

ETUDE DE CONSERVATION DES EAUX ET DU SOL AU CENTRE DE RECHERCHES DU GÉNIE RURAL DE TUNISIE

Application à un projet-type de la formule de perte de sols de WISCHMEIER

par

Y. CORMARY * et J. MASSON **

INTRODUCTION

La prise de conscience des dangers de l'érosion sur les terres agricoles de Tunisie remonte à une douzaine d'années. Elle fut matérialisée sur le terrain par les premières interventions de la Direction de la Restauration des Sols.

Depuis cette époque, les différentes réalisations du Service de Conservation des Eaux et du Sol agricole ont consisté presque uniquement à l'établissement de banquettes de différents types. Si la décision d'implanter à tel endroit des banquettes de tel ou tel type, relevait d'un empirisme total, les formules et tableaux ne manquaient pas pour calculer l'espacement vertical (H) à donner entre deux banquettes, la probabilité des chutes de pluie n'intervenant seulement que pour calculer les profils en long et en travers. Parmi les formules les plus connues citons :

Saccardy - Algérie	$H^3 = 260 P$
Bugeat - Tunisie	$H = 2,20 + 8P$
Ramser - U.S.A.	$H = 0,6 + 7,5P$
Manuel de conservation du sol	$H = (2 + \frac{P}{4}) 0,305$

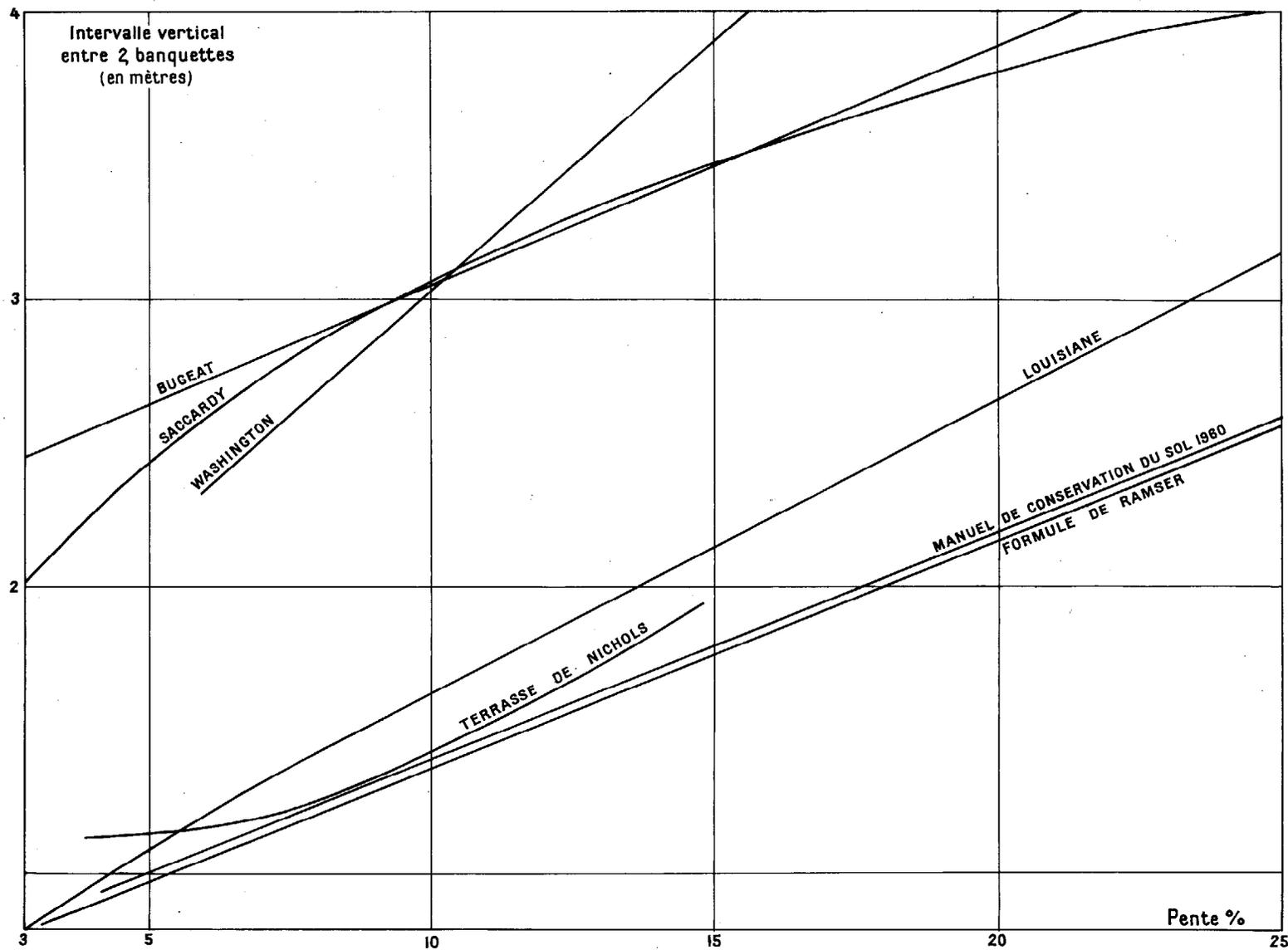
Ces formules sont toutes fonction de P (pourcentage de pente). Elles changent souvent de forme suivant la pente elle-même (par exemple $H^3 = 260 P$ devient $H^2 = 64 P$ pour les pentes supérieures à 25 %).

Le pourcentage de pente était le seul facteur intervenant mathématiquement dans les projets du Service de Conservation des Eaux et du Sol. D'autres facteurs : l'agressivité du climat local, le

* Y. CORMARY, Ingénieur agronome, Chef de mission de la Société centrale pour l'Équipement du Territoire au Centre de Recherches et d'Expérimentation du Génie rural, Tunis.

** J. MASSON, Ingénieur agricole, Spécialiste en Conservation des Eaux et du Sol de la Mission S.C.E.T. au C.R.E.G.R., Tunis.

Intervalle vertical entre deux banquettes en fonction de la pente, d'après divers auteurs et dans diverses régions.



sol, la couverture végétale ou mode de culture, étaient évidemment considérés, mais de façon tout à fait empirique, et étaient donc susceptibles de varier énormément entre divers promoteurs de réalisations, Services de Conservation des Eaux et du Sol et dans le temps.

Un essai de codification des principaux facteurs d'érosion (S.O.G.R.E.A.H.) ne fut pas suivi, à notre connaissance, d'applications pratiques.

Récemment, le Service américain de Conservation du Sol, grâce à de nombreuses stations expérimentales fonctionnant depuis plusieurs dizaines d'années avec un personnel abondant, a réussi à mettre au point, par des méthodes statistiques, une équation universelle de perte de sol, pour les différents climats des U.S.A.

Nous nous proposons d'utiliser cette équation en Tunisie, dans le cas particulier du Bassin versant de l'Oued Hallouf, afin d'en déduire les traitements C.E.S. à adopter pour les différentes zones, les résultats étant reportés sur photographie aérienne.

Cette étude propose une méthode de travail qui reste à perfectionner dans son ensemble. Son but est de mettre en évidence, en Tunisie, l'intérêt de mesures expérimentales de tel ou tel paramètre dont le calcul a été provisoirement arrêté par analogie avec les U.S.A. pour les besoins de l'étude.

1 - L'ÉQUATION UNIVERSELLE DE PERTE DE SOL DE WISCHMEIER

Elle est de la forme :

$$A = R (K.L.S.C.P.) *$$

La signification et la dimension des différents facteurs sont les suivantes :

1.1. - Premier terme de l'équation

- **A** représente une perte de terre en tonne par acre. Il s'agit de la tonne courte américaine valant 907,184 kg.

1.2. - Deuxième terme de l'équation

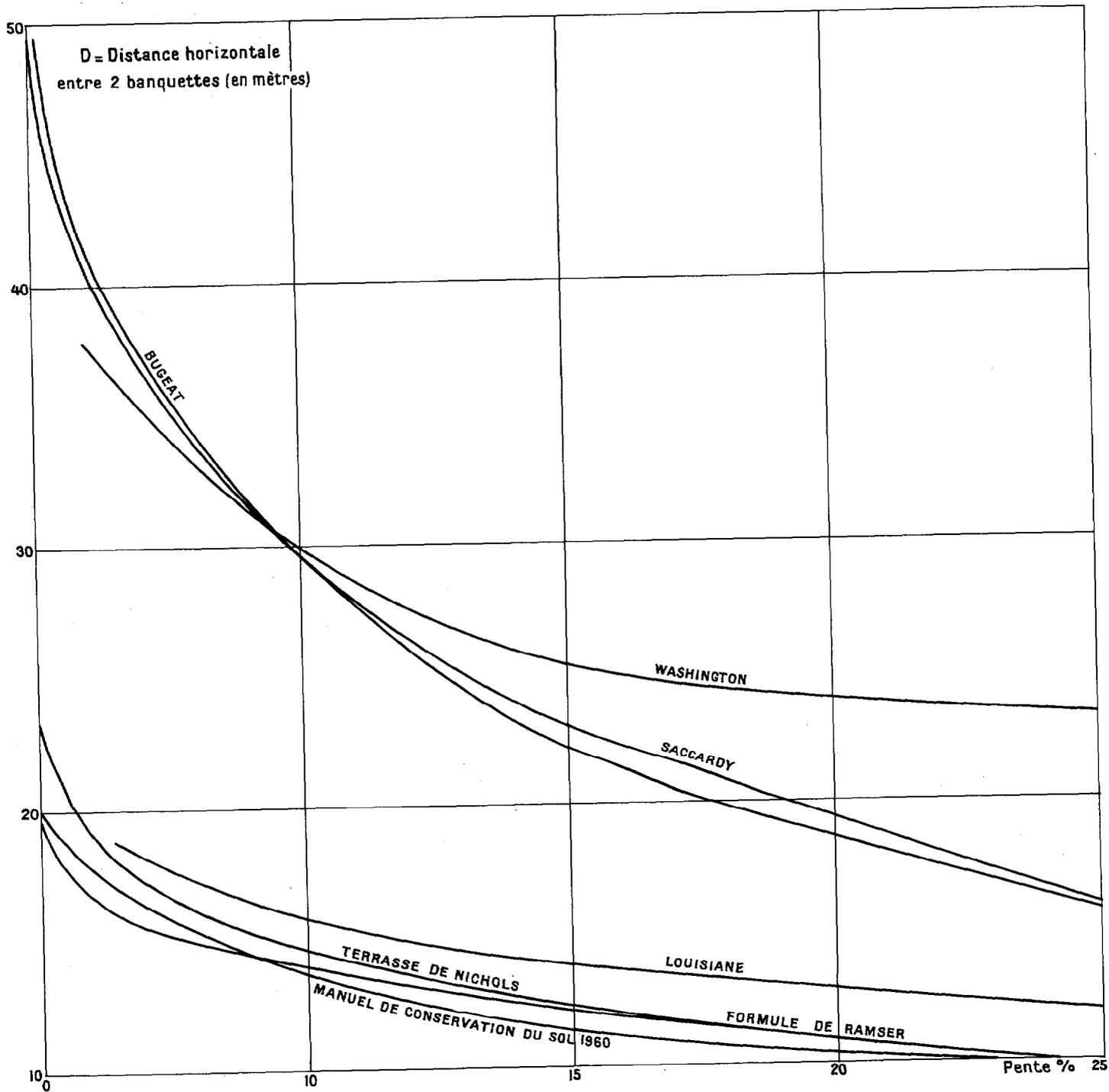
- **R** ou **index pluie**, caractérise l'agressivité de la pluie. On peut le calculer pour une pluie, ou pour les pluies d'une période donnée. La valeur de **A** représente la perte de terre pour la même période que **R**.

Généralement, on utilise un index pluie moyen annuel calculé d'après les pluies de plusieurs années. **A** représente donc alors la perte de terre moyenne annuelle. **R** est le seul facteur du second terme de l'équation ayant une dimension, tous les autres étant des rapports. Toutes choses égales par ailleurs, l'érosion est proportionnelle à l'index pluie.

Pour une pluie donnée, le nombre d'unités de **R** est égal à l'énergie cinétique de la pluie, en pied-tonne par acre, multipliée par l'intensité maximum en 30 minutes exprimée en pouce/heure, divisée par 100.

* ceci à un facteur près qui rend la formule homogène et permet le changement d'unités.

Distance horizontale entre deux banquettes en fonction de la pente, d'après divers auteurs et dans diverses régions.



- **K** ou **indice sol**, facteur sans dimension, mesure la plus ou moins grande résistance relative d'un sol à l'érosion. Ses valeurs sont obtenues expérimentalement : c'est la perte de terre en tonne (courte) par acre par unité de **R** quand tous les autres coefficients du second terme de l'équation ont la valeur unité.

- **LS** ou **indice de pente**, facteur sans dimension, permet de comparer les conditions topographiques observées à des conditions standard. Il caractérise la pente et la longueur de la pente. C'est le rapport des pertes de terre d'un champ ayant une certaine dimension de pente, aux pertes de terre d'un champ de pente et longueur de pente standard, toutes les autres conditions étant égales par ailleurs. Une pente de 9% sur 72,6 pieds de longueur (22,12 m) représente le standard de longueur et de degré de pente, donc l'unité.

- **C** ou **indice culture**, facteur sans dimension, permet de tenir compte du fait que les pluies agissent proportionnellement plus sur sol nu que sur sol couvert. Il caractérise la culture : nature et succession des cultures, degré de fertilisation minérale (niveau de productivité) ou organique (sort des résidus de récolte).

C'est le rapport des pertes de sol d'une terre cultivée dans des conditions bien définies, aux pertes de sol d'une jachère continuellement travaillée (**C** = 1) toutes les autres conditions étant égales par ailleurs.

- **P** ou **indice remèdes C.E.S.**, caractérise les pratiques C.E.S. qui retiennent une certaine proportion de terre.

C'est le rapport des pertes de sol d'un champ sur lequel on utilise des pratiques conservatrices, aux pertes de terre d'un champ cultivé en ligne de plus grande pente, toutes les autres conditions étant égales par ailleurs.

1.3. - Transposition de l'équation dans le système métrique

D'abord nous identifierons, pour l'instant, les tonnes courtes à des tonnes métriques (1 t. courte = 0,9 t. métrique).

Ensuite en utilisant pour calculer **R** une énergie globale de pluie (**Eg**) exprimée en pied-tonne/acre multipliée par une intensité maximum de pluie (**IM**) exprimée en millimètres, divisée par 1 000, nous obtiendrons les résultats en tonne/ha.

En effet, les auteurs en exprimant la pluie (**IM**) en pouces, obtiennent les résultats en tonnes par acre. Comme un hectare = 2,5 acres et un pouce = 25,4 millimètres, nous pouvons écrire les égalités suivantes :

$$\text{Tonnes/acre} = \frac{\text{Tonne/ha}}{2,5} = R (K.LS \dots) = \frac{\text{Eg Pied-tonne/acre} \times \text{IM} \frac{\text{mm}}{25,4}}{100} K.LS.$$

donc

$$\text{Tonnes/ha} = \frac{\text{Eg pied-tonne/acre} \times \text{IM}^{\text{mm}}}{1000} (K.LS\dots)$$

Du fait que les rapports 2,5 (surfaces) et 25,4 (hauteurs) sont multiples, l'équation finale se simplifie donc.

Mais en multipliant l'énergie cinétique globale d'une pluie (**Eg**), en pied-tonne/acre, par son intensité maximum en 30 minutes (**IM**) exprimée en millimètres/heure, divisée par 1 000 nous obtenons un chiffre en tonnes/ha, donc 2,5 fois plus fort que ne l'auraient exprimé les Américains en tonnes acre.

Donc :

$$\text{Index pluie Américain} = \frac{\text{Index pluie utilisé}}{2,5}$$

2 - RECHERCHE DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES SUR LE BASSIN VERSANT DE L'OUED HALLOUF

2.1. - Index pluie

2.1.1. - CALCUL DE L'INDEX POUR UNE PLUIE

Le calcul de cet index nécessite deux opérations distinctes :

- le calcul de l'énergie globale de la pluie (Eg) en pied-tonnes/acre,
- le calcul de l'intensité maximum en 30 minutes (IM) en millimètres/heure de cette pluie.

2.1.1.1. - L'énergie globale d'une pluie (Eg)

Pour calculer l'énergie d'une pluie, il nous faut un enregistrement de cette pluie par un pluviographe. Sur cet enregistrement, nous découpons la pluie en tranches d'égale intensité. Chaque tranche est donc caractérisée par un nombre donné de millimètres tombés avec une intensité homogène donnée.

WISCHMEIER a établi une relation entre l'énergie unitaire d'une pluie d'intensité homogène et cette intensité. La relation s'écrit :

$$Eu = 916 + 331 \log Ih$$

où Eu = énergie cinétique unitaire en pied-tonne/acre par pouce d'eau tombée. (1)

Ih = intensité homogène de la pluie en pouce/heure.

Partant de cette relation nous avons construit un abaque donnant l'énergie cinétique unitaire (Eu), en pied-tonne/acre (2) par millimètre d'eau tombée avec une intensité homogène, en fonction de cette intensité (Ih) (voir graphique p. 9).

Pour chaque tranche de pluie découpée sur l'enregistrement, nous pouvons lire sur l'abaque l'énergie unitaire (Eu) apportée par millimètre d'eau en regard de l'intensité homogène correspondante (Ih).

L'énergie de la tranche (Eh) est égale à l'énergie unitaire (Eu) d'un millimètre multipliée par le nombre de millimètres de la tranche qui dépend de la durée de la pluie homogène.

L'énergie globale (Eg) d'une pluie est égale à la somme des énergies de chaque tranche.
 $Eg = \sum Eh$.

L'énergie est cumulative. On peut calculer l'énergie d'une pluie, de plusieurs pluies, des pluies d'une année, etc..

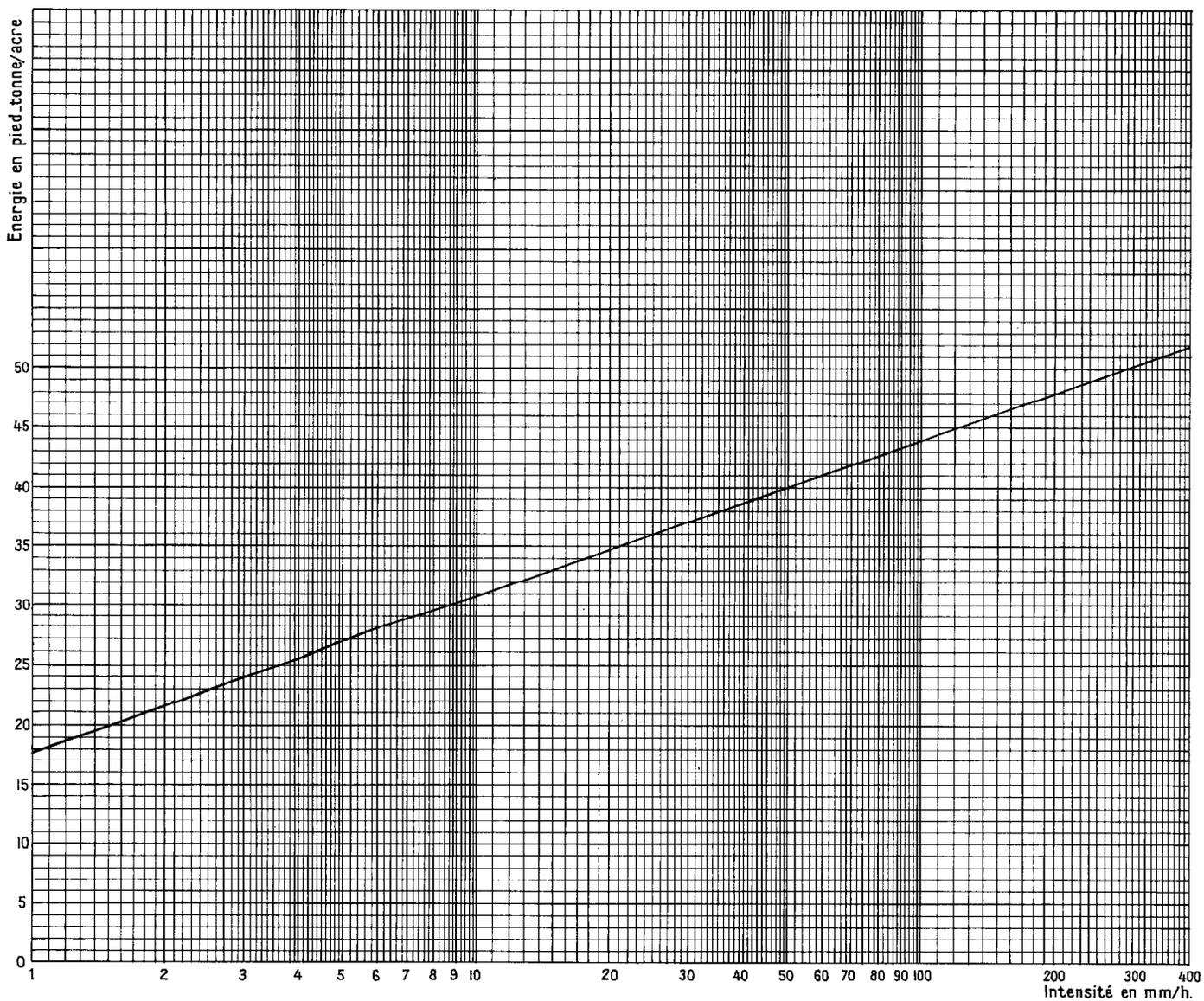
A titre d'exemple, voici le calcul de l'énergie globale (Eg) de la pluie du 15 juillet 1951 à Sidi Bou Becker.

1 Date	2 Durée des tr. d'intensité hom.			3 mm d'eau tombés par tranche	4 Ih-intensité homogène en mm/h	5 Eu-énergie unit. par mm (lecture sur abaque)	6 Eh - énergie des tranches (3) x (5)	7 Eg - énergie globale pluie Eh
	H	M	S					
15.7.51	0	7	30	8,4	67,2	41,57	349,25	571,0
	0	15	0	5,4	21,6	35,13	189,75	
	0	15	0	1,2	4,8	26,66	32,0	

(1) 1 pied-tonne/acre/pouce = 0,00269 Kgm/m²/mm.

(2) 1 pied-tonne/acre = 691,2742 Km/ha.

Abaque donnant l'énergie de la pluie en pied tonne-acre par millimètre d'eau tombé pour différentes intensités.



2.1.1.2 - L'intensité maximum en 30 minutes d'une pluie (IM)

Elle découle de la hauteur d'eau maximum tombée en 30 minutes consécutives.

Pour trouver rapidement cette hauteur, on déplace sur l'enregistrement un papier transparent où, à la même échelle que sur la bande de l'enregistrement, on a délimité la durée 30 minutes. (1)

En plaçant ce cadre correctement par rapport aux axes de l'enregistrement, on arrive à délimiter la portion de la courbe qui, placée dans le cadre, correspond à un nombre de millimètres d'eau plus important que toute autre portion de la courbe. Ce nombre de millimètres est la hauteur d'eau maximum tombée en 30 minutes consécutives.

En multipliant cette hauteur par deux (1 H = 2 x 30 minutes) on obtient, exprimée en millimètres/heure, l'intensité maximum en 30 minutes de la pluie (IM).

Dans l'exemple cité au paragraphe 2.1.1.1, l'intensité maximum en 30 minutes (IM) atteint 29 mm/h.

2.1.1.3. - Calcul de l'index pluie

Il se résume à l'opération :

$$\frac{E_g \times IM}{1000}$$

soit pour l'exemple choisi :

$$\frac{571 \times 29}{1000} = 16,559$$

2.1.2. - CALCUL DE L'INDEX PLUIE MOYEN ANNUEL SUR LE BASSIN VERSANT DE L'OUED HALLOUF

Pour calculer cet index, il nous fallait un nombre suffisant d'enregistrements de pluviographe. La station de Sidi Bou Becker, située à une dizaine de kilomètres et où un pluviographe journalier à siphon, commode pour mesurer les intensités, fonctionne depuis onze années, a été choisie pour caractériser le Bassin Versant.

Plusieurs questions se posaient : Fallait-il dépouiller toutes les pluies sans exceptions ? Comment individualiser les pluies ?

Les auteurs américains

- ne considèrent que les pluies égales ou supérieures à 1/2 pouce (12,7 mm),
- considèrent que 6 heures avec moins de 1,27 mm de pluie marquent la séparation entre deux pluies.

Ne possédant pas ces renseignements avant le dépouillement, nous avons procédé de la manière suivante :

- 6 heures sans aucune pluie ont été considérées comme marquant la séparation entre deux pluies. Deux pluies séparées de six heures au cours desquelles quelques dixièmes de millimètres d'eau seulement sont tombés, ont été considérées comme une seule et même pluie,
- toutes les pluies donnant plus de 5 mm au pluviomètre simple associé au pluviographe ont été dépouillées. Les intensités inférieures à 0,8 mm/h (2/10 mm en 1/4 d'heure = dernière graduation lisible) n'ont pas été prises en considération. Seules deux pluies voisines de 5 mm se sont trouvées toutes entières inférieures à 0,8 mm/h et par conséquent abandonnées,

(1) Méthode employée par MM. de MONTMARIN et GRISOLLET.

- les pluies donnant entre 4 et 5 mm au pluviomètre associé ont été dépouillées si elles présentaient, sur au moins la moitié de la quantité totale tombée, une intensité voisine ou supérieure à 10 mm/h.

Sur les onze années d'enregistrement, nous avons ainsi dépouillé 313 pluies totalisant 2112 points d'index pluie.

2.1.3. - RÉSULTATS

Le tableau 1 rassemble les résultats. La moyenne annuelle de l'indice d'érosion s'élève à 194. Ce nombre est faible. Il correspond à 77,6 unités de l'indice américain (voir p. 12).

A cause des pluies importantes mal enregistrées, nous l'estimons inférieur de 30 % à la réalité. Nous admettrons donc, pour utiliser l'équation, **une valeur de R égale à 250** (100 unités de l'indice américain).

A titre indicatif, les indices trouvés par les Américains pour différentes régions sont les suivants :

Sud-est des U.S.A.	142 à 779
Nord-est des U.S.A.	62 à 220
Centre-nord des U.S.A.	64 à 261.

Le tableau 2 (p.13) courbe de l'indice cumulé d'érosion, nous renseigne sur la répartition dans l'année des pluies érosives.

Faisant appel à des rapports, cette courbe peut être considérée comme exacte malgré l'erreur sur la valeur absolue de **R**. Septembre et octobre sont les mois les plus dangereux avec, ensemble, 60 % de l'indice d'érosion de l'année moyenne.

Nous nous proposons par la suite de faire une étude comparative des climats américains et tunisiens ; étude basée sur la répartition dans l'espace et le temps de l'indice moyen d'érosion.

2.2. - Facteur K, résistance du sol à l'érosion

Nous n'avons pas de moyens permettant la mesure directe du facteur **K**. Cette mesure expérimentale peut se faire à partir d'un champ de 9 % de pente et de 72,6 pieds (22,12 m) de longueur ($LS = 1$) en jachère continuellement travaillée, n'ayant pas reçu de matière organique (même résidus de récolte) depuis au moins trois ans ($C = 1$), le travail étant effectué dans le sens de la pente ($P = 1$). Dans ces conditions on mesure la perte de terre pour chaque pluie dont on calcule l'indice d'érosion. La perte de terre ramenée en tonne/ha, par unité de l'indice d'érosion calculé comme il a été fait précédemment, nous donne la valeur de **K**.

Pour préciser ces données, des parcelles d'essai ont été établies à l'Ecole d'Agriculture du Djougar dans le courant de l'année 1962. Elles permettront, entre autres choses, la mesure directe du facteur **K** du sol sur lequel elles sont établies. Les résultats seront publiés dès qu'un nombre suffisant de pluies se seront produites.

Nous avons pu, par contre, comparer la résistance des sols à l'érosion avec la station mobile d'érosion (une note sera publiée ultérieurement), les essais étant faits dans les mêmes conditions de pourcentage de pente et de culture (essais tous sur chaumes, ou tous sur parcours par exemple).

La première difficulté consiste à reconnaître, sur place, les sols susceptibles d'avoir un comportement différent vis-à-vis de l'érosion. Nous avons choisi, pour différencier les sols, les critères de morphogénèse habituellement utilisés en Tunisie. L'étude pédologique du bassin versant de l'Oued Hallouf (voir carte 5) a été faite par M. LOBERT qui, sur les différents types pédologiques rencontrés, a procédé à des essais avec la station mobile d'érosion.

TABEAU 1 **Indice d'érosion des pluies de la Station de Sidi bou Becker (1951-1961)**

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Année
Nombre d'années	10	10	11	11	11	11	11	11	11	11	10	11	
Total de l'indice	83,80	30,96	75,85	135,52	50,36	67,83	59,15	152,80	495,45	804,31	128,57	27,62	2112,22
Moyenne	8,3	3,096	6,89	12,32	4,57	6,16	5,37	13,89	45,04	73,11	12,857	2,51	194,18
Pourcentage exact	4,31	1,694	3,548	6,344	2,353	3,172	2,765	7,153	23,194	37,650	6,621	1,292	100
Pourcentage arrondi	4,3	1,6	3,5	6,3	2,4	3,2	2,8	7,2	23,2	37,6	6,6	1,3	100
Pourcentage cumulé	4,3	5,9	9,4	15,7	18,1	21,3	24,1	31,3	54,5	92,1	98,7	100	100

$$\text{Index pluie moyen annuel} = 250 \quad \left(194,18 + \frac{194,18 \times 30}{100} \right)$$

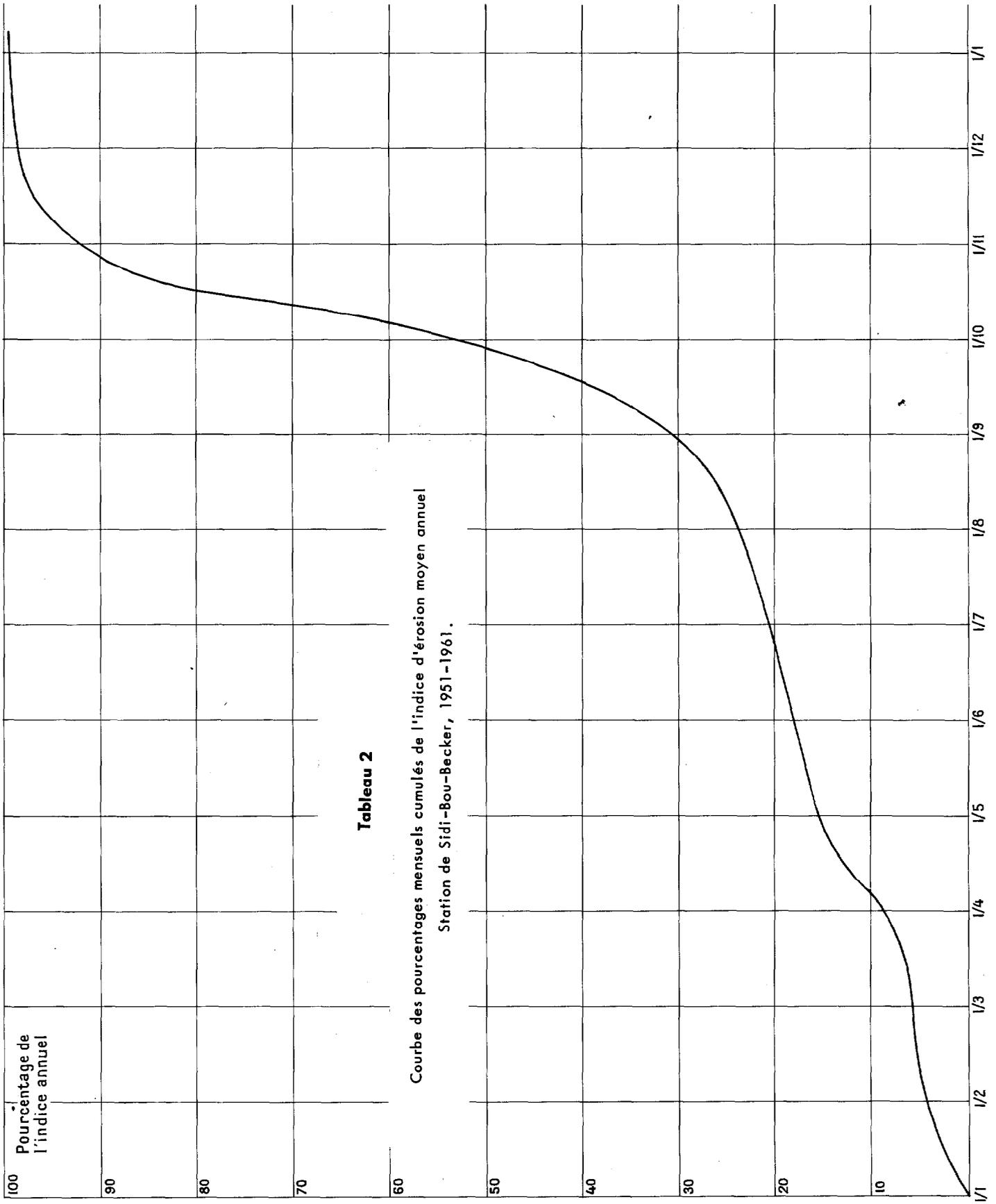
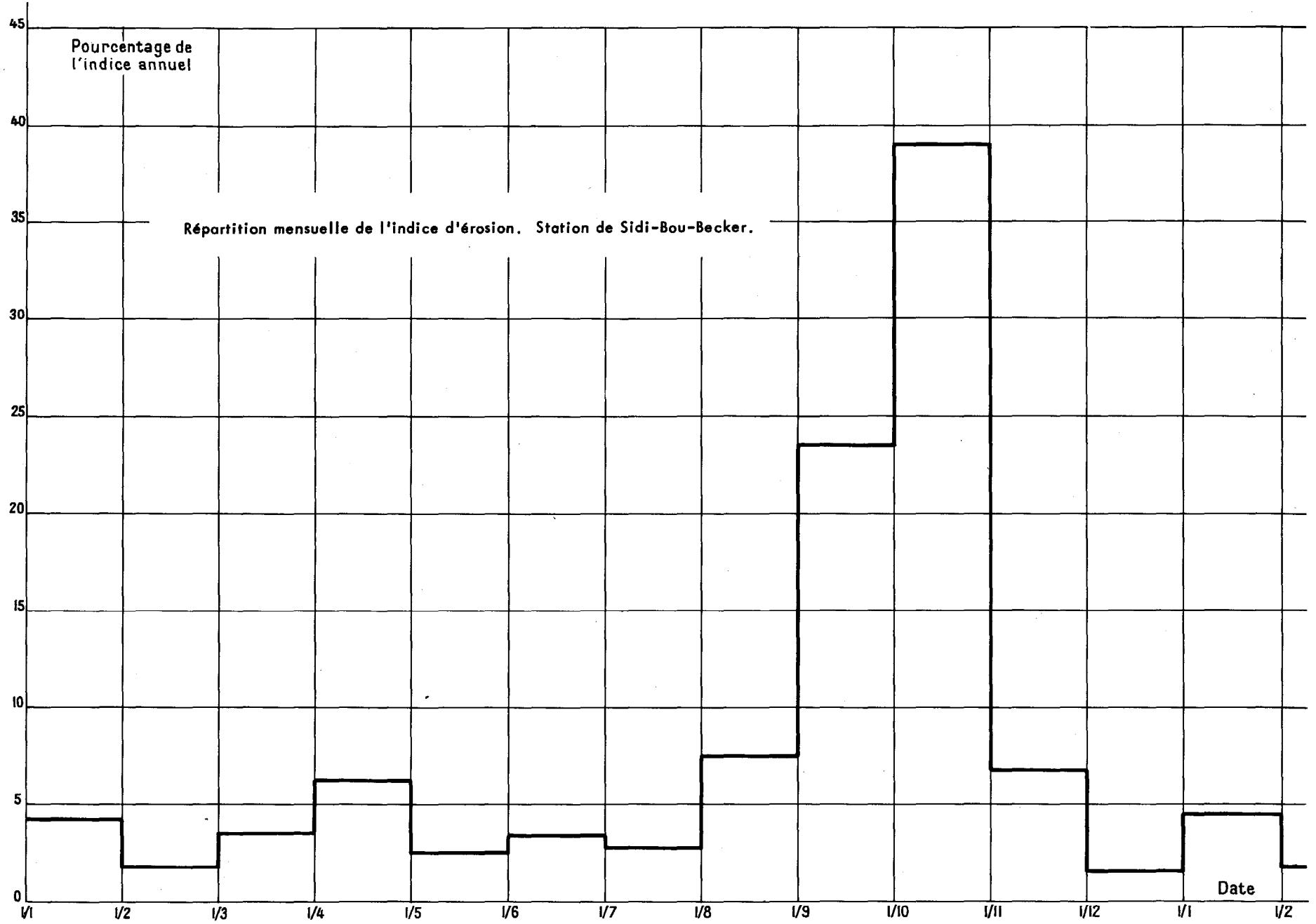


Tableau 2

Courbe des pourcentages mensuels cumulés de l'indice d'érosion moyen annuel
 Station de Sidi-Bou-Becker, 1951-1961.



Les Américains ont trouvé pour K des valeurs qui vont de 0,50 pour des sols instables et riches en limon, à 0,10 pour des sols stables, riches en sable et en fragments grossiers.

En donnant la valeur K = 0,5 aux sols qui ont donné le plus d'érosion avec la station mobile, et la valeur 0,10 aux sols qui en ont donné le moins, nous pouvons constituer arbitrairement une échelle des valeurs de K.

Les valeurs données à K par les Américains varient de 1 à 5. Avec la station mobile d'érosion nous avons trouvé une variation de 1 à 12. Pour respecter cette plus grande variabilité nous avons débordé l'échelle américaine. Nous pensons d'ailleurs que les types extrêmes de sols rencontrés n'ont pas fait l'objet d'études américaines. Il s'agit, pour les sols fortement sensibles à l'érosion, de marnes salées, et pour les plus résistants de rendzines qui n'ont plus guère à perdre par l'érosion.

Les valeurs adoptées pour le facteur K sont les suivantes :

Rendzines sur limon	0.13
Rendzines sur croûte tendre (0,10 à 0,40)	0.05
Sols bruns calcaires érodés sur marne	0.61
Sols bruns calcaires moins érodés sur recouvrement	0.28
Sols bruns calcaires profonds	0.20
Colluvions peu épaisses	0.17
Colluvions steppisées	0.10
Alluvions épaisses souvent hydromorphes en profondeur (1)	0.15
Alluvions moyennes ou lourdes (1)	0.15
Alluvions sableuses (1)	0.05

Des recherches sont en cours pour remplacer les essais de la station mobile, longs et coûteux, par des mesures de laboratoire (type stabilité structurale HENIN, mesures d'infiltration et mécanique des sols).

2.3. - Facteur C, influence des cultures

Pour l'étude de ce facteur nous ne disposons ni de mesures directes, ni de mesures indirectes.

La seule source de renseignements est un tableau américain donnant les valeurs du facteur C en fonction :

- de différents assolements,
- des niveaux de productivité,
- des apports de matière organique (résidus de récolte).

Malheureusement ce tableau est considéré comme correct seulement dans les zones tempérées où une pluviométrie annuelle de 635 à 1 270 mm est suffisamment bien répartie pour permettre la croissance des végétaux pendant les mois d'été.

Pour mesurer directement la valeur des principaux assolements, nous comptons dans l'avenir, faire appel aux parcelles d'essais mises en place au Djougar.

Dans cette étude nous nous sommes inspirés des tables américaines pour évaluer le facteur C.

- avec du biennal céréalière, ce qui nous permettra de nous faire une idée des pertes de terre actuelles,
- avec les assolements proposés par les services agricoles (voir carte 7) d'après la carte des aptitudes pour les cultures en sec, établie par M. LOBERT (voir carte 6).

(1) Ces types de sols n'ont pas été testés à la station mobile d'érosion, la pente étant trop faible.

2.3.1. - DIVISION DU CYCLE CULTURAL

Le facteur C est, rappelons-le, un rapport qui évolue suivant l'âge de la plante (effet de couverture). Les Américains l'évaluent pour les différentes périodes culturales. Les périodes choisies sont les suivantes :

- Période F : **Jachère**
du labour précédant le semis aux semailles,
- Période 1 : **Lit de semence**
du semis à un mois plus tard,
- Période 2 : **Établissement**
de un mois à deux mois après les semis de printemps. Pour les semis d'automne, la période 2 comprend les mois d'hiver jusqu'à la reprise de la végétation,
- Période 3 : **Végétation**
de la période 2 à la récolte,
- Période 4 : **Résidus ou chaumes**
de la récolte au labour pour le semis suivant.

2.3.2. - ASSOLEMENTS ACTUELS ET PROPOSÉS SUR LE BASSIN VERSANT DE L'OUED HALLOUF

Actuellement, la quasi totalité des terres est exploitée en biennal, la jachère travaillée succédant en avril, aux chaumes pâturés.

L'objectif de la C.E.S. étant non seulement de limiter l'érosion mais aussi de remplacer les cultures traditionnelles par des assolements productifs adaptés aux besoins du pays suivant les directives du Plan, nous nous sommes adressés aux Services de la P.A.V.A. (B.E.C.O.M.E.V.) qui, au vu de la carte pédologique et de la carte des vocations en sec, nous ont proposé les assolements suivants :

Cultures annuelles ou pluri-annuelles

- assolement 1 : quadriennal : fèves, blé, fourrage, blé
- assolement 2 : biennal : fourrage, blé
- assolement 2 bis : six ans avec la succession : pâturage (3 ans), blé, jachère, blé
- assolement 3 : quadriennal : pâturage (3 ans), blé ou orge
- assolement 4 : parcours amélioré

Cultures arbustives

- assolement A - oliviers 12 x 12 avec, en intercalaire, la succession : fourrage, orge ou blé
- assolement B - oliviers, amandiers ou abricotiers.

Nous considérons ces assolements appliqués de manière classique avec les outils en usage actuellement. C'est-à-dire que nous admettons :

- les terres labourées dès la récolte lorsque les cultures se suivent chaque année (infiltration des moindres pluies) (Assolements n° 1-2 et A),
- la terre maintenue continuellement meuble et propre sous les cultures arbustives
- les pâturages semés après des façons superficielles (Rotavator, disque) exécutées peu avant le semis,
- des rendements moyens estimés à :
 - blé orge : ≤ 10 qx/ha
 - pâturage : $\leq 2,5$ tonnes de foin/ha.

Nous avons supposé les travaux exécutés avec du matériel classique parce que les tables américaines en notre possession ne donnent aucun renseignement sur les instruments de culture minimum (Sweep, mulch-treeder, ..). Là encore nous comptons dans l'avenir sur les résultats des parcelles d'essais du Djougar pour obtenir des renseignements précieux.

2.3.3. - VALEURS ADOPTÉES POUR LE RAPPORT DE PERTES DE TERRE

TABEAU 3 Rapport de perte de sol des différentes cultures par rapport à la jachère continue

Éléments de calcul de la valeur des assolements (données adaptées)

Ligne de la table américaine	Mode de culture	Période culturale *				
		F	1	2	3	4
		%	%	%	%	%
95	- Céréales sur lit de semence labouré ; pas de pâturage dans l'assolement. Résidus de la récolte précédente enlevés. (1)	65	70	45	15	20
12 pour F et 1	- Céréales derrière pâturage. paille enlevée. (2)	23	40	40	10	15
	- Céréale derrière céréale suivant un pâturage ; paille enlevée. (3)	60	65	45	15	20
	- Fourrage type vesce-avoine suivant des céréales sans pâturage. (4)	65	70	40	07	20
24	- Fèves dans une rotation sans pâturage après céréale ; résidus de récolte enlevés. (5)	65	70	60	32	80
92	- Première année de pâturage (gram. + légum.) semées seules sur disquage de chaumes ; résidus de récolte enlevés après 3 années de céréale.		92	55	15	03
89	- Première année de pâturage sur disquage de chaumes ; résidus de récolte enlevés après 1 année de céréale suivant un pâturage		80	45	15	03
65	- pâturage gram. + légumineuse établi	01				
	- Verger sans cultures intercalaires. (6)	90				

Les valeurs du tableau sont tirées de tables américaines ou adaptées empiriquement s'il n'y a pas de correspondance. Les remarques suivantes s'imposent :

- 1 - un disquage superficiel à la place d'un labour avant le semis augmente la sensibilité de la période 1.
- 2 - le blé derrière pâturage ne figure pas dans les tables américaines. Pour les valeurs F et 1 nous avons pris les valeurs du maïs derrière prairie. Les valeurs 2, 3 et 4 sont celles du blé sur lit de semence, diminuées pour tenir compte de l'effet du pâturage.
- 3 - ce mode de culture ne figure pas dans les tables américaines. Nous avons estimé un effet résiduel du pâturage pour les périodes F et 1. Les valeurs 2, 3 et 4 sont celles du blé sur lit de semence labouré.
- 4 - le fourrage vesce-avoine ne figure pas sur les tables américaines. Nous avons pris les valeurs du blé sur lit de semence labouré, diminuées pour les périodes 2 et 3 afin de tenir compte de l'effet de couverture plus important.
- 5 - les Américains estiment la protection d'une culture de fèves égale à celle du maïs ; sur leur table la valeur de F est différente à cause d'une préparation de sol différente. -Etant donnée la similitude, nous avons adopté pour F la valeur prise pour les céréales sur lit de semence labouré.

* Cf. § 2.3.1 pour signification de F. 1. 2. 3. 4.

6 - l'olivette tunisienne, sans culture intercalaire, est très comparable à une jachère continuellement travaillée, de valeur 100. Pour tenir compte de l'effet de protection des arbres et des débris végétaux, nous avons pris la valeur 90.

2.3.4. - CALCUL DU FACTEUR C

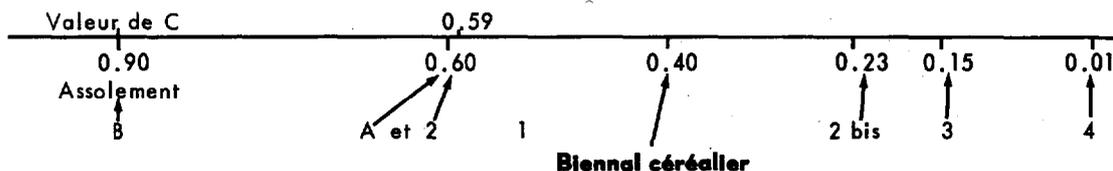
Connaissant les dates moyennes de début et fin des périodes culturales, le calcul de C se fait à l'aide des tableaux 2 et 3.

Voici un exemple de calcul pour l'assolement biennal fourrage-blé (assolement n° 2):

Culture	% de perte de sol	Date de début et fin de période (1)	% de l'indice annuel d'érosion (2)		Facteur C	
			depuis le 1 ^{er} janvier	pour la période	par période	par culture
Fourrage						
F. jachère travaillée	65	1/9 15/10	31 76	45	0,2925	} 0,4746
1. semis à 30 jours après	70	15/11	96	20	0,1400	
2. jusqu'au 1 ^{er} mars	40	1/3	6	10	0,0400	
4. jusqu'à la récolte	07	1/4	9	03	0,0021	
Blé						
F. jachère travaillée	65	1/11	92	83	0,5395	} 0,7150
2. semis à 30 jours après	70	1/12	98	06	0,0420	
3. jusqu'au 1 ^{er} mars	45	1/3	6	08	0,0360	
4. jusqu'à la récolte	15	15/6	19	13	0,0195	
F. jachère travaillée	65	1/9	31	12	0,0780	
Total		2 ans		200	1,1896	1,1896
Moyenne annuelle		1 an		100	0,5948	≠ 0,60

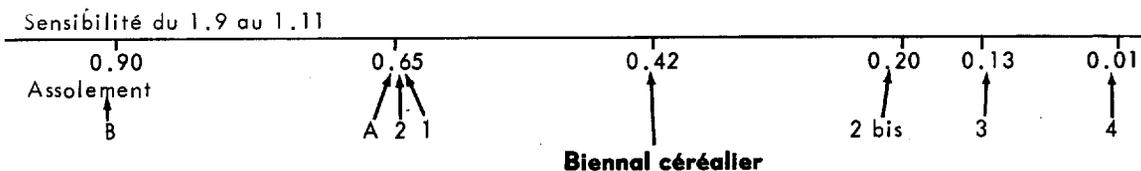
Remarque - Les décimales n'ont pas de signification mais nous les avons conservées pour éviter des erreurs de la part des agents chargés d'effectuer les calculs.

Les valeurs finales trouvées pour chaque assolement sont représentées sur l'échelle suivante :



(1) Date de travaux valables pour la région de Tunis.
 (2) Valable uniquement à Tunis en année moyenne.

La sensibilité de ces différents assolements pendant la période critique comprenant les mois de septembre et octobre est représentée sur l'échelle ci-dessous :



Si les valeurs absolues du facteur C sont sujettes à caution, le classement des différents assolements, en fonction de la sensibilité à l'érosion, peut être considéré comme exact.

La valeur d'un assolement est surtout conditionnée par les états successifs du sol en septembre et octobre. Nous remarquons en particulier :

- la grande sensibilité des vergers au sol toujours propre et meuble,
- la grande sensibilité des assolements sans pâturage comportant une culture tous les hivers. En effet pour s'assurer une récolte en dépit de la faiblesse et de l'irrégularité des pluies, les exploitants préféreront ameublir le sol le plus tôt possible après la récolte. Ainsi les mois de septembre et octobre, mois éminemment agressifs, coïncident avec une période sensible du sol.
- la sensibilité relativement modérée du biennal céréaliier tel qu'il est pratiqué dans la région. Une année sur deux en effet les terres sont protégées par les chaumes pendant les mois dangereux.
- la faible sensibilité de tous les assolements comportant plusieurs années de pâturage.

2.4. - Facteur LS, influence de la pente et de la longueur de pente

WISCHMEIER a établi la relation existant entre les valeurs du facteur LS et les paramètres de pente. Cette relation est la suivante :

$$LS = \frac{2\sqrt{f}}{100} (0,76 + 0,53 s + 0,076 s^2)$$

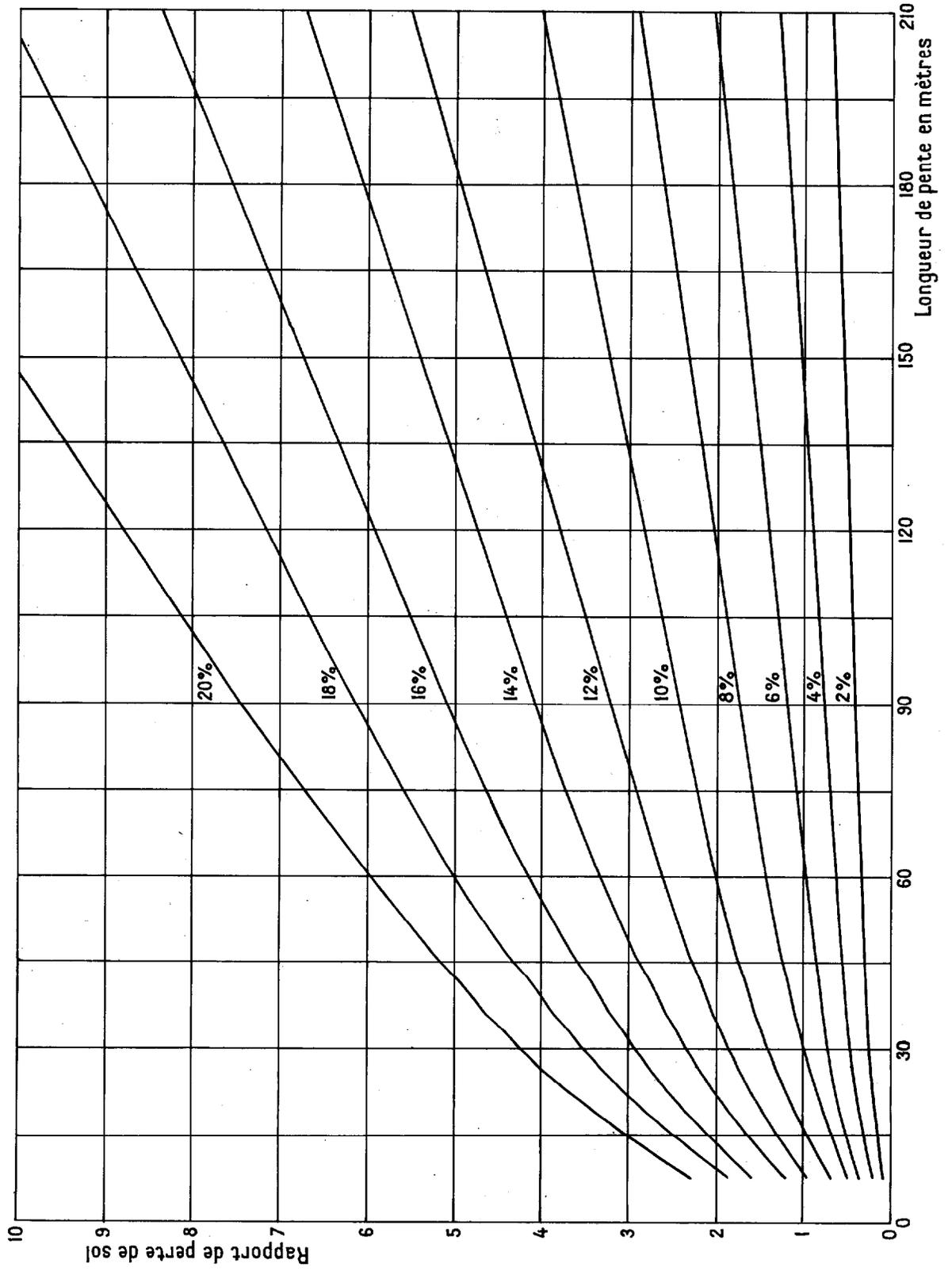
où

- f = longueur de pente en pieds,
- s = degré de pente exprimée en pourcentage (9% = 9)

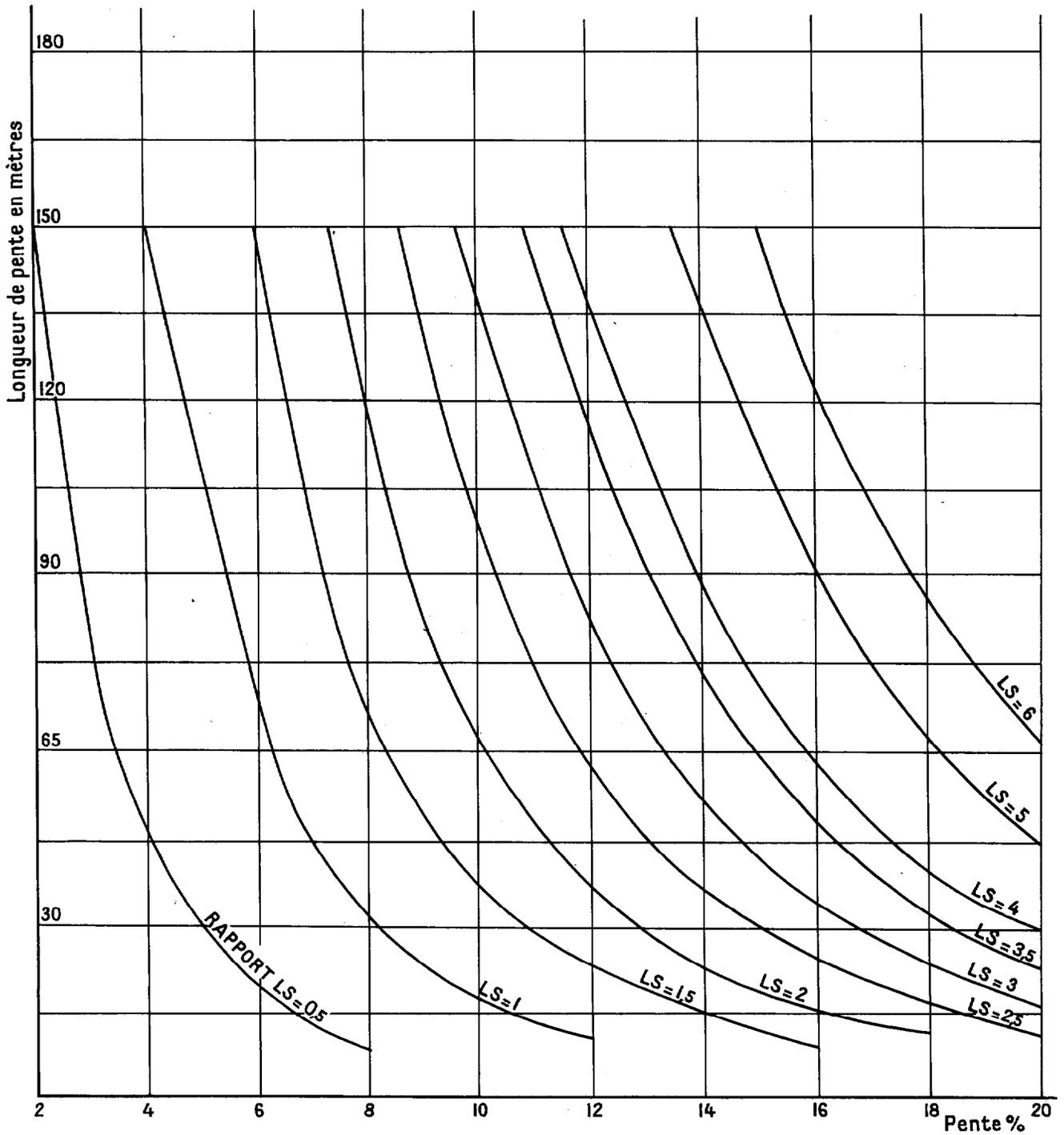
Dans cette relation LS a la valeur unité pour une pente de 9% longue de 72,6 pieds (22,12 mètres).

Pour faciliter la solution de cette équation les auteurs ont établi un graphique donnant la valeur de LS en fonction du pourcentage et de la longueur de la pente. (p. 20).

Graphique donnant les valeurs du facteur L.S., en fonction de la longueur et du pourcentage de pente.



Graphique donnant les longueurs de pente pour différentes valeurs du rapport facteur L.S. et du pourcentage de pente.



3 - UTILISATION DE L'ÉQUATION

L'équation universelle de perte de sol peut servir :

- à estimer les pertes de terre,
- à déterminer les mesures anti-érosives à mettre en œuvre.

3.1. - Estimation des pertes de terre

Suivant que l'on calcule **R** pour une pluie de fréquence *n* années, ou pour une année moyenne, ou pour une année exceptionnelle, on obtient les pertes de terre pour cette pluie ou pour ces années.

3.1.1. - ESTIMATION SUR UNE PARCELLE DE PENTE DÉTERMINÉE

On remplace, dans l'équation, les facteurs *R*, *K*, *LS*, *C*, par leur valeur obtenue d'après les méthodes et données fournies.

Pour un champ cultivé dans le sens de la pente ($P = 1$) la multiplication $(R) \times (K) \times (LS) \times (C)$ nous donne une estimation de la perte de terre pour la durée correspondante à celle choisie pour **R**.

Si le champ est soumis à des remèdes C.E.S., nous verrons ultérieurement les valeurs à donner à *P* pour estimer les pertes de terre nécessairement subsistantes.

Exemple :

Soit une pente (champ) de sol brun calcaire profond ($K = 0,20$) à 12% et de 90 m de longueur ($LS = 3,25$) cultivée en biennal céréalière ($C = 0,40$) située sous le climat de Sidi Bou Becker (**R** moyen annuel = 2,50). La culture est faite dans le sens de la pente ($P = 1$).

Les pertes de terre moyennes annuelles de cette pente seront :

$$250 \times 0,20 \times 0,40 \times 3,25 = 65 \text{ t/ha/an.}$$

Si cette pente était cultivée en bandes alternées, les pertes ne seraient plus que de :

$$250 \times 0,20 \times 0,40 \times 3,25 \times 0,3 = 19,5 \text{ t/ha/an.}$$

3.1.2. - SUR UN BASSIN VERSANT

On déterminera des zones sur lesquelles chacun des facteurs *R*, *K*, *C*, *P*, a la même valeur et où le pourcentage de pente est homogène.

Chaque zone peut être considérée comme une parcelle. On prend comme longueur de pente, la longueur de pente moyenne de la zone.

3.2. - Détermination des mesures anti-érosives

Ces mesures ont pour but de ramener les pertes de terre actuelles à une limite acceptable (inférieures à la vitesse de reconstitution du sol). Il faut pour cela connaître les coefficients de réduction, par rapport à l'érosion actuelle, des différents remèdes. Nous verrons ensuite la manière

de combiner les différents facteurs pour en tirer des conclusions pratiques sur la nature et l'ampleur des travaux à effectuer.

3.2.1. - TOLÉRANCE DE PERTE DE TERRE

On ne peut ni techniquement, ni économiquement réduire les pertes de terre à zéro.

Il est évident que certains types de sol peuvent techniquement et économiquement supporter des pertes plus grandes que d'autres types (profondeur de sol plus grande, pédogénèse plus rapide...).

Les tolérances admises par les auteurs américains vont de 12,5 t/ha/an pour un sol profond, de texture équilibrée et moyennement perméable à 2,5 t/ha/an pour un sol superficiel. Une perte de terre de 10 t/ha fait perdre annuellement moins de 1 millimètre d'épaisseur au sol.

Il appartient aux services intéressés (Pédologie) de fixer par type de sol les pertes de terre à ne pas dépasser. Cette étude n'ayant pour but que d'exposer une méthode de travail, nous avons admis les pertes suivantes qui ont pour seule référence de se situer dans l'échelle américaine.

2,5 t/ha/an	{ Rendzines Sols bruns calcaires érodés sur marne
5 t/ha/an	{ Sols bruns calcaires moins érodés sur recouvrement Colluvions peu épaisses
10 t/ha/an	{ Sols bruns calcaires profonds Colluvions épaisses souvent hydromorphes en profondeur Sols alluviaux divers

3.2.2. - COEFFICIENT DE RÉDUCTION DE L'ÉROSION DES REMÈDES C.E.S. VALEUR DU FACTEUR P

Les pratiques conservatrices ont soit une action propre (culture en courbe de niveau), bandes alternées de niveau) sans changer la valeur de la longueur de pente, soit qu'elles diminuent cette longueur de pente (banquettes)

La valeur du facteur P est elle-même influencée par la pente et WISCHMEIER donne les valeurs suivantes pour le pourcentage résiduel d'érosion après traitement :

Pente %	Culture en courbe de niveau. Valeur de L à considérer = longueur de pente du champ.	Bandes alternées de de niveau. Valeur de L à considérer = longueur de pente du champ.	Banquettes, la terre déposée dans le canal considérée comme perdue. Valeur de L à considérer = longueur de l'interbanquette.	Banquettes, la terre déposée dans le canal n'est pas considérée comme perdue. Valeur de L à considérer = longueur de l'interbanquette.
---------	--	--	---	---

P en %

1,1 à 2,0	60	30	60	30
2,1 à 7,0	50	25	50	25
7,1 à 12,0	60	30	60	30
12,1 à 18,0	80	40	80	40
18,1 à 24,0	90	45	90	45

Remarquons que les bandes alternées ne sont valables que si l'assolement laisse une bande sur deux en chaume ou en pâturage pendant les mois de septembre et octobre. Dans le cas contraire un champ cultivé en bandes alternées n'est pas mieux protégé qu'un champ cultivé simplement en courbes de niveau.

3.2.3. - ESTIMATION DES REMÈDES A APPORTER SUR UNE PENTE DETERMINEE

La situation de la pente nous impose :

- **le sol**, donc la valeur de la tolérance de perte et la valeur du facteur **K**,
- **le climat**, donc la valeur du facteur **K** dont nous prendrons la valeur moyenne annuelle, puisque les tolérances sont des tolérances moyennes annuelles,
- le pourcentage de pente est connu.

Nous ne pouvons agir éventuellement que sur **L** (fractionnement de la longueur de la pente) après avoir mis en œuvre le facteur **P**.

- **facteur P** : nous avons le choix entre deux remèdes de base : la culture en courbes de niveau et la culture en bandes alternées (efficacité supérieure), donc entre deux valeurs du coefficient **P** (tableau, § 3.2.2.).

Nous pouvons résoudre l'équation :

$$LS = \frac{A}{R.K.C.P.}$$

Pour ces deux hypothèses pour **P**.

A chacune des deux valeurs de LS trouvées en résolvant l'équation, correspond, en regard du pourcentage de la pente, une longueur de pente

En résumé :

- à la valeur **P** courbes de niveau correspond une valeur L_c .
- à la valeur **P** bandes alternées correspond une valeur L_a .

Plusieurs cas peuvent se présenter :

- $L_c \geq$ longueur de la pente.

La pente peut être cultivée en courbes de niveau sans que les pertes dépassent la tolérance.

- $L_c <$ longueur de la pente.

Si on cultive la pente en courbes de niveau, les pertes dépasseront la tolérance. Si on fractionne la longueur de la pente par des banquettes à écartement horizontal choisi égal à L_c , on divise la pente en parcelles élémentaires pouvant être cultivées en courbes de niveau en perdant juste la tolérance. Le canal de ces banquettes recueillera alors un poids de terre équivalent à la tolérance. Mais ce dépôt n'est pas perdu pour autant et on peut admettre des atterrissements plus importants dans le canal des banquettes, donc un écartement plus large que L_c .

Au lieu d'avoir recours à cet écartement L_c exagérément coûteux, il nous faut envisager les bandes alternées qui réduisent cette densité de banquettes.

- $L_c >$ longueur de la pente

On peut cultiver la pente en bandes alternées sans que les pertes dépassent la tolérance.

- $L_a <$ longueur de la pente

Si on cultive la pente en bandes alternées, les pertes dépassent la tolérance. Si on fractionne la longueur de la pente par des banquettes à écartement horizontal

choisi égal à L_a (bandes alternées), on divise la pente en parcelles élémentaires pouvant être cultivées en bandes alternées en perdant juste la tolérance. Le canal de ces banquettes recueillera alors un poids de terre équivalent à la tolérance. Si, dans ce cas, on se contentait de cultiver l'interbanquette simplement en courbes de niveau (interbanquette étroite) la terre déposée dans le canal serait supérieure à la tolérance, ce que l'on peut admettre quand le canal des banquettes est utilisé. Dans ce cas d'ailleurs, les auteurs américains estiment que la quantité de terre qui sort effectivement de l'exutoire des banquettes n'est pas supérieure à la tolérance.

Tolérance = pertes de l'interbanquette cultivée en bandes alternées,
ou = pertes de l'interbanquette cultivée en courbes de niveau moins le dépôt dans le canal des banquettes.

La longueur L_a (bandes alternées) correspond donc à l'écartement horizontal des banquettes, l'interbanquette étant cultivée en bandes alternées ou, si on admet le comblement du canal des banquettes, en courbes de niveau seulement.

Conclusion

La pratique "Cultures en courbes de niveau", peu coûteuse, étant généralisable a priori, seule la valeur L_a , limite de la longueur de pente traitable en bandes alternées, nous semble importante à connaître. Nous avons donc réuni les données permettant de trouver rapidement cette valeur, qui est aussi celle à choisir pour l'écartement horizontal des banquettes.

Exemple :

- 1 - Soit une pente de 28 m de longueur caractérisée ainsi :
 - sol brun calcaire profond $K = 0,20$
tolérance = 10 t/ha/an
 - climat de Sidi Bou Becker
 R moyen annuel = 250
 - assolement biennal : foûrrage blé $C = 0,60$
 - pente 8 %.

Sur pente 8 %, P (bandes alternées) = 0,30. Nous pouvons donc écrire :

$$LS = \frac{10}{250 \times 0,2 \times 0,6 \times 0,3} = 1,11$$

Pour un pourcentage de pente de 8 % et une valeur de $LS = 1,11$, le graphique, p. 20 nous donne $L = 36$ mètres environ.

- L_a (bandes alternées) = 36 m.

Donc la pente sera traitée en bandes alternées (2 ou plus) mais sans banquettes.

- 2 - Soit une pente de mêmes caractéristiques que précédemment, mais de 60 m de longueur, nous trouvons toujours la même valeur de 36 m pour L_a (bandes alternées), ce qui signifie cette fois que la pente doit être coupée en deux par une banquette ($60 > 36$).

L'interbanquette peut ou non être cultivée en bandes alternées.

3.2.4. - ESTIMATION DES REMÈDES A APPORTER SUR UN BASSIN VERSANT

Le procédé consiste à découper le Bassin Versant en zones et à travailler ensuite comme il a été indiqué précédemment.

Dans chaque zone, chaque facteur a une valeur bien définie :

- même climat donc une valeur de R ,
- même sol donc même valeur de K et de tolérance de perte,
- même pourcentage de pente.

Il en résulte un choix donné d'assolements et nous cherchons les remèdes à apporter sur chaque zone comme précédemment indiqué.

CONCLUSION

L'équation universelle de WISCHMEIER, une fois ses paramètres bien connus en Tunisie, permettrait, pour une situation géographique donnée :

- si l'agriculture est primordiale, de déterminer la charge (en travaux C.E.S.) qu'aurait à supporter tel ou tel assolement pour l'installer dans des conditions stables de durée (érosion) et de productivité (conservation de l'eau).
- si la C.E.S. est primordiale, de déterminer l'assolement à adopter, qui, grâce à son action anti-érosive propre, rendrait minimum le coût des travaux C.E.S.

BIBLIOGRAPHIE

- LOBERT (A.) - Esquisse pédologique du bassin versant de l'oued Hallouf. Rapp.n°231, Subdivision d'Et.pédol., août 1963, 11 p., 2 cartes.
- WISCHMEIER (W.H.) et SMITH (D.D.) - Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Amer. Geo. Un.*, 1958, 39, 2, p.285-291.
- WISCHMEIER (W.H.), SMITH (D.D.) et UHLAND (R.E.) - Evaluation of factors in the soil loss equation. *Agr. Engin.*, 1958, 39, 8, p.458-462.
- WISCHMEIER (W.H.) - A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1959, 23, p.246-249.
- WISCHMEIER (W.H.) - Cropping-management factor evaluations for a universal soil-loss equation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1960, 24, p.322-326.
- WISCHMEIER (W.H.) et SMITH (D.D.) - A universal soil-loss estimating equation to guide conservation farm planning. *Trans. 7th Intern. Congr. Soil Sci.*, 1960, 1, p.418-425.

Les cartes détaillées qui concernent l'application à l'oued Hallouf (et citées dans le présent article) se trouvent dans la publication du C.R.G.R.-Tunis n° 30 de janvier 1963 (par CORMARY (Y.) et MASSON (J.)).