fait perdre l'équivalent de 5 T/ha en moyenne.

Ce chiffre paraît raisonnable si l'on considère que le volume de 30 millions de m³ de matériaux charriés mesuré dans les stations hydrométriques ne constitue qu'une partie du volume réel fourni par l'érosion puisqu'une partie non négligeable des matériaux arrachés à l'amont des bassins ne parvient pas jusqu'au niveau des stations de mesures. Le volume des produits de l'érosion qui échappe à la mesure est évalué à 20 ou 30% du volume réellement mesuré.

Toutefois, malgré les avantages fournis par les mesures des débits solides, cette méthode reste insuffisante pour connaître avec précision le phénomène érosion puisqu'elle ne permet pas d'identifier au niveau du bassin versant les secteurs les plus affectés qui produisent le plus de matériaux. Ces insuffisances ne peuvent être dépassées que dans le cas d'une densification du réseau de stations hydrométriques.

Toutefois, les mesures de débit solide des cours d'eau reste le moyen le plus évocateur pour apprécier l'ampleur de l'érosion qui affecte une zone ayant subi des inondations catastrophiques. En effet, les grosses crues résultant d'un ruissellement fort, localisé dans le temps, engendre une érosion forte : pendant 6 jours de crue, la Medjardha en mars 1973 a charrié 100 millions de tonnes de sédiments qui sont venus colmater les terres fertiles à l'aval (plaine de Medjer, Monragia, Kaalat). Le volume moyen de sédiments charriés annuellement par cet oued en temps normal ne dépasse pas 22 millions de tonnes. Les inondations de l'Oued Zeroud (Kairouanais) survenues en 1959 ont fait que cet oued a charrié 250 millions de tonnes tandis que sa capacité annuelle mesurée en période normale ne dépasse pas 6 millions de tonnes.

V.1.2. Evaluation de la sédimentation dans les retenues des barrages

Cette méthode complète l'estimation de l'érosion par le biais des débits solides puisque les retenues peuvent être considérées comme un déversoir obligé des matériaux arrachés à l'amont (transport soit en suspension soit par charriage). La majorité des retenues des barrages en Tunisie (O. Mellegue, O. Sidi Saad, etc.) fait l'objet de mesures en continu de la sédimentation. Les derniers résultats montrent qu'en moyenne les différents barrages du pays s'envasent à un rythme de 1 à 1,5 cm par an, ce qui est considérable.

D'autre part, les mesures de l'envasement des barrages sont également utilisées pour vérifier et affiner l'estimation de l'érosion donnée par les débits solides. Pour le cas de l'oued Mellegue, affluent sud de la Mejerda, les mesures de débit solide donne un volume annuel charrié d'environ 5,6 millions de tonnes ; les mesures d'envasement de la retenue à Neber évaluant ce volume à 7,13 millions de tonnes. Pour ce cours d'eau, les matériaux charriés dans le fond et qui ne sont pas estimés par le débit solide mesuré sont importants et dépassent 30% du volume total des matériaux arrachés sur l'ensemble du bassin versant.

Pour l'oued Nebhana, la mesure des débits solides donne 1,97 millions de tonnes par an tandis que les mesures d'envasement échelonnées sur 10 ans sont évaluées à 1,96 millions de tonnes en moyenne par an.

Ces similitudes ou ces différences qui peuvent résulter de caractéristiques lithologiques, topographiques, édaphiques et anthropiques propres à chaque bassin versant, sont importantes à connaître pour orienter les études et la recherche sur l'érosion dans ces bassins versants (Direction Générale des Ressources en Eau, ORSTOM).

V.1.3 L'utilisation des indices d'érodibilité ou d'érosion.

L'indice d'érosion universelle de Wischmeier, ainsi que d'autres index comme celui de Fournier ou de la F.A.O., ont été utilisés en Tunisie pour l'évaluation de l'érosion en fonction des régions (voir carte de synthèse).

L'indice de l'érosion universelle donne des chiffres relativement élevés dépassant de loin les évaluations obtenues par les mesures citées ci-haut. La formule élaborée par la F.A.O. pour estimer le taux d'érosion à l'hectare en un point déterminé est le plus fiable pour le cas de la Tunisie. D'après cette formule, le taux d'érosion par hectare et par an est le suivant :

$$Q \text{ T/ha/an} = 12 p \times C_1 \times C_2 \times C_3$$

p : pluie mensuelle

p : pluie annuelle

C1: coefficient de texture variant de 0.5 à 1.2

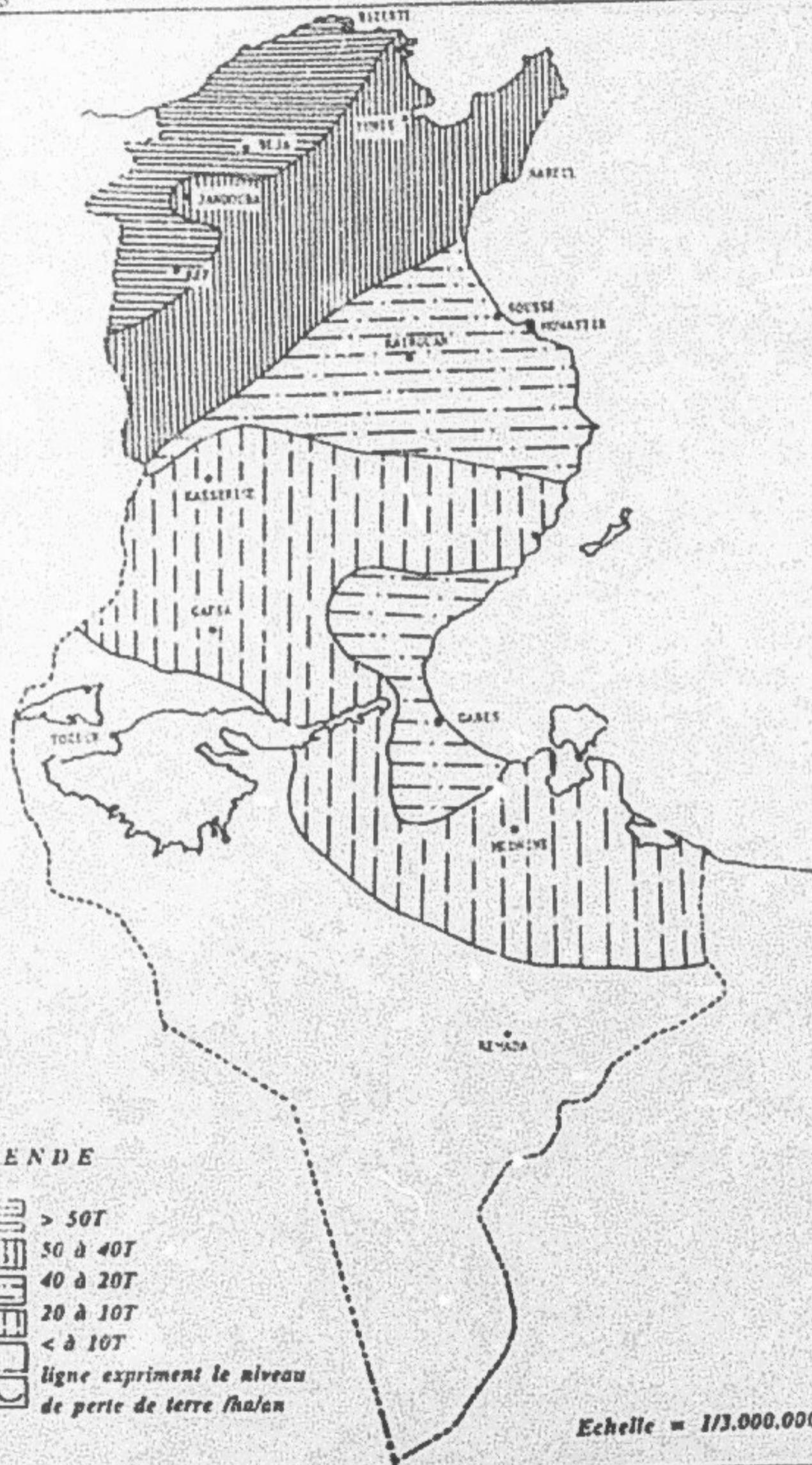
C2: coefficient de topographie variant de 0.5 à 1.5

C3: coefficient d'exploitation des sols variant de 0.1 à 0.8

Appliquée au bassin versant de Nebhana (Dorsale), cette formule donne une érosion moyenne annuelle de 20 T/ha/an. Comparée aux autres méthodes d'évaluation de l'érosion (débits solides et envasement des barrages) la formule présente une méthode facilement applicable et relativement plus proche de la réalité. En effet, pour le bassin versant de Nebhana, le chiffre seuil est de 20 T/ha/an. Il n'est pas loin de celui donné par les mesures des débits solides (22.7 T/ha/an) ou par celui d'envasement de la retenue du barrage (22.5 T/ha/an).

CARTE DE REPARTITION DU TAUX DE PERTE DES TERRES
 EN T/ha/an. SELON L'INDICE DE L' FAO

Carte N°5



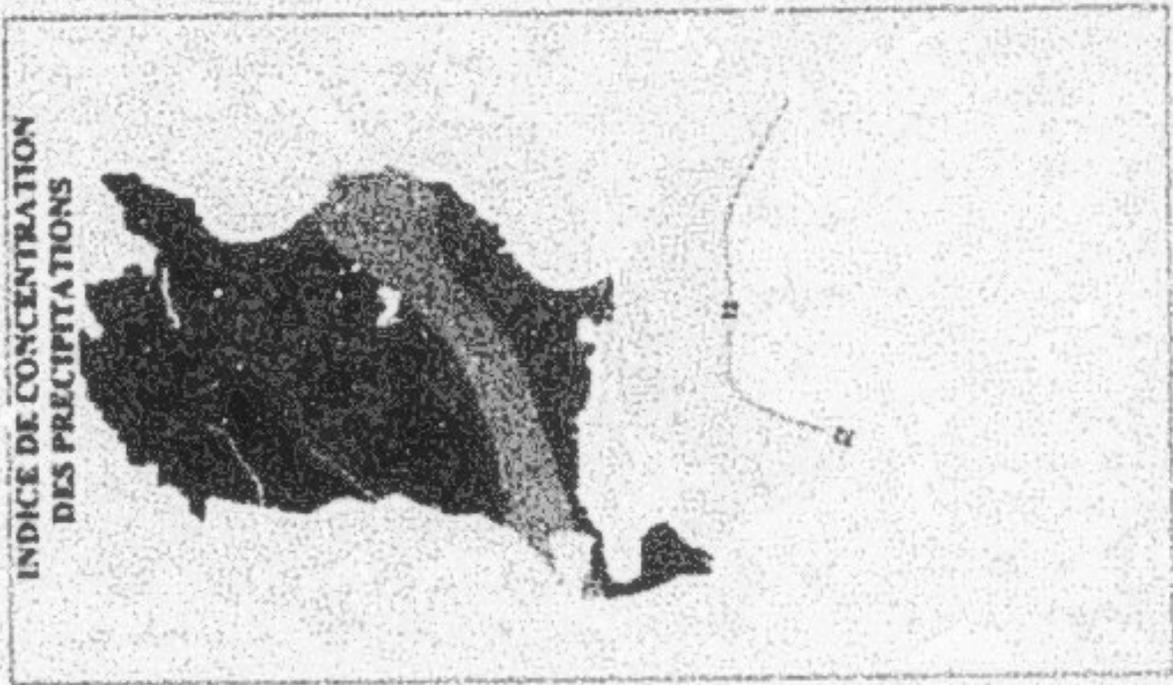
LEGENDE

-  > 50T
-  50 à 40T
-  40 à 20T
-  20 à 10T
-  < à 10T
-  ligne expriment le niveau de perte de terre /ha/an

Echelle = 1/3.000.000

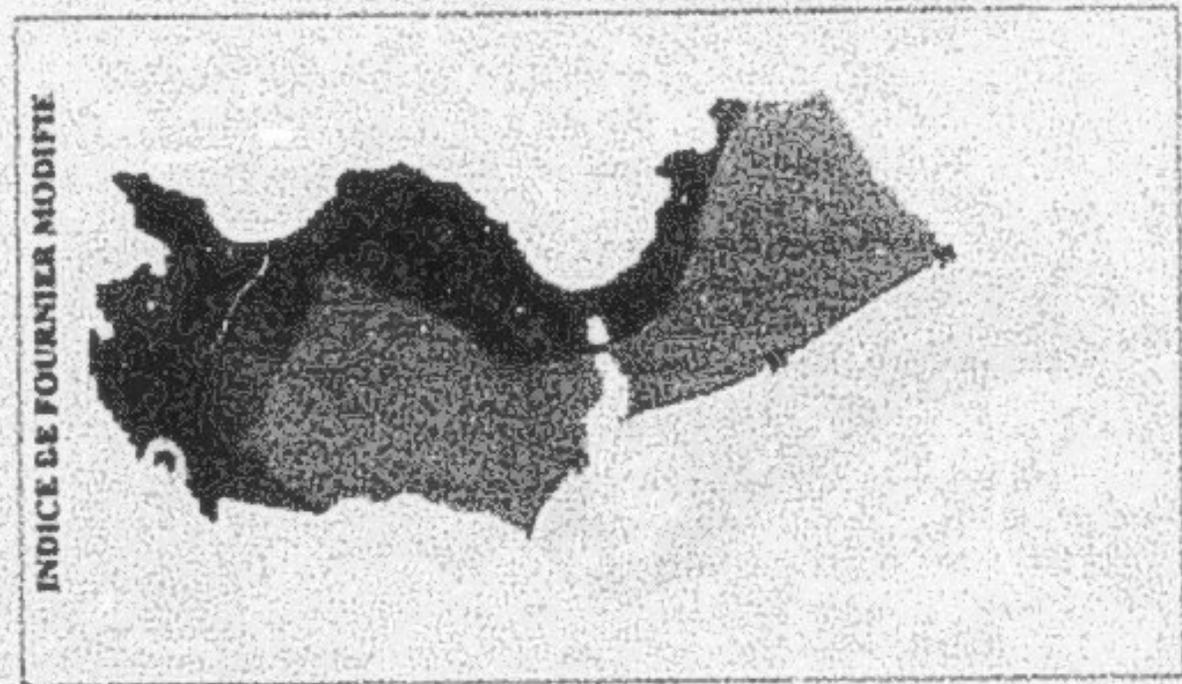
Carte N° 7:

INDICE DE CONCENTRATION
DES PRECIPITATIONS



Carte N° 6

INDICE DE FOURNIER MODIFIE



(d'après le bulletin des Soils n° 13)

Vu la fiabilité de cette formule, on l'a appliquée pour l'ensemble des bassins versants du pays ce qui a donné un découpage du pays conforme à ce qui a été fourni par la cartographie au 1/200.000 ou par les mesures des débits solides (voir annexe n°2).

Toutefois, pour certaines régions, cette formule donne des chiffres très différents de ceux fournis par les mesures des débits solides. Ceci résulte d'une appréciation peu rigoureuse des coefficients C1 C2 et C3. Le dernier coefficient mérite d'être étalonné en fonction de la réalité tunisienne.

A cet effet, les mesures de l'érosion au niveau de la station expérimentale associées à l'utilisation du simulateur de pluies sont d'une importance recherchée.

V.2. La quantification de la perte en terre au niveau stationnel

La Tunisie dispose actuellement de deux importants sites de stations expérimentales pour la mesure et la quantification de la perte en terre, à savoir celles du piedmont du Semrarna (région de Kasserine en Tunisie Centrale) et de Fersallah (région de Béja, en Tunisie du Nord).

A ces stations encore fonctionnelles, il faut ajouter les informations fournies par plusieurs autres stations où les expérimentations sont en cours (O. el Eid Diab - Zaghwan) ou se sont déjà arrêtées.

On cite à ce sujet les stations de l'Oued Zita et du jebel Dixsa (Sud), de chert Maram (Sahel), du Jougar (région de Zaghwan - Dorsale) et de Sidi Thabet (région de Tunis).

Ces différentes stations ont permis de fournir de précieuses informations relatives à l'effet de la pente, du type d'occupation du sol, des techniques culturales et de la nature des sols sur l'érosion et la dynamique des processus d'érosion hydrique par milieu bioclimatique du pays.

V.3. L'évaluation qualitative : Cartographie de l'érosion

Depuis plus de trente ans la cartographie de l'érosion en Tunisie a été effectuée selon plusieurs méthodes et à différentes échelles selon les besoins.

En ce qui concerne les échelles, elles se différencient en fonction des superficies des zones étudiées à cartographier.

On trouve les échelles qui vont des 1/500.000 au 1/100.000 utilisées pour études d'inventaire de l'érosion. Alors que les études cartographiées à des échelles moyennes comprises entre le 1/100.000 et le 1/500.000 concernent les grands bassins versants prévus pour des aménagements, tandis que les petits bassins sont cartographiés à grandes échelles (environ 50 études sur l'érosion). Tunisie septentrionale - Tunisie centrale et la chaîne de Matmata au Sud.

TABLE N°3: CHARGE SOLIDE A LA STATION DE L'O EL MELEH

Période 95-96 bord El khairat année humide

Date mois	Pluie mm	App Liqui Mm3	App Solide Tonnes	App Dissous Tonnes
sep-95	110.4	11.227323	117631.432	15327.562
oct-95	18.2	0.391365	12330.864	539.846
nov-95	57.5	0.423649	16056.74	582.661
dec-95	69.8	2.767687	267768.884	3168.399
jan-96	37.8	2.423491	89063.182	3218.644
feb-96	130.1	4.232188	192378.813	3827.853
mar-96	26.3	0.444021	15264.513	611.075
avr-96	34	0.92361	38337.827	1378.904
mai-96	25.7	1.037672	29477.479	1427.713
TOTAL	522	25	1760808	37600
Moyenne mensuelle	58	3	190548	4882
Erosion spécifique	10500 Tonnes/Km ² /An			

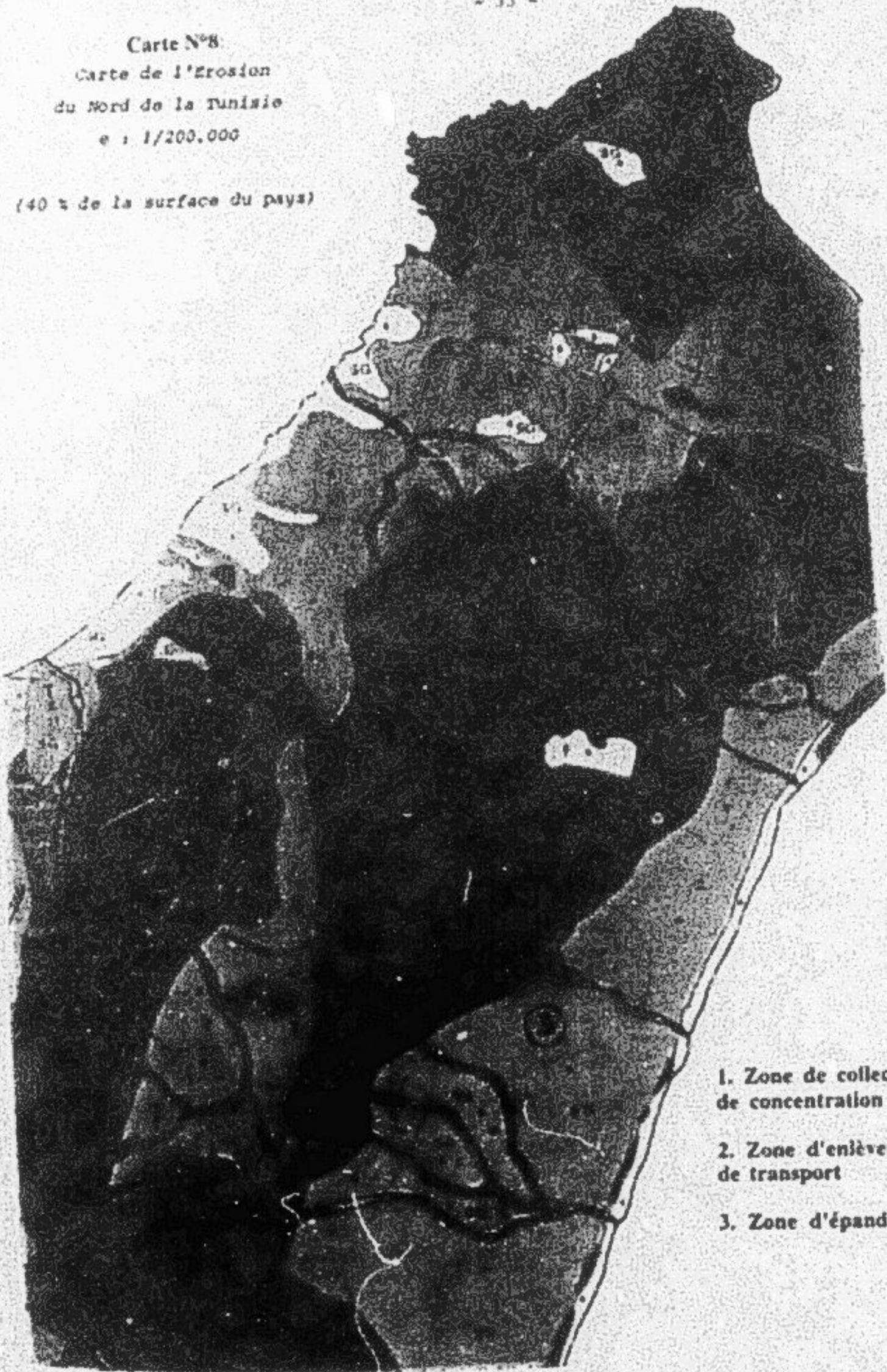
Période 92-93 bord El khairat année sèche

Date mois	Pluie mm	App Liqui Mm3	App Solide Tonnes	App Dissous Tonnes
sep-92	4.8	0.178044	3428.815	347.685
oct-92	9.8	0.168984	6093.639	232.379
nov-92	82.3	0.611051	16171.734	647.323
dec-92	63.8	0.491991	7046.817	681.341
jan-93	8.1	0.309664	4417.397	341.833
feb-93	39.1	0.817978	1622.349	471.178
mar-93	41.0	0.478718	3729.677	648.182
avr-93	1.8	0.291178	0.800	406.292
mai-93	48.4	0.187430	10433.836	813.547
TOTAL	320.1	3.5	52008	4900
Moyenne mensuelle	36	0.5	5809	550
Erosion spécifique	330 Tonnes/Km ² /An			

Apport solide = 30 g/l
Apport salin = 3 g/l

Carte N°8.
Carte de l'érosion
du Nord de la Tunisie
e : 1/200.000

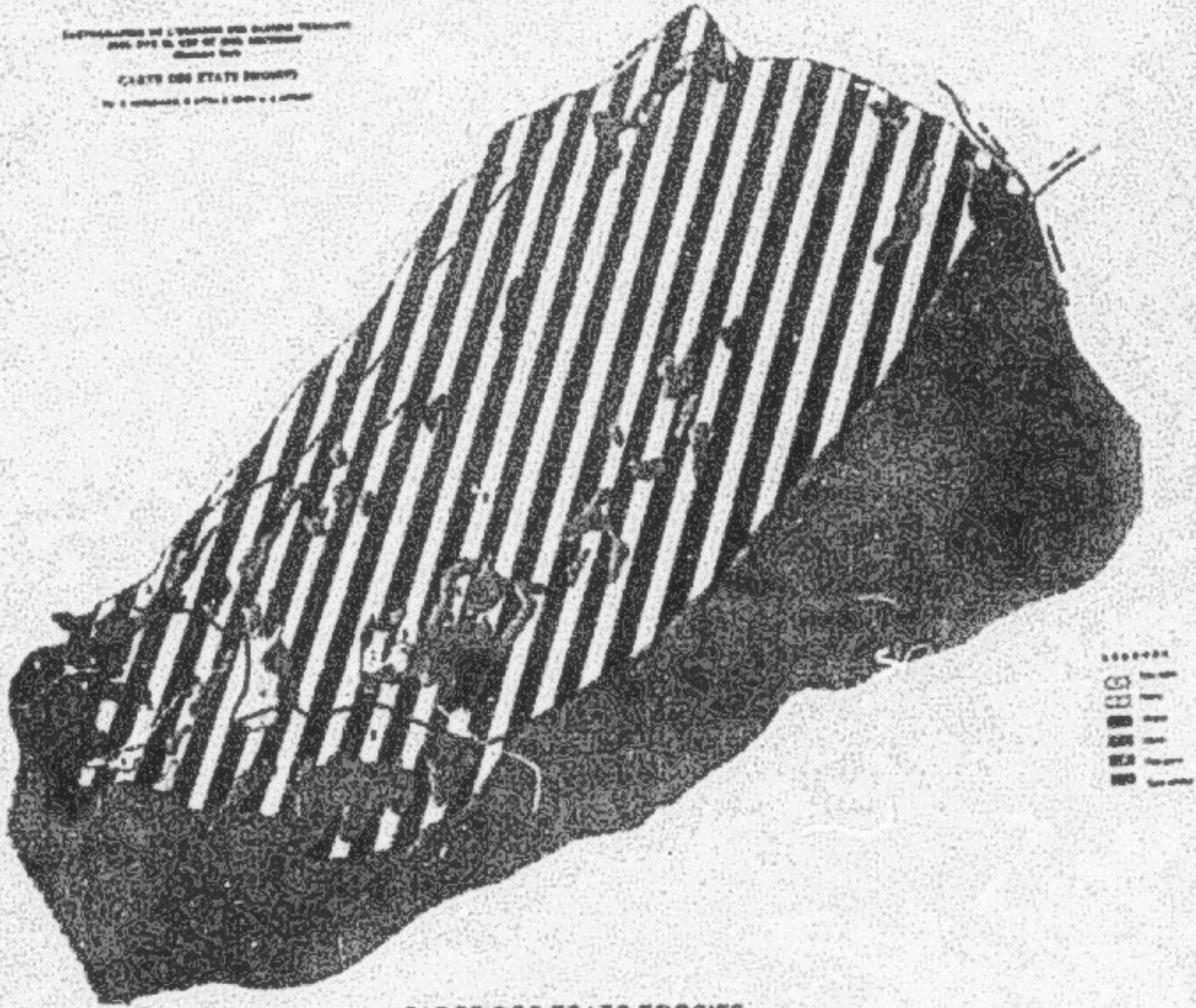
(40 % de la surface du pays)



1. Zone de collecte et de concentration des eaux
2. Zone d'enlèvement et de transport
3. Zone d'épandage

Carte N°9: exemple d'application de la nouvelle methodologie de cartographie
basee sur les approches predicatives et descriptives.

ESTRATEGIA DE L'USUARIU DE LA CARTA
DEL DNE DE L'EST DE L'ESTAD
MADRID 1988
CARTE DES ETATS EROSIFS
No 9 - 1988 - 0 000 0 000 0 000



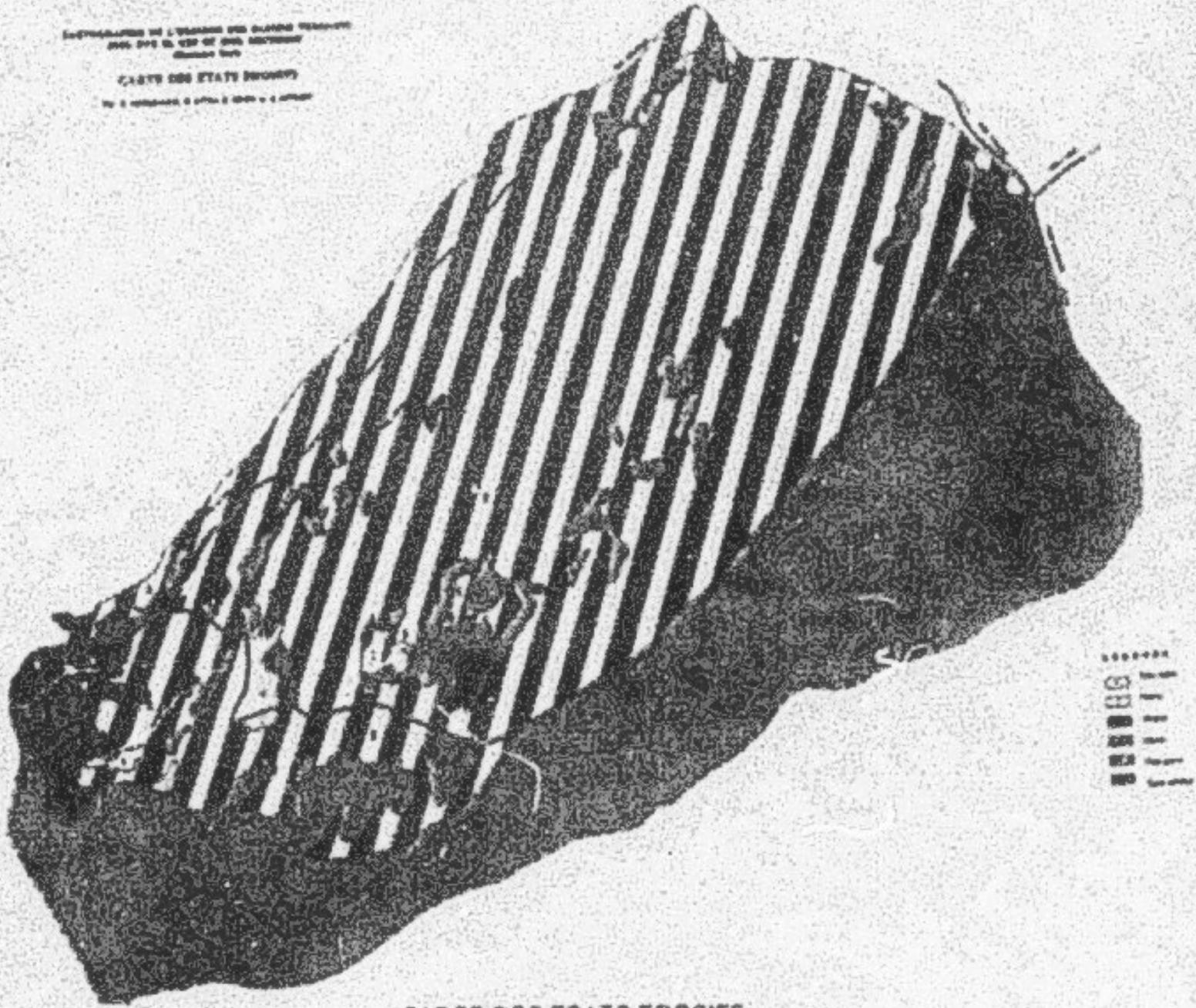
CARTE DES ETATS EROSIFS

	DEGRES DE PROTECTION				
	TRÈS FAIBLE	FAIBLE	MOYEN	ÉLEVÉ	TRÈS ÉLEVÉ
	1	2	3	4	5
TRÈS FAIBLE					
FAIBLE	1	2	3	4	5
MOYEN	2	3	4	5	6
ÉLEVÉ	3	4	5	6	7
TRÈS ÉLEVÉ	4	5	6	7	8

1 TRÈS FAIBLE
2 FAIBLE
3 MOYEN
4 ÉLEVÉ
5 TRÈS ÉLEVÉ

Carte N°9: exemple d'application de la nouvelle methodologie de cartographie
basee sur les approches predicatives et descriptives.

ESTRATEGIA DE L'USUARIU DE LA CARTA
DEL DNE DE L'EST DE L'ESTAD
MADRID 1988
CARTE DES ETATS EROSIFS
No 9 - 1988 - 0 000 0 000 0 000



CARTE DES ETATS EROSIFS

	DEGRES DE PROTECTION				
	TRÈS FAIBLE	FAIBLE	MOYEN	ÉLEVÉ	TRÈS ÉLEVÉ
	1	2	3	4	5
TRÈS FAIBLE					
FAIBLE					
MOYEN					
ÉLEVÉ					
TRÈS ÉLEVÉ					

1 TRÈS FAIBLE
2 FAIBLE
3 MOYEN
4 ÉLEVÉ
5 TRÈS ÉLEVÉ

Les cartes à petites échelles (carte de l'érosion de la Tunisie) au 1/500 000 élaborées en 1960 et la carte de l'érosion au 1.200 000 dressée en 1980, couvrent des superficies importantes alors que le reste des études et des cartes n'intéressent que des petits bassins versants. Ces cartes ont été élaborées selon des approches très variées.

Cette diversité des méthodes a rendu la tâche des estimateurs relativement différentes et parfois impossible. La dernière approche de cartographie met l'accent sur les méthodes prédictives et descriptives appliquées aux bassins versants d'Oued Ermeï et El Khairat dans la région de Zaghouan.

V.4. Simulation des pluies

Parallèlement aux parcelles fixes, on effectue les mêmes types de recherches sous pluies simulées (à partir d'une étude statistique de la pluviométrie où l'intensité-durée prend une large place) à l'échelle de 1 m². Ceci nous permet d'extrapoler rapidement les résultats des parcelles dans le temps et dans l'espace.

Cette étude permet également de classer, pour un même type de terre, les techniques culturales et les différents états de surface et d'orienter les conseils donnés par les services de vulgarisation agricole aux agriculteurs.

Les campagnes de simulation, utilisant deux simulateurs montés en Tunisie (1984-1990), ont touché presque toutes les régions du pays. Beaucoup d'informations sont actuellement disponibles sur le comportement du matériel et des terres agricoles et pastorales vis à vis de l'érosion pluviale et du ruissellement en fonction de leur utilisation et des techniques culturales employées. La comparaison de ces informations avec celles fournies par les parcelles expérimentales nous procurent les moyens nécessaires pour un étalonnage plus fin des coefficients correctifs C1 C2 et C3 utilisés par la formule de la F.A.O.

PARTIE II

SIMULATION DE PLUIE (PRINCIPES ;SITES ET RESULTATS)

PARTIE II

SIMULATION DE PLUIE (PRINCIPES ;SITES ET RESULTATS)

L. LA SIMULATION DE PLUIE.

Le simulateur de pluie a pour objectif :

- l'étude du comportement du sol
- l'étude de l'érosion

Le principe essentiel de la simulation de pluie est de tester l'aptitude au ruissellement et la détachabilité des sols sur des placettes de 1 m² jugées représentatives des états de surface de la parcelle étudiée, tout en contrôlant les hauteurs précipitées et leur intensité.

Ainsi, les objectifs du programme de la simulation de pluie en Tunisie sont :

- l'analyse de paramètres d'infiltration et de ruissellement sous pluies naturelles. Le simulateur de pluie permet de choisir et de fixer les caractéristiques des averses, l'humectation du sol (qui sera défini ultérieurement) et l'état de surface.

- Le gain sur la durée expérimentale et l'extension spatiale de ces résultats. En effet, pour obtenir de bons résultats sous pluies naturelles, on doit prolonger les mesures sur plusieurs années et travailler sur plusieurs sites, alors que sous pluies simulées, on obtient de bons résultats en une période d'étude très courte et sur un nombre de sites plus élevés.

- L'analyse microstructurale de la surface du sol conditionnée par la qualité des pluies (pluies agressives et énergie cinétique).

Ainsi, à partir de ces objectifs, on peut caler les résultats obtenus par simulation de pluies à ceux trouvés sous pluies naturelles par les petites parcelles expérimentales des bassins versants.

1.1. L'appareil de lecture des états de surface.

La conception de l'appareil est simple. Elle s'inspire de l'arsenal instrumental mis en oeuvre par les phytocologues lors de leurs relevés d'un cadre mobile, équipé latéralement de deux règles à 19 encoches (une tous les 5 cm), qui s'adaptent sur le cadre de la parcelle de 1 m². Sur le cadre à encoches on installe un bâti-potence amovible servant de guide à 19 aiguilles et matérialisant la ligne du sol sur laquelle seront notés le type de contact au sol, le nombre de contacts aériens avec la végétation et les différences de dénivelés par rapport à un niveau de référence. Ce bâti conçu pour être extensible en hauteur (cas de la végétation haute) s'adapte parfaitement sur les encoches latérales du cadre.

Les mesures et lectures s'effectuent tous les 5 cm, ligne après ligne, en commençant par l'amont de la parcelle et de la gauche vers la droite en regardant l'amont. On réalise ainsi 19 lectures par ligne ce qui représente 361 points au total pour une parcelle de 1 m².

Des fiches sont remplies en relevant les caractéristiques de chaque point et de chaque ligne pour chaque parcelle de 1 m².

1.2. Le simulateur de pluie

1.2.1- Description

De nombreux dispositifs de simulation de pluie ont été proposés : soit des dispositifs à goutteurs (fils, capillaires, tubes), soit des dispositifs à gicleur, dont l'intensité peut être ou non variable. C'est ainsi qu'en 1977 ASSELINE et VALENTIN mettent au point un asperseur à gicleur que nous utilisons (fig.). Il est constitué par :

- * Une structure métallique sur quatre pieds donnant une bonne stabilité à l'ensemble et supportant un gicleur qui fournit les gouttes sous une pression de 0,5 bar ajustable au moyen d'un manomètre, le gicleur se trouve à 3,70 m au-dessus du sol.

- * Un moteur, alimenté par une batterie de 12 v, produit un mouvement alternatif de balancier par l'intermédiaire d'un système d'engrenage à un bras supportant le gicleur. Plus l'angle de balancement de ce bras est important, moins la quantité d'eau reçu par le sol est forte et l'intensité de la pluie est faible. Inversement, si l'angle de balancement est faible, l'intensité de la pluie est forte.

- * Un groupe électrogène de 2.500 W alimente une pompe à eau qui permet de fournir une pression suffisante en haut du bâti métallique.

- * Un cadre métallique enfoncé dans le sol, de profondeur variant entre 5 et 10 cm et limitant une parcelle de mesure à 1m². Il présente à l'aval une ligne de trous qu'on amène à ras de la surface du sol afin de permettre le libre écoulement des lames ruisselées. Elles sont recueillies dans une cuve par l'intermédiaire du tube qui les amène au dispositif de mesure de débit, équipé d'un limnigraphe de laboratoire.

- * Un système de bâches fixées sur la structure métallique permet de protéger la pluie des coups de vent. Les étalonnages que les auteurs effectuent tiennent compte des caractéristiques physiques de la pluie naturelle. Ils portent sur :

- le calibre des gouttes,
- la vitesse d'impact du sol et l'énergie cinétique,
- l'indice d'agressivité climatique R, égal au produit de l'énergie d'impact d'une

pluie par son intensité. Il est vraisemblable que de nombreuses variables climatiques conditionnent ces caractéristiques : intensité et durée des averses, types de nuages, température et humidité relative de l'air, saisons, etc... Aussi les résultats acquis par divers auteurs diffèrent-ils selon les climats. En première analyse, pour des intensités identiques, le diamètre et l'énergie cinétique des gouttes seraient inférieurs en climat "océanique" (Japon, sud-ouest de la côte d'Ivoire) à ceux mesurés en climat plus "continental" (Allemagne, Rhodésie, Centre-Sud des Etats-Unis). J. ASSELINE et C. VALENTIN effectuent la mise au point de leur asperseur sur les données recueillies par HUDSON (1973) en Rhodésie, les estimant plus faibles étant donné le nombre important d'années d'observation. Ils montrent que l'appareil :

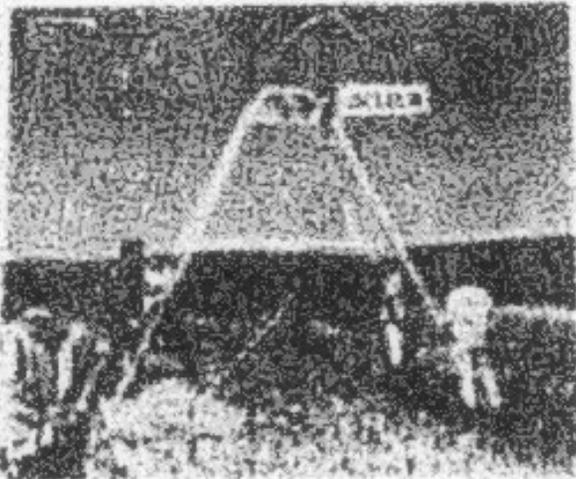
- * délivre une proportion importante de gouttes de diamètre compris entre 0,8 et 3 mm

- * met en oeuvre des énergies cinétiques d'autant plus proches de celles des pluies naturelles que les intensités sont élevées ; ainsi l'appareil ne fonctionne convenablement qu'à partir de 30 mm/h ;

DEPARTAMENT D'INSTRUMENTAL DE LA SOCIEDATXA ESPANAYOLA



MONTAÑA DE BIELLAITZ



MONTAÑA DE BIELLAITZ



MONTAÑA DE BIELLAITZ



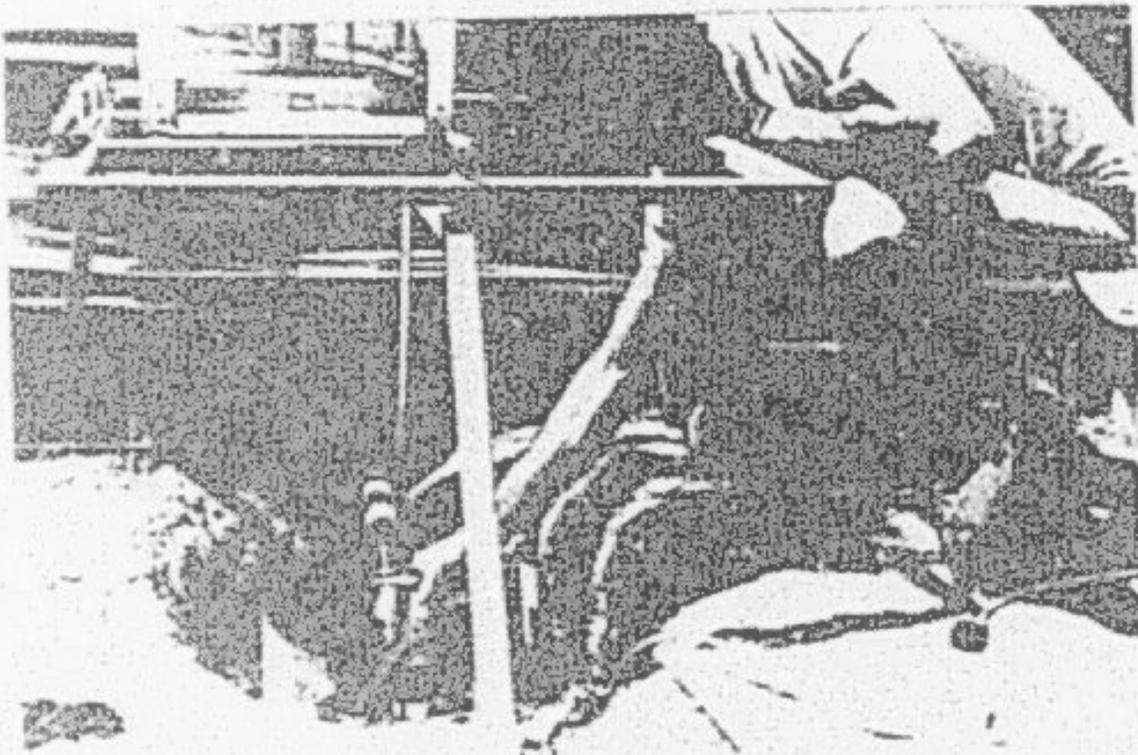
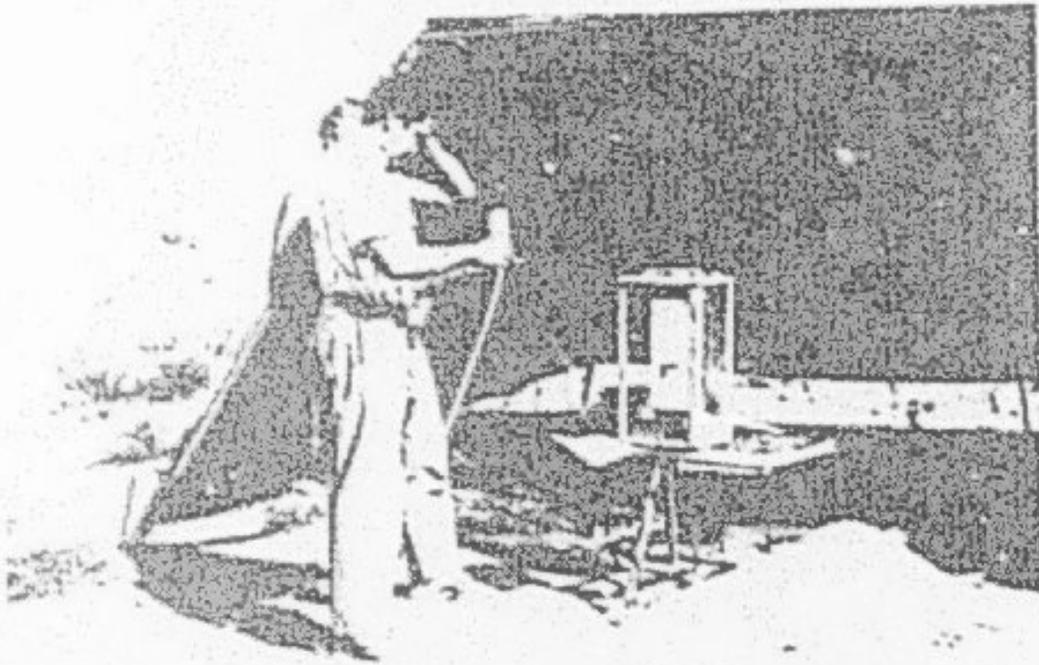
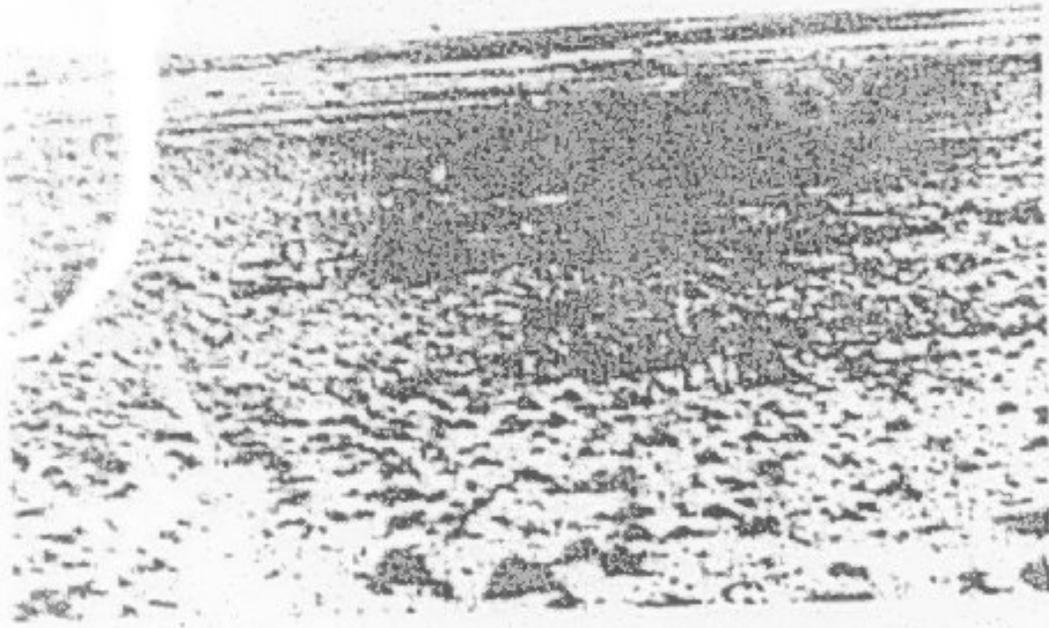
MONTAÑA DE BIELLAITZ

MONTAÑA DE BIELLAITZ

MONTAÑA DE BIELLAITZ

MONTAÑA DE BIELLAITZ

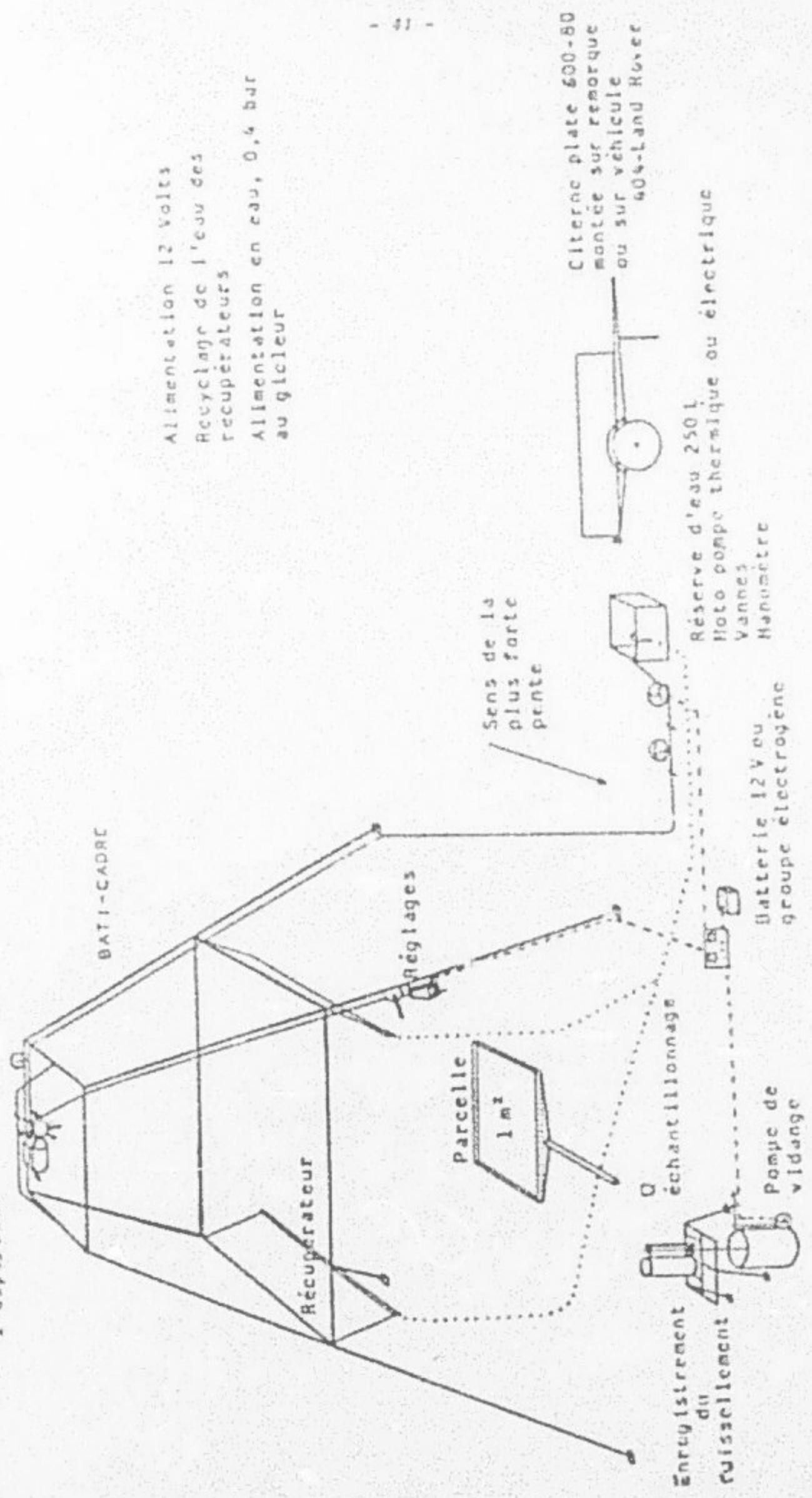
- 43 -
Campagne de simulation sur glacis encroûté
du sud tunisien



Action de prélèvement
de
l'eau de ruissellement .

Fig. 1 SCHEMA DE FONCTIONNEMENT DU MINI SIMULATEUR DE PLUIE

Mécanique de l'asperseur



Alimentation 12 volts
 Recyclage de l'eau des
 récupérateurs
 Alimentation en eau, 0,4 bar
 au gicleur

Citerne plate 600-80
 montée sur remorque
 ou sur véhicule
 404-Land Rover

Réservoir d'eau 250 l
 Moto pompe thermique ou électrique
 Vannes
 Manomètre

Batterie 12 V ou
 groupe électrogène

Pompe de
 vidange

* produit un indice d'agressivité identique à celui des pluies naturelles.

En comparant leurs résultats à ceux obtenus par d'autres modèles de simulateurs de pluie, les auteurs montrent la supériorité de l'asperseur et ils insistent cependant sur :

- la variabilité des données naturelles de calage,
- les difficultés pour obtenir de telles données. Les expérimentations doivent aboutir à la connaissance des distributions de la taille des gouttes et leur vitesse d'impact.

Le simulateur de pluie permet ainsi :

- de faire varier l'intensité des pluies et de contrôler leur valeur ;
- de tester l'infiltration de surface avec, de part et d'autre, une zone de garde. La surface arrosée varie avec l'intensité des pluies et est comprise entre 4 et 6 m² ;
- de mesurer le ruissellement lorsque l'intensité de la pluie est supérieure à la capacité d'infiltration du sol ;
- de prélever des parties sur les eaux de ruissellement pour la mesure de leur turbidité qui est faite au laboratoire par filtration et séchage à 105°C.

1.2.2. Pratiques d'utilisation

1.2.2.1. Mise en place de la parcelle

La mise en place du cadre d'un mètre carré ne pose en principe aucun problème. Il est cependant important de prendre quelques précautions. On doit déterminer de façon assez précise la pente du sol, ce qui pour les faibles pentes n'est pas toujours évident, afin de placer le côté troué du cadre rigoureusement en aval.

En général, l'emploi d'un niveau à bulle de maçon est suffisant. Il est bien évident que l'on évite de piétiner la surface à étudier et la surface "de garde" lors de la mise en place du cadre. La parcelle est enfoncée à la masse, à l'aide d'un cadre renforcé de manière à mettre la cornière d'arrêt et de ligne de trous au niveau de la surface du sol. Une petite rigole doit être aménagée sous la gouttière réceptrice du ruissellement.

1.2.2.2. Mise en place de la cuve

La cuve recueillant le ruissellement est installée dans une fosse à 1 m en aval de la parcelle. Afin d'éviter les blocages ou les frottements intenses du système d'enregistrement, il est important de s'assurer de l'horizontalité du limnigraphe. La cuve est équipée d'une vanne de vidange et est reliée à une motopompe qui assure la vidange.

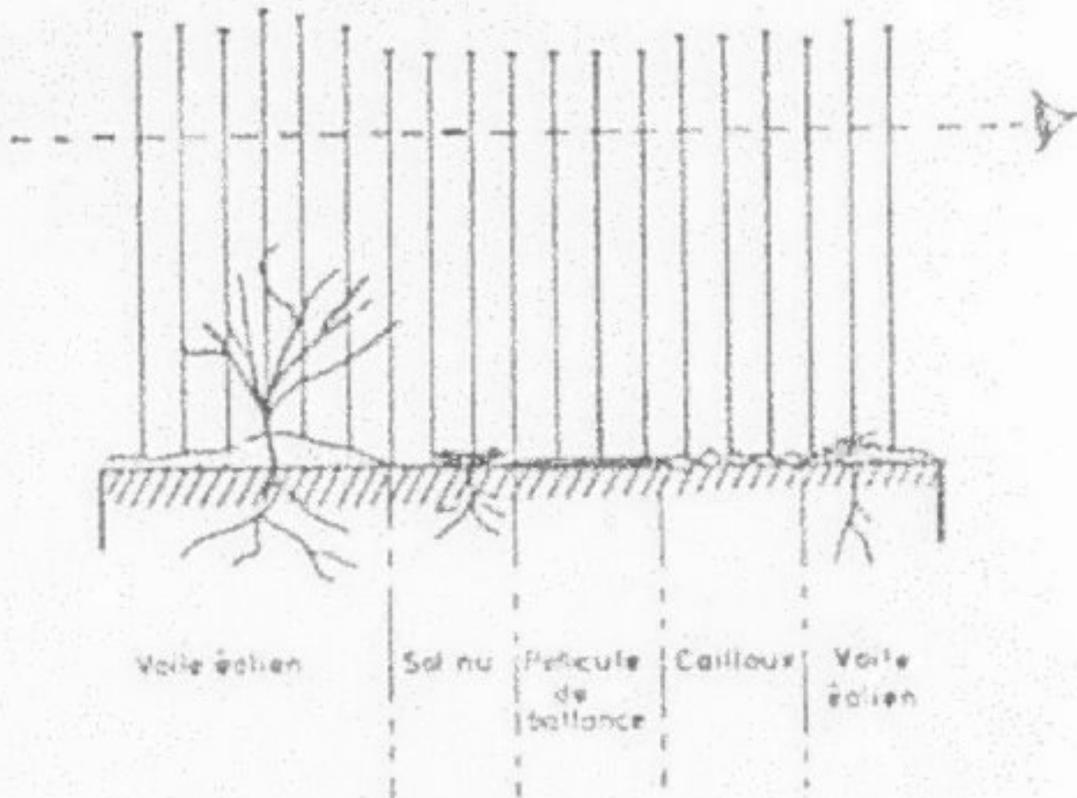
1.2.2.3. Mise en place de la tour

Lors de la mise en place de la tour (bâti-cadre), il faut veiller au centrage du gicleur sur la parcelle pour avoir un anneau de garde suffisant quelle que soit l'intensité de la pluie. Pour compenser la pente du terrain, les pieds de l'appareil sont réglables en hauteur, afin de maintenir le sommet de la tour sur un plan horizontal. Pour neutraliser l'effet du vent, des bâches sont fixées sur la tour.

1.2.2.4. Réglage des intensités

Fig 2 EXEMPLE DE LECTURE D'UNE LIGNE ET DE RENSEIGNEMENT DU BORDEREAU

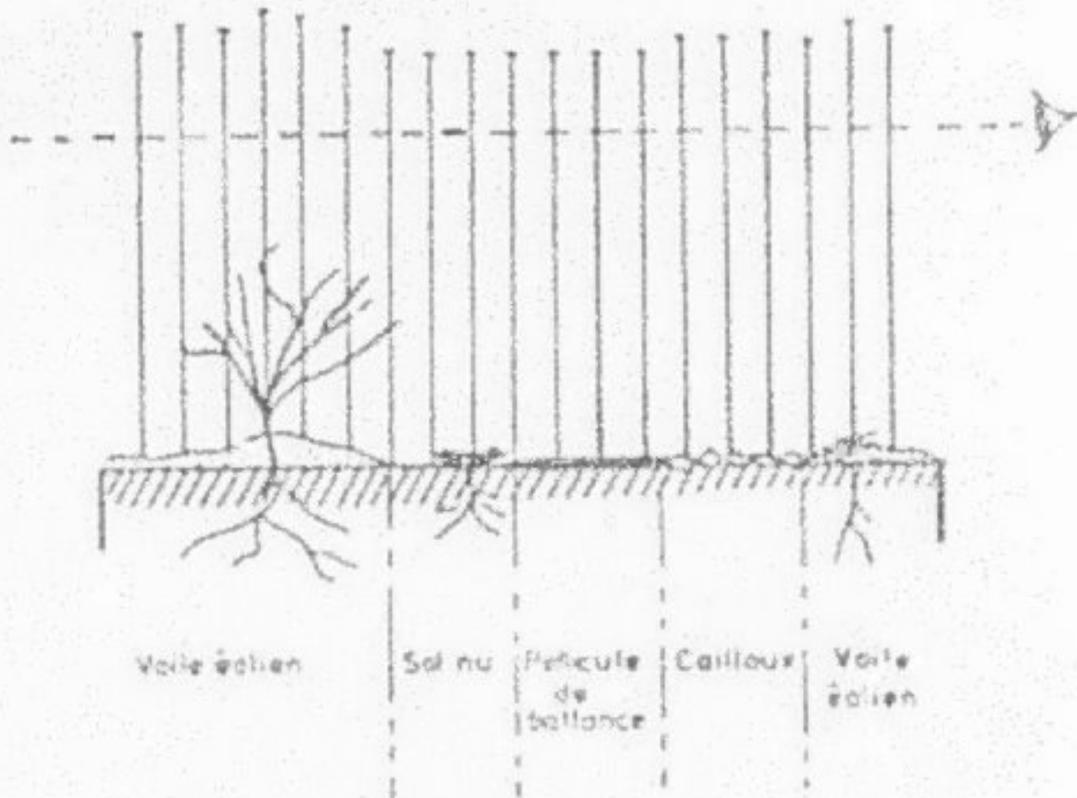
Point n° 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19



Ligne n°	Point n°																			Total	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
Voile éolien																				4	15
Sol nu				X					X										X	2	7
Petite de ballance														X	X	X				3	3
Cailloux	X	X	X		X	X	X	X	X								X		X	10	10
Voile éolien																X	X	X		3	3
Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		

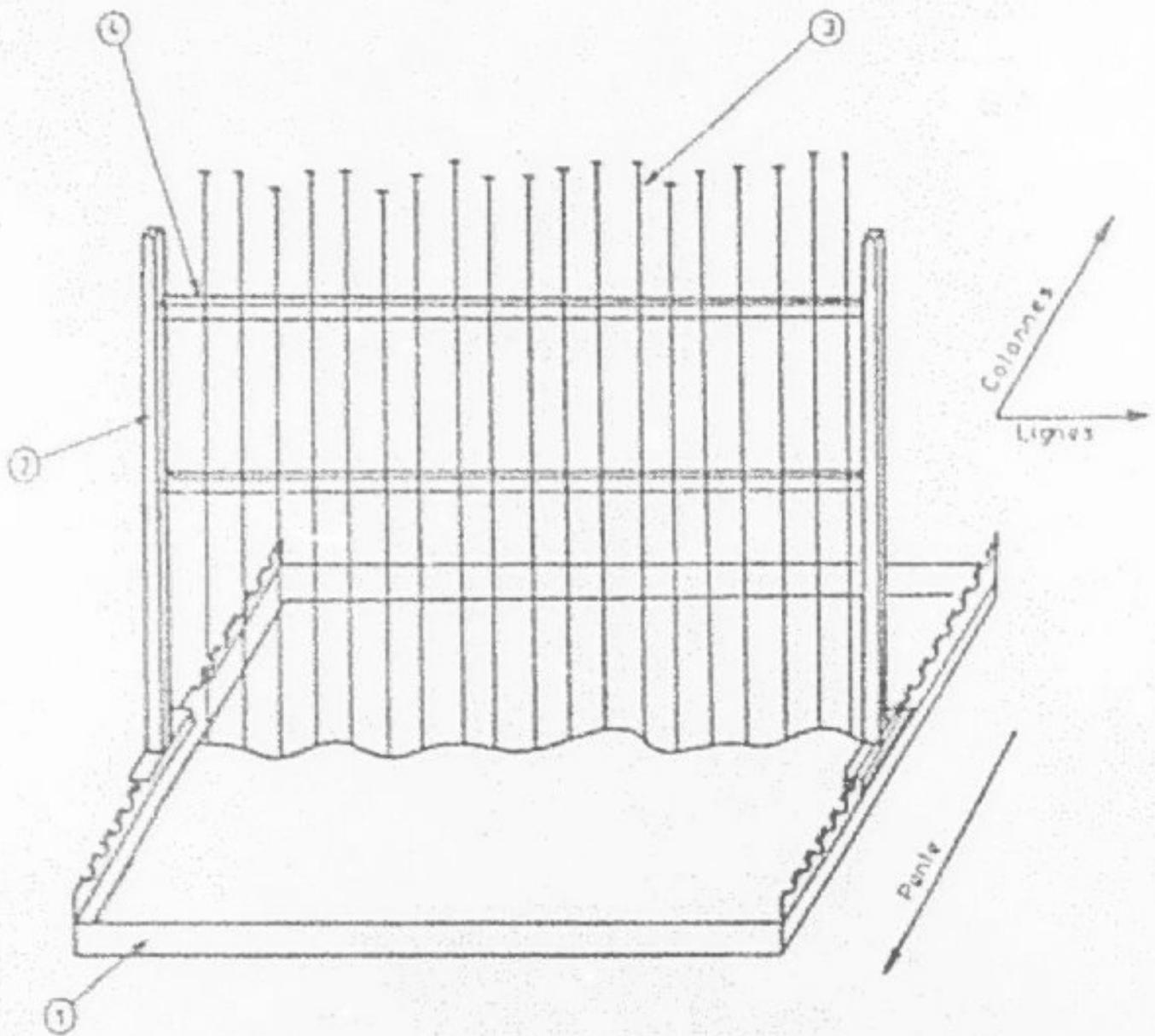
Fig 2 EXEMPLE DE LECTURE D'UNE LIGNE ET DE RENSEIGNEMENT DU BORDEREAU

Point n° 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19



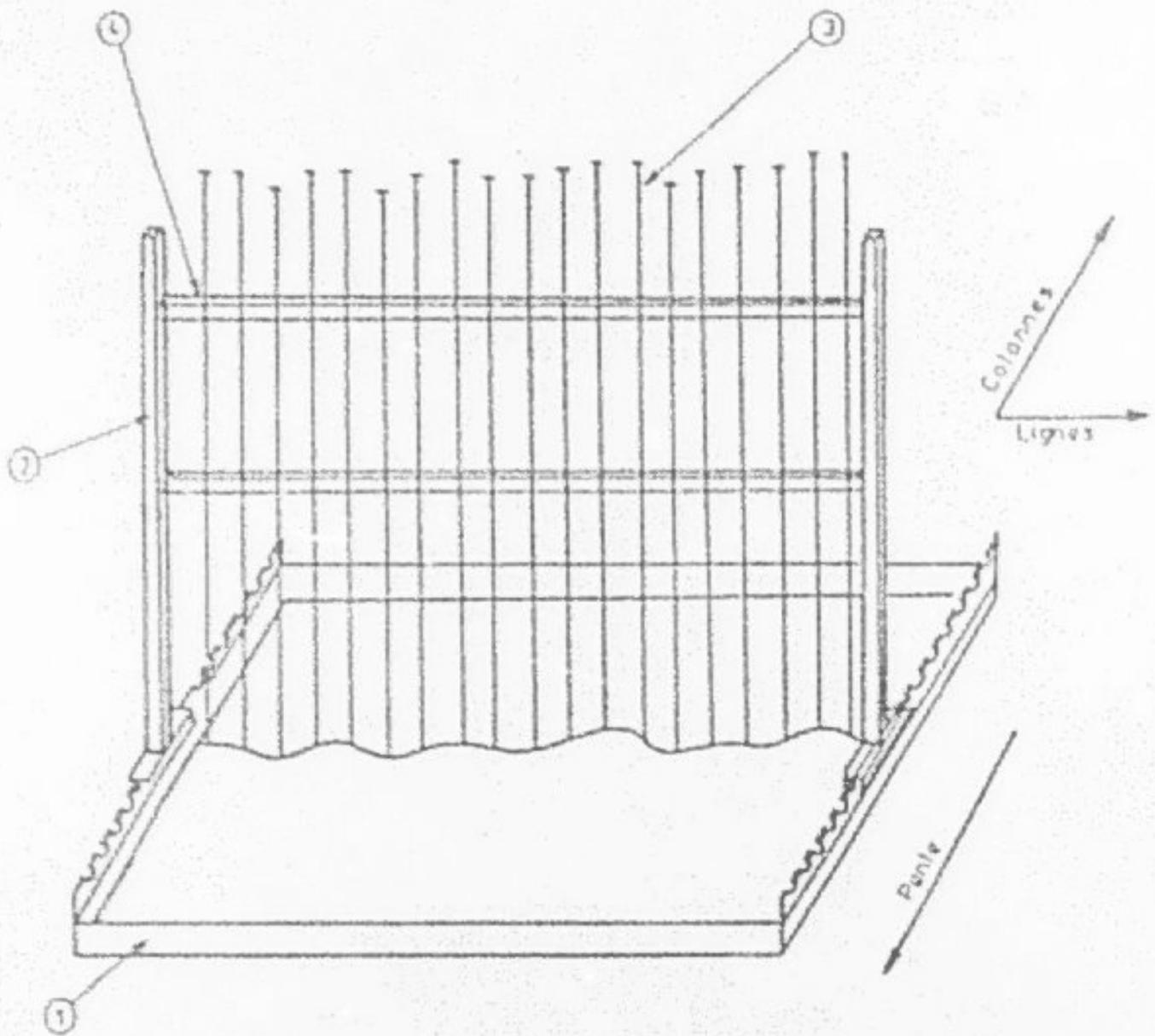
Ligne n°	Point n°																			Total	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
Voile éolien																				4	15
Sol nu				X					X										X	2	7
Péculé de ballance											X	X	X							3	3
Cailloux	X	X	X		X	X	X	X	X								X		X	10	10
Voile éolien																X	X	X		3	3
Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		

Fig 3 APPAREIL POUR LECTURE DES ETATS DE SURFACE



- ① Cadre cornière s'adaptant parfaitement sur les parcelles utilisées pour la simulation de pluie (1 m²). Il est pourvu latéralement, d'éléments présentant des encoches tous les 5 cm. [19]
- ② Bâti amovible et extensible (en hauteur) dont les pieds s'adaptent dans les encoches
- ③ Aiguilles \varnothing 3 mm, longueur 1 m. [19] coulissent dans les deux supports transversaux, percés de trous \varnothing 4,5 mm
- ④ Niveau de référence, pour lecture
- ~ Ligne fictive liée au sol

Fig 3 APPAREIL POUR LECTURE DES ETATS DE SURFACE



- ① Cadre cornière s'adaptant parfaitement sur les parcelles utilisées pour la simulation de pluie (1 m²). Il est pourvu latéralement, d'éléments présentant des encoches tous les 5 cm. (19)
- ② Bâti amovible et extensible (en hauteur) dont les pieds s'adaptent dans les encoches
- ③ Aiguilles \varnothing 3 mm, longueur 1 m. (19) coulissent dans les deux supports transversaux, percés de trous \varnothing 4,5 mm
- ④ Niveau de référence, pour lecture
- ~ Ligne fictive liée au sol



DISPOSITIF DE LA METHODE DU POINT QUADRAT



Un bras de levier faisant varier l'angle de balancement est réglé au moyen d'une tige filetée à partir de la base de la tour. Le nombre de tours de cette tige est indiqué sur un compteur à chiffres. L'étalonnage des intensités de l'appareil est fait en corrélant le nombre de tours de la tige aux intensités correspondantes. Les réglages des intensités sont faits au dessus d'un bac en tôle de 1 m² posé sur le cadre limitant la parcelle. Il fonctionne alors comme un pluviomètre. L'eau qui ruisselle sur ce bac est recueillie dans la cuve.

Il est nécessaire de contrôler, avant chaque pluie, le réglage des intensités car celui-ci peut varier légèrement en fonction de la position de l'appareil (centrage du jet, hauteur du gicleur...) ou de la pression d'admission d'eau au gicleur. Pour réaliser ces réglages, nous traçons sur le diagramme d'enregistrement les droites représentant les intensités cherchées. On règle l'appareil en augmentant ou en diminuant le nombre de tours de façon à ce que la plume suive la droite. On note le nombre de tours correspondant à celui utilisé au cours de la pluie. Les mesures de l'humidité du sol se font à l'intérieur de l'anneau de garde.

1.2.2.5. Protocoles des averses.

On applique sur chaque placette des protocoles reproduisant des averses à hauteurs et intensités élevées ; ce sont généralement ces averses qui se produisent en automne et causent de fortes érosions dans nos régions.

Le protocole d'essai est décrit dans le tableau suivant : tableau N° 4

1.2.3. Les phases observées lors des pluies simulées.

Lors d'une pluie simulée, on enregistre la courbe des volumes ruisselés cumulés. Les variations de la pente de cette courbe permettent le calcul des débits du ruissellement instantané qui peuvent être reportés en fonction du temps pour donner l'hydrogramme de ruissellement.

Pendant la durée de la pluie simulée, on observe quatre phases différentes.

- phase d'imbibition : aucun ruissellement n'a lieu pendant cette phase.
- phase d'écoulement transitoire : dans cette phase l'intensité d'infiltration diminue peu à peu, le ruissellement s'établit et son intensité augmente progressivement jusqu'à atteindre une valeur maximale.
- phase d'écoulement permanent : dans cette phase apparaît un palier de ruissellement où celui-ci décroît jusqu'à s'annuler.

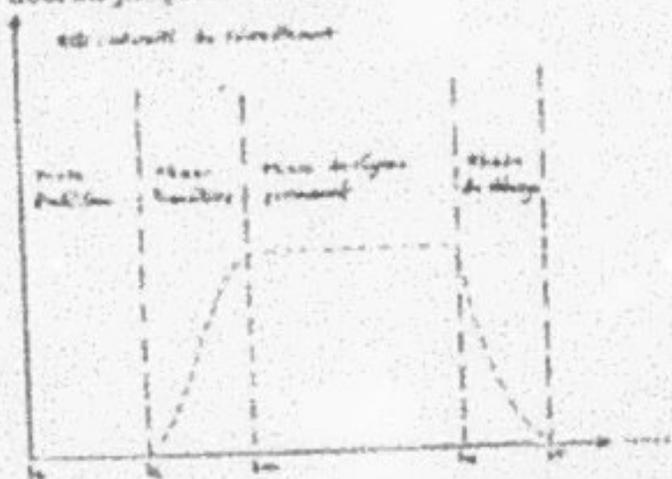


Fig. 4. Phases hydrographiques de l'hydrogramme de ruissellement.

Tableau N°4 : Caractéristiques des pluies simulées

Ancienne pluie	N° pluie	intensité mm/h	Durée (mn)	Hauteur (mm)	RUSA Wilmmer	I _{max} mm/h
1 mois	P1	20	15	5		
		40	15	10	33,3	60
		80	15	20		
24 h	P2	30	20	10		
		60	15	15	17,4	45
15 mn	P3	120	10	20	14,1	40

II. DEPOUILLEMENT DES DONNEES DE TERRAIN PAR MICRO ORDINATEUR

II.1. Utilisation des logiciels infiltro et etsurf.

II.1.1. Exploitation des états de surface (Etsurf).

Le programme "ETSURF" permet d'une part, à partir des 361 triplets de mesures (hauteur siguille, état de surface, nombre de contacts avec la végétation), de calculer la rugosité (trois valeurs sont données : dans le sens de la pente, perpendiculairement à la pente et valeur globale), la densité de la végétation et le pourcentage de chaque état de surface. Ce programme réalise également une représentation graphique de la topographie de la parcelle.

II.1.2. Dépouillement du limnigramme (INFILTRO).

Le dépouillement de l'enregistrement en continu du niveau de l'eau recueillie dans la cuve (limnigramme) se fait en notant sur un tableau adapté les références, les intensités moyennes des averses utilisées, les volumes et charges des échantillons et la hauteur de la courbe enregistrée par rapport à une ligne de base quelconque. Cette mesure de la hauteur se fait par lecture toutes les minutes (appelée "pas de temps") du début de la pluie jusqu'à la fin du ruissellement.

II.1.3. Saisie-calcul et impression des résultats.

La saisie de l'ensemble des données se fait par un programme (Infiltro) se déroulant automatiquement et permettant d'introduire successivement les références, les caractéristiques de la pluie simulée et les hauteurs.

Le programme (Infiltro) permet aussi, à partir des limnigrammes et des résultats d'analyse des échantillons, d'une part de calculer pour chaque instant le ruissellement et le débit solide et pour chaque séquence de pluie la lame ruisselée, la pluie d'imbibition, la pluie efficace, le coefficient de ruissellement et l'érosion, et d'autre part de tracer les courbes d'intensité, de ruissellement et l'érosion.

L'impression des résultats se fait sous forme de deux tableaux. L'un représentant les valeurs du ruissellement et du débit solide minute par minute, l'autre représentant un total cumulé séquence par séquence et sur l'ensemble de la pluie. Le tracé des courbes permet une bonne visualisation de l'ensemble des données de la simulation de pluies.

II.1.4. Présentation et expression des résultats

Le dépouillement automatique nous conduit à un ensemble de résultats. Ces résultats se rapportent aux différents comportements de la placette testée. Ils représentent des hyéogrammes, des courbes de variation de débit liquide et solide, ainsi que le calcul de la lame ruisselée, de la pluie d'imbibition (Pi), de la pluie efficace (Pe), celle qui provoque le ruissellement, la lame infiltrée (W) et la valeur de l'érosion sur 1 m² par séquence et pour l'ensemble de pluies (pT).

CODAGE DES DONNEES ELABOREES

- LIEU**
En cinq lettres
- PARCELLE**
n° d'identification sur le département "Casas"
- DATE**
dans "Casas" 44 : 10 oct 87 : 101087
- SAISON**
(4 saisons) codées ainsi :
- 1 Automne (Septembre Octobre Novembre)
 - 2 Hivers (Décembre Janvier Février)
 - 3 Printemps (Mars Avril Mai)
 - 4 Eté (Juin Juillet Août)
- OCCUPATION DES TERRILS**
Codées ainsi :
- 1 Parcours (étable, paturage, mangier, ...)
 - 2 Jachère, claustrée
 - 3 Culture irriguée
 - 4 Labour en ligne culturale récente (profil)
 - 5 Labour en ligne culturale récente (profil)
- CARACTERE EDAPHIQUES DES PARCELLES**
Ferre (F)
Rugosité (R)
On prendra la rugosité dans le sens de la pente
Vg A (ND) coudée (verticale)
Végétation ornement en moelleux moyen de coudée
par verticale (M) verticale
(Cl végétation adhésive moyenne sector sur "casas")
- TEXTURE SURFACE (D=10 à 0,25 mm)**
A + L (%)
pourcentage argile + limons grossiers + limons fins (0-50)
L (%)
pourcentage limons fins + limons grossiers et sable fins (0-200)
- ETAT DE SURFACE**
F0 (%)
Taux de recouvrement de la pellicule de lixivier
VS (%)
Taux de recouvrement de la végétation sur le sol au moment de la lixivier
- RS + SN (%)
Taux de recouvrement des sables de sol au moment de lixivier (libérer par exemple)

- Ci (%)
Taux de recouvrement des éléments grossiers (pierres, cailloux, gravillons)
- N° de pluie
(Cl département "Andorre et ElSud")
- N° espèces
(Cl département "Andorre et ElSud")
- IK (Indice de Klauzer modifié)
$$IK = (IK_0 - 1 + P_0 - 1) \cdot e^{-0,05 \cdot n} \text{ avec } n = 0-5$$
- PU (mm)
pluie utile (Cl département "Andorre et ElSud")
- U' (mm/5h)
Infiltration maximale en 5 min de la séquence ou de pluie
- Li (mm)
Lame d'eau infiltrée
- Ke (R)
Coefficient d'efficacité de la pluie. Ke = $\frac{U'}{U}$
- P3 (mm)
Flux d'infiltration sur le sol sec (quantité d'eau infiltrée avant le ramollissement)
- P3H (mm)
Flux d'infiltration sur sol très humide
- H (mm/5h)
Infiltration maximale d'infiltration sur sol très humide
- E (g)
Erodibilité ou desacholabilité en g pour 1 m²
- Ez (g m⁻² h⁻¹)
coefficient de non d'eau infiltrée : Ez = E/PU - Li

CODAGE DES DONNÉES ELABORÉES

LIEU
En cinq lettres

PARCELLE
n° d'identification sur le département "Casin"

DATE
dans "Casin" 44 : 10 oct 87 : 101087

SAISON
(4 saisons) codes à deux chiffres
1 Automne (Septembre Octobre Novembre)
2 Hiver (Décembre Janvier Février)
3 Printemps (Mars Avril Mai)
4 Été (Juin Juillet Août)

OCCUPATION DES TERRES
Codes à deux chiffres
1 Prairies têtardes, garrigues, maquis...
2 Jachères, clairières
3 Culture insalubre
4 Laiton en fauche culturale récente (profil)
5 Laiton en fauche culturale récente (profil)

CARACTÈRE EDAPHIQUES DES PARCELLES
Ferté (7)
Rugosité (7)
On prendra la rugosité dans le sens de la pente
Vg A (ND) coteau verticale
Végétation ornement en moelleux moyen de coteau
par verticale (ND) verticale
(Cl végétation adhésive moyenne sector sur "casin")

TEXTURE SURFACE (D = 10 à 0,25 mm)
A + L (%)
pourcentage argile + limon grossier + limon fin (0-50)
L (%)
pourcentage limon fin + limon grossier et sable fin (0-200)

ÉTAT DE SURFACE
F0 (%)
Taux de recouvrement de la pellicule de litière
VS (%)
Taux de recouvrement de la végétation sur le sol nu en la litière

RS + SN (%)
Taux de recouvrement des sables de sol nu sans litière (litière par exemple)

Ci (%)
Taux de recouvrement des éléments grossiers (pierres, cailloux, graviers)

N° de pluie
(Cl département "Indre et Loire")

N° espèces
(Cl département "Indre et Loire")

IK (Indice de Klauzer modifié)
$$IK = (IK_0 - 1 + P_0 - 1) \cdot e^{-0,05 \cdot n} \text{ avec } n = 0-5$$

PU (mm)
pluie utile (Cl département "Indre et Loire")

U' (mm/h)
Infiltration maximale en 5 min de la séquence ou de pluie

Li (mm)
Lame d'eau infiltrée

Ke (7)
Coefficient d'efficacité de la pluie. Ke = $\frac{U'}{U}$

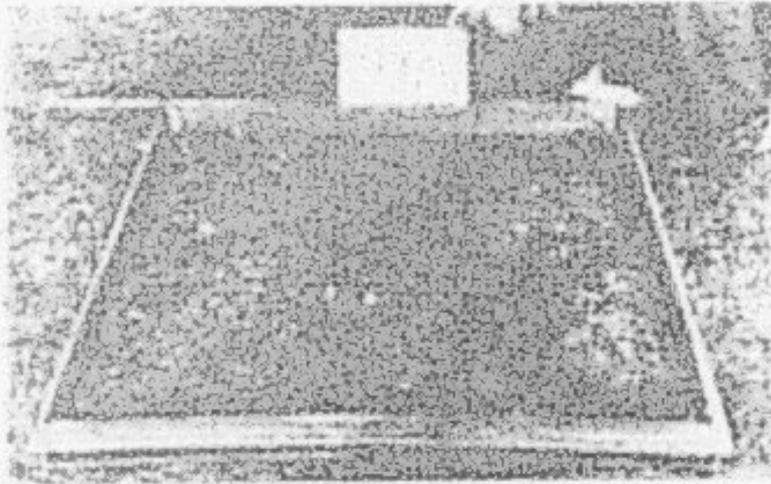
P3 (mm)
Flux d'infiltration sur le sol sec (quantité d'eau infiltrée avant le ramouillage)

P3H (mm)
Flux d'infiltration sur sol très humide

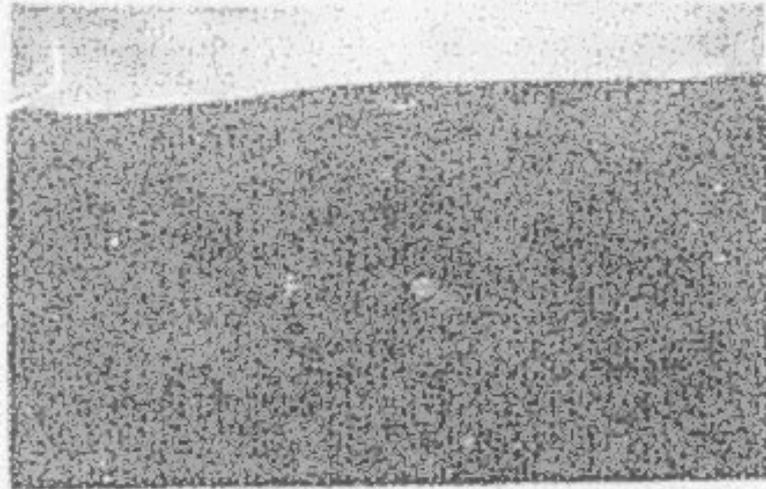
H (mm/h)
Infiltration maximale d'infiltration sur sol très humide

E (g)
Érosibilité ou désholabilité en g pour 1 m²

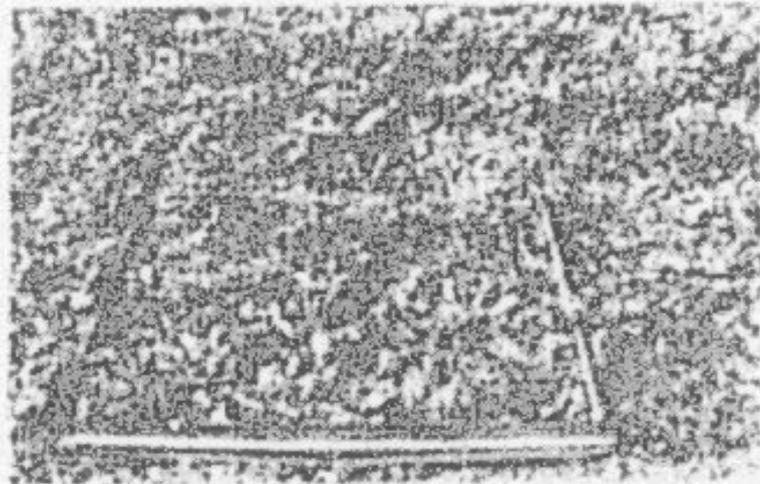
Ez (g m⁻² h⁻¹)
coefficient de non d'eau infiltrée : Ez = E/PU - Li



LA ZONE SECHE



CHENIER

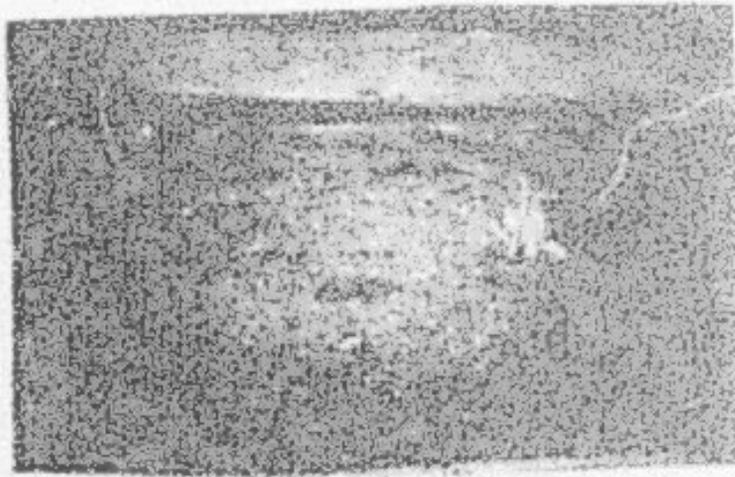


VEGETATION HERBACEE

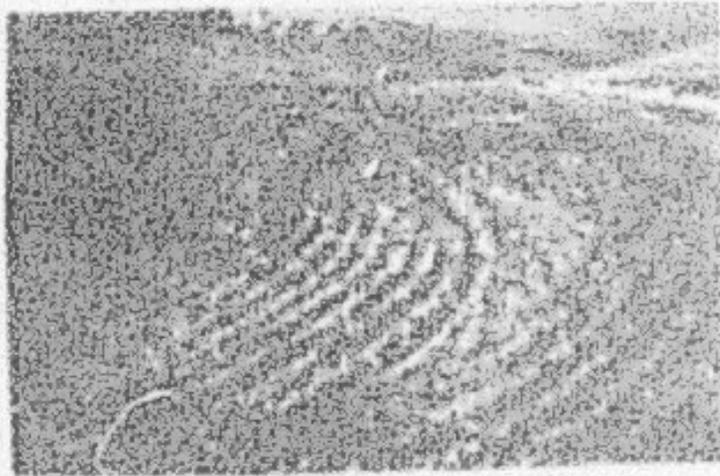


MEL
MELNIE DE MER
DE MELNIE

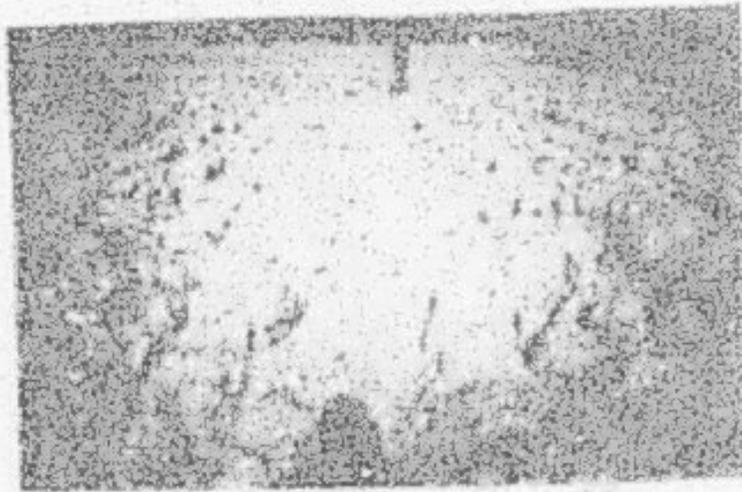
10



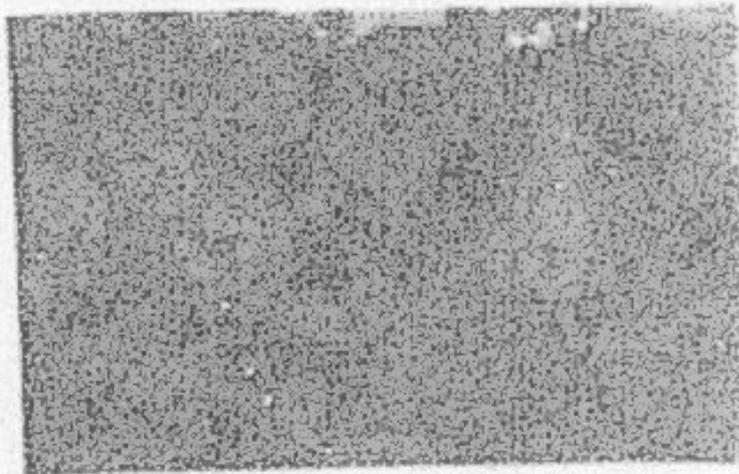
1000



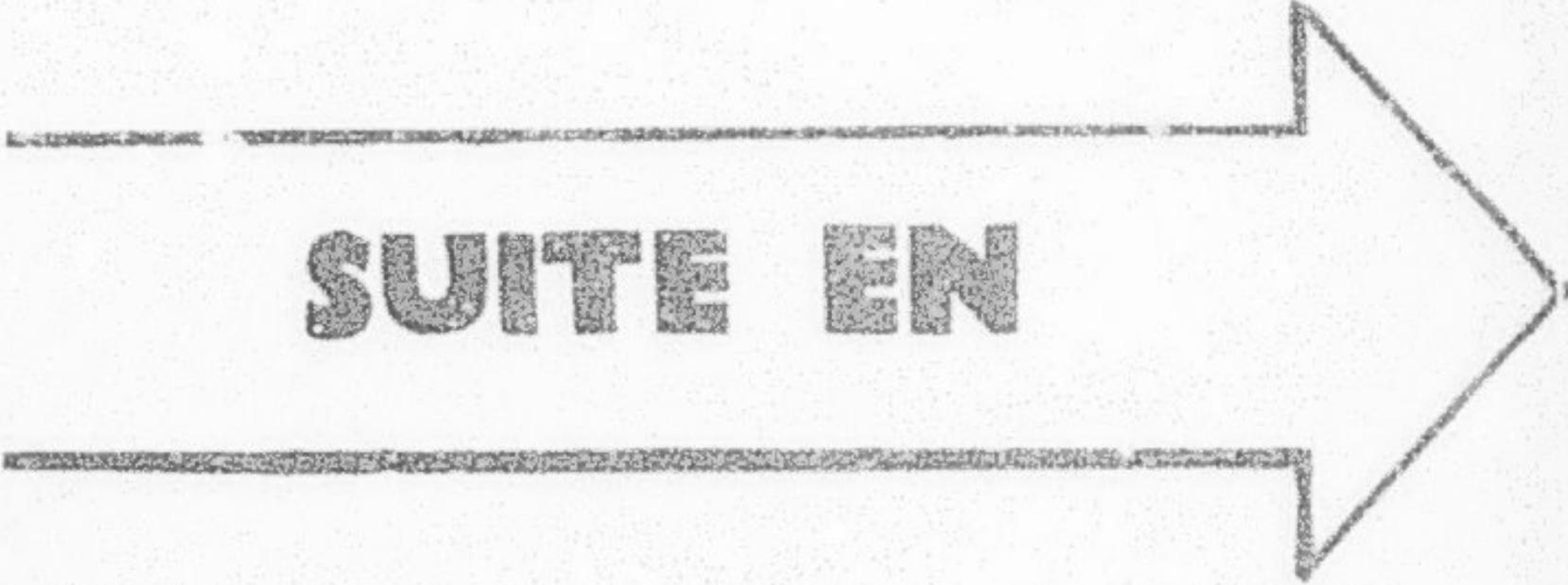
1000



1000



1000



SUITE EN

F

2



MICROFICHE N°

09596

République Tunisienne

الجمهورية التونسية

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

وزارة الزراعة

CENTRE NATIONAL DE

المركز القومي

DOCUMENTATION AGRICOLE

للتوثيق الفلاحي

TUNIS

تونس

F 2

- Dépouillement des états de surface par ETsurf

Lieu : SPAIN
 Date : 1991
 Numéro de Parcelle :

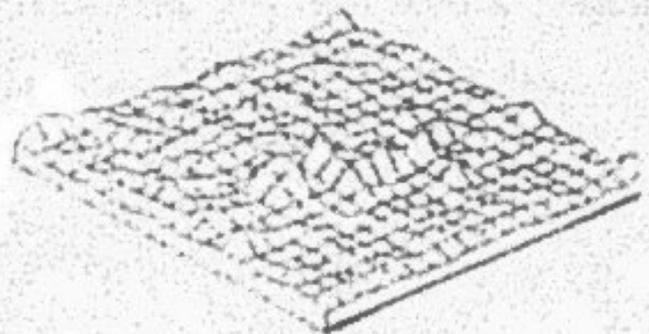
Référence : AFAP PI
 Titre : (NAT)
 Commentaire :
 TERRAIN CAILLONNEUX

Nombre de colonnes : 10 Pas en colonnes : 30
 Nombre de lignes : 10 Pas en lignes : 10
 Pas : 0.1 %

Végétation adhérente terrain : 0.000
 Densité de végétation adhérente : 0.000

1 Végétation en Sol	0.000 %
2 Pellicule de humus	0.000 %
3 Recouvrement soléon	0.000 %
4 Sol au sous humus	0.000 %
5 Croute argileuse	0.000 %
6 Croute calcaire	0.000 %
7 Cratons Modèles	0.000 %
8 Cailloux en pierre	0.000 %
9 Autre	0.000 %

Densité en lignes : 1.000 %
 Densité en colonnes : 2.000 %
 Densité globale : 2.000 %



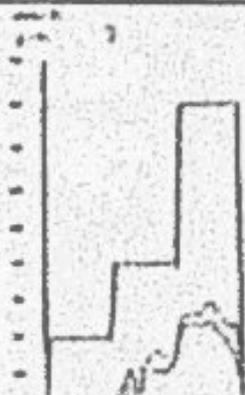
Rugosité

- La saisie de données de terrain par Infiltr

see INFILTRMETAL see
 (case No IDANI PI)

Time (min)	0-15% (cm/h)	15-30% (cm/h)	Time (min)	30-45% (cm/h)	45-60% (cm/h)
11	0.0	0.0	30	21.0	28.0
12	0.2	1.0	31	21.0	28.0
13	1.0	2.2	32	20.0	26.0
14	1.2	1.8	33	21.0	27.0
15	2.6	3.2	34	20.0	27.0
16	1.2	1.0	35	20.0	27.0
17	0.0	10.0	36	20.0	27.0
18	0.0	10.0	37	20.0	27.0
19	3.0	11.0	38	20.0	27.0
20	10.0	13.0	39	20.0	27.0
21	0.0	0.0	40	20.0	27.0
22	23.2	10.0	41	20.0	27.0
23	12.0	20.0	42	20.0	27.0
24	13.0	20.0	43	20.0	27.0
25	10.0	20.0	44	20.0	27.0
26	10.2	22.0	45	20.0	27.0
27	10.0	21.0	46	20.0	27.0
28	13.2	27.0	47	0.0	0.0
29	10.0	20.0			

No	SEU	0-15%	15-30%	30-45%	45-60%	PI	PI	h ₁₀	h ₅	h ₂
		(cm/h)	(cm/h)	(cm/h)						
1	10.0	10.0	1.0	0.2	3.1	20.0	20.0	1.0	1.0	0.0
2	10.0	10.0	10.0	3.1	0.0	20.0	20.0	1.0	1.0	0.0
3	10.0	10.0	10.0	0.0	0.0	20.0	20.0	1.0	1.0	0.0
Tot.	10.0	10.0	10.0	0.0	3.1	20.0	20.0	1.0	1.0	0.0



III. GESTION ET EXPLOITATION DES DONNEES DE SIMULATION DES PLUIES.

III.1. Utilisation des logiciels DSSIMUL et STATGRAPH.

III.1.1. Moyens de gestion des données.

Le logiciel Dssimul est un ensemble de procédures et de programmes sous MS-DOS destinés à l'étude de l'influence des différentes caractéristiques d'un sol sur son comportement au cours d'une pluie. Cette étude a plusieurs thèmes d'application: mise au point des modèles d'érosion, optimisation de l'irrigation par aspersion, modèles de ruissellement et d'infiltration (stocks hydriques). Ce programme permet de saisir, d'archiver et de gérer les données stockées dans la base centrale.

Les données élaborées sont portées sur un bordereau composé de deux parties. La première partie concerne essentiellement les renseignements afférents à la date, au lieu, et aux variables édaphiques. La deuxième partie concerne les variables liées à l'hydrométrie et à l'érosion.

La sélection des données est l'opération la plus complexe de Dssimul. Elle se fait par l'item extraction. A ce moment le Dssimul affiche deux écrans d'aide (dont un petit modèle d'emploi). Il est alors possible de sélectionner et recopier un sous-ensemble des enregistrements de la base centrale qui sera analysée par le logiciel statgraph.

Le traitement statistique se fait en dehors de Dssimul avec le programme d'analyse StatGraphics. Ce programme offre en réalité une multitude de méthodes d'analyses telle que : corrélation simple, corrélation multiple, analyse de variance, traçage des histogrammes etc.

Pour sélectionner les enregistrements correspondants aux critères à étudier, on a lancé la commande suivante :

- * use dssimul.
- * copy fields 15, pu, pent, Rugo, Vsol, Er to (nom du fichier) for (ocup=1) and (pluie S "p11 P12 P13 P21 P22 P31")

Donc, sous ce nom du placette, on a sélectionné les variables indiquées ci-dessus et mesurées sous les différentes séquences des pluies simulées.

Pour modéliser l'érosion, on a appliqué le modèle de regression linéaire multiple dont la formule générale est la suivante :

$$Y = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_n x_n + c$$

avec

Y : variable expliquée érosion (Er)

xn : variable explicative

an : coefficient de régression

c : constante

Dans un milieu naturel tunisien varié en paysages morpho-pédologiques et agro-écologiques, la production végétale reste dépendante de nombreux facteurs et surtout de ceux relatifs aux pratiques culturales, aux conditions stationnelles des régions. Ainsi, pour permettre une analyse comparative des milieux il s'est avéré indispensable d'avoir une meilleure connaissance des paramètres physico-hydriques des principaux types sols tunisiens.

• Gestion des données par TsSimul

LIEU	BARDON	PARCELLE	MAAT	DATE	26/05/99
SAISON	1	OCCUP. TER.	2		
PENTE	05	RIEGOSITE	55	VNG ARE	2 coefficient
GÉOMÉTRIE					
Argiles & limons			55	Limon	
ETATS DE SURFACE					
Vég. sol	55	Batt.	75	Sable/Sol sur	
Croûte	05	Etan. gr.	01	215	

n°	Pu mm	IX	IS mm/D	LI mm	Re %	Via mm	210 mm	111 mm/h	Ev g/m²	Etan g/m²/20h
P11	5.0	0.0	20	5.0	100	5.0	-1.0	-1	0.0	0.0
P12	10.0	5.0	40	10.0	100	10.0	-1.0	-1	0.0	0.0
P13	20.0	15.0	80	20.0	100	20.0	-1.0	-1	0.0	0.0
P14	35.0	1.0	-1	35.0	100	35.0	-1.0	-1	0.0	0.0
P21	10.0	21.0	30	10.0	100	-1.0	10.0	-1	0.0	0.0
P22	15.0	31.0	20	15.0	100	-1.0	15.0	-1	0.0	0.0
P23	25.0	-1.0	-1	25.0	100	-1.0	25.0	-1	0.0	0.0
P24	20.0	46.0	120	17.4	87	-1.0	4.0	29	0.1	0.1
P25	40.0	-1.0	-1	37.4	97	15.0	20.0	-1	0.1	0.1

• Traitement statistique au moyen de stratigraphies

Model fitting results for: LABOUR.LI

Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	1.959247	0.81009	2.4184	0.0167
LABOUR.PU	0.495084	0.068833	7.1921	0.0000
LABOUR.REGO	0.229594	0.030499	5.9698	0.0000
LABOUR.VSOL	0.043781	0.017752	2.4663	0.0147
LABOUR.IX	-0.060279	0.024213	-2.4898	0.0135

R-SQ. (ADJ.) = 0.2980 SE= 4.268089 MAE= 3.205601 DurbinWat= 1.371
 Previously: 0.1651 4.058210 3.045298 1.530
 160 observations fitted, forecast(n) computed for 0 missing val. of dep. var.

Model fitting results for: LABOUR.LI

Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	2.167316	1.164733	1.8632	0.0686
LABOUR.PU	0.383286	0.050234	7.6319	0.0000
LABOUR.REGO	0.229551	0.03908	5.8739	0.0000
LABOUR.LIMO	0.000954	0.017637	0.0541	0.9569
LABOUR.VSOL	0.04351	0.019214	2.2630	0.0245

R-SQ. (ADJ.) = 0.2795 SE= 4.321979 MAE= 3.217316 DurbinWat= 1.355
 Previously: 0.2814 4.312185 3.212546 1.380
 160 observations fitted, forecast(n) computed for 0 missing val. of dep. var.

L'étude approfondie de la relation sol-eau-occupation, associée à une dynamique des états de surface (parcours-cultures) sous conditions naturelles (sud tunisien) ou simulées semble prioritaire dans la compréhension du comportement hydrique (ruissellement-infiltration-érosion) des unités pédologiques.

La Direction des Sols et FORSTOM, dans le cadre d'actions communes, ont mis au point un programme d'étude (sur dix ans) des modalités de l'infiltration de l'eau et de l'évaluation des paramètres physico-hydriques des terres en Tunisie à l'aide de cet appareil.

IV. Approches adoptées.

Un grand nombre de campagnes de simulation ont été effectuées dans des milieux écologiquement et bioclimatiquement différents (type de sol, occupation des terres, caractérisation du matériau, processus de dégradation, valeurs des précipitations, etc...) de la Tunisie (voir carte).

La distribution spatiale de ces campagnes et la répartition géographique de celles-ci ont été exécutées en fonction de certains critères particuliers :

- * la gravité de l'érosion
- * l'importance du ruissellement
- * la menace de la production agricole par le phénomène d'érosion
- * les bilans hydriques.

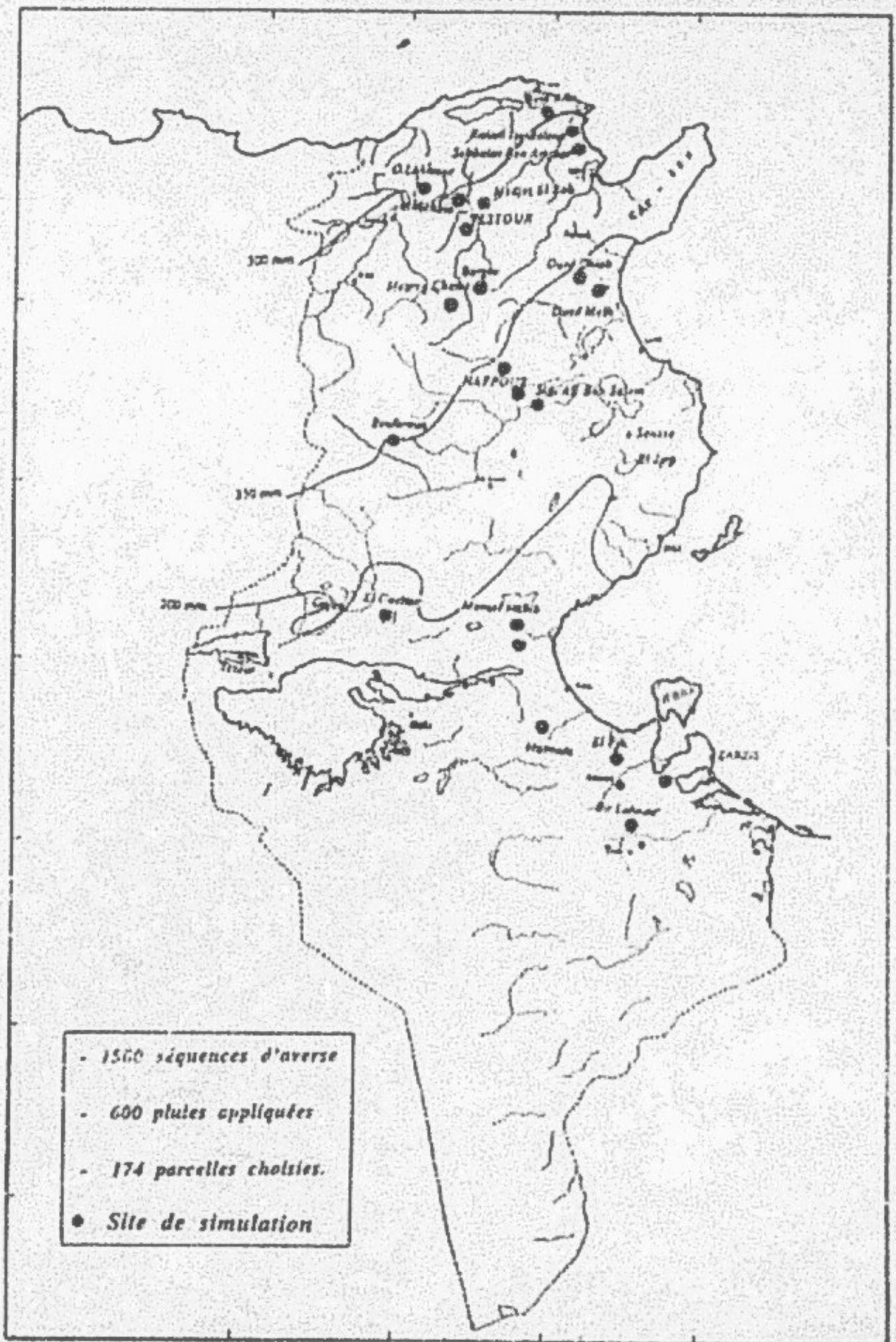
l'analyse de ces aspects permettra, selon une synthèse générale, d'identifier les problèmes posés aussi bien à l'échelle régionale que nationale, de contribuer aux différentes solutions pour résoudre ces problèmes. Elle permettra également de fixer des objectifs dont le but est le rétablissement de l'équilibre écologique des différentes zones, l'amélioration des conditions de vie de la population avec la bonne gestion des ressources en eau du pays.

Le volume de données collectées représente environ 1.500 séquences d'averses et près de 600 pluies appliquées sur 174 parcelles choisies (voir liste).

Compte tenu d'un certain nombre de publications éditées, les résultats de certaines campagnes restent disparates et la nécessité de gérer et de traiter cette énorme masse de données est apparue nécessaire dans le but d'aboutir à un référentiel.

Pour cela un résumé est établi pour chaque étude réalisée sur diverses régions de la Tunisie du nord au sud.

Carte N°10. CARTE DE LOCALISATION DES CAMPAGNES
DE SIMULATION



- Liste des parcelles testées par pluies simulées

	PARC					
1	CC01	61	MR01	127	TO04	
2	CC02	4	MR010	128	TO07	
3	CC03	65	MR011	129	TO08	
4	CC04	64	MR01	130	TO09	
5	CC05	47	MR02	131	TO10	
6	CC06	68	MR03	132	TO11	
7	CC07	69	MR04	133	TO12	
8	CC08	70	MR05	134	PM1	
9	CBF1	71	MR06	135	PM2	
10	CBF2	72	MR07	136	PM3	
11	CBF3	73	MR08	137	PF1	
12	CBF4	74	MR09	138	PF2	
13	CBF5	75	MR010	139	PF3	
14	CBF6	76	MR011	140	IPAH1	
15	CBF7	77	MR012	141	IPAH2	
16	CBF8	78	MR013	142	IPAH3	
17	SARS1	79	MR014	143	vide	
18	SARS2	80	MR015	144	vide	
19	SARS3	81	MR016	145	GUET1	
20	SARS4	82	KA1	146	GUET2	
21	OL1	83	ARA2	147	GUET3	
22	OL2	84	KKA3	148	GUET4	
23	OL3	85	KKA4	149	MHA1	
24	OL4	86	KKA5	150	MHA2	
25	OL5	87	KKA6	151	MHA3	
26	OL6	88	KKA7	152	KA1	
27	OL7	89	KEAR	153	KA2	
28	GLE	90	MRA9	154	EA1	
29	BFC1	91	MRA10	155	vic3	
30	BFC2	92	KKH1	156	A1	
31	BFC3	93	KKH2	157	A2	
32	BFC4	94	KKU3	158	A3	
33	BFC5	95	IKKH	159	A4	
34	BFC6	96	KKH5	160	B1	
35	BFC7	97	KKH6	161	B2	
36	BFC8	98	KKH7	162	F1	
37	SH1	99	HAT1	163	E2	
38	SH2	100	HAT2	164	C1	
39	SH3	101	HAT3	165	C2	
40	SHL1	102	HAT4	166	OM1	
41	SHL2	103	HAT5	167	OM2	
42	SHL3	104	HAT6	168	OM3	
43	SHA1	105	HAT7	169	OM4	
44	SHA2	106	TOA1	170	OM5	
45	SHA3	107	TOA2	171	OM6	
46	SHA4	108	TOA3	172	OM7	
47	BA1	109	TOA4	173	OM8	
48	BA2	110	TOA5	174	OM9	
49	BA3	111	TOA...			
50	BA4	112	TOA7			
51	BA5	113	TOA8			
52	BA6	114	HCH1			
53	BA7	115	HCH2			
54	BA8	116	HCH3			
55	MR01	117	HCH4			
56	MR02	118	TOA9			
57	MR03	119	TOA10			
58	MR04	120	TOA11			
59	MR05	121	TOA12			
60	MR06	122	TOB1			
61	MR07	123	TOB2			
62	MR08	124	TOB3			
		125	TOB4			
			126	TOB5		

Tableau n° 5 : CLASSIFICATION DE SITES ETUDES PAR SIMULATION

BIOCLIMAT	RÉGION NATURELLE	LIEU PARCELLE	FORMES GEOMORPHOLOGIQUES SYSTEMES ECOLOGIQUES	OBJET DE LA CAMPAGNE	
SUBHUMIDE	BEJAOUA	OLAMBEUR (OL)	Les plaines de la haute Moudje'sh	Etude de l'effet des facteurs culturels présents sur le transport solide. Réaction des versants rocheux et sablonneux vis à vis des intempéries des pluies.	
		MEKACHELA (MK) MKB MKH	Les collines triangulaires de la moyenne Moudje'sh		
		BENI ATTA (BA)	Les vallées de Ras Djebel		
SEMI ARIDE	TELL NE	KALAST ANDALOUS	Les plaines de la haute vallée de la Moudje'sh	Effet des différentes intensités de pluies sur le lessivage des sols. Observation des formes d'érosion	
		TESTOUR (TEJ, TOH) MEZREZ (MR)	Les plaines et terrasses de la moyenne Moudje'sh		
	HAUT TELL	METRES (ME)	Les vallées sablonneuses de l'ouest SILIANA	Effet des facteurs culturels et l'occupation du sol sur le lessivage	
		METRES (ME)	Les vallées sablonneuses de l'ouest SILIANA		
ARIDE SUP	DORSALE TUNISIENNE	BARGOU (B, A)	Les plateaux de Djebel Bargou	L'impact de différents types de sols et d'occupations	
		Djebel Serenata (S, H)	Clair de Djebel Serenata		
	TUNISIENNE	SHEJLA (SB) (SFC)	Planes inférieures de l'ouest Merguel	L'effet de différents types de sols et d'occupations sur l'érosion des sols.	
		3 Als Ben Salem (SABS)	Planes inférieures de l'ouest Merguel		
	FAIRHANAIN	HAFDJE (HAZ)	Les formations à bad land (pH)	Etude de l'impact des facteurs culturels	
		OETKOUR (OW) (PT)	Les formations à bad land (pH)		
	ARIDE INF	MATMATA	MAJOURI	Formations à bad land (pH)	Effet de l'occupation du sol sur l'érosion
			Mesour Habib (MH)	Formations à bad land (pH)	
		PLAINES MEDITERRANEE	EL GORRA (GE)	Formations à bad land (pH)	Etude de l'impact des facteurs culturels
	Djebel Daba Talmoun, Eloufayn Alcha Ras Labmar (LA) Médiane Ras Labmar (RAM)		Formations à bad land (pH)		

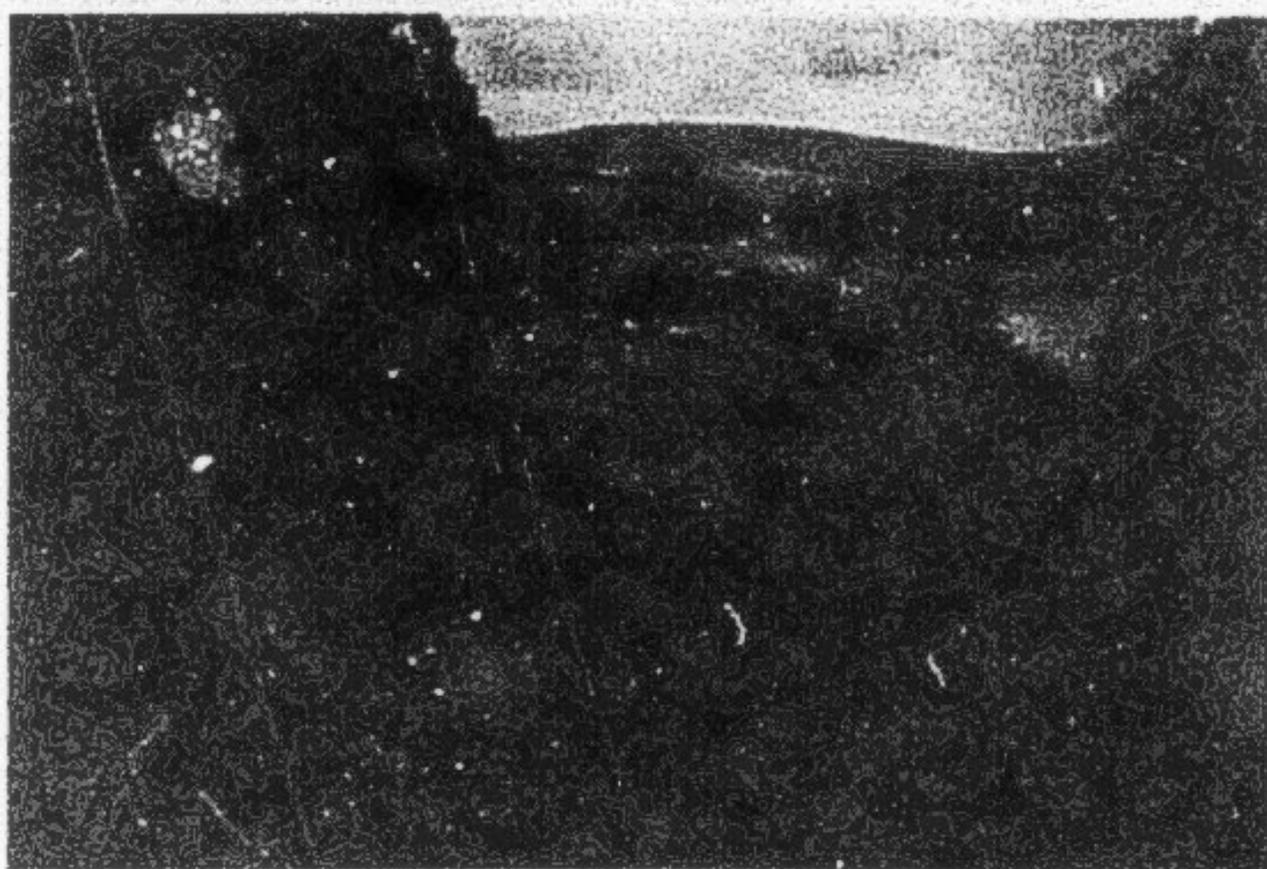
Nom du Bassin Versant

Localisation	
Site	Photo de Paysage
Bioclimat	
Veri	
Pluviométrie	
Température	
Sols	: - Formes des Matériaux - Types de sols - Occupation des terres - Surface concernant ce type de milieux	
Sites de simulation	: Description des parcelles : Etats de surface	Photo de Parcelle
Résultats de simulation:		
Conclusion	:	

B.V. DE BENI ATTA



CULTURE DU BLE SUR VERSANT SABLEUX

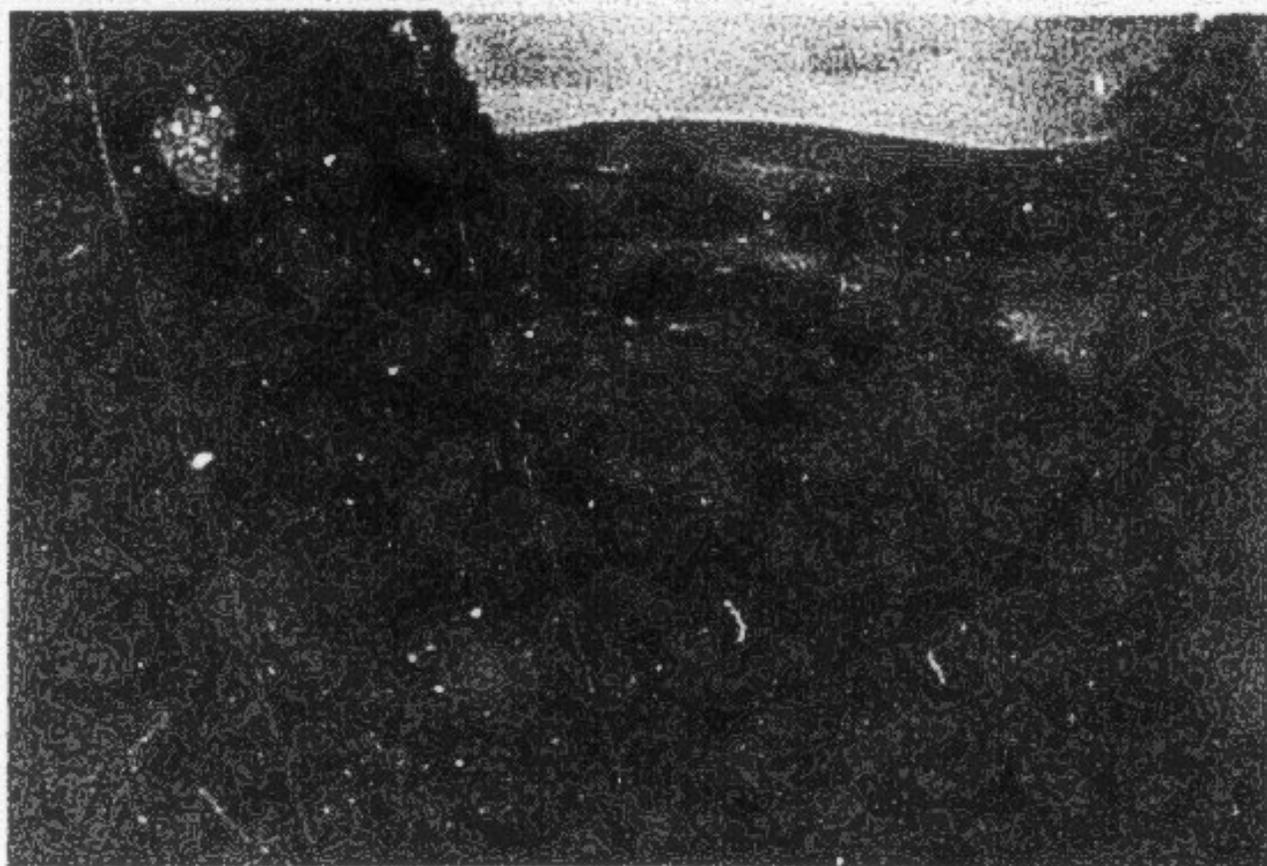


JACHERIE

B.V. DE BENI ATTA



CULTURE DU BLE SUR VERSANT SABLEUX



JACHERE

V. RESUME DES RESULTATS DES CAMPAGNES EXECUTEES.

Un plan commun est adopté pour chaque résumé (voir fiche ci-jointe)

BASSIN VERSANT DE BENI ATTA : Région de Bizerte (Oued de Ras Jebel, extrême Nord de la Tunisie)

LOCALISATION :

Le bassin versant de Beni Atta est situé à l'extrême Nord de la Tunisie, dans le gouvernorat de Bizerte et plus précisément à l'Ouest de Ras-Jebel dont les coordonnées géographiques sont :

- Latitude : 9° 10' E 10° 15' E.
- Longitude : 36° 5' N à 37° 30' N
- Altitude : 80 m
- Superficie: 2,25 km² et composé de trois petits bassins versants.

B1 : Orienté vers le Nord-Ouest et drainé par l'oued Loukhay avec une superficie de 0,56 km².

B2 : Superficie = 0,56 Km².

B3 : Orienté vers le Sud et drainé par l'oued Fedden avec une superficie de 1,24 Km².

CLIMAT

Le B.V. de Beni Atta se trouve dans l'étage bioclimatique humide, les précipitations variant entre 500 et 600 mm/an.

Pluviométrie max : 866 mm/an.

min : 342 mm/an.

La pluviométrie moyenne annuelle calculée sur une période de 22 ans est de 621 mm/an.

LES SOLS

Le B.V. de Beni Atta est occupé par 3 unités de types de sol.

- Les sols calcimagnésiques : ce sont des sols à texture équilibrée, filtrants. La mise en culture dépend généralement de la nature de la croûte calcaire limitante. Ce sont les cultures annuelles qui s'adaptent le mieux aux sols de cette unité.

- Les vertisols : occupent un grand pourcentage du B.V (plus de 50%). Dans cette unité le drainage est toujours déficient. Les sols riches en calcaire actif sont adoptés pour les cultures céréalières et annuelles, les vertisols pour la culture des oliviers et les sols proches d'une source d'eau pour les cultures maraichères.

- Les sols peu évolués : se sont des sols à texture sableuse qui s'adaptent bien à l'arboriculture (pommier, poirier, etc...)

OCCUPATION DES TERRES

La simulation de pluie a eu lieu au mois de mars 1989 sur 8 parcelles. Le choix de la zone d'étude a porté sur des terres à vocation céréalière et sur des sols à végétation naturelle avec quelques espèces fourragères. La toposéquence choisie est située sur des vertisols à roche mère marno-calcaire.

SITES DE SIMULATION DE PLUIE

Cette simulation a été réalisée sur 2 sites :

- aval du sous B.V. argileux
- vallon du sous B.V.B2. argileux à recouvrement sableux. Quatre parcelles représentatives proches les unes des autres ont été choisies sur chaque site.

Site n° 1

- BA1 : labour dans le sens de la pente (traction animale) 14%
- BA2 : labour perpendiculairement à la pente (ble avec pente de 18%)
- BA3 : Sol nu, piétiné par les animaux et non labouré avec pente de 13%
- BA4 : Parcelle non travaillée, à végétation naturelle très basse et espacée, pente de 14%

Site n° 2

- BA5 : Labour dans le sens de la pente, occupé par la végétation naturelle avec quelques espèces fourragères, pente de 10,5%
- BA6 : Parcelle labourée il y a une année perpendiculairement à la pente à végétation naturelle avec quelques espèces fourragères, pente de 10%
- BA7 : Parcelle à végétation naturelle située plus en aval du vallon, pente de 11%
- BA8 : Parcelle à végétation naturelle, labour dans le sens contraire à la pente, pente de 14%

N.B. Pour le site n°2, le choix des parcelles s'est basé sur le recouvrement sableux et sur la variation sur la toposéquence.

INTENSITES LIMITES

Pour chaque parcelle et pour chaque limnogramme, nous avons généralement un palier qui représente le maximum stabilité que doit atteindre le ruisselement ; on note : R_x (mm/h)

Tableau N°6 LES VALEURS DE R_x RELATIVES AUX DIFFERENTES PARCELLES

Parcelle \ Pente	20	40	60	80	100	120
BA1	-	-	-	-	-	10
BA2	-	-	-	-	1	6
BA3	-	3	78	27	45	109
BA4	-	-	5,5	1,2	22	41
BA5	-	-	-	-	-	19
BA6	-	-	31	1,8	21	81
BA7	-	-	14	8,5	7	15
BA8	-	1,2	13	5,5	14	40

CONCLUSION

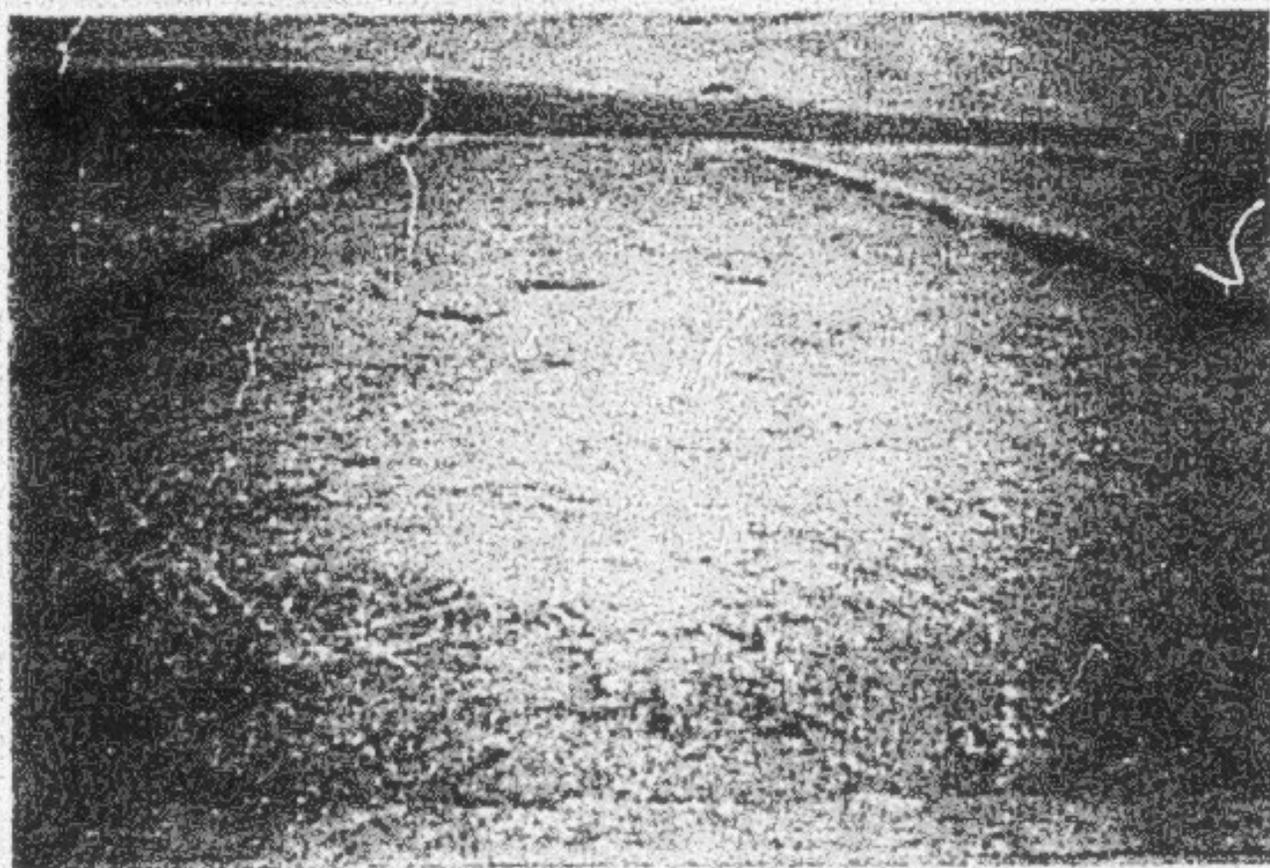
La pellicule de battance intervient dans le cas de cette région comme facteur principal conditionnant le ruissellement. Nous remarquons que le facteur pluviométrique n'est pas intervenu ainsi que l'humidité initiale du sol. L'intensité des averses et leur durée influent directement sur la pellicule de battance, surtout que le sol est formé d'argile gonflante et que les gouttes de pluie tombent à leur tour avec une énergie cinétique élevée détruisant les agrégats et libérant ainsi les particules composant. Ces particules viennent alors colmater les pores et empêchent l'infiltration d'eau dans le sol ce qui favorise le ruissellement.

Pour les mêmes intensités de pluies, les parcelles BA3 et BA6 sont les plus affectées par le phénomène de ruissellement. En effet, pour la parcelle BA3 formée de sol nu pectiné par les animaux et non labourée, la pellicule de battance conditionne le processus de ruissellement.

Pour la parcelle A6, le sol étant formé d'argile gonflante, bien qu'il soit labouré il y a une année et en dépit de la présence d'espèces fourragères, les gouttes des pluies tombent à leur tour avec une énergie cinétique élevée détruisant les agrégats et libérant ainsi les particules qui empêchent l'infiltration de l'eau ce qui favorise encore une fois le ruissellement.



CHALME



JACHERE

BASSIN VERSANT DE L'OUED FERSALLAH (M'KHACHEBIA) : Région de Béja (Nord Ouest de la Tunisie)

LOCALISATION :

Les parcelles expérimentales du B.V. de l'oued Fersallah sont situées à l'amont du barrage de Sidi Salem, dans une zone d'intervention de l'Office du Nord-Ouest, d'une superficie de 120 ha.

TOPOGRAPHIE :

La toposéquence sur laquelle ont été installées les parcelles d'érosion se compose de deux unités topographiques différentes :

- Le versant : avec une pente $>$ à 10% peut être divisé en 2 petites sous-unités :

* Le haut versant, avec une pente de l'ordre de 20 %, est assez raviné.

* Le bas versant, avec une pente moindre et un aspect compact. On remarque également l'existence de quelques ruptures de pente qui dominent des micro-replats. Les ravins sont plus profonds et ont parfois la forme d'un V.

- Le piedmont : c'est une surface de pente de l'ordre de 5% inclinée vers le sud. Elle domine le cours d'eau par une corniche et un versant de raccordement. Les ravins qui coupent transversalement cette unité topographique, sont très bien développés.

Etude des sols : les sols rencontrés sont les suivants :

- sur le haut du versant, c'est une rendzine sur marnes très peu développée, dépassant très rarement les 30 cm d'épaisseur. Le sol est limoneux et de couleur grisâtre.

- sur le versant moyen, nous avons un sol profond de couleur rougeâtre à beige assez caillouteux, ses horizons bien différenciés sont assez argileux par endroits. Vu les pentes fortes, c'est un sol qui a reçu beaucoup de ses éléments fins du piedmont.

- sur le piedmont, nous avons un sol bien développé et fossilisant. Une croûte calcaire d'aspect conglomératique.

OCCUPATION DES TERRES :

- haut versant, pente 22% : garrigue très dégradée

- bas versant, pente 16% : céréaliculture et culture sarclée.

- piedmont, pente 3% : céréaliculture et culture sarclée.

CLIMAT

Les précipitations varient dans l'année entre 400 et 600 mm. Les 3 mois d'été sont les plus secs.

SITES DE SIMULATION DE PLUIE

Deux campagnes de simulation ont été choisies. La première a été réalisée à la fin de la saison sèche sur deux types de sols : sur labour perpendiculaire à la pente et sur jachère. La seconde a été réalisée au printemps sur différentes cultures (voir Tableau n° 7)

Tableau n° 7 : Résultats des parcelles de simulation : (voir sortie sur ordinateur)

	TYPE PLUIE	L1	L2	N ₀	E	E ₀
MKB1 (sorgho)	P11	23	17	42	1.4	1.5
sur jachère	P12	40	0.1	1	22.1	5.3
	P13	42	0.1	1	197.5	7.4
MKB2 (sorgho)	P11	18	4.2	42	0.0	0.8
Surcoule (sucre)	P12	37	0.0	7.3	4.6	1.8
	P13	72	0.3	33	18.6	7
MKB3 (sorgho)	P11	19	4.8	110	0.2	0.9
Cornou (cassia)	P12	37	4.1	57	1.2	0.8
Surcoule (sucre)	P13	73	0.4	47	6.7	2.2
MKB4 (sorgho)	P11	22	5	100	0.2	0.3
Plante Fourniture à	P12	43	0.1	0.1	0.1	0.3
sur jachère	P13	40	10.2	73	7.3	0.8
MKB5 (sorgho)	P11	23	5	100	0.0	0.0
Plante Fourniture à	P12	41	7.3	73	1.4	0.5
sur jachère	P13	41	11.2	33	7.9	0.8
MKB6 (sorgho)	P11	20	5	100	0	0.0
Surcoule (sucre)	P12	41	7.8	79	1.6	0.7
sur jachère	P13	40	7.9	33	2.0	1.1
MKB7 (sorgho)	P11	21	5	100	0	0.0
Play plat	P12	40	10	100	0	0.0
	P13	41	20	100	0	0.3
MKB8 (sorgho)	P11	20	5	100	0	0.0
sur labour - surcoule de	P12	41	10	100	0	0.0
surcoule (sucre)	P13	40	20	100	0	0.0
MKB9 (sorgho)	P11	21	5	100	0	0.0
(surcoule latouchipante)	P12	41	10	100	0	0.0
	P13	41	20	100	0	0.0
MKB10 (sorgho)	P11	21	5	100	0	0.0
Play plat - surcoule	P12	41	10	100	0	0.0
surcoule de la pente)	P13	40	20	19	0	0.0

L'occupation des terres associée à la pente intervient d'une façon remarquable dans le phénomène d'infiltration.

Les cinq premières parcelles, situées en haut du versant avec une pente de 22% et une végétation peu dense, montrent les faibles valeurs d'infiltration. Cependant l'effet du travail de la terre donne une variation remarquable dans le phénomène d'infiltration. En effet, les valeurs de L1 sont plus élevées pour les parcelles MKB6, MKB7, MKB8 - MKB10 et l'érosion est nulle au niveau de ces parcelles.

BASSIN VERSANT DE L'OUED LAHMEUR : (Région de Béja - NW de la Tunisie)

LOCALISATION

Cette étude a été effectuée dans la région du Béjaouis sur la rive gauche de la vallée de la Medjerda, entre Béja et Bou Salem.

BIOCLIMAT

La région est caractérisée par un climat de type méditerranéen,

- une saison sèche coïncidant avec l'été.
- une saison humide coïncidant avec l'hiver.

VENT

Le vent dominant est généralement celui du NW, Les vents humides les plus froids sont fréquents en hiver ; le Sirocco souffle en moyenne 20 jours par an.

PLUVIOMETRIE

La région reçoit entre 550 et 650 mm de pluie/an, la moitié des précipitations tombe pendant les mois de décembre, janvier et février.

TEMPERATURE

La température mensuelle baisse en hiver légèrement en dessous de 10°C et augmente en été jusqu'à atteindre 25°C. Quatre mois de l'année sont chauds : juin, juillet, août et septembre. Les maxima absolus peuvent atteindre 48 à 49°C surtout en juillet et août.

LES FORMES ET LES MATERIAUX

Cette zone est caractérisée par des glacis et des terrasses dominant la rive gauche de la Medjerda. Elle est occupée par des grandes cultures où les céréales et les fourrages dominent. D'après G. Jaritz 1982, la région comprend 4 compartiments qui sont de l'amont vers l'aval :

- * Une zone montagneuse triasique à marnes gypseuses et grès très érodibles, où la pente est souvent supérieure à 25% ; surpâturage incontrôlé et défrichage irrationnel.
- * Une zone de collines miocènes, 15% < pente < 20% : la roche mère se présente comme une succession de bancs de roches durs perméables (grès, calcaires) et de roches tendres (argiles et marnes) ; les collines sont le siège d'une érosion superficielle (ruissellement et glissement).
- * Une zone de glacis d'accumulation miopliocène (5 à 10% de pente), formée de matériaux hétérogènes, le décapage superficiel peut entraîner la mise à nu de la croûte calcaire.
- * Le quaternaire est représenté dans la région sous forme de glacis et de terrasses.

Tableau n° 8.
CARACTERISTIQUES DES PARCELLES DES SITES DE SIMULATION

Caractérisation édaphogéom.	OC1		OC2		OC3		OC4		OC5		OC6		OC7		OC8	
	Bas de Pente		Mts pente Bas Calculé à l'incubation		Haut de pente Bas Calculé sur l'écou.		Sommet de la pente Élément erose affluant									
Occupation des terres	Choume Ogre	Laine et arrondissement	Choume et Ogre	Laine et arrondissement	Choume Ogre	Laine et arrondissement	Choume Ogre	Laine et arrondissement	Choume	Fouage						
Pente %	4,5	5,0	4,0	4,5	6,5	6,5	2,7	2,5								
Densité apparente avant PI (surface)	1,34	1,08	1,37	1,04	1,32	1,10	1,16	1,22								
indice rugosité %	18,4	28,8	5,9	267	5,4	20,8	4,7	3,4								
Végétation présente	1,52	-	1,85	-	2,18	-	1,89	1,46								
Fixe de surface %	Laine Veg	42,6	0	77,6	0	67,4	0	66,2	47,9							
	Batture	5,5	0	13,9	0	12,2	0	20,2	2,8							
	Sol au terre	30,5	100	8,0	100	21,6	100	4,4	34,6							
	Batture provision + pente	1,4	0	0,5	0	0,8	0	9,2	14,4							
	Croûte	0	0	0	0	0	0	0	0,3							

COMPORTEMENT HYDRODYNAMIQUE DANS LES DIFFERENTS
TYPES DE PARCELLES.

Tableau n° 9; RESULTATS GLOBAUX DES SIMULATIONS A L'O. LARMEUR
(BEJA)

Parcelle	Type	10/05/74			10/07/74			Vg	Vg	Vg	Vg
		H	Q	Q	H	Q	Q				
OC1	323	20,6	40,0	60,9	20,6	20,7	0	100	-	-	-
		20,6	81,0	-	25,7	19,9	21,1	76,4	71,3	4,9	
		120,0	-	-	14,6	0	74,3	21	124,0	39	
OC2	323	20,6	40,0	60,4	16	24	0	100	-	-	-
		20,6	80,0	-	20	20	0	100	-	-	-
		120,0	-	-	20	16,3	0	91,0	10	21	
OC3	323	20,6	40,0	60,3	19,1	20,1	14,0	100	40,1	11,5	-
		20,6	80,1	-	20	16,2	69,0	40,0	40,0	21	
		120,0	-	-	20	0,9	60,0	2,0	20,7	2,0	
OC4	323	20,6	40,0	60,3	21	20	0	100	-	-	-
		20,6	80,0	-	20	20	0	100	-	-	-
		120,0	-	-	20	20	0	100	-	-	-
OC5	323	20,6	40,0	60,0	20,1	21,1	20,2	100,0	27,4	22,1	-
		20,6	80,0	-	20	1,9	64	64	20,0	12,0	
		120,0	-	-	20	4,4	70,0	21,0	111,3	29,0	
OC6	323	20,6	40,0	60,0	20,1	21,0	22,2	100,0	27,0	20,1	-
		20,6	80,0	-	20	2,0	64	64	20,0	12,0	
		120,0	-	-	20	4,4	70,0	21,0	111,3	29,0	
OC7	323	20,6	40,0	60,0	20	20	0	100	-	-	-
		20,6	80,0	-	20	15	0	100	-	-	-
		120,0	-	-	20	19,0	2,0	97,7	1,0	2,0	
OC8	323	20,6	40,0	60,0	20	20	0	100	-	-	-
		20,6	80,0	-	20	20	0	100	-	-	-
		120,0	-	-	20	19,0	2,0	97,7	1,0	2,0	

en examinant le tableau n°9 et les annexes on constate que :

OL1 : Parcelle non travaillée (chaumes)

La première pluie est totalement infiltrée. Ce n'est qu'à partir de la fin de la deuxième pluie que le ruissellement débute. Le coefficient de ruissellement est de 79,3% pendant la pluie P3, en raison de la forte intensité (120 mm/h). Ce ruissellement d'ensemble moyen s'explique par le fait que la parcelle OL1 présente une surface compacte avec des fentes de retrait, une pente faible de l'ordre de 4% et un indice de rugosité de l'ordre de 0,1839. En outre, c'est une parcelle plus ou moins plane, présentant une capacité d'infiltration assez élevée.

OL2 : (Labour)

Cette parcelle, située à l'aval du versant, pente de l'ordre de 5%, labourée et recroisée sur une profondeur de 30 cm, présente une surface assez rugueuse (indice de rugosité égal à 0,2878) avec de grosses mottes. L'infiltration y est très importante malgré des fortes intensités (60 et 80 mm/h). La totalité des pluies de P1 et P2 sont infiltrées. Un léger ruissellement apparaît pendant la pluie P3 (de l'ordre de 9%). Ceci montre bien l'intérêt des labours profonds pour l'infiltration de l'eau (profondeur et qualité) et pour la disponibilité en eau pour le végétal.

OL3 : (Chaumes)

La phase d'imbibition est plus courte que celle sur OL1. En effet, si la première et la deuxième séquence de la pluie P1 (intensités faibles 20 et 40 mm/h) sont totalement absorbées, au cours de la troisième séquence de P1 (80 mm/h), la parcelle ruisselle. Durant P3, Kru atteint la valeur importante de 96,8%. Ceci en fait est dû à l'état de surface qui présente un indice de rugosité très faible, une structure lourde et fine qui ne favorise pas l'infiltration, un sol battant, une végétation aérienne faible et un sol plus tassé favorisant le ruissellement.

OL4 : (Labour)

En raison du labour profond, la surface est très rugueuse (indice de rugosité 0,2887). Elle présente des micro-cuvettes et sa pente est de l'ordre de 4%. De ce fait, les trois pluies, malgré des intensités élevées (60, 80 et 120 mm/h), sont totalement absorbées par le sol. tout au plus a-t-on observé quelques flaques pendant la troisième pluie.

OL5 : (Chaumes)

Là aussi, comme sur OL3, la phase d'imbibition est très courte. Dès la deuxième séquence de P1, le ruissellement commence malgré l'intensité de pluie relativement faible (40 mm/h). En effet, cette parcelle non labourée présente une pente moyenne, de l'ordre de 6,5%, un sol compact et battant, à texture fine, et une végétation au sol et aérienne assez faible qui ne permet pas à l'eau de bien s'infiltrer.

OL6 : (Labour)

Le ruissellement n'a eu lieu que pendant la troisième pluie et en quantité très faible malgré la pente moyenne (6,5%). Ceci s'explique en grande partie par l'efficacité du labour, la stabilité structurale, la rugosité, la présence des cuvettes qui retiennent l'eau.

OL7 : (Chaumes)

Parcelle non travaillée, située au sommet du versant de très faible pente (2,7%), qui présente un indice de rugosité faible, de l'ordre de 0,0474 ; végétation aérienne et au sol importante, ce qui favorise l'infiltration. Par ailleurs, on constate que le ruissellement ne se produit qu'à partir de P3 et en très faible quantité. Le comportement de cette parcelle est dû à la texture fortement graveleuse et caillouteuse de l'horizon de surface qui présente une certaine micro-porosité.

OL8 : (Chaumes)

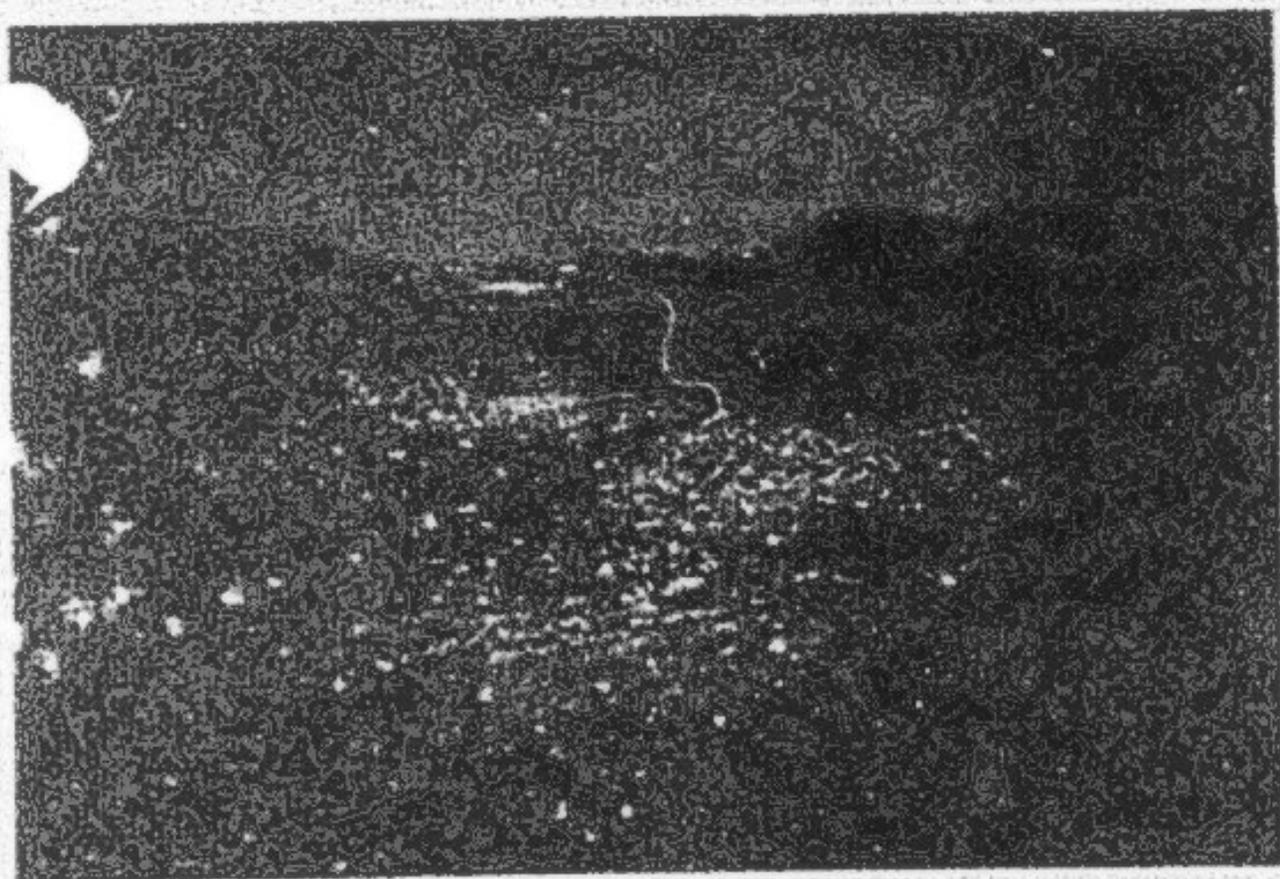
La phase d'imbibition est relativement courte, le ruissellement se déclenche à partir de la séquence n°3 de P1 et continue à s'accroître lors de P2 et P3 jusqu'à atteindre une valeur globale moyennement importante de 37,5% pendant P3. Ceci s'interprète du fait que cette parcelle, malgré sa faible pente, présente une croûte calcaire et un faible recouvrement végétal. Elle est moins graveleuse que OL7.

Ainsi, après cette petite analyse, on s'aperçoit que les pluies d'imbibition sont plus élevées sur les parcelles labourées que sur celles non labourées (ainsi, le cas de la parcelle OL4 qui n'a pas ruisselé durant les trois pluies, P1, P2, et P3, tandis que OL3 a ruisselé dès la première pluie. Le ruissellement est moins important sur les parcelles qui présentent un indice de rugosité élevé.

B V DE MEDJEZ EL BAB



LABOUR PROFOND



LABOUR CONTRAIRE AU SENS DE LA PENTE

REGION DE MEJEZ EL BAB

LOCALISATION :

Cette étude a été faite sur un site représentatif de la région de Mejez el Bab dans le but d'une meilleure utilisation des ressources en eau et en sol (détermination des normes d'irrigation).

CLIMAT :

Les précipitations annuelles sont en moyenne de 397,4 mm. Les mois les plus secs sont juin, juillet et août.

GEOLOGIE :

La région de Mejez - Testour est formée de dépôt d'alluvions des oueds Mejerdah, Siliana et Khaled. Ces dépôts recouvrent des formations quaternaires anciennes ou les remplaçant après l'ablation de celle-ci.

PEDOLOGIE :

La région est constituée en grande partie de sols rurs calcaires squelettiques ou rendziniques formés sur les limons argileux à nodules calcaires.

SITE EXPERIMENTAL :

La zone faisant l'objet de l'étude est située sur la rive gauche de l'oued Mejerdah à environ 7 km à l'ouest de la ville de Mejez el Bab. Elle est occupée actuellement par une culture céréalière (blé).

Le déficit en eau est compensé par des apports d'eau par aspersion à partir de l'oued Mejerdah. L'analyse de quelques échantillons a montré que la majeure partie de la couche arable est constituée d'argile et de limon avec une présence importante de sable et de calcaire.

RESULTATS :

Deux campagnes de simulation, à deux mois d'intervalle ont été réalisées.

Divers résultats sont obtenus en relation avec le type de surface (rugosité), le type de sol et la pente pour mieux voir l'impact des façons culturales sur l'infiltration.

La placette MBO 8,16 a subi l'érosivité la plus forte pendant les deux campagnes, de 11,4 et 10,3 g/m²/mm d'eau ruisselée, alors que pour MBO 4,12 et surtout pour la deuxième campagne, le pourcentage de pellicules de battance qui était le plus faible, 19%, a réduit l'érosivité de façon remarquable: voir Tableau n°10

TABLEAU N°10; Comparaison globale entre les campagnes et les traitements (80 mm simulée)

Parcelles	N° parcelle	PREMIERE CAMPAGNE (17/01/70 - 20/02/70)									DEUXIEME CAMPAGNE (06/03/70 - 20/04/70)									
		SA (mm/h)	LI (%)	RI (%)	RI (mm)	RI (mm)	RI (mm)	RI (mm)	RI (mm)	RI (mm)	RI (mm)									
	avec drap MBOA 11	0,2	0	73,2	34	11	2	15	18,6	7	0,7	19	31,8	89	13	1,6	18	178	3,7	
	avec drap drapier MBOA 14	0,1	0	47,1	79	3,2	2	24	11,8	13,4	1,4	59	13,9	21	47	1,5	8	820	19,1	
L A B O U R	avec drap MBOA 19	0,2	0	71	39			14	43	40	4,3	2,7	41	52,0	55	15	2,0	24	71,9	26
	avec drap drapier MBOA 11	0,8	0	64,7	31			2,0	25	116,3	6,4	1,9	64	44,5	36	11	3,7	25	179,1	7,1
F H O F O N D E	avec drap MBOA 19	1,1	0	60,9	76	16,7	2,0	17	104,8	5,7	4,1	48	57,1	69	11,7	1,6	14	71,9	2,8	
	avec drap drapier MBOA 14	0,2	1	61,5	77	23,7	2,0	25	95,4	3,1	2,1	93	27,5	34	6,7	3,0	3,0	259,4	1	
	avec drap MBOA 11	0,3	0	72,5	90	4,1	8,0	24	36	3,3	14	42	49,1	62	4,3	2,0	18	26,34	6,7	
	avec drap drapier MBOA 14	0,5	0	64,5	0	18,8	1,2	24	78,5	10,7	21	91	40,8	51	3,7	1,0	15	342,5	8,7	

L'érosion pendant la deuxième campagne, malgré la couverture végétale plus ou moins dense, est plus forte que pour la première alors que l'érosivité était moindre. Ce résultat ne peut être expliqué que par l'augmentation du pourcentage de la pellicule de battance, la diminution de la rugosité et l'accroissement de l'état d'humectation.

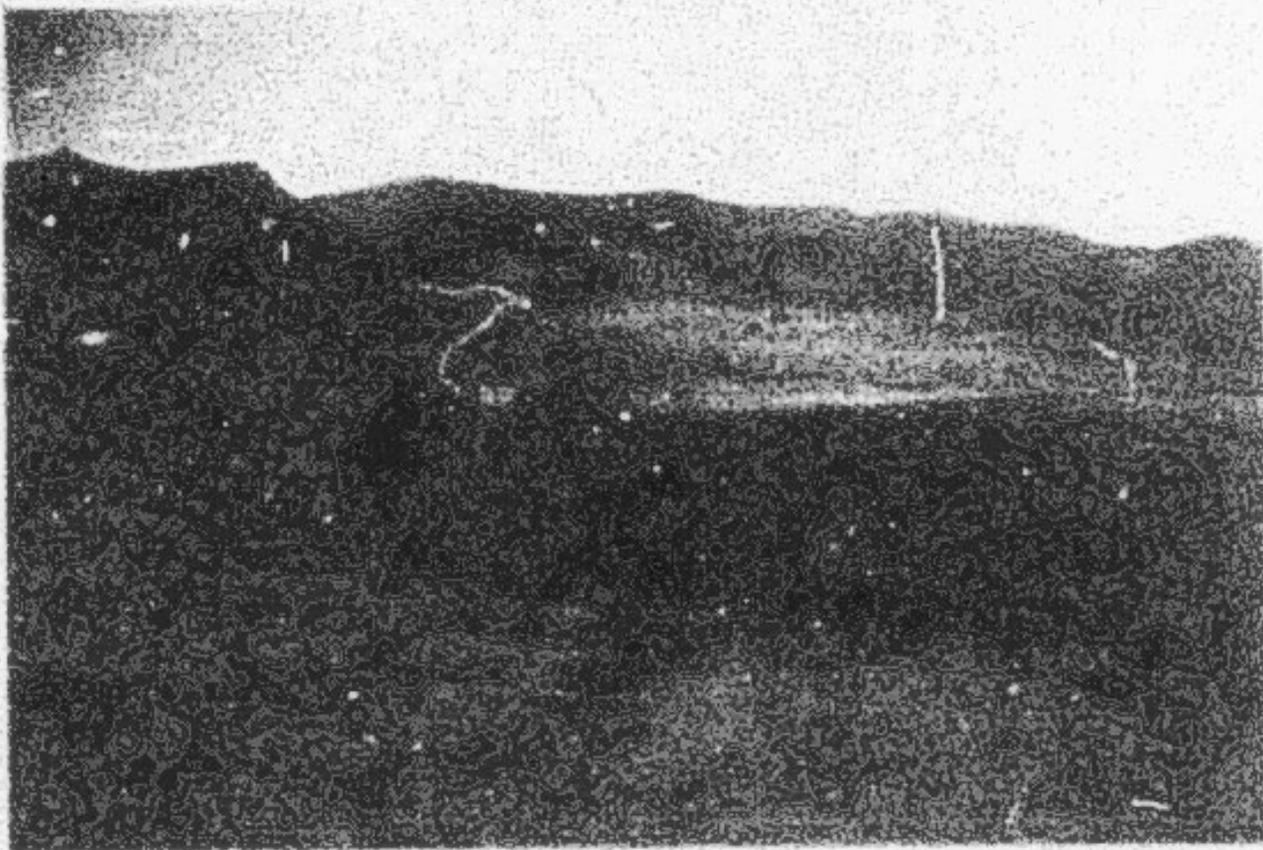
Pour la 1ère campagne (tableau 10), sur un total de 80 mm de pluie simulée, l'infiltration varie entre 60,9 et 75,2 mm alors que pour la deuxième campagne, la lame infiltrée a subi une réduction très importante malgré l'augmentation de la couverture végétale aérienne. Cette lame varie de 18,8 à 55,6 mm sur 80mm de pluie simulée. Ce qui nous permet de conclure qu'il ne faut jamais lier l'efficacité de la pluie dans la recharge des réserves hydriques du sol à la végétation aérienne car si la lame infiltrée augmente en même temps que la végétation, il y a également d'autres paramètres qui évoluent dans le sens contraire et qui parfois ont une influence plus importante.

Pour le ruissellement, le chiffre le plus intéressant à prendre en compte est celui du ruissellement maximum stabilisé (RX), l'intensité limite au ruissellement maximum stabilisé (RX) et l'intensité limite au ruissellement (IL = 1-RX).

Pour la première campagne cette intensité limite varie entre 24 et 55 mm/h, alors que pour la deuxième, elle varie de 5 à 26mm/h, valeurs nettement inférieures à celles obtenues durant la première campagne.

Vu la formation des pellicules de battance consécutive à l'assèchement de la surface du sol après ruissellement et l'état des réserves en eau du sol ce sont ces valeurs qu'il ne faut pas dépasser dans le domaine de l'irrigation.

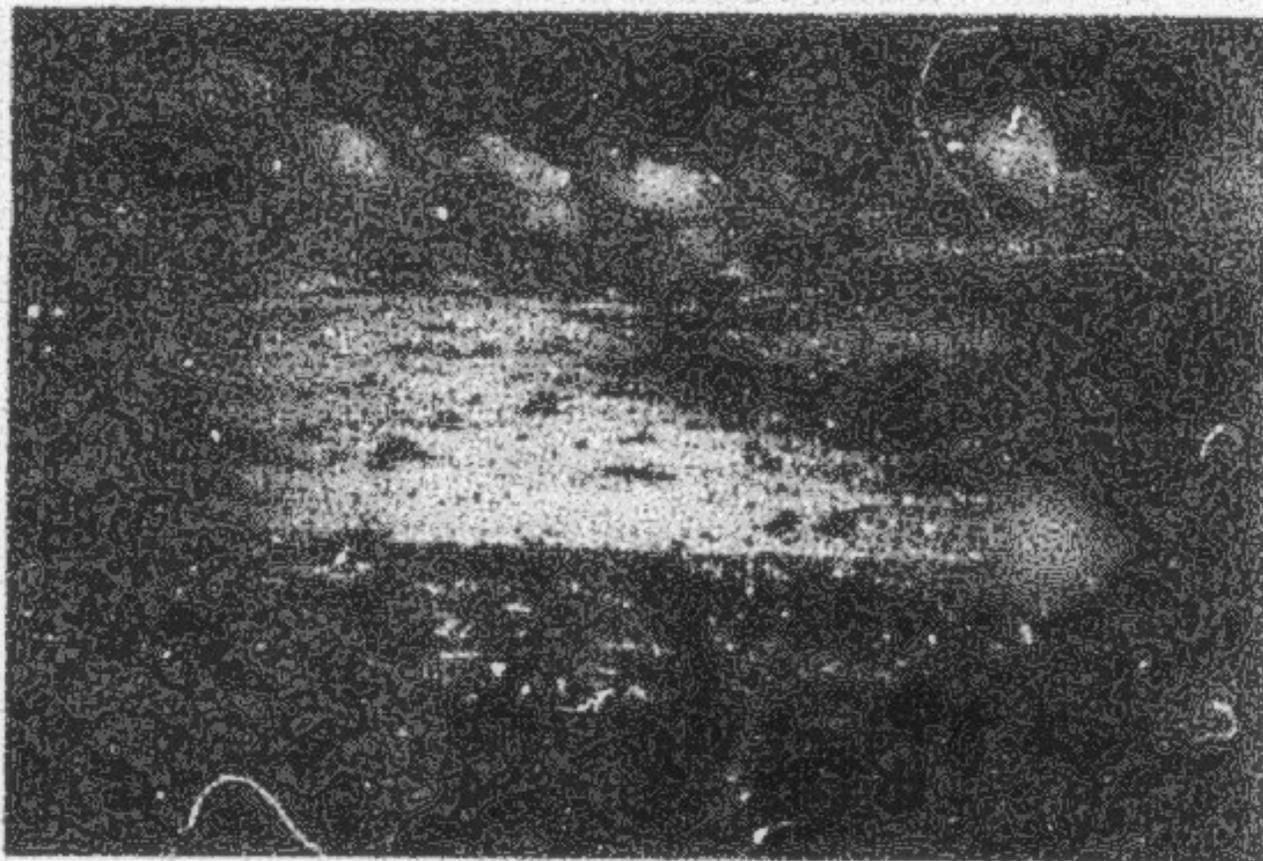
VUE GENERALE DU B V O de MELAH



PARCOURS

CULTURE

O EDDICAB



PARCOURS SUR FORMATION CAILLOUTEUSE

BASSIN VERSANT DE L'OUED EL KHIRAT : REGION DE ZAGHOUAN

LOCALISATION

Le bassin versant de l'Oued el Khirat s'étend sur une longueur de 56 Km, il est situé entre la région de Zaghouan et Enfidha avec une superficie de 3.830 ha et une pente moyenne de 9%.

BIOCLIMAT

Le bassin versant de l'Oued el Khirat est classé presque entièrement dans l'étage semi-aride inférieur à hiver doux. Le semi-aride supérieur ne concerne qu'une partie de l'amont du bassin versant. La pluviométrie moyenne de la zone étudiée est comprise entre 300 et 500 mm/an.

MATERIAUX GEOLOGIQUES

Les formations qui constituent ce bassin versant sont formées en grande partie de roches meubles peu résistantes avec trois structures majeures qui marquent le paysage.

- Une formation calcaire compacte enveloppe les pointements du centre et du nord.
- La deuxième formation peu résistante apparaît dans la partie Nord-Ouest du bassin versant (Kef, Naïma et Hmira). Le reste du bassin est occupé par des séries marneuses dominantes où alternent quelques bandes très fines de calcaire et de grès à pendage élevé.
- En bordure de ces formations on trouve les alluvions récentes et actuelles.

COUVERT VEGETAL

Trois groupements sont à mentionner.

- Une vieille forêt colonisant les sommets des massifs dans les zones les plus arrosées, elle est formée d'une association de pins d'Alep et d'Eucalyptus avec un sous-bois dense selon l'exposition de la région.
- Sur les parties les moins arrosées apparaissent des garrigues dégradées à base de genévrier et de lentisque.
- Une bonne partie du bassin et des surfaces planes est exploitée soit en cultures céréalières soit en plantations arboricoles.

INTERPRETATION DES RESULTATS (voir Tableau n° 11)

Les résultats obtenus concernant l'érosion varient d'une unité à l'autre. L'analyse des résultats obtenus nous donne une information claire sur la répartition inégale de l'érosion sur le bassin versant de l'Oued el Khirat. En effet, ces unités ne répondent pas de la même façon à l'érosion. Cependant, pour tirer un jugement plus précis sur la sensibilité des sols à l'érosion, il serait plus intéressant de corréler les valeurs de l'érosivité, définie comme l'érodabilité ou détachabilité en g/m^2 du mm d'eau ruisselée. Cette variable devient significative surtout lorsqu'elle commence à avoir des valeurs presque constantes. Lors d'une averse, le sol s'humecte dans une première phase jusqu'au moment où le ruissellement apparaît.

Au départ, ce ruissellement prend des valeurs élevées. Cette phase correspond à la mobilisation des éléments fins en surface et des éléments déjà désagrégés. Puis ces valeurs deviennent stables ou presque constantes puis diminuent jusqu'à s'annuler.

Au niveau de l'Oued el Melah, dans les deux premières parcelles :

- OM1 parcours naturel (lentisque)
- OM2 parcours naturel (végétation herbacée)

L'érosion ainsi que l'érosivité sont nulles dans le cas de OM1 la présence de lentisque qui constitue un couvert végétal contribuant à la réduction du ruissellement en modérant l'énergie cinétique d'eau tombée sur les organes aériens.

D'autre part, l'absence de pellicule de battance (Batt 0%) diminue le ruissellement. Pour la parcelle OM2 formée de végétation herbacée, même constatation que pour OM1 car la végétation fixe le sol par les racines et forme un obstacle au ruissellement. La faible valeur de battance (Batt 3%) influe aussi sur le ruissellement.

Dans le cas de OM3, occupée par une végétation herbacée moyennement dense, une érosivité faible $1,2 g/m^2 mm$ est notée. Le ruissellement est le résultat de la diminution de la couverture végétale et de la pente élevée (16%).

Egalement au niveau de l'Oued el Melah, pour les parcelles

- OM4 constituée de chaume (blé cultivé)
- OM5 constituée de chaume (blé cultivé moins dense)

le ruissellement par conséquent l'érosion est nulle. Ceci peut s'expliquer par le fait que dans le cas d'un champ labouré l'infiltration y est totale ; seule une pluie exceptionnelle de 120 mm/h pourrait provoquer un ruissellement et érosion au bout d'un certain temps.

D'autre part l'existence de végétation, 56% pour OM4, 19% pour OM5, favorise la rétention de l'eau par le sol.

Au niveau de l'Oued Eddiab le sol est plutôt à tendance sabreuse, les chaumes ne sont pas denses, la pellicule de battance est en moyenne de 70% ce qui va réduire l'infiltration et accélérer le ruissellement.

Tableau n° 11: Tableau de résultats

PARCELLES	OCCUPATIONS	BATTANCE %	VEGETATION AU SOL %	RUGOSITE %	PLUIES	EROSIVITE g/m ² /mm	PENTES %
OM1	Parcours natif lentisque	0..	93..	7.2	P2T	0..	13..
OM2	Parcours végétations herbaceo	3..	93..	2..	P2T	0..	7.5..
OM3	Végétation herbacée moyennement dense	10..	59..	3..	P3T	1.2..	18.5..
OM4	Champ cultivé labour contre pente	0..	50..	3..	P3T	0..	8..
OM5	Champ de blé cultivé	73..	19..	2.3..	P3T	0..	11.5..
OD1	Champ moyennement dense	73..	19..	2.3..	P2T	3.6..	9.5..
OD2	Champ très peu dense	76..	15..	1.3..	P2T	3.7..	8..
OD3	Végétation herbacée avec une touffe d'ails	32..	81..	3..	P2T	3.5..	9.9..
OD4	Surface nue et caillouteuse	57..	10..	0.8..	P2T	1.2..	8..
					P2T	1.6..	
					P3T	2.2..	
					P2T	2.1..	
					P3T	2.3..	

Pour la parcelle OD1 les chaumes sont moyennement denses, le ruissellement est assez important et l'érosivité prend à partir de P2 une valeur moyenne de 3,6 g/m²/mm

- OD2 les chaumes sont très peu denses, l'érosivité est intense à la suite de P1-2, elle prend une valeur élevée de 5g/m²/mm puis l'érosivité se stabilise à une valeur de 3,5 g/m²/mm

- OD3 la présence d'une végétation herbacée avec une touffe d'alfa entraîne une érosivité faible qui commence à prendre des valeurs assez stables à partir de P2-1 soit 1,7 g/m²/mm

- OD4 montre une surface nue et caillouteuse, cette surface pierreuse, rugueuse peut diminuer le ruissellement et l'érosivité moyenne qui est de l'ordre de 2,1 g/m²/mm

CONCLUSION

L'irrégularité de la pluviosité est générale pour chaque région elle s'exprime régulièrement par des oscillations à la fois saisonnières ou inter-annuelles. D'une année à l'autre les hauteurs enregistrées peuvent varier du simple au double

Il en est de même pour les hauteurs mensuelles qui accusent de grandes amplitudes, de courtes périodes de sécheresse entre les mois de fortes pluviosités ne sont pas à exclure

Une synthèse des résultats obtenus par la méthode de simulation de pluie permettra de comprendre les effets de ces pluies sur les différents types de sols et de cerner la contribution de ces précipitations au phénomène d'érosion.

D'après le tableau récapitulatif ci-après on peut conclure que les parcelles tracées au niveau de Foued el Melah et de Foued Eddiab sont exposées à une érosivité allant de 0 à 37 kg/ha/mm. Les parcelles de Foued Eddiab sont plus particulièrement affectées par le phénomène d'érosion. Ceci est dû essentiellement à un manque de végétation qui est en moyenne de 14% sauf pour OD 3 où elle prend une valeur de 61%.

En fait, l'influence de la végétation se manifeste par une meilleure absorption à cause des organes souterrains qui forment un obstacle au ruissellement en surface. La faible valeur de rugosité a un effet non négligeable sur le phénomène d'érosion.

Cette rugosité favorise la formation de cuvettes qui retiennent de l'eau et retarde le ruissellement en surface.

Par contre, l'existence de la pellicule de battance accélère le ruissellement et réduit l'infiltration. Ce facteur varie de 33% à 73% pour les parcelles de Foued Eddiab.

Donc, un travail du sol, même s'il est superficiel, permet de briser cette pellicule de battance et de créer une certaine rugosité à la surface du sol.

Ce procédé améliore d'une façon remarquable le coefficient d'efficacité de la pluie (Ke) et la recharge des réserves en eau du sol.

Si l'on compare les caractéristiques OM5 et OD1, les deux parcelles sont occupées par des chaumes et ont les mêmes valeurs de battance, de rugosité et de végétation au sol. Pourtant, l'érosivité est nulle sur OM5 et ne l'est pas sur OD1. La seule différence est que les chaumes de blé sur les parcelles de Foued el Melah sont bien labourées et ont une meilleure aptitude à l'infiltration.

Le ruissellement noté sur OM3 est essentiellement dû à la valeur élevée de la pente (16%) et à la végétation moyennement dense.

Toutes ces observations nous amènent à dire qu'à chaque type de sol soumis à un climat donné convient un traitement ou une technique appropriés ; parcours, labours profonds ou superficiels ; le meilleur est celui qui évite une perte en terre et en eau.

BASSIN VERSANT DE L'OUED MRICHET EL ANZE : REGION DE SILIANA

LOCALISATION

La zone d'étude est située dans le gouvernorat de Siliana, délégation de Bargou. Elle se situe sur la carte d'état major au 1/50 000 de Jebel Bargou et a pour coordonnées Lambert X = 472,300 Y = 310,230.

CLIMAT

C'est un climat continental qui appartient à l'étage semi-aride à hiver froid.

La température moyenne annuelle est 16,6°

La température minimale de janvier est 2,6°

La température moyenne des maxima de juillet est de 35,3°

Le vent dominant est celui de NW, la pluviométrie moyenne annuelle est de 455 mm.

LES SOLS

D'après A. Fournet les unités pédologiques dominantes du bassin versant de l'oued Mrichet el Anze se répartissent dans les groupes suivants :

Les sols minéraux bruts d'érosion :

- Lithosols : (sols bruts d'érosion sur roches dures) affleurements de calcaire crayeux de l'éocène inférieur, affleurements de grès non calcaire de l'oligocène.

- Régosols : (sols bruts d'érosion sur roches meubles). Affleurements de marne et marno-calcaire du Crétacé de l'oligocène.

- Les rendzines vraies : constituées de sols de texture moyenne à fine, épais de 20 à 30 cm, riches en matière organique.

- Les sols bruns calcaires, modaux (rendzines à horizons), à texture fine, épais de 40 à 80 cm, moyennement riches en matière organique, sur marne du crétacé moyen et supérieur.

- Les sols bruns calcaires, vertiques (rendzines à horizons) à texture fine, épais, moyennement riches en matière organique, sur marne de crétacé supérieur et de l'éocène supérieur ou sur marne et marno-calcaire du primordien, parfois légèrement enrichis de calcaire diffus.

- *Les sols peu évolués d'érosion, régosoliques à faciés vertiques* : sols à texture très fine, épais de 30 à 50 cm, sur marnes de transition crétacé-éocène supérieur, faiblement salés en profondeur.

DETERMINATION DES UNITES FONCTIONNELLES POUR LA SIMULATION

Le type de sol et l'occupation des terres sont les deux paramètres essentiels pour caractériser et définir les unités fonctionnelles du bassin versant de Mrichet el Anze qui seront soumises à des essais de simulation de pluie. Le taux d'argile et de limon influe fortement sur le comportement des unités vis à vis de l'infiltration et de l'érodibilité.

L'analyse granulométrique de l'horizon de surface (0-30 cm) de différentes zones du bassin versant montre que ce dernier possède un même type de sol avec un taux d'argile et de limon supérieur à 50% ; donc, les unités fonctionnelles du bassin versant seront déterminées en fonction du type de surface comme le montre le tableau suivant :

Tableau n° 12 : Les unités fonctionnelles du bassin versant

Unités	Occupation	S.m2	S.V	Site de simulation
1	Jachère totalement couverte de végétation, parcours	101667	7.43	A ¹
2	Jachère moyennement couverte de végétation	289633	21.17	A ² E ² E ¹
3	Jachère faiblement couverte de végétation (so. surpatur)	66777	4.98	C ¹ C ²
4	Zones cultivées (céréales, orge, fourrages)	689021	50.36	A ³ A ⁴
5	Zones labourées	220967	16.15	B ¹ B ²

Le bassin versant de Mrichet el Anze est une zone fertile et riche en matière organique, mais vu sa pente moyenne assez élevée et sa forme plus au moins compacte, il sera probablement menacé par l'érosion. En effet le bassin versant de Mrichet el Anze est subdivisé en 5 unités fonctionnelles. Ces unités fonctionnelles vont servir pour la détermination de la fonction de production globale de l'érosion sur le bassin versant.

Les résultats de simulation

Les résultats obtenus concernant l'érosion varient d'une unité à l'autre. La valeur de l'érosion est forte pour les sols nus (200 mg/m²), moyenne pour les céréales (92 gr/m²) et presque nulle pour les labours, les parcours et les jachères à fort couvert végétal.

L'érosion spécifique sur le bassin versant est de 0,3 t/ha/an. Cette valeur paraît faible et même très faible par rapport à celle obtenue par la formule de Wischmeier.

Tableau n° 13: Résultats de la simulation

- 82 -

Essai	Intensité mm/h	L Niveau (cm)	MLL %	Evap. %
Essai N° A1 P3	120	2.6	17	6.3
Essai N° A2 P3	30 40	5.0 8.2	7.5 18.1	6.1 6.7
Essai N° A2 P3	120	12.1	41.4	22.2
Essai N° B1 P3	120	3.7	24.5	6.7
Essai N° C2 P1	20.0 40.0 60.0	0.0 0.0 2.9	0.0 0.0 18.5	0.0 0.0 2.8
Essai N° C2 P1	10.0 40.0	3.1 17.1	14.5 115.0	4.2 24.0
Essai N° C2 P1	120.0	1.0	14.0	14.0

CONCLUSION

Pour quantifier l'érosion sur le bassin versant de Mrichet et Anze, on a utilisé trois méthodes :

- La méthode de Wischmeier ,
- La simulation de pluie ,
- La méthode globale qui consiste à mesurer l'envasement dans la retenue.

Nous avons obtenu une fonction de production moyenne de l'érosion sur le bassin versant de Mrichet et Anze qui relie l'érosion à la hauteur de la pluie, la pente, le couvert végétal, la rugosité et la battance. Elle est de la forme :

$$Er \text{ (gt/m}^2\text{)} = - 45,4 + 3,6 \text{ Plu} + 2,6 \text{ Pent} - 0,4 \text{ Vcov} + 0,5 \text{ Rugo} + 0,1 \text{ Batt}$$

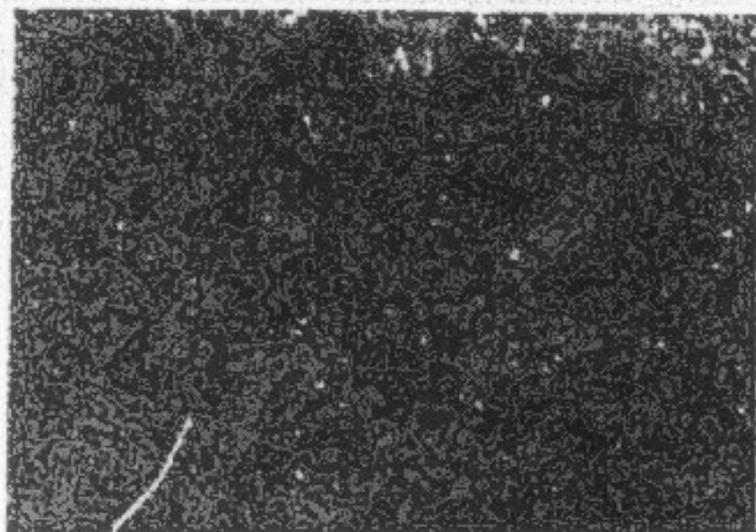
De cette équation, il se dégage que la pluie utile et la pente ont un poids beaucoup plus important que les autres variables. Le résultat du calage de cette équation est satisfaisant. En effet, la corrélation entre les valeurs observées et celles prédites est de 90%.

La valeur de l'érosion moyenne estimée par application de la formule de Wischmeier au niveau de la parcelle est de 5,5 t/ha/an, celle obtenue par la méthode de la simulation des pluies est de 0,3 t/ha/an, tandis que la quantité de terre érodée peut ne pas se déposer fortement dans la retenue (il est possible qu'elle se dépose dans la voie d'eau, les dépressions ou dans une autre parcelle).

En examinant ces résultats et en se référant aux mesures faites sur l'envasement de la retenue, il ressort que :

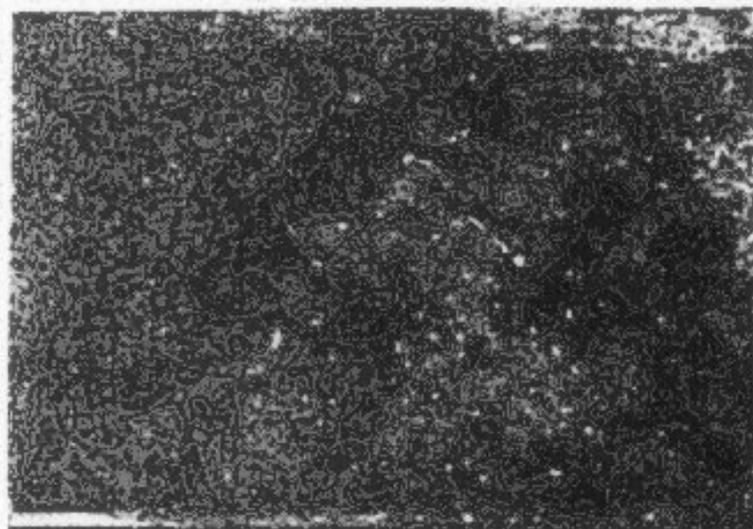
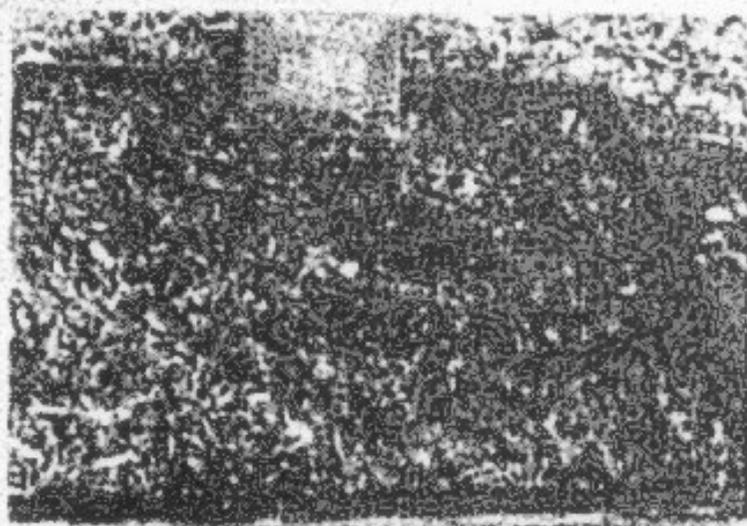
- La méthode de simulation sous-estime l'érosion de 9%.
- La méthode de Wischmeier surestime l'érosion de 57%.

La valeur de l'érosion mesurée dans la retenue est de 3,5 t/ha/an. Cette valeur paraît acceptable en la comparant avec d'autres mesures faites sur quelques barrages de la Tunisie (Barrage Melléguer, Er = 7 t/ha/an ; barrage Lakhmess, Er = 28 t/ha/an ; barrage Nebhana, Er = 23 t/ha/an...), mais en la comparant avec l'érosion tolérable dans le bassin versant qui est de 1,36 t/ha/an, on peut dire qu'elle est assez élevée et il est donc nécessaire d'aménager le bassin versant.



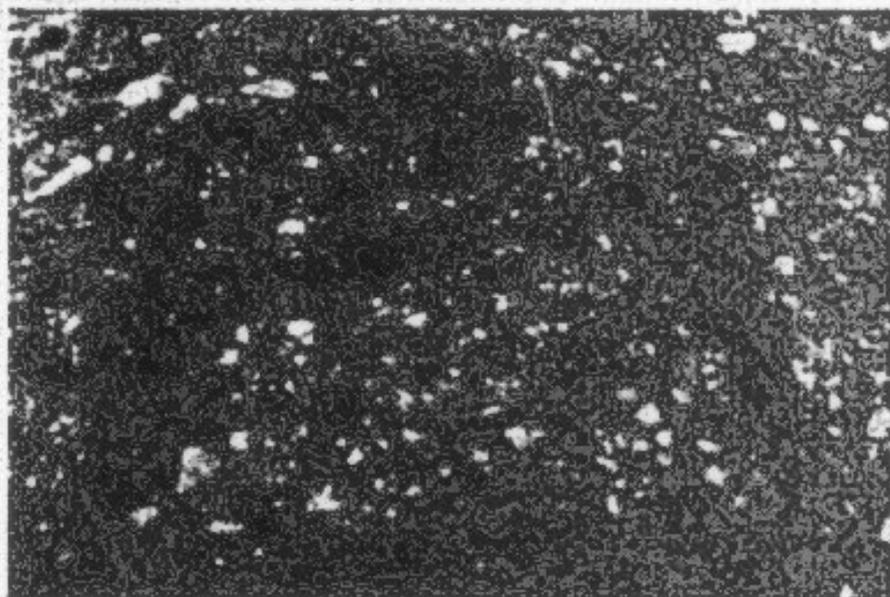
← Parcelle installée dans un jachère à fort couvert végétal

Jachère moyennement couverte de végétation →



← Jachère à faible couvert végétal (Noter le développement de la balance entre les touffes)

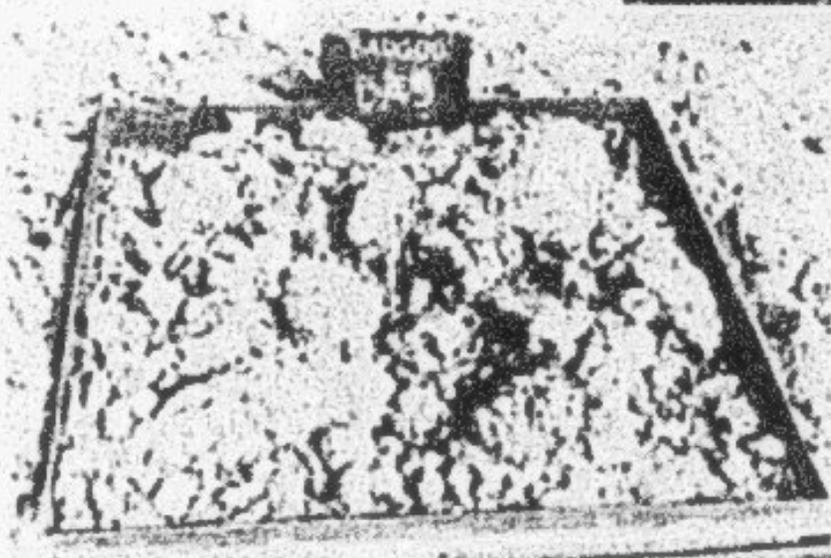
Jachère à faible couvert végétal sur sol argilo-limoneux à forte charge caillouteuse →





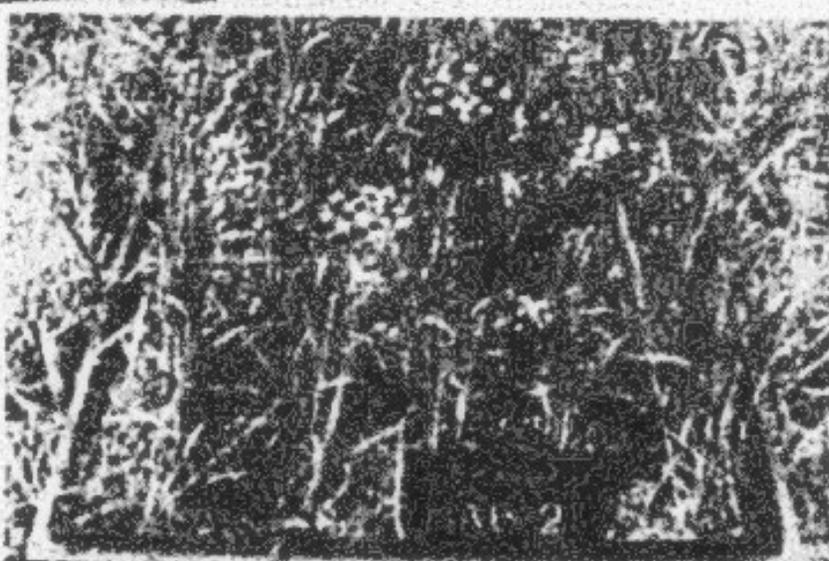
→ Espace des universités d'été

→ Vue de simulation installée dans une parcelle de riz



→ Cadre métallique délimitant la parcelle de riz

→ Aspect du riz avant l'assèchement



BASSIN VERSANT DE L'OUED ETTIOUR : (Région de Haffouz - Tunisie Centrale)

LOCALISATION

Le bassin versant de l'Oued Ettiou, affluent de l'Oued Marguellil, est situé à 10 Km environ sur la route de Haffouz-Maktar. Superficie du bassin versant : 27,2 Km². Site altitude moyenne 550 m.

BIOCLIMAT

Climat subtropical sec (type méditerranéen) les précipitations annuelles moyennes sur le bassin versant varient de 200 à 300 mm.

L'irrégularité de la pluie constitue un facteur limitant à la production agricole, fruitière et maraîchère.

TEMPERATURE

- Existence de deux saisons distinctes
- Températures les plus faibles enregistrées en décembre, janvier et février : 5° C
- La saison chaude est caractérisée par des moyennes mensuelles > à 20° C

PLUVIOMETRIE

Une distribution saisonnière très irrégulière avec une moyenne de 200 à 300 mm / an.

TYPE DE SOL

Globalement, le bassin versant de l'Oued Ettiou comprend (d'après les observations sur le terrain) :

- des sols minéraux bruts d'érosion
- des sols peu évolués d'apport, très érodés, à caractère vertical
- des vertisols

- Les sols minéraux bruts d'érosion

Ces sols se développent sur les affleurements calcaires et grés-calaireux, à partir de dissolutions de fissures et d'éclatements de blocs.

La grande partie de ce type de sol est formée de terre rocheuse composée de roche calcaire dure mise à nu. La surface calcaire est très usée et contient de nombreuses fissures, "marmites torrentielles" et fosses de dissolution. Le sol d'argile noire, résultant de la décomposition des matériaux d'origine, comble les fissures et les marmites torrentielles et c'est sur ces parties seulement que l'on trouve de la végétation.

Environ 30 à 40% de la surface sont couverts de végétation alors que le reste n'est que du roc calcaire dénudé. Ce sol est un sol squelettique sur calcaire dur. Le ruissellement y est très rapide. Une civilisation ancienne avait entrepris de bâtir des terrasses de rocher dont les canaux d'écoulement sont très étroits et à pente très forte. On trouve encore derrière ces terrasses des colluvions gravelleuses.

- Les sols peu évolués

Ces sols se développent sur les colluvions existant dans les zones de raccourcement entre les Jebels et les barres calcaires dominantes et les terrasses subactuelles de l'Oued.

Cette classe de sol est très mélangée et composée de différents types de sols, les plus dominants sont composés et transformés par l'érosion en suite de "gradins", un complexe continu d'escarpements rocheux latéraux et séparés par des bassins parallèles étroits. L'argile tendre a été endormagée par l'érosion à un taux beaucoup plus rapide que le calcaire et le grès, c'est pourquoi la surface de ce sol présente un aspect très rocheux et pierreux.

Le ruissellement paraît très élevé et le sol semble être très sensible à l'érosion. On observe une érosion géologique active sous forme de ravinement.

La végétation naturelle est très clairsemée, constituée de romarin (*Rosmarinus officinalis*), quelques pins d'Alep (pins halipensis), des lentisques (*Protaea lentiscus*) très dispersés et des genévriers dégradés (*Juniperus phoenicea*) qui caractérisent les sols érodés. La plus grande partie du sol a été abandonnée. Les méthodes d'exploitation appropriées sont absentes sur les pentes modérées, avec des ravins peu profonds et le sol de surface d'origine est déplacé. Actuellement, les sols profonds, là où ils ne sont pas strictement érodés, sont cultivés en céréales et en arbres fruitiers entourés de haies de cactus.

- Les verticaux

Ces sols se développent principalement sur les matériaux mameux étalés en bordure de l'Oued et Melah. Il représentent une prolongation sud du plateau de Ousselata, important du point de vue régional, vallée haute quaternaire s'étendant largement entre de basses chaînes de montagnes. Les matériaux du sol provenant pour la plupart des eaux de déjection argileuses, en provenance des hautes terres calcaires adjacentes. Les sols sont généralement profonds, de couleur sombre, mais contiennent des types de sols peu épais sur croûte calcaire. Ces matériaux soumis à l'érosion, à un mauvais travail du sol (labour dans le sens de la pente) offrent un relief faiblement ondulé avec des pentes douces qui s'accroissent au fur et à mesure que l'on va vers les barres calcaires dominantes. Ce type de sol est très convenable à la production des céréales.

Protocole de mesure

Des fiches de terrain sont remplies pour chaque phre. Sur le bassin versant de l'Oued Entout, deux sites de mesure ont été choisis, en fonction des caractéristiques morphostructurales et pédologiques des matériaux.

Le site 1 correspond au symbole Pw à l'aval du bassin versant, sur un matériau sable-fineux à sable fin (sols peu évolués). Le site 2 est désigné par le symbole PF, à l'amont du bassin versant, sur un matériau mameux riche en fossiles (coquilles d'huîtres) - mameux foncés gypseux.

Description des profils

Les profils PW1, PW2 et PW3 correspondent à des sols peu évolués sur matériaux sableux (à sables fins). Ces profils sont caractérisés par l'absence de différenciation d'horizon. Sous une pellicule de battance d'ordre millimétrique en surface, le sol paraît "soufflé". Cette pellicule est extrêmement fragile et se détruit au contact des aiguilles lors de la détermination des états de surface (points quadrats). On distingue un seul horizon, très faiblement humifère (< 10 cm) (10 YR 5/4). La compacité augmente avec la profondeur (influence du labour effectué sur les 40 premiers centimètres). Les profils PW2 et PW3, sont plus sableux que le profil PW1. Il s'agit de sols peu évolués d'apport modaux sur matériau limono-sableux.

Les profils PF1, PF2 et PF3, correspondent à des sols lourds, caractérisés par des structures verticales plus ou moins prononcées. Ces sols sont peu évolués, à caractère hydromorphique en profondeur, sur marnes gypseuses.

Résultats des pluies simulées

- Le ruissellement

Théoriquement, l'intensité du ruissellement atteint un maximum stabilisé appelé (RX). On a essayé de déterminer les valeurs de (RX) pour les averses qui ont provoqué un ruissellement.

La différence entre l'intensité de la pluie et Rx donne la valeur de l'infiltration stabilisée pour chaque type de sol et dans des conditions déterminées. Cette valeur est appelée "intensité limite au ruissellement" (Fn).

Cette intensité limite au ruissellement (Fn) est de 10 mm/h, 37 mm/h et 37.5 mm/h respectivement pour les parcelles PW1, PW3 et PF3 pour un sol sec et avec une pluie de 20 mm/h pendant 15 mn.

2- La détachabilité

Le tableau suivant montre les lames d'eau totales ruisselées à partir de toutes les séquences de pluies.

Tableau n° 14 : Lames d'eau ruisselées suivant les intensités de pluies

Pluies parcelles	P1			P2		P3	Total
	5 mm	10 mm	20 mm	10 mm	15 mm	20 mm	
PW1	0.0	1.4	15.2	4.3	13.7	14.9	49.5
PW2	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	7.5	10.7
PW3	0.0	0.4	10.6	1.4	11.3	14.0	37.7
PF1	0.0	0.0	5.5	1.2	7.4	14.3	28.4
PF2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4	7.4
PF3	0.0	0.3	12.2	1.3	10.7	17.2	41.7

Le ruissellement diminue de 80 à 75 % des parcelles cultivées (en céréales (PW2 et PF2) aux parcelles en jachère (PW1, PW3 et PF1 et PF3) ; de même le ruissellement sur les jachères travaillées (PW3 et PF1) est moins important que sur les jachères non travaillées (PW1 et PF3). Ainsi, le travail du sol favorise l'infiltration (dans une certaine proportion).

La détachabilité n'est pas proportionnelle au ruissellement, ce qui prouve que le couvert végétal n'est pas le seul facteur ayant une influence sur la perte de terre. Le tableau suivant montre les résultats de détachabilité mesurés.

Tableau n°15 : La détachabilité (g/m²)

pluies parcelles	P1			P2		P3	TOTAL
	20mm/h	40mm/h	80mm/h	10mm/h	60mm/h	120mm/h	
	5 min	10 min	20 min	10min	15 min	20 min	
PW 1	0.0	4.9	61.7	4.5	34.4	43.6	151.1
PW 2	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	21.5	24.4
PW 3	0.0	3.0	98.5	6.4	66.4	129.6	303.9
PF 1	0.0	0.0	70.8	6.9	58.8	96.8	233.1
PF 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	105.2	105.2
PF 3	0.0	2.5	98.9	1.5	33.7	109.8	243.9

La détachabilité est toujours plus importante sur les parcelles nues (jachères) que sur les parcelles cultivées. Nous avons mesuré une diminution de perte de terre de 90% de PW2 à sur PW3 et une diminution de 56% de PF2 à PF3.

Ainsi, il semble que la végétation (aérienne et sur le sol) a joué le plus grand rôle. La contribution des autres facteurs (l'instabilité structurale, le pourcentage de gravillons et la pente des parcelles) peut être considérable.

En effet, la détachabilité sur les deux parcelles nues (PW1 et PF1) est plus importante sur PF1 que sur PW1 ; cela peut s'expliquer par la stabilité structurale et les pourcentages d'éléments fins (argiles + limon) qui sont de 92% pour PF1 et 36% pour PW1.

De plus, la différence de détachabilité entre PW1 et PW3 (deux parcelles nues) ne peut être expliquée que par la stabilité structurale.

Tableau n° 16 : Caractéristiques morphologiques et pluviométriques

No de la parcelle	Pw1	Pw2	Pw3	Pp1	Pp2	Pp3
Pente en %	5,8	6,5	7	7,5	12	12
Pluie totale en %	1,55	0,14	2,85	6,76	5,87	7,74
Végétation arborée en %	0,07	1,05	0,95	1,24	1,52	2,17
Pâturage de bétail	0,21	0,14	0,22	0,18	0	0,11
Végétation en jir	0,11	0,02	0,15	0,22	0,06	0,25
Recouvrement soléon + sel ou sans bétail	0,38	0,44	0,53	0,34	0,31	0,21
Craquelures jirées	0	0	0	0,15	0,06	0,4

Tableau n° 17 : Résultats de la campagne

PLUETS	P1						P2						P3					
	Pw1	Pw2	Pw3	Pp1	Pp2	Pp3	Pw1	Pw2	Pw3	Pp1	Pp2	Pp3	Pw1	Pw2	Pw3	Pp1	Pp2	Pp3
No de la parcelle	30	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Hauteur totale en la pluie	18,5	25	24,2	25,3	16	21,5	7	21,5	11,2	16,5	25	11	5,1	12,3	8	6,7	12,6	2,2
Le taux d'eau jirée	22,85	100	68,14	84,25	100	64,28	38	47,8	46,2	66	8	52	25,5	62,5	28	28,5	52	14
Le taux jirée	18,5	0	12,6	5,5	0	12,5	16	8,1	12,7	5,5	0	12	14,9	2,9	14	14,8	7,4	17,2
Le coefficient de jirée	47,35	0	81,95	15,71	0	25,71	72	12,4	90,6	34	0	48	74,5	27,5	25	71,5	37	86
Érosion en (cm ²)	84,9	0	111,4	82,8	0	121,5	28,9	2,4	12,8	94,7	0	25,1	43,8	21,5	125,8	88	105,2	126
Érosion en (cm ²)	0,845	0	1,41	0,728	0	1,215	0,289	0,24	0,128	0,947	0	0,251	0,438	0,215	1,258	0,88	1,052	1,26

BARRAGE COLLINAIRE DE L'OUED EL MAIZ : (Région de Haflouz)

LOCALISATION

Le bassin versant de l'Oued el Maiz, affluent de l'Oued Marguellil est situé dans le gouvernorat de Kairouan, à cheval sur les délégations de Haflouz et d'el Ala, dans le secteur de Khit el Oued.

Coordonnées Lambert - échelle 1/50 000 n° 62 x = 472,9 y = 277,1
Nord de Khit el Oued

Le bassin versant de l'Oued el Maiz est délimité :

- Au Nord par le bassin versant de Fidi Mbarek.
- Au Sud par le bassin de l'Oued Errajala
- A l'Est par l'Oued Marguellil
- A l'Ouest par le Kef Magil

CLIMAT

Le climat de la région centrale de la Tunisie est de type méditerranéen, caractérisé par un été long et sec tandis que l'hiver est peu humide. Une pluviométrie très irrégulière d'une année à l'autre varie entre 200 et 300 mm. La température moyenne est de 20° C.

Les types de sols

Au niveau de ce site on a cherché à caractériser les sols par leur texture et leur structure, celles-ci jouant un rôle déterminant pour la sensibilité à l'érosion hydrique.

Le bassin de l'Oued el Maiz comprend trois secteurs morphologiques distincts variant par leur forme et leur contenu sol :

- Collines et plateaux marno-calcaires et/ou marnes à lamachelles : ce secteur, localisé à l'aval du bassin versant, est caractérisé par deux types de sols, régosols à faciès brun calcaire, érodés peu épais, et des bruns calcaires argilo-sableux, épais, non érodés. Le ruissellement paraît très élevé dans le premier type qui présente des pentes assez importantes.

- Zone intermédiaire - colluvions, alluvions et à lamachelles : c'est le secteur central du bassin versant, représenté par des sols d'origine climatique s'étendant sur le niveau bas de l'impluvium, tels que

- les régosols et lithosols sur marnes qui présentent localement, en amont, des décapages très importants dus à une forte érosion accélérée par une exploitation excessive de ces zones, très pentues. En aval sur des pentes encore importantes se développent des badlands.

- les régosols sur alternance de colluvions gréseuses et marnenses, peu épais, peu érodés.

- les sols peu évolués sur colluvions et alluvions, à charge caillouteuse, épais, moyennement érodés.

- La boutannière dans les grès : c'est le secteur amont du bassin versant d'el Maiz ; les sols sont des matériaux bruts gréseux ; pas de couche meuble dans la majorité des surfaces ; le sol est très raviné et presque nu de toute végétation. On y remarque l'existence de quatre principaux types de sol :

- des régosols et lithosols à faciès parfois steppique, peu épais et très érodés, occupant la majorité des surfaces du secteur ;

- des sols steppiques épais sablo-limoneux à sablo-argileux, peu érodés, de pente assez faible, étendus sur une plaine assez large ;

- des sols régosoliques fortement érodés, peu représentés ;

- des sols peu évolués, steppiques, à érosion moyenne, profonds, occupant des surfaces peu étendues.

Occupation des terres :

La polyculture extensive, l'oléiculture et le parcours constituent l'occupation dominante actuelle des terres. On a assisté à une extension des cultures au détriment des zones de parcours. Le bilan de ces cultures s'inventorie ainsi :

- La céréaliculture, principalement de blé, est largement représentée sur les unités de pente assez moyenne à faible. Les pluies sont insuffisantes et les sols peu profonds ; Les rendements sont moyens à faibles.

- Association de cultures céréalières, jachères et pâtures. Ce type d'exploitation donne de faibles rendements, surtout en raison de l'aridité.

- Les plantations d'oliviers et parfois d'amandiers couvrent des surfaces réduites et dispersées surtout en aval du bassin versant.

- Enfin, les parcours dégradés sont étendus sur presque le tiers de la surface totale du bassin versant dans lesquels on note des lambeaux de formations naturelles telles que garrigues, maquis et des reliques de la forêt à pins d'Alep... etc.

DETERMINATION DES UNITES FONCTIONNELLES

La description des sols, l'occupation des terres et leur aménagement se combinent pour caractériser et définir une répartition des secteurs écologiques sur le bassin versant comme le montre le tableau ci-après.

Tableau n° 18 : Caractérisation des secteurs écologiques du bassin versant de l'Oued el Maiz

N°	Secteur morphologique	N°	Unité morpho-pédologique	Utilis. Aménage.	Surface
I	Collines et plateaux sur marno-calcaires et marnes à lunachelles	1	Régosols à faciès bruns bruns calcaires érodés peu épais	A	7.3
			C	8.7	
		2	Bruns, calcaires, Argiles-sableux, nodaux, épais	B	4.6
				C	5
II	Zone de transition colluvions, terrasses	3	Régosols et lithosols décapage très important ou bad-land	A	5.5
		4	Régosols sur alternance colluv. gréseuses et mar. faciès bruns cal. peu épais	A	5.4
		5	Sols peu évolués sur col. et alluvions peu érodés, épais charge caillouteuse	B	8.8
				C	1.3
		La boutonnière dans les grès numidiens		6	Régosols et lithosols A (faciès, parfois steppique) peu épais et très érodés
7	Sols bruns steppiques épais, sablo-limoneux à sablo-argileux peu érodés			B	14.8
				C	1.9
8	Sols bruns régos. érosions report. en nappe et ravin trancat. Nodules cals. appa			A	2.5
				B	3
9	Peu évolué steppique érosion moyenne, profond sablo-argil. à sablo-limon	A	3		

- A : Formations naturelles (garrigues, maquis et steppes...) + jachère
 B : Zones cultivées (céréales, fourrages et labours)
 C : Périmètre d'amélioration pastorale et de CES.

Récapitulatif des résultats obtenus :

Les résultats obtenus en appliquant une gestion de Dssimul, la méthode de Wichmeier, et celle réalisée dans la retenue, sont résumés dans ce tableau.

Méthode utilisée	Evaluation de l'érosion (T/ha/an)
Simulation des pluies	4
Wichmeier	18,4
Planimétrie	12,3

OBSERVATOIRE DE MENZEL HABIB

Sur le tableau n° 19 sont mentionnés les résultats globaux de simulations de pluies effectuées sur les stations de Baaten Gouzeh et celles du Km 50.

Elles ont été réalisées pour mettre en évidence l'influence de la mise en défens sur l'infiltration des pluies, comparer l'hydrodynamique de l'eau entre un milieu sableux et un milieu battant et limoneux.

Ainsi, 6 placettes de 1 m² ont reçu, en deux jours, une série d'averses, conforme au protocole d'averse mentionné dans le tableau n° 4.

Chaque placette a été décrite en terme d'état de surface, rugosité etc...

Pour lesquelles :

RUGOS = Rugosité dans le sens de la colonne (-)

VEG AER = nombre moyen de contact

V.S. = Végétation au sol + litière %

P.Bat. = Pellicule de battance

RS + SN = Recouvrement sableux + sol nu sans battance.

E.GR = Eléments grossiers

Pour ces parcelles les résultats sont exprimés en terme de coefficient d'efficacité de la pluie dans la recharge des réserves en eau du sol ($K_e\%$), de pluie d'imbibition sur sol sec (P_{is}) et sur sol humide (P_{ih}) (en mm/h) durant cinq minutes au moins, ainsi que l'érosivité du millimètre d'eau ruisselé "ER" en g mm⁻¹ qui traduit l'érodibilité du sol. Tous ces chiffres sont obtenus à partir de fiches dont on donne un exemple dans le tableau n° 3 de la placette K A 1 de la station de Baaten Gouzeh.

De cet ensemble de résultats, il ressort que le même protocole de pluies est appliqué sur la totalité des placettes :

- les glacis limoneux, mis en défens ou pas perdent jusqu'à 2 fois plus d'eau que la steppe sableuse en bon état.

- Sur la steppe sableuse à *Rhanterium suaveolens*, le parcours et la disparition du voile sableux éolien, et l'apparition d'éléments de battance diminuent d'environ 10% la pénétration de l'eau de pluie, l'horizon superficiel restant toutefois sableux.

- Concernant les intensités limites à l'infiltration on constate que toute pluie présentant une intensité inférieure à 70 mm/h a peu de chance de ruisseler sur la steppe sableuse à *Rhanterium suaveolens* et ceci quelque soit son état.

La présence des voiles éoliens en abondance repousse cependant cette valeur à 90 mm/h. Par contre, sur la jachère à glacis limoneux pâturé ou non, toute pluie dont l'intensité se situe aux alentours de 25-30 mm.h⁻¹ durant 5 minutes au moins, ruisselle. La mise en défens ne semble pas pour l'instant influer sur ce type de milieu, les variables K_e ou I_L .

LIEU :	PARCELLE :	KAI :	DATE :
SAISON : 0	OCCUP. TER : 0		
PENTE : 0%	PUGOSITE : 0%	VEG. AER. :	0 contact(s)
GRANULOMETRIE			
Argiles & limons :		0%	limons : 0%
ETATS DE SURFACE			
Vég. sol :	0%	Bact. :	0%
Croûte :	0%	Kids. gr. :	0%
		Sable/sol m :	0%

n°	Pu mm	IF	IS mm/h	LI mm	Ko %	P10 mm	P10 mm	11h mm/h	Er g/m ²	Eros g/m ² /mm
P11	5.0	0.0	20	5.0	100	5.0	-1.0	-1	0.0	0.0
P12	10.0	5.0	40	6.0	59	6.7	-1.0	-1	0.1	1.0
P13	20.0	15.0	80	11.0	55	0.0	-1.0	38	6.4	0.7
P14	35.0	-1.0	-1	25.8	74	11.7	-1.0	-1	6.6	0.7
P21	10.0	21.2	30	7.7	77	-1.0	2.5	-1	1.9	0.8
P22	15.0	31.2	60	4.5	33	-1.0	0.0	-1	15.7	1.6
P23	25.0	-1.0	-1	17.6	50	-1.0	2.5	-1	17.7	1.4
P24	30.0	46.2	120	1.8	12	-1.0	2.0	-1	46.2	1.0
P25	80.0	-1.0	-1	47.2	53	-1.0	-1.0	-1	73.4	1.9

Tableau n°19 : Résultats p'abou de simulation de pluies sur les stations de l'observatoire de Mentel-Habib (Novembre 1990)

PARAMETRES STATIONS	Pente %	Eros %	VEG. AER. %	GRANULOMETRIE				ETATS DE SURFACE				K _o %	P ₁₀ mm	P ₁₀ mm	11h mm/h	Er g/m ²	Eros g/m ² /mm
				Argiles & limons		limons		Argiles & limons	limons	Vég. sol	Bact.						
				0%	limons	0%	limons										
STATION BAATINISSA	KAI	0.0	0.0	0.0	20	5.0	100	5.0	-1.0	-1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
					40	6.0	59	6.7	-1.0	-1	0.1	1.0					
					80	11.0	55	0.0	-1.0	38	6.4	0.7					
STATION LAKARA	KAI	7.0	7.0	7.0	70	90	70	70	0	0	60	11	1.7	2.1	2.8		
					30	60	1	90	5	5	20	10	2.0	1.1	1.1		
					10	10	10	2	90	4	87	80	2.0	80	2.3		
STATION MELI	KAI	1.4	1.4	1.4	70	90	3	17	80	3	10	81	1.0	90	1.0		
					10	80	7	10	90	3	90	87	1.1	70	1.0		
					10	80	7	10	90	3	90	87	1.1	70	1.0		

- L'érosivité du ruissellement est naturellement plus élevée sur les sols limoneux (du simple au double environ).

Enfin concernant cet ensemble d'indicateurs, on se demande si la pluviosité exceptionnelle de l'hiver 1989-1990 n'a pas masqué les différences qu'une saison plus sèche aurait peut être mieux révélées.

MICRO BASSIN TYPE JESSOUR MATMATA

LOCALISATION

En amont et au niveau des bassins versants des oueds El Jir, El Hamma et Koutine les cassures des tabias (ouvrages de petite hydraulique) sont fréquentes avec des apports en matière solide considérables.

Pour mieux cerner le phénomène du ruissellement et de l'infiltration à l'interface des sols nous avons effectué une étude sur les sols d'un microbassin dans les Matmata (Haddaj).

L'état de surface des unités pédologiques choisies est associé aux valeurs de la pente et au travail du sol (labour...).

CLIMAT

Les données climatiques du Sud-Est tunisien (domaine des Matmata et de la Jeffara) font apparaître les grands changements de quantités de pluies dans le temps et dans l'espace (FERSI in MTIMET, 1983).

Le phénomène le plus caractéristique réside en une sécheresse continue (3 à 4 ans) après quoi on assiste à une période pluviale courte en durée, mais forte en intensité. Il arrive de constater parfois des intensités supérieures à 150 mm/h qui engendrent un ruissellement érosif important avec des inondations dans les secteurs aval.

La station de Gabès, située à environ 35 Km des Matmata, très étudiée par les hydrologues (BOURGES et al. 1984, FERSI, 1978) nous donne un exemple des principales caractéristiques pluviométriques. Elle était aussi à la base du choix des avertes appliquées dans notre suivi.

Tableau n° 20 : Pluies annuelles (en mm)

Période de retour (année)	50	10	5	Gabès	5	10	50
Pluie annuelle (mm)	50	81	108	176	272	334	465

Site

Il appartient au secteur Haddaj - Tijna c'est un secteur où le glaciaire loessique du Pliocène supérieur est très raviné, et qui représente bien le milieu typique des Matmata. On y distingue deux niveaux :

- Un niveau supérieur à végétation steppique très dégradée et à forte pente (10-25%) comportant 9 variétés d'états de surface ;

- Un niveau inférieur occupé par des terres agricoles où sont pratiquées la céréaliculture et l'arboriculture avec une faible pente (5-10%) - le jessour proprement dit.

MICRO BASSIN TYPE JESSOUR MATMATA

LOCALISATION

En amont et au niveau des bassins versants des oueds El Jir, El Hamma et Koutine les cassures des tabias (ouvrages de petite hydraulique) sont fréquentes avec des apports en matière solide considérables.

Pour mieux cerner le phénomène du ruissellement et de l'infiltration à l'interface des sols nous avons effectué une étude sur les sols d'un microbassin dans les Matmata (Haddaj).

L'état de surface des unités pédologiques choisies est associé aux valeurs de la pente et au travail du sol (labour...).

CLIMAT

Les données climatiques du Sud-Est tunisien (domaine des Matmata et de la Jeffara) font apparaître les grands changements de quantités de pluies dans le temps et dans l'espace (FERSI in MTIMET, 1983).

Le phénomène le plus caractéristique réside en une sécheresse continue (3 à 4 ans) après quoi on assiste à une période pluviale courte en durée, mais forte en intensité. Il arrive de constater parfois des intensités supérieures à 150 mm/h qui engendrent un ruissellement érosif important avec des inondations dans les secteurs aval.

La station de Gabès, située à environ 35 Km des Matmata, très étudiée par les hydrologues (BOURGES et al. 1984, FERSI, 1978) nous donne un exemple des principales caractéristiques pluviométriques. Elle était aussi à la base du choix des avertes appliquées dans notre suivi.

Tableau n° 20 : Pluies annuelles (en mm)

Période de retour (année)	50	10	5	Gabès	5	10	50
Pluie annuelle (mm)	50	81	108	176	272	334	465

Site

Il appartient au secteur Haddaj - Tijna c'est un secteur où le glaciaire loessique du Pliocène supérieur est très raviné, et qui représente bien le milieu typique des Matmata. On y distingue deux niveaux :

- Un niveau supérieur à végétation steppique très dégradée et à forte pente (10-25%) comportant 9 variétés d'états de surface ;

- Un niveau inférieur occupé par des terres agricoles où sont pratiquées la céréaliculture et l'arboriculture avec une faible pente (5-10%) - le jessour proprement dit.

Type de sol

Le protocole de l'opération s'appuie sur les points suivants :

A - La description de l'environnement - ici le microbassin du Jessour - à l'échelle de la station puis à l'échelle de la parcelle de 1 m² (relevés des états de surface du sol au nombre de neuf).

- 1- Croûte de battance avec une pente de
 - a - 20% (forte)
 - b - 9% (moyenne)
 - c - 4,9% (faible)

- 2- Touffe végétale occupant une bonne proportion de la surface (voir croquis)

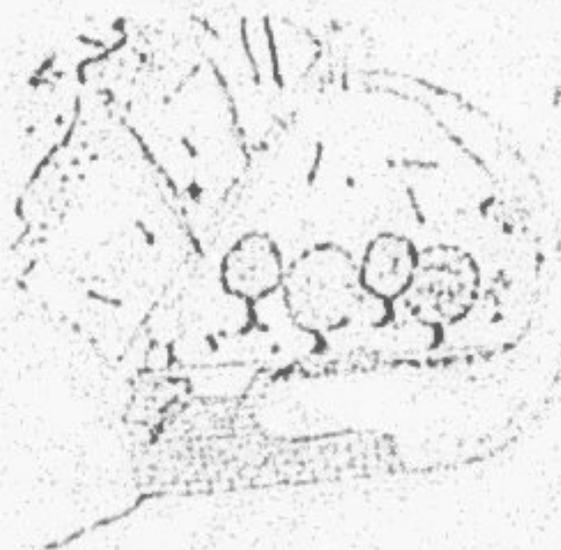


Fig. 3. LE JESSOUR - ETAT DE LA VÉGÉTATION

Surface totale du microbassin (carré)	1000 m ²
Surface occupée par la végétation	300 m ²
Surface occupée par les autres états	700 m ²

- VÉGÉTATION
- TERRAIN
- TERRAIN
- TERRAIN
- TERRAIN

- 3- Croûte de battance + touffe végétale à faible recouvrement
 - a- pente 11% (moyenne)
 - b- pente 6,5% (faible)
- 4- Surface à cailloutis - pente 20%
- 5- Labour
 - a- Traditionnel
 - b- Wischmeier

B - Des prélèvements de l'humidité du sol (avant et après la simulation) et de la densité apparente.

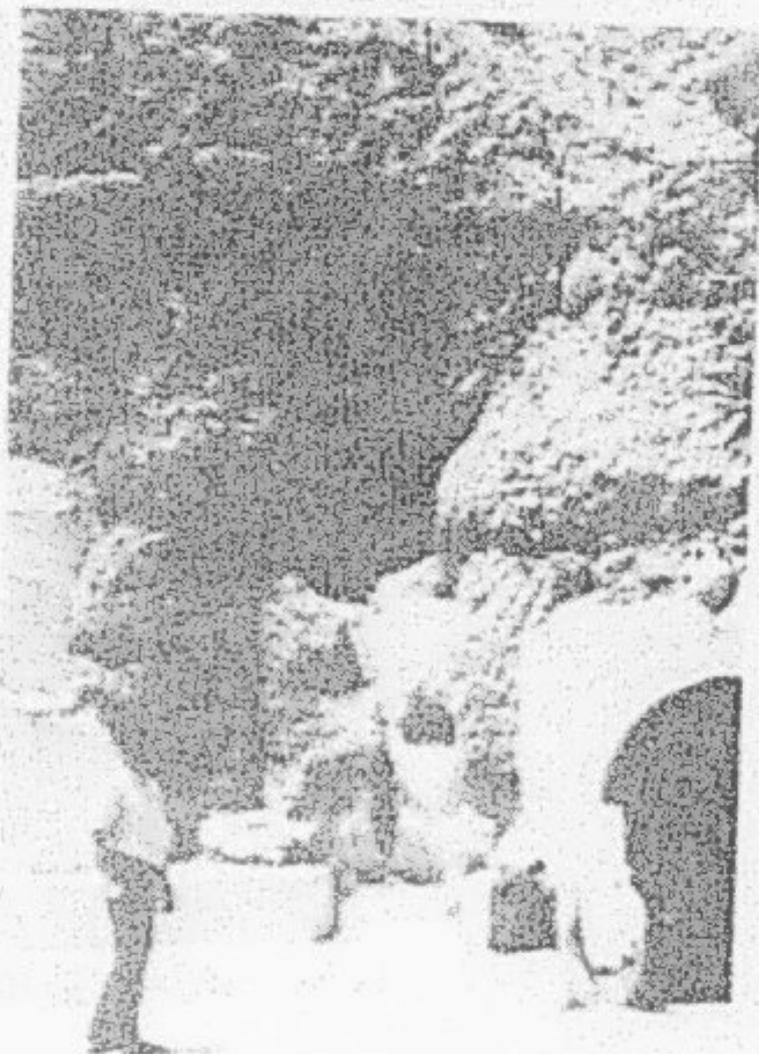
C - A la fin des essais, des prélèvements de la surface pour étude micromorphologique sont réalisés.

Les résultats :

Les renseignements ont été nombreux et variés. En effet, le tableau n°27 nous donne un aperçu global sur les différents paramètres, pluie, infiltration et érosion, des 9 états de surface du sol.

Tableau n° 21 : Résultats globaux des simulations de pluies Haddaj - Matmata

Etat des Surfaces	Pentes (%)	Flot Pluie	Intensité (mm/h)					Hauteur (cm)		Kru %	Kru %	Erodabilité Kgr/ha
			11	12	13	14	15	Precip (Mm/5h) (W)	%			
Surface caillouteuse avec gravillons	20	P1	21	30.2	84.1	-	-	33.6	10.6	73.4	66.7	1086
		P2	20.4	60	-	-	-	25.1	5.4	81.7	78.5	338
		P3	120	-	-	-	-	30.0	9.1	72.8	69.7	65
		Total	-	-	-	-	-	88.9	25.1	75.9	72.3	1489
Croute de balance	4.5	P1	20	31.6	79.2	0.1	79.2	35.6	18.6	52.60	47.7	412
		P2	29.8	1	29.8	60.4	-	25.7	6.3	76.9	75.5	371
		P3	116.5	-	-	-	-	29.6	4.6	86.2	84.4	949
		Total	-	-	-	-	-	90.9	29.5	71.8	69.2	1732
Croute de balance	20	P1	21	31.4	83	-	-	33.9	9.4	79.2	72.3	224
		P2	30	61.6	-	-	-	35.4	6.4	79.1	74.7	31
		P3	125.4	-	-	-	-	31.4	2.5	95.3	92.1	275
		Total	-	-	-	-	-	90.7	18.3	84.5	79.7	562
Labour frais dans le jessout	10.5	P1	20	38.4	78.2	-	-	32.2	32.2	0	0	0
		P2	31	60	-	-	-	28.3	24.5	12.8	6.9	0
		P3	122.4	-	-	-	-	30.6	15.4	52.7	49.8	479
		Total	-	-	-	-	-	89.1	72.1	21.8	18.9	479
Labour Wischmaier	2	P1	19.0	30	81.2	51.6	-	48.2	38.4	43.3	20.3	201
		P2	81.2	81.6	30	48.2	-	19.4	10.9	47.4	43.5	0
		P3	29.8	84.2	-	-	-	27.1	24	28	11.2	0
		P4	119.2	-	-	-	-	29.8	3.8	92.5	87.9	402
		Total	-	-	-	-	-	124.5	78.9	52.9	40.7	603
Touffes de végétation d'alfa avec microbuttes	5.5	P1	20	29.6	84	-	-	33.1	18.5	47.4	44.1	188
		Total	-	-	-	-	-	33.1	18.5	47.4	44.1	188
Croutes de balance + T Végétale peu dense	11%	P1	20.1	29.6	84	-	-	33.4	15.6	56.7	53.4	279
		P2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		P3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Total	-	-	-	-	-	33.4	15.6	56.7	53.4	279
Sol battu au	9%	P1	20.7	30.1	80.4	-	-	32.7	11.9	76.2	63.6	345
		P2	42.2	29.7	55.2	-	-	27.5	8.7	73.0	68.2	327
		P3	129.0	-	-	-	-	32.2	3.2	92.9	90.1	395
		Total	-	-	-	-	-	90.5	23.8	78.7	113.8	1367
Croute de balance + Végétale peu dense	6.5%	P1	20.4	30.5	81.2	-	-	32.6	22.7	30.8	30.5	182
		P2	31.4	59.2	-	-	-	25.3	9.5	68.3	62.4	97
		P3	122.4	-	-	-	-	30.8	5.1	89.7	82.2	549
		Total	-	-	-	-	-	88.5	37.3	62.2	58.7	828



Troglodyde 15 m de profondeur

VUE DE LA MONTÉE
NORD-OUEST ET SUD-OUEST

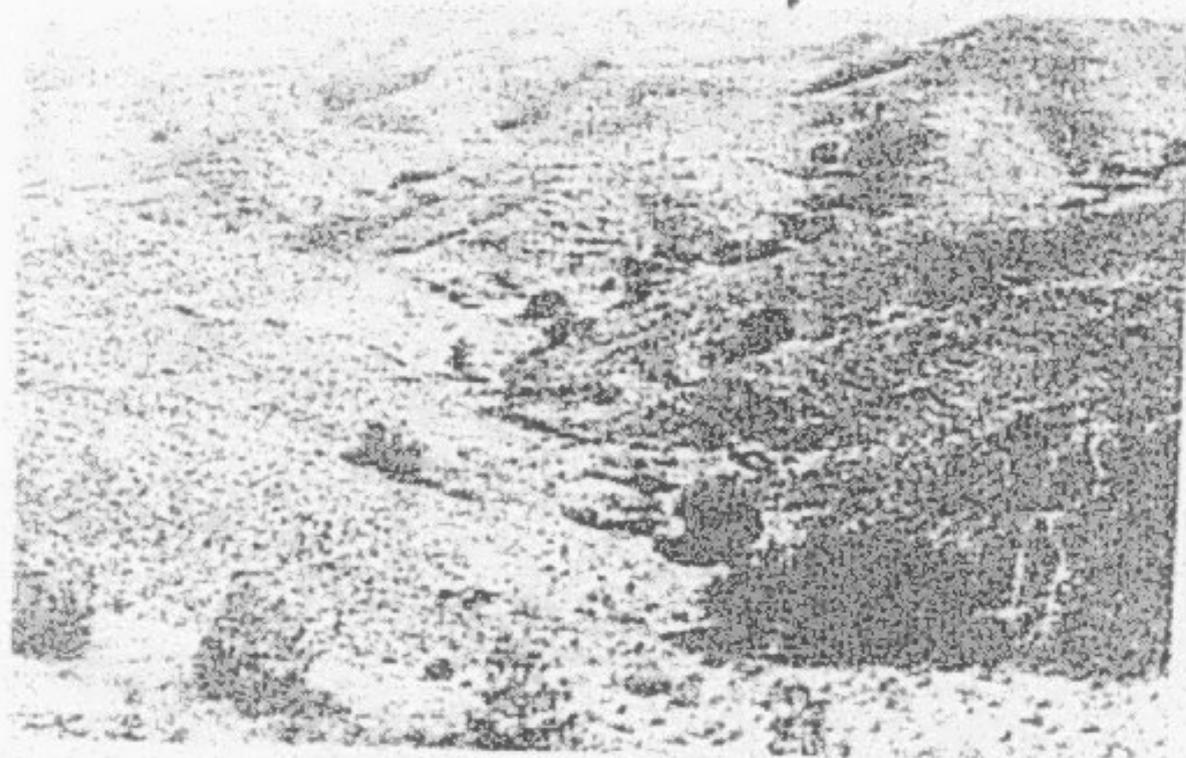


Tableau n° 22 : Réaction de la couverture végétale après la pluie Pl.

TYPE	COUVERTURE AU SOL	INFILTRATION (mm)	RUISSELEMENT (Ev)	OBSERVATIONS
T1	Bonne	18.5	44.1	Les feuilles qui restent
T2	Faible	13.6	13.4	Absen de la terre
T3	Faible	22.7	36.5	Faible pente

Tableau n° 23 : Labour et battance : Effet sur l'infiltration le ruissellement - l'érodabilité

ETAT DE SURFACES		INFILTRATION		RUISSELEMENT		EROSIBILITE (g/ha)	EVOLUTIONS LABOUR FRAS DANS LE JESSOUR PAR RAPPORT AU COURTE DE BATTANCE	
		W (mm)	K ₁₀ (%)	L ₁₀ (mm)	K ₁₀ (%)		INFILTRATION	EROSIBILITE
Sol non labouré	Courte de battance de pente 20%	16.2	84.5	72.4	76.7	582	-	-
Sol labouré	Labour Rats dans le jessour de pente 10.5%	72.1	21.8	17.8	18.3	678	48	17.6

A- La pluie est donnée par le rapport entre les valeurs de l'infiltration et les intensités de pluies. Elle atteint 20 % (croûte de battance à 20% de pente) et 80 % au labour.

B- L'érosion exprimée sur 1m² varie de 0,188 tonne à 1,73 tonne à l'hectare et l'infiltration de 76,9 mm à 18,3 mm (labour Wischmeier et croûte de battance à 20% de pente) avec une averse de 80 mm/h. Cette variation est liée essentiellement à l'organisation superficielle et la couverture du sol et à l'état hydrique initial.

C- Il s'ensuit que le stock d'eau des différents sols, en fonction de leur état de surface 24h après la première pluie, est de l'ordre de 45 mm pour l'état 9 (labour Wischmeier) et de 25 mm pour l'état 3 (croûte de battance à pente 20%). Rappelons que la réserve totale du sol de jessour est de 112 mm (fig 5) et que les valeurs des différents profils hydriques des 9 états de surface donnent seulement l'aspect comparatif.

D- Les fortes averses n'engendrent pas a priori de fortes infiltrations. En effet, ce sont les pluies d'intensités inférieures à 60 mm/h qui sont les plus bénéfiques.

E- Le ruissellement donné par le coefficient Kru (tableau n° 21) est de 79,7% (état 3). C'est une valeur forte. La plus faible est celle enregistrée sur labour traditionnel (encore plus faible que celle sur labour Wischmeier, peut être parce qu'on a appliqué une pluie de 120 mm/h)

De même, le ruissellement maximum est aussi, en fonction des état de surface du sol, associé à la pente, à l'état hydrique de départ (comme nous l'avons déjà signalé) et à la technique culturale. Ainsi d'après le tableau n° 23, il apparaît qu'un labour traditionnel d'un sol sec ne favorise pas le ruissellement contrairement au labour Wischmeier standard.

F- L'occupation végétale de la surface du sol a des conséquences directes sur le ruissellement. A des pentes assez rapprochées nous trouvons des valeurs d'infiltration et de ruissellement différentes. Ainsi, il ressort que les feuilles et la partie aérienne du végétal joue le rôle "d'imphvium" (voir tableau n° 22)

G- L'érosion, en étroite relation avec le ruissellement superficiel, est exprimée par le détachement des agrégats et micro-agrégats du sol en particules transportables sur un mètre carré. A partir des données du tableau n° 21, nous remarquons qu'il n'existe pas une relation directe entre l'importance du ruissellement et la quantité de sol érodé.

Aussi, si nous considérons les deux états de surface : labour traditionnel et croûte de battance à 20% de pente, nous trouvons pour le dernier état un Kru 79,7% et une érodibilité de 582 Kg/ha contre un Kru 18,9% et une érodibilité de 479 Kg/ha pour le premier état.

A l'échelle du mm ruisselé, nous avons 8 Kg/ha érodés pour le 2eme cas contre 28 Kg/ha pour le premier cas d'où 3,5 fois de plus.

La croûte de battance est-elle mieux placée par rapport au labour lors de fortes pluies pour ces types de sol ?

Tous ces processus d'érosion et d'accumulation sont confirmés à l'échelle du jessour par l'importance de l'alluvionnement à l'aval en fonction du temps (des années pluvieuses).

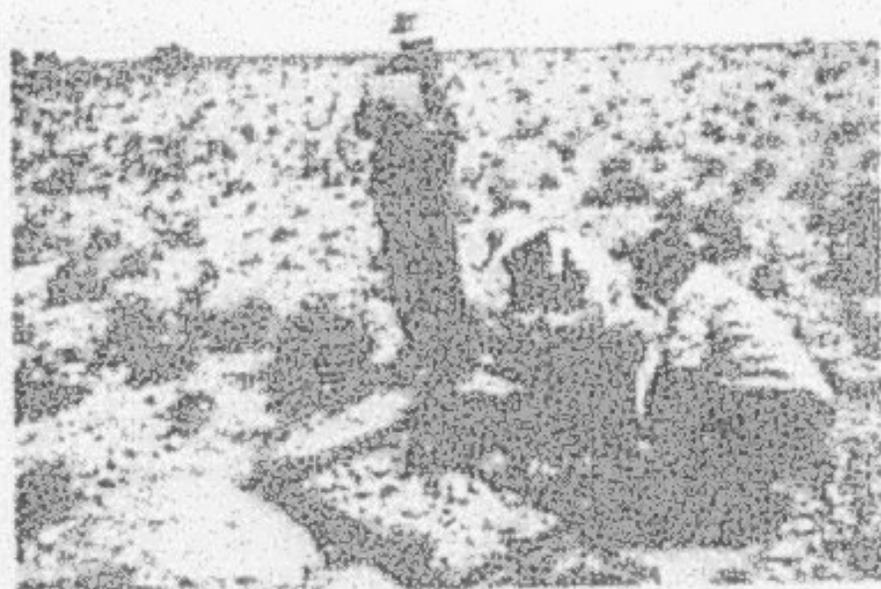
LA CAMPAGNE DE SIMULATION DE PLUIE
 A HASSI AMOR (Médénine)
 mai 1991



Vue générale du site de simulation



Le profil pédologique. Sol bruno
 subtropical trouqué sur croûte
 Villafranchienne



La mesure des états de surface sur la piolette IRAM₁
 (méthode points quadrats)



La tour de simulation, l'alimentation
 en eau, le limnigraphe sur la cote de
 mesure du ruissellement



La piolette IRAM₁ (1m²) sous l'averse simple

CONCLUSION

Malgré une observation et un suivi sur 1 m² d'espace et qui restent tout de même limités à des situations ponctuelles dont il faut se méfier pour une extrapolation (MTIMET et al. 1987), nous soulignons que l'étude a permis dans une large mesure et selon des sites comparatifs très représentatifs, de montrer l'importance de l'état de surface sur le fonctionnement hydrique des sols de jessour : infiltration- ruissellement et érosion.

En outre il apparaît :

1- L'importance du ruissellement sur l'état de surface (croûtes de battance) et le rôle important de la couverture végétale,

2- L'impact du labour traditionnel sur la bonne infiltration et l'augmentation du stock hydrique des sols,

3- L'érosion, en étroite relation avec le ruissellement sur un état de surface battant et sans couverture végétale.

4- Il se confirme que les sols sur un matériau loessique (région des Matmata et ses proches bordures) présentent à l'état naturel une surface battante suite à une réorganisation superficielle des particules sous l'impact des gouttes de pluie et des processus humectation-dessèchement (MTIMET, 1983, 1986), que ces sols ont une faible rétention en eau et qu'ils se liquéfient facilement.

Il est à rappeler que les ouvrages hydrauliques (tabias) sont réalisées à partir de ce matériau, par compaction.

5- Vu toutes les caractéristiques précédentes, il s'avère indispensable de respecter la surface agricole derrière l'ouvrage ; les extensions périphériques ne font qu'augmenter les menaces de cassure de l'ouvrage hydraulique.

6- Les nouveaux travaux de construction et de consolidation des ouvrages doivent tenir compte de :

- la pente générale,
- la superficie agricole exploitée, pour mieux cerner les hauteurs d'eau lors de fortes averses,

- des caractéristiques physiques et géotechniques du matériau utilisé. Peut-on utiliser la margine dans ces ouvrages? L'expérience est déjà lancée dans un secteur des environs de Matmata Nouvelle (Thoukkara) pour des essais et des tests de suivi sur le comportement des ouvrages de petites hydrauliques vis à vis du ruissellement.

PARTIE III

SYNTHESE ET RECOMMANDATIONS

Synthèse

Les résultats apportés par ces campagnes sont bénéfiques, surtout pour le maintien de la terre, l'amélioration des rendements, la prévention de l'envasement des barrages, le maintien de la fertilité du sol et, par conséquent, le rétablissement écologique de la zone. L'analyse de ces aspects à l'échelle des parcelles testées lors des campagnes montre que le ruissellement et l'érosion sont des processus complexes qui dépendent de l'interaction de différents facteurs.

LES FACTEURS D'ORDRE PEDOLOGIQUE : PROFIL TEXTURAUX ET STRUCTURAUX.

Dans certaines régions septentrionales, la faible évolution pédologique est due essentiellement aux facteurs suivants :

- érosion intense
- milieu lithologique peu altérable

La mise en place récente par alluvionnement ou colluvionnement montre que si l'érosion est intense, le phénomène de décapage est plus rapide que la pédogenèse.

D'autre part, la couche humifère qui est définie essentiellement par son épaisseur et sa teneur en matière organique, joue un rôle très important dans le phénomène d'érosion. Quand cette couche est mince le taux d'infiltration diminue et l'érosion augmente. De même, quand cette couche arable mince est labourée, on a un mélange avec une teneur en matière organique réduite ; les sols sont alors moins stables et l'on favorise ainsi l'érosion. Donc, plus la couche humifère est mouillée plus l'érosion est intense.

Dans les régions formées de matériaux hétérogènes, le décapage superficiel peut entraîner la mise à nu de la roche mère. Sur la roche dure, l'altération est très réduite. Sur les calcaires cristallins ou dolomitiques on observe une patine généralement claire enrobant des gros blocs plus ou moins fissurés, rendant l'infiltration facile.

Les grès présentent une pellicule d'altération et une bonne aptitude à l'absorption de l'eau.

Sur roche tendre, marne, calcaire marneux et argile, la roche est désagrégée, fragmentée en petits éléments. On observe souvent des glissements de lits marneux. Dans certains dépôts, on constate la présence de taches, d'amas de calcaire ou d'oxyde de fer sans qu'il soit toujours possible de leur attribuer une origine pédologique.

Les sols argileux sont les plus stables : les agrégats d'argile sont plus difficiles à détacher que ceux du sable, mais vu leurs faibles dimensions, il sont plus faciles à transporter.

Sur les sols peu évolués, le ruissellement observé est très élevé, l'érosion est sous forme de ravinement. Il est préférable que ces sols soient plantés en arbres (pommiers, poiriers).

Les vertisols, soumis à l'érosion et à un mauvais travail du sol, offrent un relief faiblement ondulé avec des pentes douces ; dans ces unités, le drainage est toujours défectueux. Ce type de sol convient à la production céréalière et annuelle.

Les sols minéraux bruts d'érosion : la grande partie de ce type de sol est formée de terre rocheuse composée de roche calcaire dure mise à nu. La surface calcaire est parfois usée et contient de nombreuses fissures "marmites torrentielles et fosses de dissolution". Le sol argileux résultant de la décomposition des matériaux d'origine, comble les fissures et les marmites torrentielles et c'est sur ces parties seulement que l'on trouve de la végétation. Sur ce type de sol squelettique formé de calcaire dur, le ruissellement est très rapide.

- Les glaciers limoneux des régions méridionales perdent jusqu'à 2 fois plus d'eau que la steppe sableuse en bonne état.

- Les sols sur un matériaux loessique (région de Matmata et de ses proches bordures) présentent à l'état naturel une surface battante suite à une réorganisation superficielle des particules sous l'impact des gouttelettes de pluie et des processus d'humectation. Ces sols ont une faible rétention de l'eau et se liquéfient facilement.

FACTEURS D'ORDRES MORPHOLOGIQUES

1. Etat de surface (rugosité, pellicule de battance, couvert végétal).

La pellicule de battance se forme d'une façon plus facile sur les sols limoneux associés à des argiles gonflants qui se colmatent ; elle bouche les pores, empêche l'infiltration et entraîne une érosion importante. Parfois cependant, le taux d'argile entraîne une bonne structure (pourcentage de vides agrégats élevé) et une bonne rugosité ; mais au dessous d'un certain seuil ce taux provoque une imperméabilisation relative du sol.

2. La rugosité : une texture fortement graveleuse et caillouteuse de l'horizon de surface présente une importante microporosité et une bonne infiltration.

C'est pour cela que le labour profond qui engendre la formation de grosses mottes et des microcavités favorise une bonne pénétration de l'eau et une bonne alimentation des plantes. Cependant, la destruction de ces agrégats peut entraîner la libération d'éléments fins qui bouchent les pores et engendre le ruissellement.

3. La pente.

Longueur de la pente : Pour Wichmeier, c'est la longueur du point où un ruissellement commence à apparaître sur le versant ; au point le plus bas du versant, il se produit un atterrissement de matériaux. Lorsque l'eau tombe le long de la pente d'un versant, on a une plus forte perte de sol en aval qu'en amont.

Ainsi, le ruissellement cause plus de perte de sol sur les pentes longues que sur les pentes courtes surtout si le sol est dépourvu de couvert végétal.

Raidéur de pente : la raidéur de la pente est l'un des principaux facteurs de l'érosion. En effet, par l'énergie qu'elle communique aux eaux de ruissellement, la pente est un facteur moteur de l'érosion.

Courbure de la pente : sur les pentes convexes, la vitesse de ruissellement augmente vers le bas et, par conséquent, l'horizon de surface de la partie la plus raide de la pente finit par être enlevé facilement.

Sur les pentes concaves, la sédimentation l'emporte sur l'érosion. Ces dépôts sont constitués de particules fines de l'horizon de surface, ce qui se traduit par le fait que la zone de dépôts (peu concave) soit la plus riche du versant, surtout en argile et en matière organique (Tregubov, 1982).

FACTEURS D'ORDRE METEOROLOGIQUE : Intensité et durée des averses et l'importance des périodes sèches et humides.

I. Exploitation statistique de Dissimul : les paramètres des sols de l'infiltration et de l'érosion sur placettes expérimentales.

Le traitement statistique paraît indispensable dans ce genre de travail où les données sont nombreuses et variées. Il se fait en associant Dissimul avec le programme d'analyse statistique Statgraph. Ce programme offre une multitude de méthodes d'analyse telle que : corrélation simple, multiple, analyse de variance, traçage des histogrammes.

Les variables testées.

Le problème qui se pose est le choix des variables à corréler : comment arriver à établir des équations significatives qui donnent vraiment une idée des phénomènes d'infiltration, d'érodibilité relatifs à tel type de sol, tel type d'occupation, telle façon culturale ?

Cette analyse statistique a porté sur les variables suivantes :

Pluie utile (Pu), lame infiltrée (li), % pellicule de battance (batt), rugosité (rugo), couvert végétal (V sol), la végétation aérienne (VEGA), % d'argile + limon (ARLI), % de limon (limo), érosion (ER), érosivité du millimètre d'eau ruisselé (E Ros), indice d'humectation (IK).

Elle a assisté essentiellement à établir des corrélations multiples entre la lame infiltrée par l'érosion et à exprimer la lame infiltrée en fonction des autres variables physiques du sol. Le même procédé est appliqué pour l'érodibilité et l'érosivité.

La sélection de chaque variable se fait selon l'importance relative de son coefficient au niveau de l'équation ; pour cela on fait intervenir le maximum de variables par exemple :

$$Li = a + b(Li) + c(Rug) + d(Vsol) + e(Batt) + x(ER) + y(Eros) + z(IK) + t(Ke)...$$

Ces coefficients (a, b, c, d, e, x, y...) vont être cherchés pour une parcelle dont l'occupation est du type 1 pour les pluies P11, P12, P13, P21, P22, P3T.

Après avoir fait un inventaire et établi une liste de toutes les parcelles testées, on remarque qu'elles appartiennent à des milieux très différents du point de vue écologique et édaphique et présentent des caractéristiques et des aptitudes à l'infiltration et au ruissellement variées qui sont naturellement liées à des composantes du milieu.

Les corrélations multiples seront réalisées grâce à l'établissement d'équations faisant intervenir le maximum de variables mesurées sous les différentes séquences de pluies simulées au moyen du logiciel stratgraphic.

Ainsi, ce traitement statistique permet :

de voir le comportement hydrodynamique des milieux par type d'occupation des sols (voir tab 24) soit :

- parcours (OCCUP = 1)
- jachère (OCCUP = 2)
- culture (OCCUP = 3)
- labour (OCCUP = 4 + 5)

d'établir les équations pour tester les régions à travers le pays en considérant à la fois l'étage bioclimatique et l'état de surface (voir tab 25)

* Les étages retenus sont :

- le subhumide
- le semi-aride
- l'aride supérieur
- l'aride inférieur

de tester les parcelles par type de sol

* les types de sol sur 20 cm sont :

- lithosols
- régosols : sur croûte calcaire ou gypseuse
- sols alluviaux/ colluviaux lourds
- vertisols
- sols bruns steppiques sableux ou sur loess calcaire
- bruns calcires
- sols rouges méditerranéens
- sols halomorphes

II. Interprétation

1. les facteurs conditionnels de la lame infiltrée, l'érosion et l'érosivité par type d'occupation de sols.

Nous fournissons un certain nombre de modèles linéaires de LI, de ER en fonction des variables explicatives par type d'occupation des sols, en croisant les situations bioclimatiques. D'après le tableau n° 24 nous dégagons les observations suivantes et ceci pour des parcelles appartenant à des milieux ayant des états de surface différents.

* La lame d'eau infiltrée

On remarque au niveau de l'équation qui exprime la lame infiltrée en fonction des autres paramètres et pour des valeurs de la pluie utile (PU) > 0, que les coefficients relatifs à la

Tableau n° 24 : ETUDE DE LA LAME INFILTRÉE, DE L'ÉROSION,
DE L'ÉROSIVITÉ DE PARCELLES AYANT DES ÉTATS
DE SURFACE DIFFÉRENTS

	LI	ER	EROS
PARCOURS	LI=1 03E+0 397U+0 155Rugo- 0 1X4E+0 1 0 2056E+0 57IK	ER=37 07 7 52U+7 05PU+1 3Rugo+1 414Bat+ 0 304Vsol+0 727LMO+0 006APU	EROS=1 71+0 383L+0 236PU- 0 117Rugo+0 101Ea+0 00123Vsol
JACHÈRE	LI=0 95+0 56PU+0 105Rugo- 0 00150Bat+0 031Vsol+0 127IK+0 86VEGA	ER=3 276+3 053U+8 099PU+0 855Rugo+0 233Bat+ 0 247Vsol	EROS=1 225+0 393L+0 463PU- 0 07Rugo+0 021Bat+0 042Vsol
LABOURS	LI=2 167+0 363PU+0 229Rugo+0 044Vsol+ 0 0028LMO	ER=73 992 7 81U+7 89PU+1 012Rugo+0 514Bat+ 0 274Vsol+0 28LMO	EROS=0 05+0 417L+0 53PU- 0 167Rugo+0 037APU+0 002LMO+0 0048Vsol
CULTURE	LI=4 17+0 54PU+0 073Rugo- 0 071Bat+0 20048Vsol+0 053IK	ER=1 9 4 855U+5 022PU+0 475Rugo+0 2628Bat+ 0 056Vsol+0 429LMO+0 145APU	EROS=0 53+0 2PU+0 3PU- 0 063Rugo+0 0348Bat+0 009APU+0 002LMO



SUITE EN

F

3



MICROFICHE N°

09596

République Tunisienne

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

CENTRE NATIONAL DE

DOCUMENTATION AGRICOLE

TUNIS

الجمهورية التونسية
وزارة الزراعة

المركز القومي
للتوثيق الزراعي
تونس

F 3

rugosité et à la végétation au sol sont positifs alors que le coefficient relatif à la battance est négatif. Ceci confirme le fait que la rugosité et la végétation sont les facteurs qui favorisent et interviennent le plus dans le phénomène d'infiltration.

La rugosité intervient d'une façon plus importante au niveau du labour que dans les autres types d'états de surface. Aussi le problème de battance ne se pose pas pour les sols labourés.

* l'érosion

Pour les équations qui relient l'érosion aux autres facteurs, les mesures et les calculs effectués permettent une certaine classification en considérant la sensibilité des milieux selon leur occupation .

- Si l'on examine les équations relatives à la quantité de terre exportée par parcelle de 1 m^2 (E_r) on remarque que quelque soit le type d'occupation, plus la lame d'eau infiltrée est importante plus la dégradation et la quantité de terre érodée diminue. Cependant, il est à remarquer que :

- La battance intervient positivement et d'une façon très importante dans le phénomène d'érosion au niveau des parcours,

- la teneur en (argile + limon) favorise l'érosion, le coefficient relatif à l'ARLI au niveau de l'équation de l'érosion est positif, donc plus un sol est de texture fine plus il est sensible à l'érosion, surtout au niveau des parcours et des labours.

La sensibilité à l'érosion hydrique du millimètre d'eau ruisselée $E_{ros} = ER/Lr$ varie dans le même sens que l'érosion.

2. Les facteurs conditionnels influant l'infiltration et l'érosion des sols par type de bioclimat et par type d'occupation des sols.

Des données fournies par ce tableau n° 25 il ressort que l'infiltration et l'érosion sont deux phénomènes complexes qui résultent de l'interaction de plusieurs variables. Chaque milieu ayant une occupation de sol et une texture donnée et appartenant à un étage bioclimatique bien déterminé a un comportement différent face aux averses appliquées.

D'après ce tableau et en examinant également le signe relatif à chaque variable, on peut faire les remarques suivantes pour la plupart des équations :

N.B. pour des valeurs de $PU > 0$

- * l'existence d'une pellicule de battance réduit l'infiltration,
- * la rugosité et un certain type de végétation favorise l'infiltration et s'oppose à l'érosion,
- * plus un sol est argileux et composé d'éléments fins plus il est sensible à l'érosion.

Cependant, certaines exceptions sont également mises en évidence.

Pour le cas des jachères, en milieu subhumide et semi aride, et des parcours, en milieu subhumide et aride supérieur, la rugosité intervient positivement au niveau de l'équation de l'érosion alors que normalement son coefficient devrait être négatif, la rugosité défavorisant l'érosion. Cela peut s'expliquer par le fait que la rugosité peut influencer, selon les cas et de façon opposée, l'érosion.

D'un côté, elle empêche l'érosion par la création de concavités de petites dépressions qui marquent la topographie du sol en retenant l'eau. De l'autre côté, la destruction des agrégats, qui sont à l'origine de cette rugosité, peut entraîner la libération d'éléments fins qui bouchent les pores favorisant ainsi le ruissellement. C'est ce processus qui peut expliquer la liaison positive qui semble être paradoxale entre ER et Rugo.

De même, pour la liaison entre la teneur d'argile + limon (ARL), ce taux joue deux rôles opposés ; d'un côté le taux d'argile favorise une bonne structure (pourcentage de vrais agrégats élevés). Par ailleurs, une bonne rugosité mais au dessus d'un certain seuil ce taux provoque une imperméabilisation relative du sol. C'est le cas de certains parcours dans les milieux subhumides et arides inférieurs.

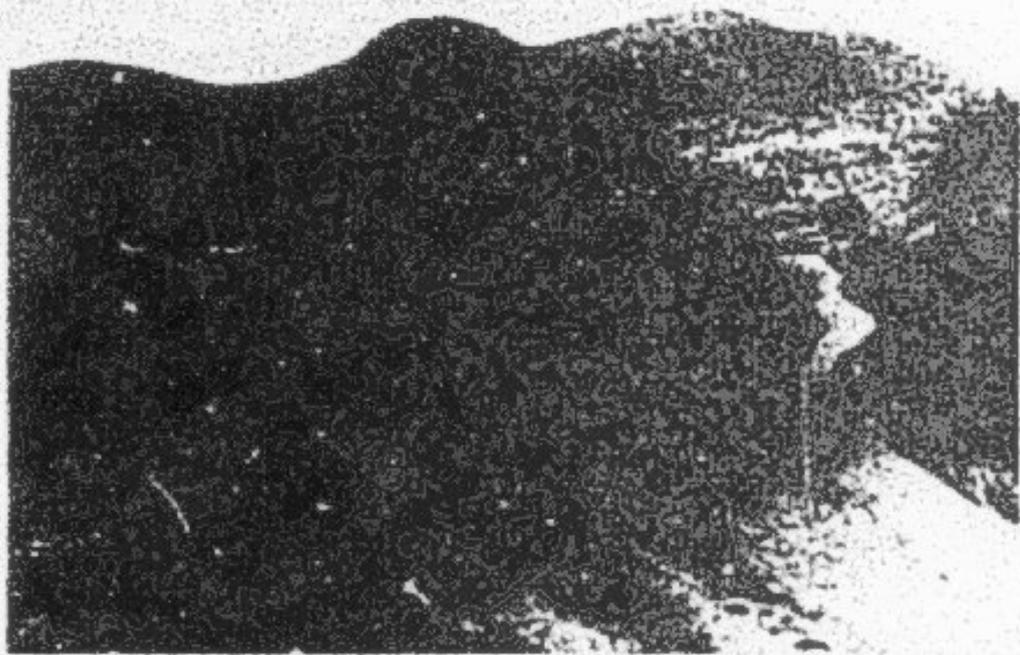
Cependant, dans le cas de certaines parcelles, en particulier les parcours en climat aride inférieur, on remarque un comportement différent de la végétation : négativement vis à vis de l'infiltration et positivement au niveau de l'érosion. Ceci peut s'expliquer par la bonne répartition de cette végétation qui, bien qu'elle soit dense, permet l'établissement de surfaces durcies très répandues entre les touffes qui offrent ainsi moins d'obstacles à l'écoulement.

A la lumière des résultats obtenus par cette méthode, on remarque qu'il n'est pas toujours nécessaire de recourir à des techniques sophistiquées et coûteuses pour obtenir des données intéressantes et surtout pratiques concernant une situation naturelle. Même si l'apport de cette méthode de simulation de pluies ne résout pas d'une façon directe le problème de l'érosion, il nous permet de constituer un ensemble de données nécessaires et primordiales pour toute opération et intervention dans une région faisant l'objet d'un projet d'aménagement et de lutte anti-érosive ou de construction de barrage et des travaux de conservation de l'eau et du sol.

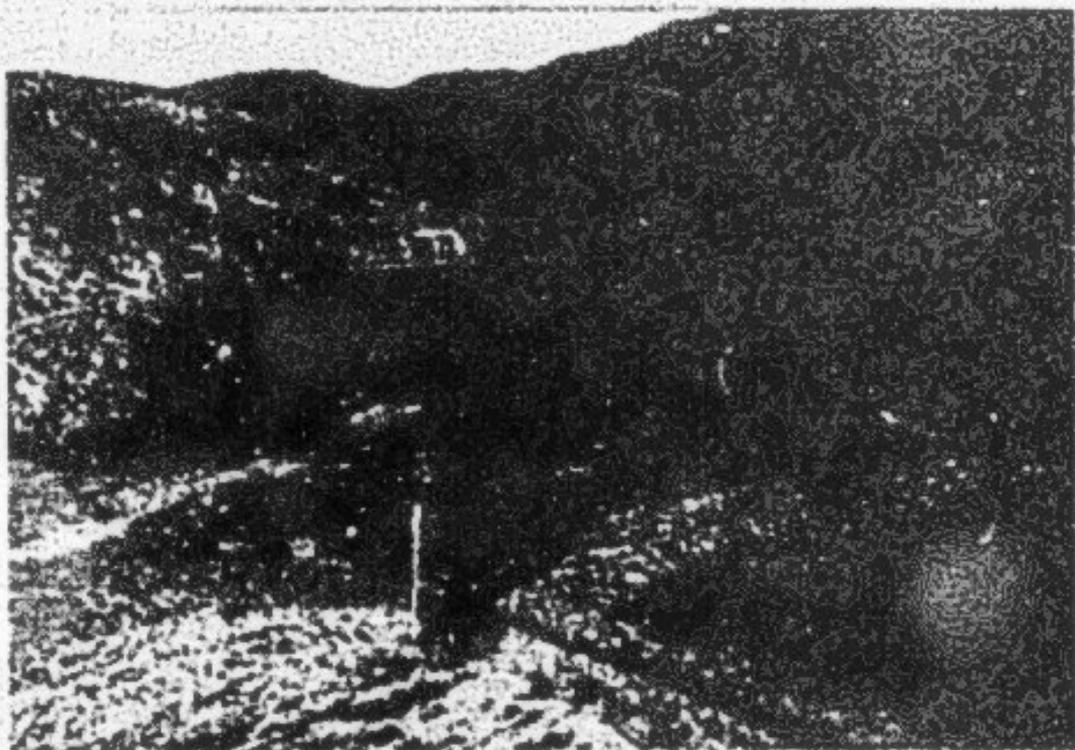
C'est pour faire le point sur cette nouvelle approche qu'il nous a paru utile de présenter les données accumulées par cette méthode. En effet, les aspects étudiés sont multiples et importants :

- * La connaissance des matériaux les plus sensibles à l'arrachement.
- * La connaissance du comportement hydrique des différents types de sols et leurs occupations vis à vis des intensités de pluies.
- * La détermination et la fixation des normes d'irrigation par aspersion (économie de l'eau)
- * Etude du lessivage des sels : l'analyse chimique de la quantité de terres érodées donne une idée sur la nature et la quantité de sels dans le sol.

109
Rôle des ouvrages de petites hydrauliques : Jessoir dans la
la rétention de l'eau et du sol dans le sud Tunisien.



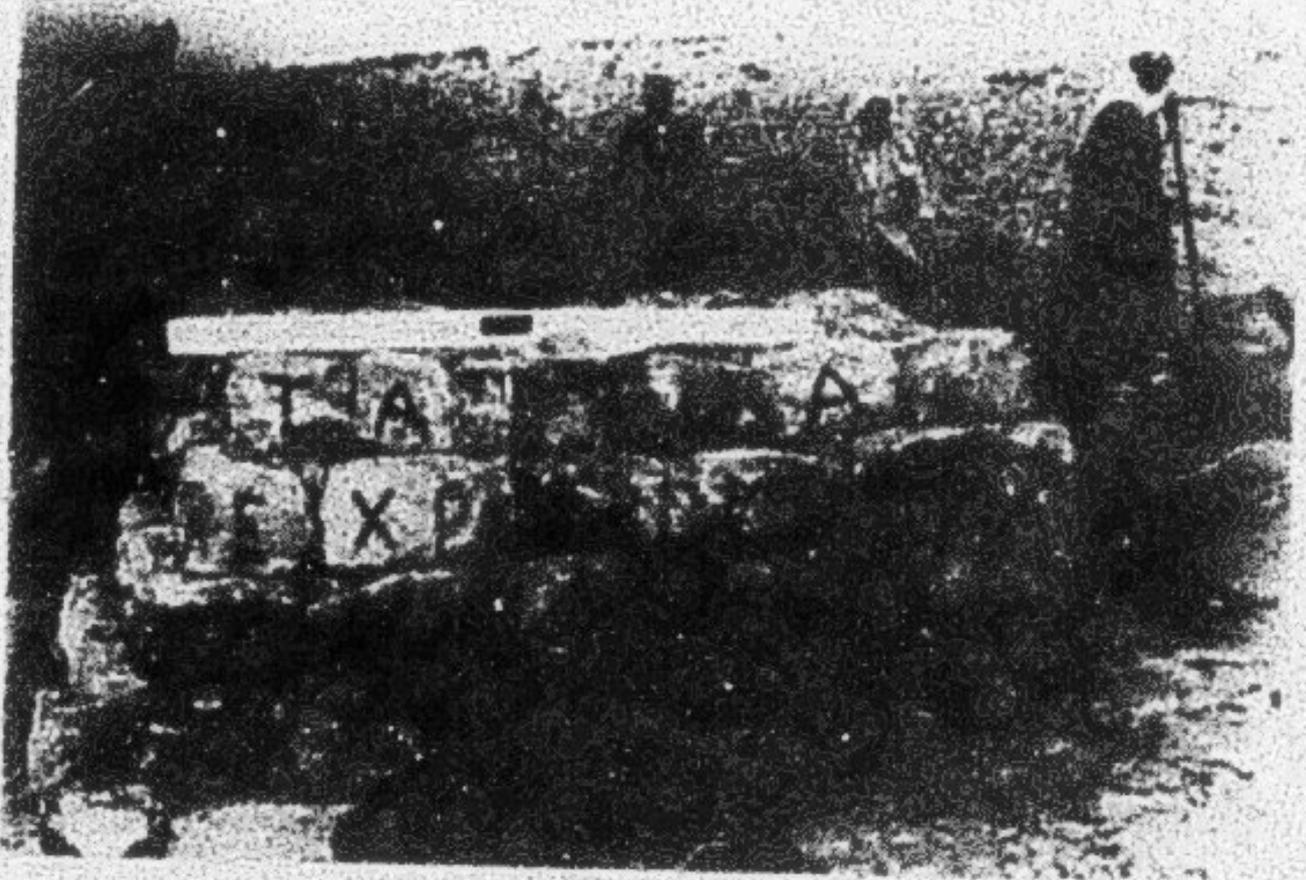
Ouvrage de petite hydraulique (Région de Matmata)

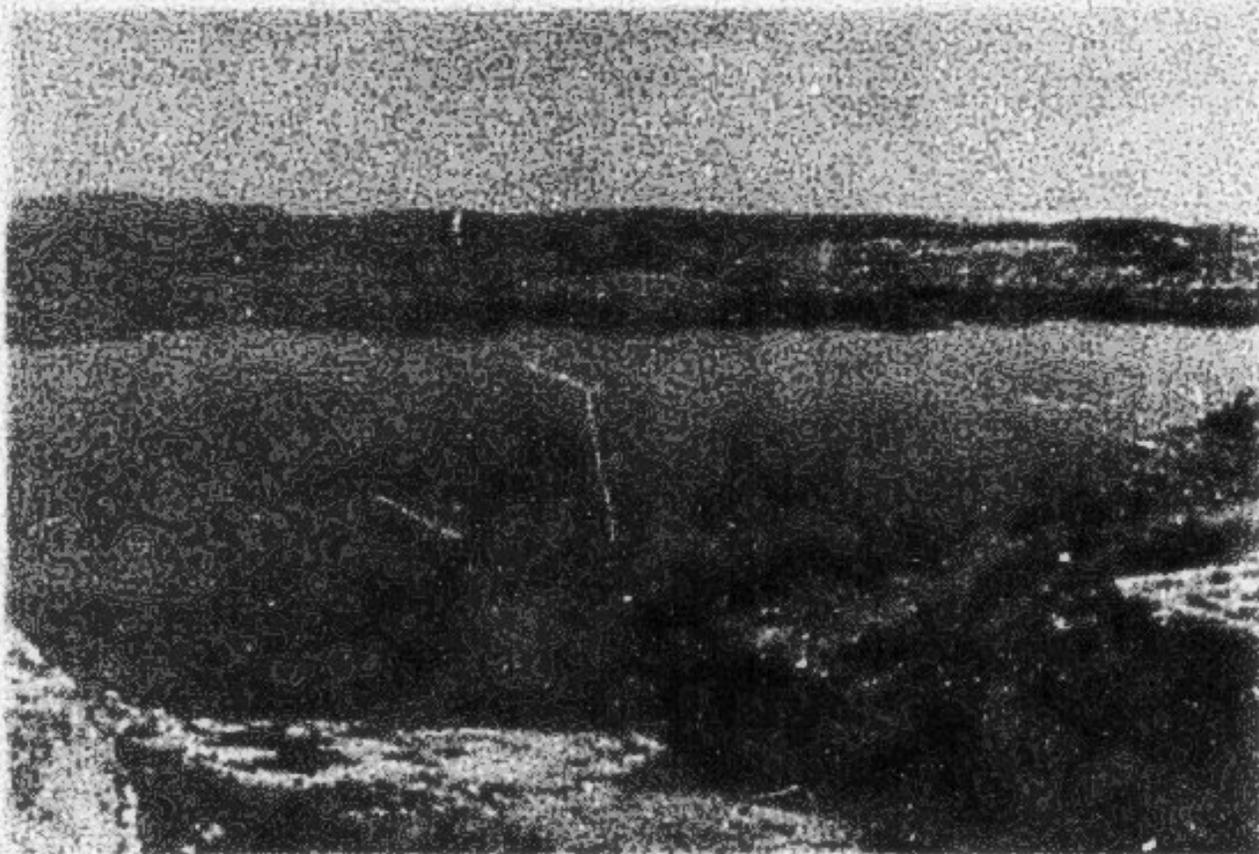


Une tabia bien conservé.



Utilisation de la margine pour la construction de Tabia.

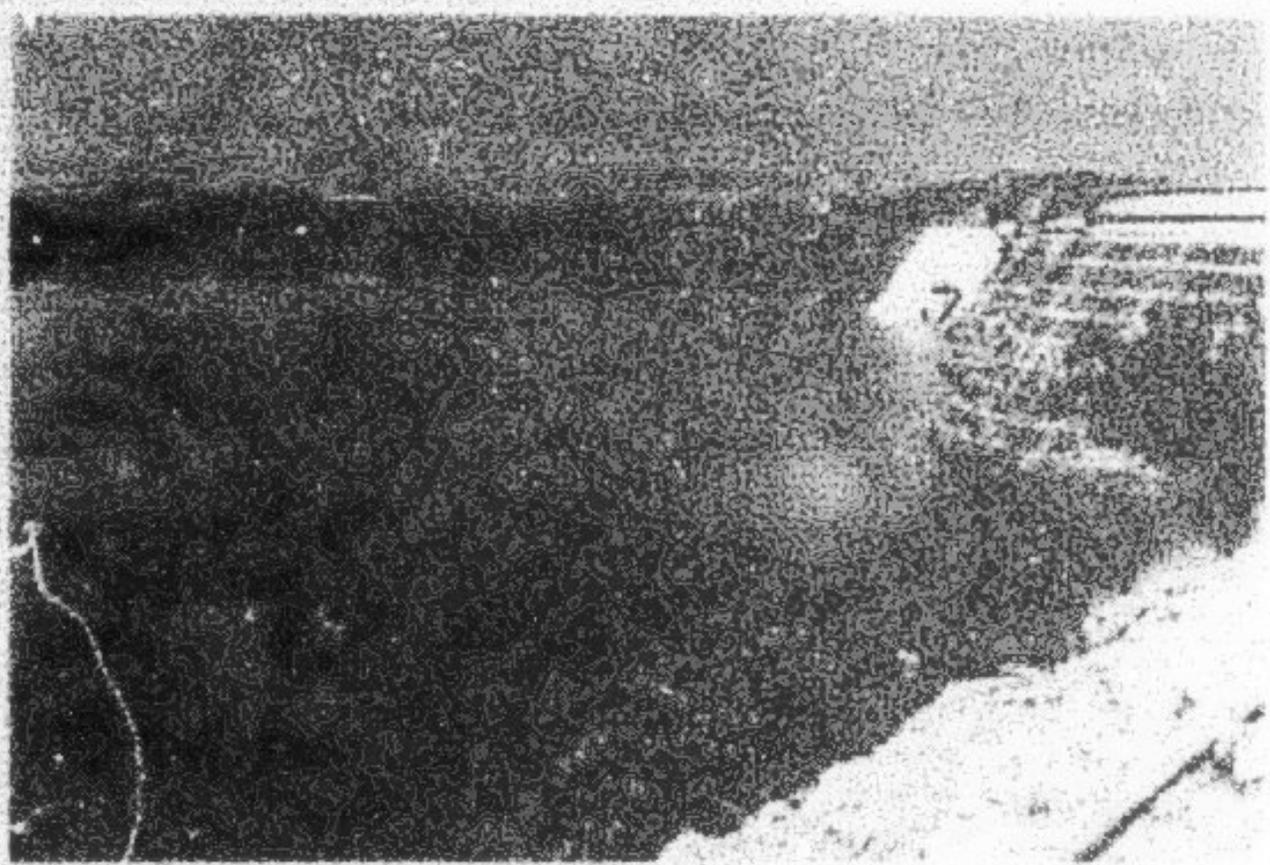




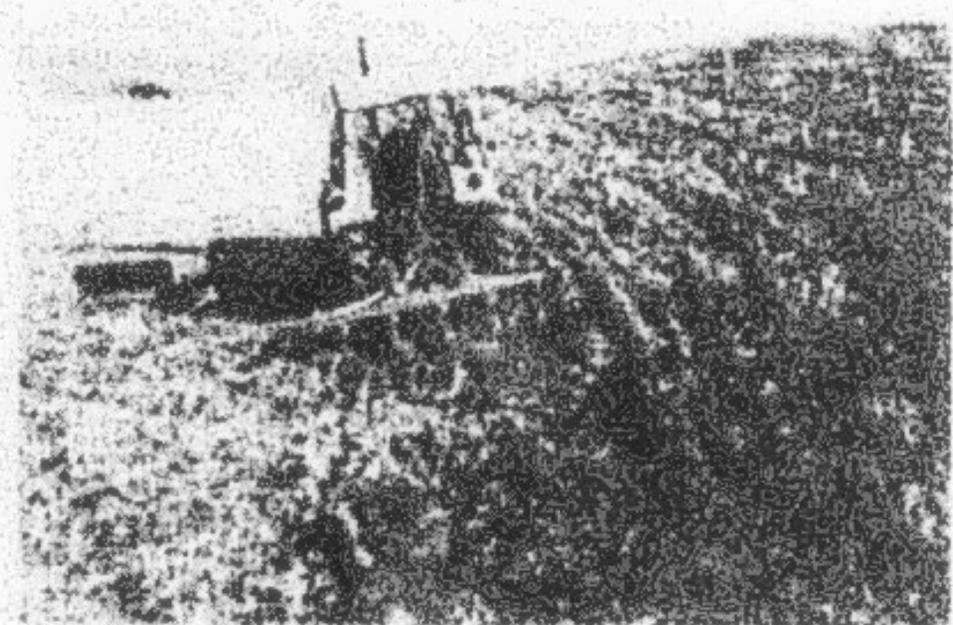
Lac collinaire Yahbou (Siouana).



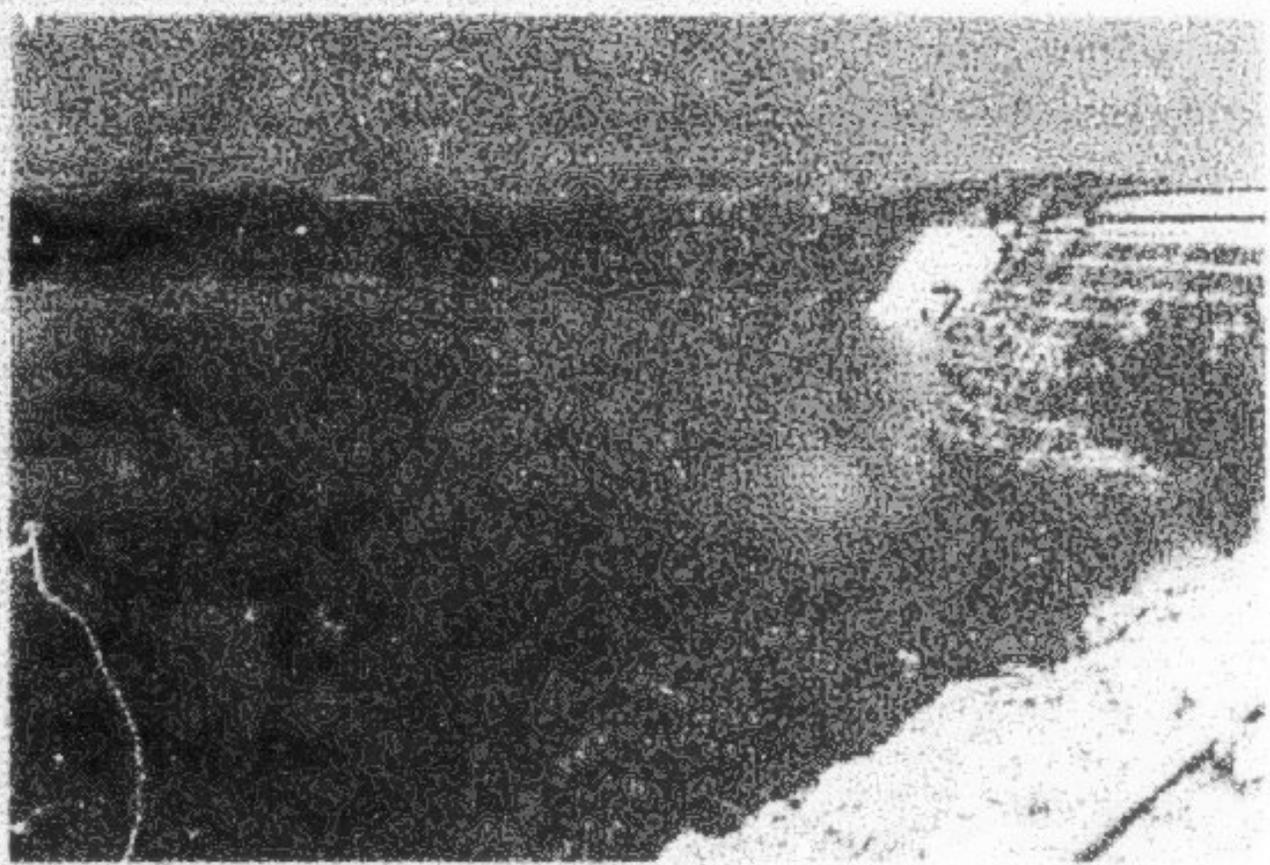
Basin versant déboisé et érodé.



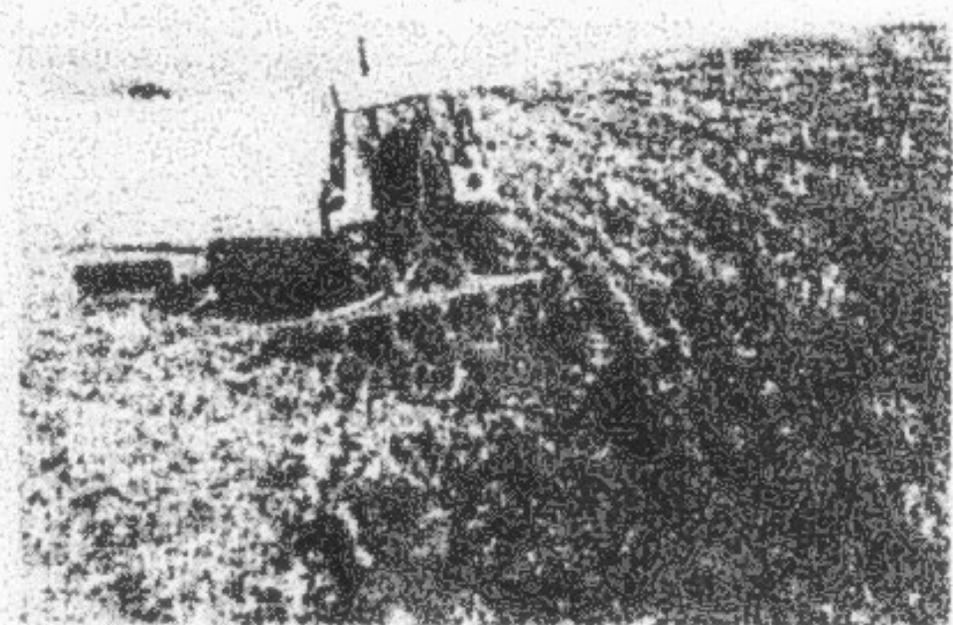
Barrage N. Mullé



Travail de sol pour l'amélioration du
état hydraulique d'une dérivation



Barrage de Mallepau



Travail de sol pour l'installation de
station hydroélectrique à une altitude de 1500 m

- * L'étude de l'effet des façons culturales et des cultures pratiquées sur le transport solide.

- * L'étude de la réaction des versants marneux et sableux vis à vis des différentes intensités de pluies.

- * L'étude de l'effet de la mise en défens en climat aride sur la protection des sols.

- * Le bilan de ces résultats permet également de comparer les différents bassins versants en ce qui concerne la dégradation de leurs sols et d'en déduire un choix raisonné des priorités d'intervention des projets de lutte anti-érosive et des travaux de conservation des eaux et du sol et la conservation des bordures des lacs collinaires.

- * La quantification et la mesure de l'érosion sur la bordure de ces lacs.

Ainsi, les mesures réalisées durant les campagnes de simulation ont permis d'une part la création d'une banque de données, d'autre part l'établissement de relations qui expriment la lame infiltrée en fonction des autres variables du milieu. Il en est de même pour l'érosion.

Toutefois, les formules définies, bien qu'ayant été établies sur un nombre de parcelles non négligeable, demandent encore à être précisées pour pouvoir espérer généraliser les résultats au niveau de certaines régions de la Tunisie centrale et du Sud.

Encore faudra-t-il multiplier le nombre de parcelles testées par cette méthode de mesure, surtout dans les zones où il y a une manque de données (zones aride inférieur et aride supérieur).

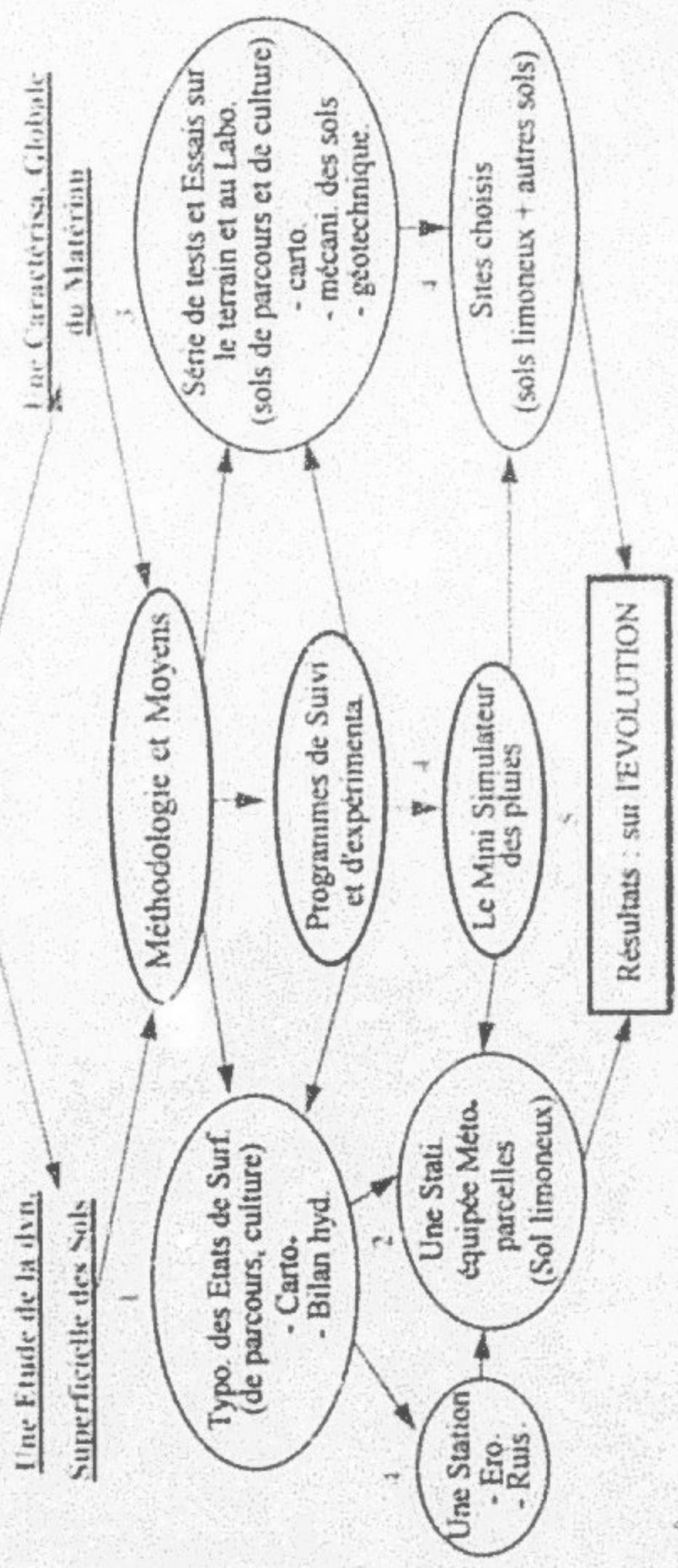
Ces opérations devraient également s'appuyer sur les reconnaissances pédologiques (textures, structures) et celles des états de surface.

Ainsi, si un nombre plus important de relations est établi, il serait possible de dresser des cartes d'aptitudes à l'infiltration, des cartes d'érodibilité des terres qui pourraient orienter les travaux des aménagistes et utilisateurs du milieu rural.

IMPACT DE L'EROSION HYDRIQUE SUR LES SOLS (LES ACTIONS)

المسوحات الهيدرولوجية العالمية

Mittel, SO



- Productivité du Milieu
 - parcours semés
 - cult. annu. aléas
- Techniques d'Arrègement
 - façon cultu. à précip.
 - ouvrages ratios
- Caractéristiques Géométriques des sols
 - 5 A - Structure des sols
 - 5 B - Répartition des horizons
- Méthodologie
 - cartographie
 - géologie
 - géotechnique
 - pédologie
 - pédologie
 - pédologie
- Caractéristiques Géométriques des sols
 - 5 A - Structure des sols
 - 5 B - Répartition des horizons
- Méthodologie
 - cartographie
 - géologie
 - géotechnique
 - pédologie
 - pédologie
 - pédologie

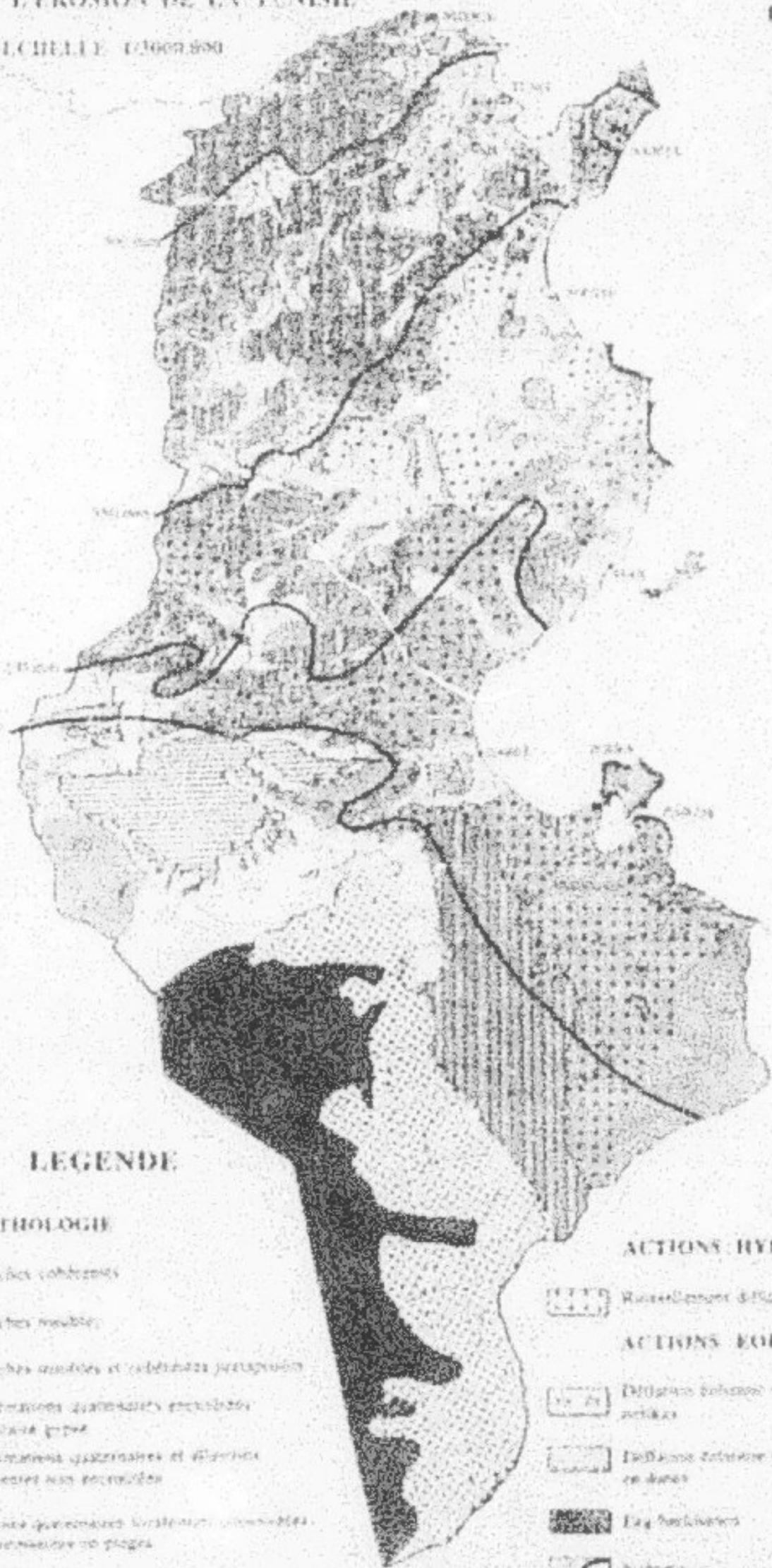
دراسة التربة في الموقع

التربة

CARTE DE L'ÉROSION DE LA TUNISIE

1994

ÉCHELLE 1/1000.000



LEGENDE

LITHOLOGIE

-  Roches carbonées
-  Roches molles
-  Roches quaternaires et carbonées perturbées
-  Formations quaternaires recouvertes d'alluvions récentes
-  Formations quaternaires et alluvions récentes non recouvertes
-  Dunes quaternaires littorales, méditerranéennes et rhénales en progrès
-  Cuviers littoraux

ACTIONS HYDRIQUES

-  Rassemblement de filons, drainage, rivières

ACTIONS ÉOLIENNES

-  Défilants éoliens et accumulation de sables
-  Défilants éoliens et accumulation en dunes
-  Eau souterraine
-  Salinité

LISTE DES CARTES

	Pages
Carte N° 1 : carte des régions climatiques.	12
Carte N° 2 : carte des précipitations en mm.	12
Carte N° 3 : carte pédologique de la Tunisie	15
Carte N° 4 : carte de distribution de l'occupation de l'espace	18
Carte N° 5 : carte de répartition du taux de perte en terre de la F.A.O.	29
Carte N° 6 : carte de l'indice de Fournier modifié	30
Carte N° 7 : carte de l'indice de concentration des précipitations	30
Carte N° 8 : carte de l'érosion du Nord de la Tunisie	33
Carte N° 9 : exemple d'application de la nouvelle méthodologie de cartographie basée sur les approches prédictives et descriptives	34
Carte N° 10 : carte de localisation des campagnes de simulation.	36
Carte N° 11 : carte de l'érosion de la Tunisie (actualisée)	

Références Bibliographiques

- 1- ABDALLAH R., CAMUS H., RAJHI A., 1990 - Evaluation de l'impact de travaux anti-érosifs. Résultats de la deuxième campagne de mesures sur les micro-bassins de tebaga (région de Sbeitla), DGRE.
- 2- AGREBAOUI S., ATTIA R., DRIDI B., MTIMET A., 1995 - Cartographie de l'érosion des bassins versants Jbel Dyr El Kel et Jbel Kecherid région du Kef. ES 278, D/S.
- 3- ASSELINE J., ESCADAFAL R., MTIMET A., 1989 - Etude expérimentale de la dynamique superficielle d'un sol aride (Bir Lahmar- Sud Tunisien) D/Sols.
- 4- ASSELINE J., ESCADAFAL R., MTIMET A., 1989 - Infiltromètre à aspersion. Dépeillement des données de terrain par micro-ordinateur, DS.
- 5- ASSELINE J., BAHRI A., HENTATI A., MTIMET A., PONTANIER R., 1989 - Contribution à l'établissement de normes édaphiques et hydriques à l'aide de la simulation de pluie en vue du développement d'une agriculture, Tunisie aride, Bulletin N° 14, D/Sols.
- 6- ATTIA R., MTIMET A., et AGREBAOUI S., 1995, Etude de l'érosion hydrique en milieu semi-aride méditerranéen (apport de la cartographie dans la caractérisation et la prévision de l'érosion hydrique - Congrès Sciences de la terre - Tunis -
- 7- BADRI N., 1989 - 1990 - Définition des normes d'irrigation par Espersion en fonction du type de sol et de l'état phénologique de la culture à l'aide de l'infiltromètre à Aspersion.
- 8- BAHRI A., PONTANIER R., DRIDI B., 1989 - Conséquences des façons culturales en fin de saison sèche sur le régime hydrique et l'érosion des terres du Kairouanais . DS.
- 9- BAHRI A., HENTATI A., MTIMET A., PONTANIER R., 1989 - Etude de l'érodibilité des variables physico-hydriques et du fonctionnement hydrique des terres cultivées en vue de l'établissement de documents cartographique. Bulletin N° 14, D/Sols.
- 10- BAHROUNI M., 1987 - Etude de l'hydrodynamique des sols et de l'érodibilité des terres soumis à des averses contrôlées (U.C.P.O. Lanmeur Bèjà). Mémoire de fin d'études, ESIER.
- 11- BANNOUR H., 1979 - Etude géomorphologie de quatre sous B.V. du barrage de Sidi Salem (Oued Ben Agil, Oued Sioud Hourra, Oued Djebel Giutounet et Oued El Maiz) DRES.
- 12- BANNOUR H., 1981 - Les manifestations de l'érosion hydrique dans les régions de Kasserine . DRES.
- 13- BANNOUR H., 1983 - Etude de l'érosion de Tell el Ghozien cartographie de l'érosion potentielle. DRES.
- 14- BANNOUR H., BONVALLOT J., DIMANCHE P., HAMZA A., HENTATI A., 1980 - Etude de l'érosion en Tunisie Nord et du Centre . DRES.
- 15- BANNOUR H., BONVALLOT J., HAMZA A., 1981 - Erosion et aménagement anti-érosif d'un bassin versant de la Tunisie Centrale. L'Oued el Foul. DRES.

- 16- BANNOUR H., HAMZA A., BONVALLOT J., 1981 - Problèmes de l'aménagement anti-érosif d'un bassin versant de la Tunisie Centrale le cas de l'Oued el Foul. DRES.
- 17- BEL AID R., 1965 - L'inondation de Zarzis du 31 Décembre 1964 au 1er Janvier 1965. Les conséquences géomorphologique.
- 18- BEL AID A., 1967 - Notice de la carte de l'érosion en Tunisie au 1/500.000. Service Pédologique.
- 19- BEL AID R., 1968 - Etude géomorphologique pélerinaire des principaux Oueds du Cap-Bon.
- 20- BEL AID R., 1969 - Notice de la carte de l'érosion en Tunisie du Nord. L'érosion dans le bassin versant de l'oued Miliane. HER 1969. Sols de Tunisie.
- 21- BEL AID R., 1969 - Etude géomorphologique préliminaire de l'oued Medjerda et ses affluents. Division des Sols
- 22- BONVALLOT J., BEN AMMAR M., 1979 - Comportement des ouvrages de petite hydraulique dans la région de Médenine (Tunisie du Sud) au cours des pluies exceptionnelles de Mars 1979. ORSTOM
- 23- BONVALLOT J., HAMZA A., 1980 - Erosion et travaux de lutte anti-érosive dans le bassin versant de l'oued el Ouara et de ses tributaires (région de Shiba-Tunisie Centrale) DRES ; ORSTOM.
- 24- BONVALLOT J., HAMZA A., 1981 - Erosion et travaux de lutte anti-érosive dans la région de Shiba-Tunisie Centrale. DRES.
- 25- BONVALLOT J., 1982 - Conditions géographiques de la lutte contre l'érosion dans la région de Ain-Draham (Tunisie du Nord-Ouest). Division des Sols.
- 26- BOURGES J., FLORET C., PONTANIER R., 1973 - Etude d'une toposéquence type du Sud Tunisie (Djebel Dissa) : les sols, bilans hydrique, érosion, végétation (résultats de la saison 1972-1973) Division des sols.
- 27- BOUZAIN S., CAMUS A., ABDALLAH R., RAJHI A., 1987 - Evaluation de l'impact de travaux anti-érosifs : rapport d'installation de trois micro-bassins dans la région de Sbeitla DGRE. ORSTOM.
- 28- BOUZAIN S., LAFFORGUE A., MOUSSA M., SAYED M., DAOUADI H., 1986 - Monographie hydrologie des oueds Zéroual et Merguellil.
- 29- CASENAVE A., CHRISTIAN V., 1989 - Les états de surface de la zone sahelienne (Influence sur l'infiltration). ORSTOM
- 30- CAMUS H., DUMAS R., BEN YOUNES M., 1988 - Ecoulement et érosion sur le bassin versant de l'oued el Hissiane période (1982-1986) DGRE / ORSTOM.
- 31- CAMUS H., DUMAS R., BEN YOUNES M., 1988 - Ecoulement sur le bassin versant de l'oued el Hissiane période de (1987-1989) DGRE / ORSTOM.
- 32- CAMUS H., YOUNES M., GUIGUEN N., HOMRI N., 1992 - Ruissellement et érosion dans des zones à vocation agricole (bassin de Haut-Mélègue). ORSTOM
- 33- CHAABI A., 1988 - Méthodes d'évaluation de l'érosion un versant traité en Banquettes dans une zone du semi aride (sous pluies naturelles et simulées).

- 34- CHININA 1990 - Dépouillement et exploitation des données de simulation de pluies en Tunisie (gestion de la banque de données Ds Simul) ORSTOM / Tunis.
- 35- CLAUDE J., PONTANIER R., 1971 - Quelques données sur les crues, les modifications morphologiques, et l'évolution des eaux et des alluvions du bassin Leben-Quadrane après les pluies de l'automne 1969. DRE.
- 36- DELHOUME J.P., 1981 - Etude en milieu méditerranéen semi-aride Ruissellement et érosion en zone montagneuse de Tunisie centrale (Djebel Semmama). Résultats 1975, 1979, ORSTOM.
- 37- DELHOUME J.P., 1985 - Etude en milieu méditerranéen semi-aride ruissellement et érosion, en zone de piedmont de Tunisie centrale (Djebel Semmama): résultats 1976 à 1982. D/Sols.
- 38- DELHOUME J.P., 1987 - Recherches en milieu méditerranéen humide. Etude de la dynamique de l'eau sur parcelles du bassin versant de l'Oued Sidi Ben Naceur Nord Tunisie. ES 185.
- 39- DESSUS P., 1945 - L'érosion le ravinement l'utilisation des eaux de ruissellement. Section spéciale d'Etudes de pédologie et d'Hydrologie.
- 40- EL AMAMI S., HADRI H., CHABBI A., MTIMET A., MAMOU A., 1984 - Les aménagements hydrauliques traditionnels en Tunisie, CRGR, Tunis 76p.
- 41- ESCADAFAL A., MTIMET A. 1981 - Installation d'une station d'expérimentation sur la dynamique de la surface du sol. Bir Lahmar - Division des Sols
- 42- ESCADAFAL R., MTIMET A., 1981 - Apport de la télédétection spatiale à la cartographie des ressources en sols de la région de médénine (Sud Tunisien) ES 189 - 40p. Division des Sols.
- 43- ESCADAFAL R., MTIMET A., ASSELINE J. 1986 - Etude expérimentale de la dynamique superficielle d'un sol aride (Bir Lahmar - Sud Tunisie). Résultats des campagnes de mesures sous pluies simulées ES 231 - D/Sols, Tunis, 63 p.
- 44- FERSI M., ZANTE P., 1977 - Etude d'une toposéquence type du Sud Tunisie (Djebel Dissa) : pluviométrie, bilan hydrique, érosion (résultats des saisons 74-75-75-76-76-77). Division des Sols.
- 45- FERSI M., ZANTE P., 1980 - Pluviométrie, bilan hydrique, érosion sur une toposéquence type du Sud Tunisien : Djebel Dissa (Synthèse 1972-1977) . Division des Sols.
- 46- FLORET CH., MTIMET A., PONTANIER R., 1989 - Caractérisation écologique des régimes hydriques et de l'érodibilité des sols en zone aride. DS.
- 47- FLORET CH., MTIMET A., PONTANIER R., 1989 - Etude expérimentale de la dynamique superficielle d'un sol aride (Bir Lahmar Sud Tunisien). Résultats des campagnes de mesures sous-pluies simulées. Direction des Sols
- 48- FLORET CH., MTIMET A., PONTANIER R., 1989 - Régime hydrique et sensibilité à l'érosive des systèmes écologiques de la zone aride (Tunisie). Direction des Sols
- 49- FOURNET A., 1960 - Etude de l'érosion de la vallée de l'Oued el Kébir ou vallée des Aïafas (Tabarka - Ain Drahem). Etude spéciales (TUN).

- 50- JELLALI A., 1992 - Evaluation et prédiction de l'érosion en Tunisie Centrale cas du Barrage collinaire de l'oued el Maiz (région de Haffouz).
- 51- JOB, BEN MOUSSA, BELGITH et MTIMET, 1993 - Effet d'une crue d'oued sur une oasis de montagne "Secheresse" n° 3 Vol 4.
- 52- HAMZA A., 1980 - Protection de la retenue du barrage de Sidi Saïd B.V. de l'Oued Hatab inférieur S/B de l'oued el Gorah Direction des Sols.
- 53- HAMZA A., 1981 - Quelques données sur l'érosion dans le B.V. inférieur dans l'oued el Hajeh (Tunisie centrale). Direction des Sols.
- 54- HAMZA A., 1983 - Cadre géomorphologique du reclassement de l'équilibre morphogénétique un B.V. Tunisien centre. Le de l'Oued Gaiba (région de Hajeh el Anon. 1983).
- 55- HAMZA A., BONVALLOT J., 1981 - Erosion et travaux de lutte anti-érosive dans la région de Sbiba, Tunisie centrale. Division des Sols.
- 56- HAMZA A., BONVALLOT J., ND - Etude et travaux de lutte anti-érosive le B.V. de l'oued el Oudra et ses tributaires (Tunisie centrale). ES 173. Division des Sols.
- 57- HAMZA M., 1978 - La lutte contre la dégradation des sols de la Tunisie aride et semi-aride. Oct. 1978 : Alexandrie (Egy). Etude Spéciale (TUN).
- 58- HENTATI A., 1979 - Méthodologie pour la détermination des classes d'érosion et des degrés de sensibilité à l'érosion en Tunisie centrale. Division des Sols.
- 59- HENTATI A., 1981 - Etude géomorphologique du B.V. de l'Oued Tibar.
- 60- HENTATI A., BONVALLOT J., RAIS M., 1976 - Etude géomorphologique d'el Houaria Sidi Daoud (Cap-Bon).
- 61- HENTATI A., BONVALLOT J., RAIS M., 1977 - Etude géomorphologique du secteur du bas millaire.
- 62- HENTATI A., BONVALLOT J., RAIS M., 1979 - Etude de l'érosion dans quelques S/B.V. e vue de la protection du barrage de l'oued Nehhina.
- 63- HENTATI A., BONVALLOT J., RAIS M., 1989 - Séminaire de sensibilisation à la lutte contre l'érosion. Rapport de synthèse.
- 64- LOYER J.Y., SOUSSI A., 1974 - Carte de l'érosion des bassins versants des oueds Zéroul et Merquellil. Division des sols.
- 65- MARTINI P., DEROUICHE Ch., FONTANIER R., 1991 - Gestion et exploitation des données de simulation des pluies en Tunisie le programme D.S. (oued).
- 66- MONTIBERT A., 1983 - Recherche en milieu méditerranéen semi-aride. Microbassin de Boufaroua. Analyse des principaux facteurs du ruissellement et de l'érosion (période 1975-1982). ORSTOM.
- 67- MTIMET A., 1983 - Contribution à l'étude pédologique des limons des Matmata (Sud Tunisien) Doctorat de spécialité. Univ. Pierre et Marie Curie. 183 p. Annexe, cartes h.t.f. 590 D/Sols, Tunis.

- 68- MTIMET A., 1985 - L'érosion hydrique dans les Matmata (une nouvelle approche de caractérisation du matériau dans une optique d'un aménagement anti-érosif) Direction des Sols.
- 69- MTIMET A., 1987 - Evaluation de la sensibilité des sols arides à l'érosion hydrique (étude de simulation de pluies sur les sols d'un micro-bassin type Jessour - Matmata - Tunisie présaharienne). Direction des Sols.
- 70- MTIMET A., 1990 - Sols et problèmes de désertification (Sud Tunisien) 14ème Congrès International des Sciences des Sols - Kyoto (Japon), 10 p. ARES Gabès.
- 71- MTIMET A., 1992 - Les loess sahariens et l'amélioration de leurs propriétés géotechniques. Cas des Matmata et leurs bordures "l'aridité une contrainte au développement". ORSTOM.
- 72- MTIMET A., 1993 - Eau pluviale et ressources en sols "Retention par les ouvrages et par les terres". Extrait du cahier du CERES : Série géographique N° 7.
- 73- MTIMET A., 1993 - Etude de l'érosion hydrique et de la conservation des sols dans les régions semi-arides méditerranéennes. Second International Wocat-Workshop. O.S.S. Berne 11-15 Oct. 1993.
- 74- MTIMET A., 1994 - Les aménagements hydrauliques traditionnels et leur rôle dans la réhabilitation des systèmes de production. Congrès International sur la restauration et la réhabilitation des terres dégradées; 14-19 Nov. 1994.
- 75- MTIMET A., PONTANIER R., ASSELINE J., 1989 - Une méthode de caractérisation, en zone aride et semi-aride des états des surfaces élémentaire (1m²) soumises à des averses contrôlées. ES 245 - D/Sols - Tunis, 17p. + annexes.
- 76- MTIMET A., 1993 - Connaître et exploiter nos sols mieux les protéger. ES 272 - 85p + annexes. Direction des Sols
- 77- MTIMET A., AGREBAOUI S., 1993 - Cartographie de l'érosion potentielle des bassins versants de l'Oued el Khirat et Oued er Rmel (Zaghouan - Soussse). ES 269, D/Sols.
- 78- MTIMET A., HANDI B., AGREBAOUI S., 1994 - Diagnostic des états de dégradation des sols des régions arides et semi arides (Les observatoires de suivi de l'érosion hydrique, Kasserine et Zaghouan). Séminaire maghrébin de CES, Kairouan 1994.
- 79- NASRI S., 1990 - Contribution à l'étude de la dynamique érosive dans le bassin versant de l'Oued Ettour (région de Haffouz - Tunisie Centrale).
- 80- PAP / CAR, 1993-1996 - Cartographie et mesure de l'érosion hydrique B.V. Oued el Khirat et Oued Rmel (Zaghouan). Direction des Sols.
- 81- PONCET J., 1958 - Les rapports entre les modes d'exploitation agricole et l'érosion des sols en Tunisie, Ministère de l'Agriculture, 171p.
- 82- RAIES M., 1981 - Etude géomorphologique du Djebel Gueroua et son piedmont.
- 83- RAIES M., AGREBAOUI S., 1979 - Etude géomorphologique du B.V. de l'Oued Joumine. D/Sols.
- 84- RAIES M., BONVALLOT J., HENTATI A., 1980 - Séminaires de sensibilisation à la lutte contre l'érosion (rapport de synthèse) Sidi Thabet.

- 85- RODERER P., SCHOENEMBERGER A., 1959 - L'érosion, facteur de dégradation du milieu en Tunisie. Section spéciale d'étude de pédologie et hydrologie.
- 86- ROOSE E., 1994 - Introduction à la gestion conservation de l'eau de la bio-masse et de la fertilité des sols (G C E S).
- 87- SAADAQUI M., 1978 - Etude du bilan hydrologique d'un micro-bassin représentatif des piedmonts du djebel senunama dans le bassin de l'oued Zzroud. INAT.
- 88- SELMI S., 1970 - Carte géomorphologique de Bir el Bey. Division des Sols.
- 89- SELMI S., HENTATI A., RAIES M., 1977 - Etude hydro-géomorphologique de Menzel Bouzefa. D/Sols.
- 90- Sce Géomorphologique, 1981 - Carte de l'érosion du Nord et du Centre de la Tunisie au 1/200.000. Bulletin de la Direction des Sols.
- 91- SNANE H., MECHERGUI N., HAMZA E., 1988 - Application de la méthode des sous facteurs pour l'estimation de l'impact de certaines techniques de reboisement sur l'érosion des sols dans les zones subhumides et humides de la Tunisie. For. Méditer. X (2) 415-422.
- 92- SNOUSSI J., (1992-1993) - Quantification de l'érosion hydrique à l'échelle d'un petit bassin versant cas de l'Oued Mrichet el Anze (région de Bargou).
- 93- SOLS DE TUNISIE 1989 - Régime hydrique et érodibilité des terres en zones arides méditerranéenne. Bulletin de la Direction des Sols n° 14.
- 94- SOGREA H., 1981 - Protection du Parc National de l'Ichkeul. Etude préliminaire d'impact sur l'environnement des aménagements hydrauliques du Nord de la Tunisie. Texte ronéo.

FIN

134

VUES