

Cartographie des risques érosifs sur le bassin versant de la retenue collinaire de El Hnach (dorsale tunisienne)

Patrick ZANTE - Jean COLLINET

mission I R D de Tunis, juin 2001



- 1 : vue générale du bassin depuis le moyen amont
- 2 : blés sur sols calcimagnésiques profonds en amont
- 3 : bad lands dans les marnes sénoniennes

Ministère de l'Agriculture
Direction de la Conservation
des Eaux et des Sols

Institut de Recherche
pour le Développement

SOMMAIRE

	pages
Résumé	3
Préambule	4
Objectifs	3
Partie I : Milieu physique et activités humaines	5
1.1 documents utilisés, localisation	5
1.2 caractéristiques du barrage	6
1.3 climat	7
1.4 géologie, géomorphologie	8
1.5 conditions de la pédogénèse	10
1.6 ressources en eau	11
1.7 production agricole	11
Partie II : Méthodes	13
2.1 principes généraux	13
2.2 l'indice topographique	14
2.3 les aménagements de conservation eaux - sols	16
2.4 les types d'occupation des sols	17
2.5 l'érodibilité des sols	21
2.6 l'érosivité des pluies	26
Partie III : Résultats, commentaires	28
3.1 les différentes "couches" d'information	28
3.1.1 érosivité des pluies, Rsi	28
3.1.2 érodibilité des sols, Ksi	29
3.1.3 topographie, SL	29
3.1.4 occupation des sols, C	32
3.1.5 travaux de CES , P	35
3.2 cartes de susceptibilité à l'érosion	37
3.2.1 signification des érosions calculées	37
3.2.2 érosions pondérées, érosions globales	37
Conclusion	46
Bibliographie	48
Annexes	51

RESUME

Les écoulements des 380 ha du bassin versant de El Hnach alimentent une petite retenue collinaire d'une capacité initiale de 77 000m³. L'érosion des quelque 60% de terres cultivées ou pâturées du bassin diminue la durée de vie de cette retenue dans des proportions encore mal connues.

L'étude de l'érosion menée sur ce bassin est justifiée par sa représentativité dans les cadres climatiques, morphologiques et agricoles plus vastes du haut tell tunisien et, plus particulièrement, dans celui du gouvernorat de Siliana.

La méthode d'étude a combiné un modèle de prévision de l'érosion (RUSLE) prenant en compte toute une série de données définissant les structures physiques et humaines actuelles du bassin. Ces informations, traitées ensuite dans un système d'information géographique (ARCVIEW), ont gagné une dimension dynamique permettant de faire un état actuel de la situation ou de simuler des changements d'états permettant de prévoir des effets comportementaux.

Dans son état actuel le bassin versant perd de 6,2 à 6,7 t/ha/an en année de précipitation normale (P = 369mm, R = 57 m.t/ha.h), et de 12, 8 à 14,1 t/ha/an en année plus agressive (P = 588mm avec R = 130 m.t/ha.h). Ces données calculées sont cohérentes avec une mesure bathymétrique réalisée en 1996, année particulièrement agressive, qui avait donné une érosion spécifique de 16,6 t/ha/an.

Si la méthode couplée RUSLE-SIG est performante pour tous les calculs portant sur une érosion aréolaire, on connaît mal ses limites pour les systèmes ravinaux qui, heureusement, ne fonctionnent que très occasionnellement.

Cette étude confirme la grande efficacité des banquettes dans le blocage des érosions des zones qui en sont équipées. Pour les champs ouverts, les remèdes contre l'érosion sont multiples mais il apparaît que si la dynamique structurale des sols à argiles actives favorise l'infiltration donc retarde l'érosion, de nouvelles voies dans l'amélioration des bilans organiques des sols dépourvus ou moins riches en argiles actives permettraient de limiter les pertes en terres en période de grande vulnérabilité.

PREAMBULE

L'évaluation des risques d'érosion sur le bassin versant cultivé de la retenue collinaire de El Hnach entre dans le cadre de la convention générale entre la Direction de la Conservation des Eaux et du Sol (C E S) et l' Institut de Recherches pour le Développement (I R D ex ORSTOM).

El Hnach est l'une des 26 retenues collinaires qui ont reçu un équipement permettant une étude plus intensive des bilans hydrologiques et des risques de sédimentation dans le lac donc de la genèse des écoulements et des érosions sur les versants .

Le travail de terrain commencé en juin 2000 a permis de recueillir toutes les données permettant d'utiliser un modèle de prévision des risques érosifs ensuite couplé à un S I G où les différentes couches d'informations permettent de tracer finalement les cartes des risques érosifs pour les situations réelles actuelles ou pour toutes situations simulées.

OBJECTIFS

L'application de l'équation générale du bilan hydrologique sur les retenues collinaires permet de connaître les écoulements par événements pluvieux efficaces. La bathymétrie donne des volumes de terre sédimentées, donc une érosion spécifique annuelle du BV. Ecoulements et sédimentations dépendent des événements climatiques, mais, pour une agressivité pluviométrique donnée, le sort de la retenue dépend des comportements hydrodynamiques et érosifs des terres cultivées de l'ensemble du bassin.

Si El Hnach fait partie du réseau des retenues plus intensément suivies, il n'est évidemment pas envisageable de multiplier de tels dispositifs sur la totalité des retenues déjà construites en Tunisie (520) ou prévues (plus de 1000) et dont on désire connaître les comportements et les durées de vie.

Ce travail a pour objet l'analyse du fonctionnement hydrodynamique et érosif d'un petit bassin versant cultivé, sur roches sédimentaires, dans le domaine du semi-aride méditerranéen. C'est donc une contribution au développement des modèles prédictifs de comportements en relation avec des variables explicatives inhérentes aux événements pluvieux, aux caractéristiques morphopédologiques du bassin et à une dynamique d'occupation des terres englobant les moyens mis en oeuvre ou à instaurer pour leurs protections, aménagements CES entre autres. Ces variables explicatives prennent alors rang de marqueurs qui, également identifiables dans d'autres bassins du même domaine morphoclimatique, permettent de prévoir des fonctionnements voisins. Cette démarche est un premier stade pour aborder une typologie des bassins versants et assurer un droit à l'extrapolation des informations stationnelles à un plus grand ensemble de retenues ou de barrages collinaires en Tunisie semi-aride.

PARTIE I

MILIEU PHYSIQUE ET ACTIVITES HUMAINES

1.1. Documents utilisés, localisation, cadre général

Les documents suivants ont été utilisés :

- carte topographique : feuilles n° 46 de SILIANA et 47 de BARGOU au 1/50 000,
- photographies aériennes, mission 74TU 359/250 UAG 412, photo 2823 au 1/25 000,
- carte géologique : feuille à 1/500 000 de 1985 du Service Géologique National ,
- coordonnées de la retenue: N 36° 04' 10" (307.64 Lambert) et E 09° 26' 55" (459.06 Lambert)



La retenue du bassin versant de El Hnach est localisée à 7 km à l' ESE de Siliana, l'oued El Hnach est tributaire de l'oued Siliana qui se déverse dans la Medjerda. La région de Siliana est représentative d'une partie des activités agricoles du gouvernorat du même nom. Ce gouvernorat couvre 467 000 ha soit 28% de la superficie de la région du nord-ouest tunisien et 3% du territoire national.

Les villes importantes sont Siliana, Bouarada, Maktar, Rouhia et Gaafour.



Figure 1 : localisation du bassin versant de El Hnach

La région de Siliana est moyennement accidentée avec de larges plaines peu pentues délimitées par des djebels culminant entre 1000 et 1300m (Djebels Bargou, Serj, Ballouta). Alors que les grandes plaines occupant des zones déprimées de la dorsale du haut tell tunisien sont généralement orientées NE-SO reproduisant ainsi l'axe tectonique majeur de cette dorsale, la plaine de Siliana, de quelque 10km de largeur, est orientée NNO - SSE selon un accident tectonique transversal (cf. § 1.4).

Les petites retenues collinaires sont situées en piémont des Djebels jouxtant ces grandes plaines, lieux où existent des modelés permettant de fermer des bassins de quelques Km² et de retenir l'eau pour l'usage de 5 à 10 fermes. El Hnach ne fait pas exception à cette règle.

1.2 Caractéristiques hydrologiques de la retenue de El Hnach

(d'après "Annuaire hydrologique des lacs collinaires - réseau de surveillance hydrologique" de D/CES et IRD)

La superficie du bassin versant est de 380 ha. La construction de la retenue de El Hnach date de 1992, les premières observations météorologiques et hydrologiques datent d'octobre 1993. Sa capacité initiale, jusqu'au déversement, était de 77 220 m³. La digue fait 62m de longueur pour 10m de hauteur, soit à 1,60m au dessus du seuil du déversoir bétonné situé en rive gauche.

La dénivelée du bassin est de 387 m entre un point haut à + 834m (rive gauche) et un point bas à + 447 m, cela donne un indice de pente de 104m/km. 15,5% du bassin est dégradé par un ravinement particulièrement développé à l'aplomb des marnes non protégées par les anciens encroûtements calcaires. Le bassin est cultivé à 40,2% (céréales dominantes), 24,4% sont en garrigue et parcours ligneux, l'arboriculture occupe environ 5% (oliveraies).

Les coefficients d'écoulement sont indiqués dans le **tableau I**

Tableau I: El Hnach, écoulements moyens et écoulements maximaux annuels.

	1995-96	1996-97	1997-98	1998-99	1999-00
Pluvio.annuelle (mm)	588,5	357,0	515,5	554,5	313,5
Jours de pluies >10mm	17	7	15	12	9
Coeff. écou. moy. (%)	10,7	13,2	6,6	5,4	3,4
Coeff. écou. maxi (%)	67,5	(*73,5)	41,5	11,0	13,3
Date	22/09/95	09/09/96	05/10/97	19/01/99	26/05/00
Hauteur pluie (mm)	25 mm	40 mm	30 mm	65,0	31,0
Intensité maxi. en 5' (mm/h)	62 mm/h	108 mm/h	61 mm/h	12 mm/h	48 mm/h

(*mesure douteuse)

Avec une seule mesure bathymétrique effectuée en 1996, il est difficile d'avoir une évaluation des érosions spécifiques ; selon cette mesure, le bassin perdrait environ 6% de sa capacité par an, l'érosion spécifique serait de 11,88m³ / ha ce qui est fort et laisserait au lac, à compter de cette année, une durée de vie de 12ans.

1.3 Climat

Les informations climatiques proviennent de la station météorologique de Siliana (23 années). La région appartient au bioclimat semi-aride moyen dans sa nuance continentale avec une forte amplitude thermique maximale annuelle de 32°C et des humidités moyennes plus faibles que près de la côte.

L'aridité, évaluée par le coefficient Q_2 d'Emberger, est égale à 44 à Siliana, 55 à Maktar ; rappelons que ce coefficient oscille entre 35 et 70 pour définir le bioclimat semi-aride. La pluviométrie annuelle est comprise entre 300mm en plaine et 500mm dans les zones montagneuses. Les 433mm de Siliana sont déficitaires par rapport à ce que l'on a en altitude (Maktar). Comme en d'autres régions de la Tunisie, les irrégularités interannuelles et saisonnières sont fortes.

Tableau II : moyennes pluviométriques mensuelles
(Siliana 1974-1997)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P. moy. (mm)	34,7	38,3	45,1	30,6	33,3	10,4	5,5	13,9	40,7	37,5	40,6	31,1

Tableau III : moyennes pluviométriques saisonnières

Saisons	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Année
P. moy. (mm)	189,94	104,23	109,07	29,8	433,04
Pourcentage (%)	44	24	25	7	100

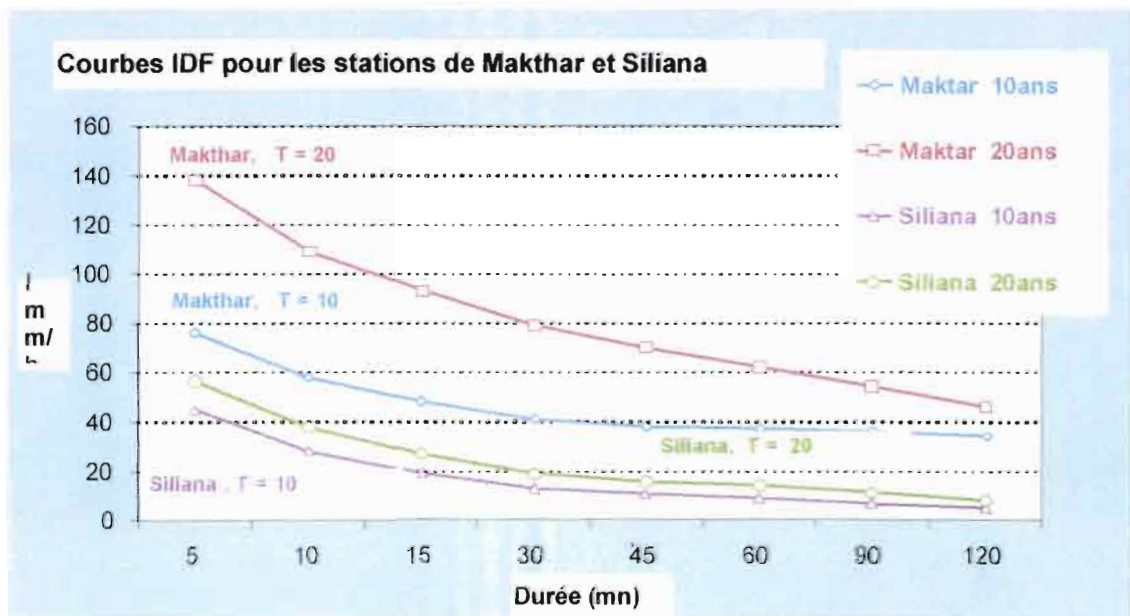


Figure 2: Courbes IDF des pluies sur les stations de Maktar et de Siliana

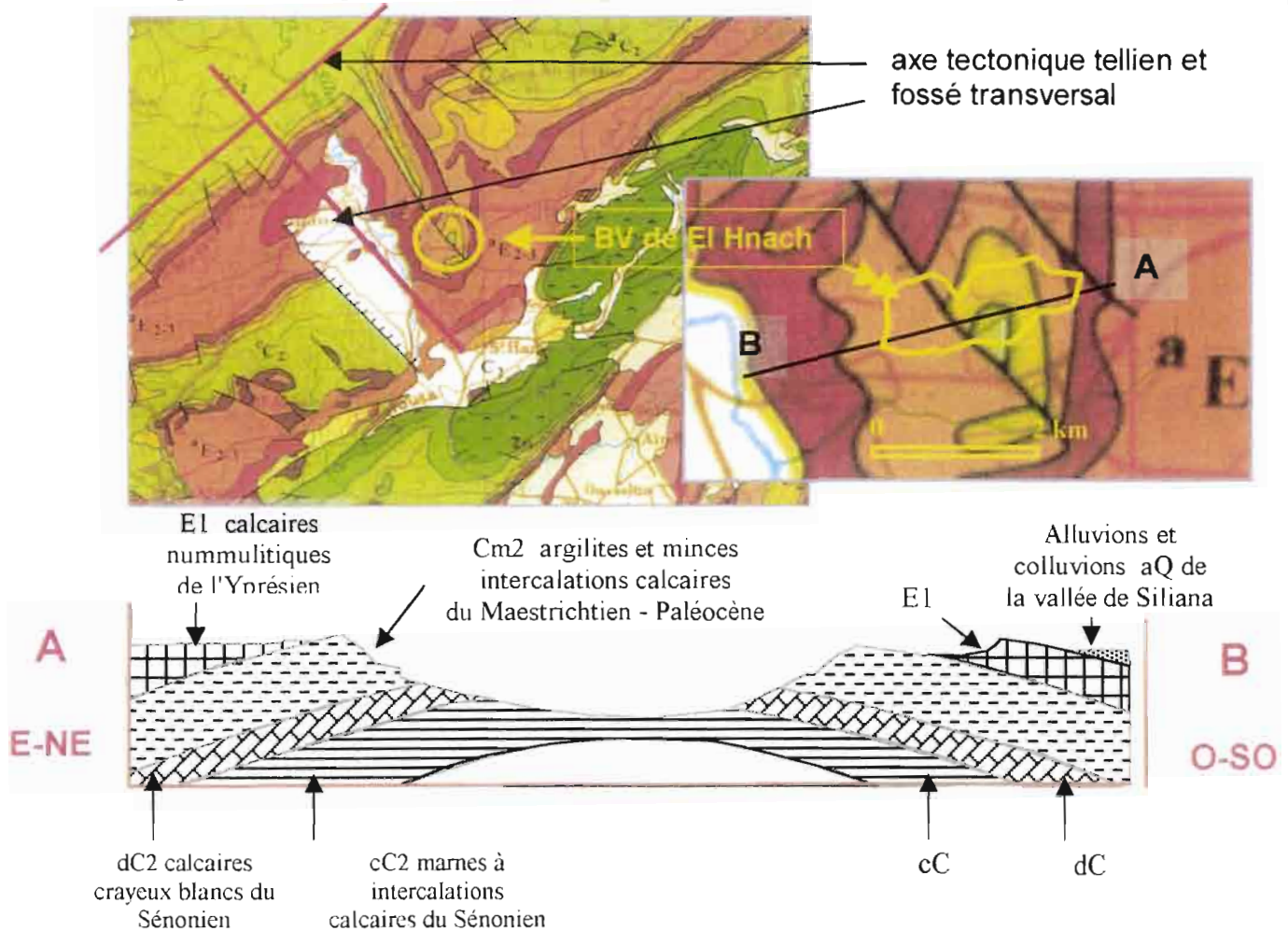
Des abaques "intensité / durée / fréquence" (IDF) ont pu être dressées pour les stations de Maktar (+ 900m) et de Siliana (+ 430m) ; on y observe une agressivité nettement plus forte pour Maktar, ceci va à l'encontre de ce que l'on observe généralement en ce qui concerne l'effet de l'altitude sur l'énergie des pluies, peut-être s'agit-il plus simplement d'un problème d'exposition.

$$Q_2 \text{ Emberger} = 2000 P / (\text{moyenne des températures maxi.})^2 - (\text{moyenne des températures mini.})^2$$

1.4 Géologie et géomorphologie

Le substratum géologique est exclusivement constitué de roches sédimentaires appartenant au Crétacé, au Tertiaire et au Quaternaire.

Le terroir de Siliana s'inscrit dans un synclinal à flancs Sénonien (Crétacé supérieur) et coeur Oligocène (Tertiaire). Cette structure est représentative d'une large bande de territoire s'étendant de Tunis à Kasserine où les différentes orogénèses ont donné des alignements NE - SO d'anticlinoriums et de synclinoriums d'amplitudes variables, séparés par des zones moins plissées aplanies en longs glacis dès le début du Quaternaire. Ces zones aplanies furent ensuite creusées de larges vallées et plus moins comblées par des colluvions et alluvions



Stratigraphie:

- aQ, Quaternaire: alluvions, colluvions récents comblant la dépression NO - SE de Siliana.
- O, Oligocène indifférencié (-35 à -25 Ma): alternances argilo-gréseuses formant le coeur du synclinal au N-O de Siliana, - ⁿE₁, Yprésien et Lutétien : calcaires à nummulites, calcaires dolomitiques, couches phosphatées,
- Cm₂-P, passage au Tertiaire (-65 Ma) avec le Maestrichtien - Paléocène : argiles à minces intercalations calcaires
- ^dC₂, Sénonien supérieur : calcaires crayeux blancs,
- ^cC₂, Sénonien inférieur (-88 Ma) : marnes à intercalations calcaires,
- ^aE₂₋₃, Lutétien et Priabonien : argiles et lumachelles pouvant passer à des évaporites,

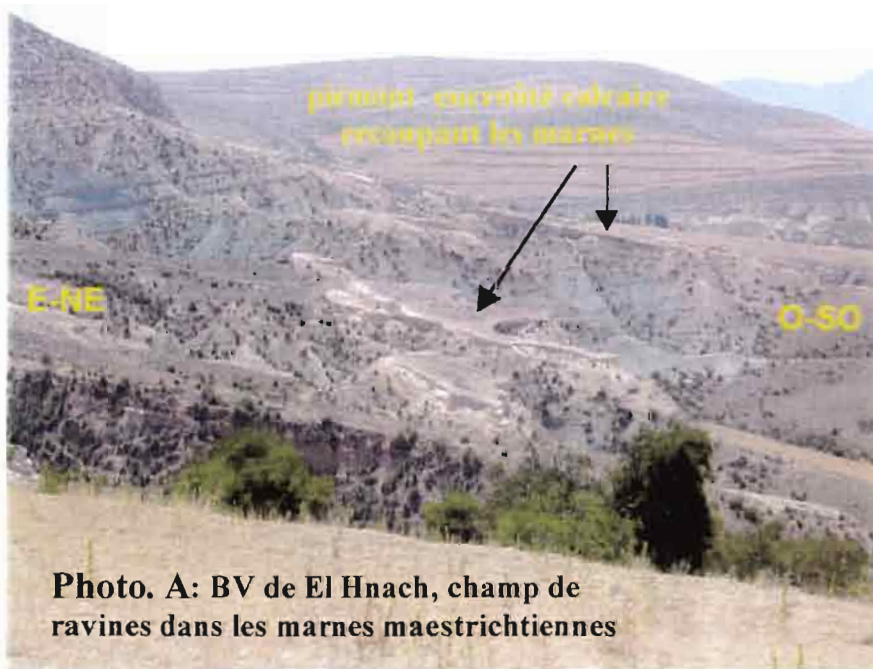
Figure 3: Esquisse géologique de la région de Siliana, coupe synthétique du BV de El Hnach (d'après la carte du Service Géologique National 1985 à 1/500 000)

Cette structure se complique lorsque, occasionnellement, la tectonique devient cassante avec des failles transversaux accompagnés ou non du coulissage des formations "cassées". Cette particularité est à l'origine de la désignation géostrucurale de ce domaine en "zone des fossés transversaux et des dômes" (Castany, 1953 - Jauzein, 1967, Jauzein et Coque, 1967). Ceci apparaît sur la reproduction de carte géologique de la **figure 3**. Sans entrer dans le détail, on note que l'alternance de roches dures et tendres explique les formes de modelé résultant de l'érosion hydrique dans cette région où les cuestas et longs revers plans correspondent aux bancs calcaires et où les dépressions ou bad-lands correspondent aux marnes et argilites. Les zones "vulnérables" sur marnes et argilites restent parfois protégées par des restes d'encroûtements calcaires fossilisant plus ou moins efficacement les glacis de la fin du Quaternaire moyen (équivalent : Tensiftien marocain - correspondance aux glaciations européennes du Riss) , donc de -0,30 à -0,12 Ma (R.Coque, A.Jauzein, 1965 , A. Ruellan , 1971 - Ph. Blancanneaux, 1989, Th. Vogt, 1984).

Cette morphologie en cuestas sur calcaires, en ravins ou bad-lands sur marnes et en glacis plus ou moins protégés par des encroûtements est particulièrement visible de part et d'autre de la route descendant sur Siliana et plus particulièrement encore dans le BV de l'oued El Hnach.

Bien que ne disposant pas de carte géologique détaillée, il est possible à l'aide de la photographie aérienne d'identifier quelques étages indiqués sur la feuille au 1/500 000 ème.

C'est ce qui est représenté synthétiquement sur la coupe E-NE -- O-SO de la **figure 3** qui



présente un anticlinal peu accentué et faillé (failles non représentées sur la coupe). Sur le terrain, il se confirme que la branche nord-sud de l'oued El Hnach coule sur les dalles marneuses assez dures du Sénonien inférieur, qu'en rive gauche ces marnes peu protégées donnent des bad-lands tandis qu'en rive droite celles-ci sont plus fréquemment protégées par les encroûtements quaternaires. Plus au NE, donc vers l'amont, on retrouve les calcaires du Sénonien (dC2), puis, de nouveau, les champs de

ravines marquant les argilites maestrichtiennes (Cm2) à peine armées par de minces bancs calcaires, y apparaissent aussi les restes de piémonts encroûtés recoupant ces affleurements marneux (**photo. A**)

1.5 Conditions de la pédogénèse, répartition des sols, implications sur la dynamique actuelle

Seuls les grands traits de la pédogénèse de la région sont évoqués ici . On sera amené à redéfinir les caractéristiques des sols du petit bassin versant de El Hnach de façon plus orientée sur les facteurs de risques érosifs au § 2.5.4 de ce travail.

Dans toute la région de Siliana, du fait du climat, l'altéropédogénèse actuelle est très peu intense et il s'y détruit plus de couvertures pédologiques anciennes qu'il ne s'en différencie de nouvelles sauf dans les zones moins drainées favorisant l'hydromorphie, voire une vertisolisation récente facilitée par une nette lithodépendance de sols héritant des argiles gonflantes déjà contenues dans les roches-mères.

On est trop au nord, et dans des zones relativement drainantes, pour observer les salinisations ou les alcalinisations qui deviennent plus fréquentes sous les bioclimats plus arides du sud (plaine de Kairouan). La lithodépendance entraîne par contre une gypsification des sols situés à l'aplomb de certaines marnes Eocènes.

La différenciation actuelle des sols dépend des intensités de l'érosion , voire de mouvements de masse sur fortes pentes. La profondeur des profils est liée à l'intensité de cette abrasion confrontée à la plus ou moins grande résistance de matériaux qui, rappelons-le, sont assez souvent encroûtés.

Les teneurs en matière organique sont basses (médiane vers 0,7 %) et cela pour différentes causes:

- faiblesse des productions naturelles de biomasse, ancienneté de l'occupation des terres,
- sous ce climat, les processus de minéralisation l'emportent toujours sur ceux de l'humification,
- très faibles restitutions organiques imposées par l'errance des troupeaux et l'exportation des pailles vendues pour les stabulations du nord du pays.

Sur marno-calcaires et calcaires qui représentent 75% des substratums, les textures oscillent entre le limono-argileux sur marnes calcaires et le limono-sableux fin sur calcaires, les sables grossiers sont rares. Cette granulométrie favorise la battance des sols, ce qui limite considérablement les conductivités hydrauliques superficielles. On trouve, par contre, des textures plus fines, argileuses à très argileuses sur les marnes argileuses et argilites, soit sur 25% des surfaces qui correspondent, lorsque ces roches affleurent, aux zones ravinées, voire aux badlands.

Les conditions et modalités de la structuration des agrégats naturels ou de la restructuration des mottes de labour ont une importance prépondérante pour le statut hydrophysique des sols.

Dans un pédo-environnement à faible taux de colloïdes organiques, à faible activité micro-organique, à complexes absorbants saturés par des cations alcalino-terreux voire alcalins, à faibles taux de sesquioxydes métalliques, une grande part du comportement des sols est liée aux taux d'argiles et surtout à la nature cristallographique de ces argiles.

Les sols contenant assez d'argiles gonflantes développent des structures naturelles fragmentaires nettes et relativement stables. Le travail de ces sols fournit des mottes susceptibles de régénérer, par dessiccation, les mêmes structures nettes et relativement stables favorisant l'infiltration et permettant le maintien de fortes rugosités, ce qui limite l'abrasion liée aux flux hydriques. Nous verrons cependant ultérieurement que si ces sols à structure stable sont susceptibles de limiter les ruissellements, au moins par l'infiltration des premières pluies, ils peuvent aussi, malheureusement, fournir de très fortes charges solides.

Dans la région de Siliana, les unités pédologiques exprimées selon la classification française des sols de 1967 (CPCS) reproduisent assez fidèlement les limites des étages géologiques. Le décodage de cette taxonomie est possible dans la mesure où ces unités coïncident souvent avec les contours des formations géologiques.

a) sur les marnes à intercalations calcaires du Sénonien inférieur (cC_2), on trouve la juxtaposition suivante:

- des sols calcimagnésiques sur les calcaires, ils sont saturés en $Ca CO_3$ actif,
- des sols bruns sur les passages plus marneux, ils sont souvent décarbonatés, ont des teneurs un peu plus fortes en matière organique (protection par l'argile) et possèdent une structuration généralement plus affirmée,

- des lithosols ou des régosols sur croûtes calcaires, ils sont peu épais et à charge importante en graviers et cailloux, ce qui limite le volume de terre susceptible de stocker les réserves hydriques.

b) sur les calcaires crayeux blancs (dC_2), les argiles à intercalations calcaires (CM_2-P), les calcaires à nummulites et les calcaires dolomitiques (eE_1) qui forment le passage du Crétacé à l'Eocène, on trouve une juxtaposition de sols calcimagnésiques sur les strates les plus calcaires et de sols vertiques sur les strates les plus argileuses ; cette couverture pédologique est constituée d'unités à nettes variations texturales et structurales latérales.

c) sur les argiles et lumachelles du Lutétien ($^aE_{2-3}$) et les argiles de l'Oligocène (O) on retrouve les mêmes différenciations que précédemment avec des vertisols plus fréquents,

d) enfin, les colluvions et alluvions des bas de versant et des vallées (aQ) reçoivent des sols peu évolués d'apport dont les profondeurs et textures dépendent étroitement de l'origine de ces apports. Les plus profonds possèdent souvent une texture équilibrée, ce sont les terres céréalières des larges vallées. D'autres sols proviennent directement du démantèlement des croûtes calcaires, ils sont caillouteux et peu épais donc nettement moins intéressants.

1.6 Ressources en eau

Les ressources en eau du gouvernorat de Siliana sont estimées à $191.10^6 m^3$, on distingue essentiellement :

a) les eaux de surface estimées à $170.10^6 m^3$ dont $58.10^6 m^3$ mobilisées dans les barrages de Siliana et de Lakhmès et $70.10^6 m^3$ dans les barrages de Sidi Salem et Nebhana, donc en dehors des limites du gouvernorat. Le taux de mobilisation des eaux de surface atteint donc 75%.

b) les eaux souterraines sont estimées à $22.10^6 m^3$ dont $11.10^6 m^3$ proviennent des nappes profondes et $11.10^6 m^3$ des nappes phréatiques. La mobilisation de ces ressources est assurée par 41 forages et 1700 puits de surface.

La capacité de mobilisation des ressources en eau demeure insuffisante pour les besoins du gouvernorat.

1.7 Production agricole, ouvrages de CES , contexte socio-économique

Les grandes plaines de la région de Siliana sont surtout à vocation céréalière mais les rendements y sont homogènement médiocres. Les céréales, et particulièrement le blé dur, occupent plus de 53% des surfaces cultivées du gouvernorat. Sur ces sols souvent minces, donc à faibles réserves hydriques, les rendements restent faibles (5 à 10 qx/ha). En piémont où 30 à 40% des terres sont emblavées, la situation est hétérogène, reflétant en cela l'hétérogénéité des situations (texture, profondeur des sols donc réserves hydriques).

L'assolement est classiquement biennal de type jachère / céréales. En plaine, on assiste depuis quelques années à l'introduction de légumineuses fourragères qui amélioreraient la fertilité des sols au niveau de leur bilan organique et passeraient pour permettre un accroissement de la production céréalière lorsque ces légumineuses se substituent à l'année de jachère.

Les arbres fruitiers sont rares, ils commencent à être introduits en aval des retenues collinaires où l'irrigation facilite la reprise des jeunes plants. Sur les rives de l'oued et les terrasses, on pratique le maraîchage irrigué par pompage dans les mares délaissées par l'oued puis dans un alignement de puits occupant les lits mineurs. Malheureusement, ces nappes superficielles se rabattent rapidement en été.

La zone étudiée contient de nombreux travaux de CES tels que des lacs collinaires (El Hnach entre autres) et un abondant réseau de banquettes de terre particulièrement efficaces (C E S 1995).

Dans les zones marneuses, les corrections de ravins et ravines par murettes, fascines et divers empierrements ont une efficacité correcte en plaine, mais celle-ci se limite considérablement dans les piémonts les plus pentus où la seule protection est assurée naturellement par les encroûtements calcaires recouvrant les parties de glacis sur ces marnes et argilites.

Grâce à un effort soutenu de reboisement et d'entretien des forêts plus anciennes, le taux de boisement du Gouvernorat de Siliana atteignait 23% en 1994 avec près de 110 000 ha de forêts et de garrigues arbustives. Ce taux, appréciable dans ce bioclimat sub-aride, est seulement dépassé par celui des régions septentrionales plus humides (Zaghuan, Jendouba, Bizerte).

Avec ses 239 600 habitants, dont 71% de ruraux, le gouvernorat de Siliana représente 3% de la population totale du pays. Le flux migratoire sortant est estimé à environ 3% l'an. Les délégations les plus touchées par ce phénomène sont celles de Maktar et de Bargou. Les habitants tirent essentiellement leurs ressources d'une agriculture basée sur l'élevage ovin et la céréaliculture qui produirait respectivement 10 000 et 9 000DT de valeur brute. Par rapport aux potentialités agronomiques du gouvernorat et malgré une récente évolution, le volume de production enregistré demeure faible. Les rendements sont loin d'être satisfaisants, enfin les services agricoles connaissent des problèmes de mécanisation, d'approvisionnement, de capacité de stockage, d'écoulement de la production..

PARTIE II

METHODES

2.1 Principes généraux

Le calcul des risques d'érosion et la représentation cartographique de ces "isorisques érosifs" nécessitent la saisie de différentes couches d'informations dans un modèle de prévision des érosions puis d'illustrer le résultat des calculs dans un Système d'Information Géographique, (ARC VIEW). Le modèle prédictif d'érosion RUSLE (1993, 1994 et 1995) a été retenu car ses révisions successives l'ont rendu pertinent dans le cadre des petits bassins assez longilignes où les longueurs de segments homogènes de versant n'excèdent pas 300m, et où des améliorations permettent maintenant de pondérer l'indice topographique par les modes d'érosions détectés sur le terrain.

S'il convient de garder son sens critique quant aux informations livrées par ces modèles dans des milieux où existe parfois une forte composante ravinante, voire des risques de mouvement de masse, on constate aussi que d'un BV à l'autre, et toujours dans ce domaine méditerranéen, les données sortant de ce modèle peuvent être comparées entr'elles. Elles ont d'autre part une assez bonne cohérence avec celles de la simulation de pluies pour des érosivités de pluies moyennes. Elles sont également comparables aux masses des sédiments mesurées par bathymétrie dans les lacs des petites retenues.

L'inventaire de terrain est mené selon la procédure classique avec un travail plus approfondi sur des zones témoins préalablement repérées par photo-interprétation puis une extrapolation de l'information pour couvrir la totalité du bassin; une dernière mission permet enfin de vérifier les contenus et contours des différents types d'unités retenues.

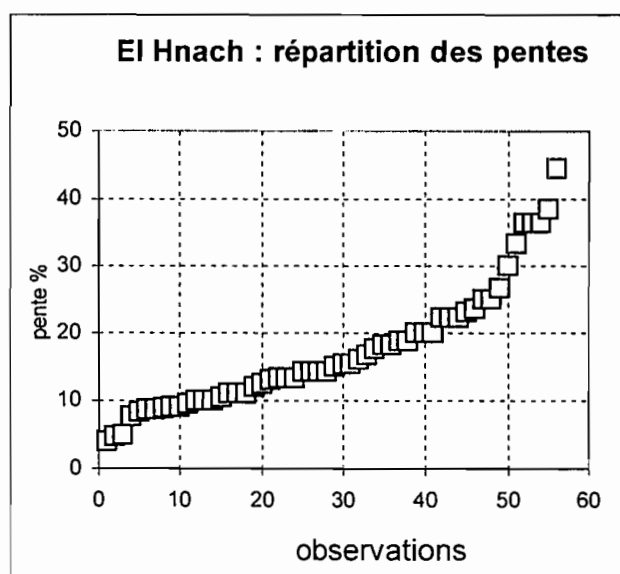
La collecte de l'information a porté sur:

- a) la topographie pour relever la longueur, la régularité, les inclinaisons des segments de versants homogènes,
- b) les aménagements et techniques de CES,
- c) l'occupation actuelle des sols tant en ce qui concerne les couverts dits "naturels" que les extensions et types de cultures ainsi que les assolements pratiqués,
- d) l'érodibilité des sols, nécessitant au préalable l'établissement d'une carte pédologique définie par une taxonomie adaptée à l'échelle de restitution finale mais aussi aux caractéristiques hydrodynamiques et structurales des sols,
- e) si possible, une caractérisation de l'érosivité des pluies annuelles.

2.2 L'indice topographique

2.2.1 Pentas des segments homogènes de versant

Le document de base est la carte topographique au 1/25 000. L'indice topographique se construit en prenant en compte deux paramètres: (i) l'inclinaison (ii) la longueur de segments de versants homogènes c'est-à-dire ayant, en coupe, le même profil (en gros... rectiligne, convexe, concave) Pour l'inclinaison des segments de versants, la méthode, préconisée par la FAO (1993), consiste à déplacer sur la carte topographique un petit cercle gravé sur un transparent et à noter le nombre de courbes de niveau vues dans ce cercle. Le **tableau A1** en **annexe** donne les pentes

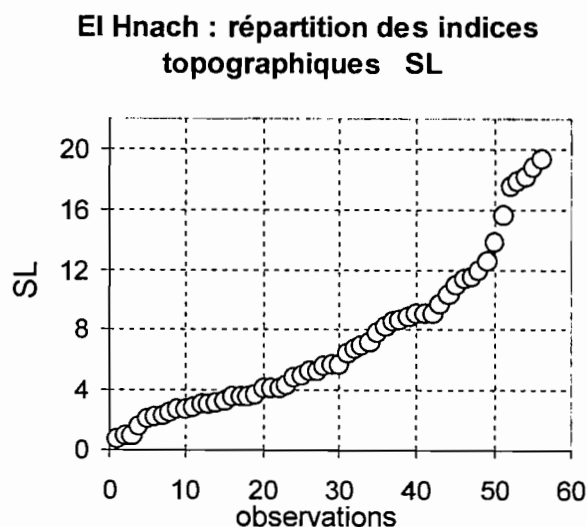


(en %) correspondant à des cercles de 0.5, 0.75, 1.0 et 1.5 cm utilisés sur des cartes au 1/10000, 1/12500 ou 1/20000 pour une équidistance de 10 m.

Des segments tracés perpendiculairement aux courbes de niveau et comprenant une ou plusieurs courbes sont mesurés manuellement sur la carte ou à l'aide d'un logiciel de cartographie assistée. Un tableur contenant les données précédentes permet le calcul rapide des pentes. Cette méthode, appliquée sur le bassin versant de El Hnach (**tableau A2** en **annexe** et **fig.4**), aide à déterminer les classes des pentes représentatives du bassin en analysant les différentes inflexions de la courbe cumulative.

Figure 4: répartition des pentes sur le BV de El Hnach

2.2.2 L'indice topographique SL (combinaison pentes + longueurs de segments homogènes sur versants)



Le calcul de cet indice fait intervenir la pente et la longueur de pente. Il tient compte des effets longueur et inclinaison de versant pour déceler les débuts d'une érosion par cisaillement sans toutefois dépasser le stade d'une ablation en rigole (canalisation de quelques dizaines de centimètres de profondeur, susceptible d'être supprimée par le travail du sol.). Cette correction se fait selon un rapport érosion en rigoles / érosion en nappe, l'indice SL augmente donc avec ce cisaillement.

Figure 5: distribution des indices topographiques SL sur El Hnach

Les options pour le calcul de SL dans le logiciel RUSLE sont donc les suivantes :

- nombre de segments,
- longueurs égales ou variables de ces segments,
- choix de la table des rapports érosion en rigole / érosion en nappe, (fort, moyen, faible)
- longueur de pente mesurée horizontalement (projection) ou selon la pente (développement),
- enfin, entrée pour chaque segment de la pente et de la longueur de pente.

2.2.3 Problème des zones ravinées

Le modèle RUSLE ne peut pas calculer les effets « pentes + longueur de versant » sur la capacité abrasive et la compétence du flux créant les systèmes ravinaires profonds, par contre, ce modèle reste pertinent pour calculer les abrasions de type aréolaire (nappe + rigole) sur les berges des ravines ainsi que sur les dépôts de fond de lit.

Des mesures faites en d'autres systèmes ravinants sur altérites de marnes et d'argilites montrent que, dans la production totale de sédiments, cette forme d'érosion aréolaire sur système ravinant à vif est loin d'être négligeable parce qu'elle résulte de courtes averses à fortes intensités et qu'elle est donc plus fréquente que l'érosion ravinante stricte qui nécessite toujours la formation d'écoulements sur l'impluvium de l'amont.

En zone ravinée, on calcule des indices SL selon deux cas de figures:

a) si la ravine débute sur un versant régulier, on considère un segment amont de 15 m à 20 % de pente et un segment aval de 20 m à 100% avec un rapport érosion en rigole / érosion en nappe élevé, cette procédure équivaut à considérer une pente uniforme de 35 m à 75.7 %, soit un indice SL de 14,2

b) si les pentes sont surmontées d'une corniche, on applique une longueur de 30 m à 100% de pente, un rapport rigole / nappe élevé, soit un SL de 14,7 .

La **figure 5** montre la distribution de ces indices sur le bassin de EL Hnach. Le **tableau A3 en annexe** donne le détail des calculs de ces indices SL, enfin, la carte des classes de pentes produite en **annexe** sert de document préliminaire pour construire une seconde carte où sont délimités les indices topographiques SL.

2.2.4 Problème de la régularité du versant

Pour une inclinaison de versant donnée, une pente concave provoque des sédimentations là où le flux de ruissellement perd sa compétence puisque sa vitesse diminue proportionnellement à la diminution de l'inclinaison du segment de versant aval ; la relation la plus connue entre la vitesse du flux et la pente étant du type:

$$\text{vitesse du flux} = k \cdot \text{pente}^{0,5}.$$

La relation pente / érosion a , quant à elle, été étudiée depuis longtemps (Zingg, 1940 - Borst et Woodburn, 1949 - Heusch, 1970 - Hudson, 1973), elle est souvent de la forme

$$\text{érosion} = k \cdot \text{pente}^a$$

l'exposant "a" variant de 1,5 à 2 selon les auteurs ; cette importante variation s'explique par la difficulté de maîtriser tous les facteurs expérimentaux (nature du sol, modalité de l'érosion, rugosité liée aux facteurs précédents etc..) pour isoler le seul effet « pente ».

Sur pente convexe; c'est différent, la compétence du ruissellement augmente avec la longueur de versant par augmentation de sa vitesse à cause de la convexité, la capacité de transport augmentant, on n'aura, en principe, aucun dépôt sur ce type de versant.

2.2.5 Problème de la longueur du versant

L'influence de la longueur du versant sur l'érosion est également complexe. Les réponses sont différentes selon les auteurs et selon les expérimentations pratiquées dont il faut bien dire qu'aucune n'est strictement comparable.

Sur une pente constante, et surtout sur un sol qui aurait la même érodibilité et une infiltrabilité constante de l'amont vers l'aval, la lame ruisselée doit augmenter avec l'allongement du versant puisque celle-ci s'enrichit du cumul de tous les refus d'infiltration lors de son transit.

Dans ces conditions, l'intensité du flux augmentant, sa capacité de transport et sa capacité érosive devraient elles-mêmes augmenter donc, logiquement, l'érosion augmenterait avec l'allongement du versant.

2.2.6 Combinaison inclinaison et longueur de versant

Selon les développements théoriques précédents, tout concourt à ce que l'érosion augmente avec la pente et avec la longueur du versant.

La pratique montre, d'une part, que la dissociation des effets pente et longueur est souvent difficile, d'autre part, que si l'effet de l'inclinaison du versant sur une augmentation de l'érosion est le plus souvent vérifié, l'effet longueur de versant l'est moins souvent parce que la différenciation toposéquentielle des sols aboutit souvent à faire varier leurs infiltrabilités de telle sorte que cet effet théorique est annihilé.

2.3 Les aménagements de C E S

2.3.1 Les indices de pratiques anti-érosives P

Le facteur P est un rapport sans dimension obtenu par comparaison avec un étalon unité : $P = 1$ quand le travail du sol est effectué dans le sens de la plus grande pente pratique occasionnant, en principe, les plus grands risques. L'effet du travail des terres en courbes de niveau dépend de la

Travaux CES	Pente %	Indice P
banquettes avec ou sans plantations	5-10	0,10
banquettes avec ou sans plantations	10-15	0,12
banquettes avec ou sans plantations	15-20	0,16
banquettes avec ou sans plantations	20-30	0,18
cordons de pierres, cactus et reboisement		0,15
cordons de pierres et cactus		0,20
cactus en lignes		0,26
plantation forestière anti-érosive		0,30
cordons de pierres sèches		0,35
Ripage avant plantation		0,70

pente, il devient pratiquement nul pour des pentes $> 20\%$. Le **tableau IV** représente les valeurs extraites d'une recherche bibliographique en rapport avec les travaux généralement pratiqués dans la région.

Le **tableau A4** en annexe explique comment furent retenus les indices P du **tableau IV**,

Tableau IV : El Hnach valeurs retenues pour les indices P (RUSLE)

La figure 6 montre la pondération des différents indices selon les pentes lorsque les travaux de protection sont réalisés de façon isohypse. La carte des aménagements CES en annexe C1 montre les transformations subies par quelque 40% de la superficie du bassin. C'est le document préliminaire servant à la délimitation des pratiques anti-érosives sur la carte des indices P.

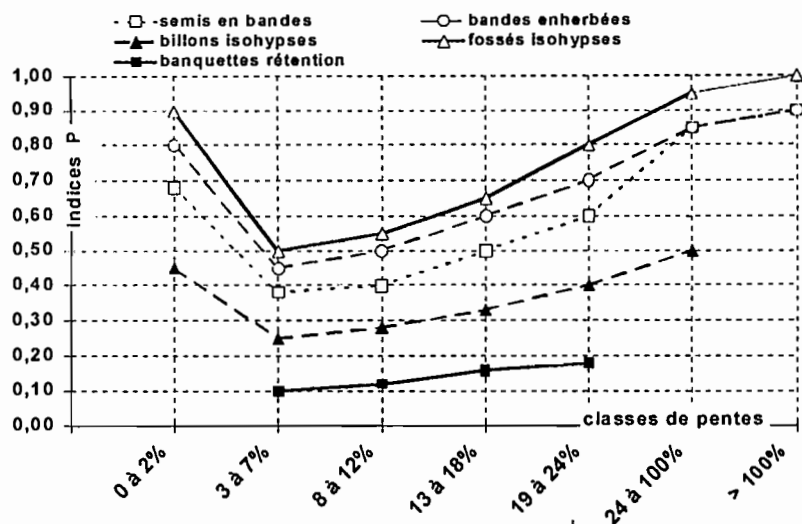


Figure 6 : variation des indices P selon la pente topographique et pour différents aménagements

2.4 Les types d'occupations des sols

L'information sur l'occupation des sols s'obtient par l'interprétation des photographies aériennes combinée à une reconnaissance de terrain. Sur le bassin versant de El Hnach, les surfaces en cultures annuelles sont essentiellement semées en céréales qui alternent une année sur deux ou sur trois avec une jachère sans qu'il soit possible d'identifier les parcelles sur lesquelles on pratique un assolement plutôt qu'un autre. De plus, le paysan peut changer au cours du temps l'assolement qu'il applique à une même parcelle.

Garrigue plus ou moins dense et parcours ligneux caractérisent les terrains qui ne sont jamais cultivés et qui sont réservés au parcours par les animaux. Ont été cartographiées en *garrigue* les zones à formation buissonnante pouvant aller jusqu'à 1 m de hauteur, souvent constituées de cistes du Liban, de romarins, de genêts, et d'alfa. Par convention, la *garrigue est dite claire* lorsque son recouvrement du sol ne dépasse pas 10%. Le *parcours ligneux* est constitué de plantes pérennes mais exclusivement ligneuses basses, et de chaméphytes en faible densité (5 à 17% de recouvrement maximum).

Les zones de ravines ne sont pas cultivables mais sont accessibles au parcours des animaux : elles pouvaient être cartographiées en *affleurements non végétalisés* ou encore, intégrées aux terrains de *parcours*. Nous avons retenus des *ravines vives* (# 10%) et des *ravines végétalisées* (# 5%) pour distinguer deux risques érosifs.

Deux voies ont été utilisées pour le calcul de l'indice C, effet du couvert végétal sur les pertes en terre : d'une part, l'utilisation de l'adaptation marocaine du logiciel RUSLE, d'autre part, une recherche bibliographique sur les valeurs de C retenues en relation avec des descriptions de couverts. Il faut noter que les cultures annuelles posent un problème particulier en raison du cycle de développement végétatif qui induit de fortes variations d'indice au cours de l'année.

2.4.1 Les indices de couvert végétal C par voie de logiciel

Les variables nécessaires au calcul de l'indice sont prévues dès la conception des fiches de terrain. Un premier calcul est effectué pour les unités occupées par de la végétation pérenne (tabl. V) un second calcul prend en compte les observations sur parcelles cultivées en plantes annuelles (tabl. VI)

Pour les plantes pérennes, les variables à prendre en considération pour le calcul de C dans l'adaptation marocaine du logiciel RUSLE sont :

- 1) la masse racinaire en kg / ha dans les 10 premiers cm de sol,
- 2) le couvert végétal en %,
- 3) la hauteur moyenne du végétal, en m,
- 4) la rugosité du sol en mm (différents choix)
- 5) la présence d'une perturbation mécanique (2 options),
- 6) la couverture totale du sol par les pierres et les résidus végétaux,
- 7) un code (b) qui pondère le calcul selon une évaluation des manifestations respectives des érosions en nappe et en rigole:

code 1 : b = 0.035, sol nu, érosion en rigole = érosion en nappe

code 2 : b = 0.025, sol nu dominé par l'érosion en nappe

code 3 : b = 0.050, sol nu dominé par l'érosion en rigoles

code 4 : b = 0.045, sol grossier et précipitations faibles, couvert affectant le ruissellement.

Tableau V : calcul du facteur C pour plantes pérennes – paramètres d'entrée du modèle RUSLE.

Occupation	Unités	Masse racinaire (kg/ha) sur 0,10m	Couvert (%)	Haut. (m)	Rugo. (mm)	Perturb. mécaniq	Couvert total (%)	b	Indice C
Cactus	1	1200	60	1,5	28	1	40	1	0,017
Oliviers et sol nu	2	1200	25	2	15	1	10	2	0,104
Arboriculture	3	1200	35	2	15	1	10	2	0,098
Garrigue H. 0,5m Couv. 25%	4	800	25	0,5	20	1	50	2	0,040
Garrigue claire H. 0,5m Couv.15%	5	1200	15	0,5	20	1	60	1	0,014
Parcours ligneux H. 0,2m Couv. 10%	6	1200	25	0,3	28	1	60	1	0,010
Ravine végétalisée	8	500	10	0,3	28	1	30	3	0,035

La même procédure est utilisée pour les parcelles cultivées en plantes annuelles avec cependant la prise en compte de deux particularités pour améliorer l'évaluation des rôles protecteurs des couverts.

Estimation des résidus au sol

Pour pallier le manque d'information sur les résidus, le calcul d'un ratio s'est fait à partir des données des observations de terrain des sites 39 et 41, les pourcentages sont déterminés le plus rigoureusement possible à l'aide d'un comparateur de terrain.

N° 39 : couvert 50% et 25% de résidu

N° 41 : couvert 10% et 10% de résidu

Soit 0.37% de résidu par pourcentage de couvert

Variations du facteur C avec la vigueur des couverts

Lors des prospections de terrain, on constate souvent que certaines parcelles présentent une densité de semis et un rendement potentiel supérieur à d'autres. Ceci est corroboré par les résultats de calcul de l'indice C. Deux lots apparaissent dans les valeurs de C calculées par RUSLE :

- 1 lot à 30.8% au dessus du C moyen
- 1 lot à 43.2% au dessous du C moyen

La plus ou moins forte vigueur des plantes assure ainsi une protection plus ou moins forte contre le risque érosif ; cette situation a été prise en considération en modulant les indices C de + ou - 30% de part et d'autre du C moyen proposé par MASSON.

Ces résultats figurent dans le **tableau VI**.

Tableau VI : calcul du facteur C pour plantes annuelles – paramètres d'entrée du modèle RUSLE.

N° observations	Masse racines (kg/ha) sur 0,10m	Couvert (%)	Haut. (m)	Rugos. (mm)	Perturb. mécanique	Couv. total (%)	Couv. pierres	Couv. résidus	b	Indice C
24	1000	35	0,25	15	Non	23	10	13	2	0,067
25	800	10	0,25	15	Non	54	50	4	2	0,047
34	1000	30	0,5	15	Non	11	0	11	2	0,099
38	1000	35	0,3	15	Non	23	10	13	2	0,067
39	1200	50	0,3	15	Non	65	40	25	2	0,017
40	1000	30	0,5	15	Non	17	2	15	2	0,085
41	800	10	0,1	15	Non	40	30	10	2	0,066
44	1200	50	0,5	15	Non	23	5	18	2	0,047
45	1500	80	0,7	15	Non	30	0	30	2	0,023
18	1100	40	0,2	15		16	1	15	2	0,069
20	1100	40	0,3			20	5	15	2	0,063
22	1500	70	0,4			26	0	26	2	0,026

2.4.2 Les indices de couvert végétal C proposés dans la littérature

a) Travaux de J.M. Masson (1971) sur les indices C selon les périodes culturales (céréales)

Le calcul de l'indice C pour la végétation annuelle est complexe car la sensibilité du sol à l'érosion varie tout au long du cycle cultural. Le cycle de variation de C est constitué des périodes suivantes :

Période 1 : labour, jachère travaillée

Période 2 : semis

Période 3 : établissement du couvert, développement végétatif

Période 4 : maturation, moisson

Période 5 : chaumes, jachère pâturée

Tableau VII : variations de l'indice C selon la période culturale (Masson, 1971)

Culture	Périodes culturales				
	1 1/9 au 1/11	2 1/11 au 1/12	3 1/12 au 1/3	4 1/3 au 15/6	5 15/6 au 1/9
céréale avec retournement, pas de pâturage consécutif > 2 ans, pailles ramassées	0,65	0,70	0,45	0,15	0,20

Masson, (1971) fait aussi intervenir les types d'assolement (tableaux A51 à A56 en annexe)

b) Travaux des équipes de Wischmeier (1975) sur les stratifications et structures végétales naturelles interceptrices.

Ces équipes proposent des tables d'estimation de C basées sur : (i) la stratification de la végétation, (ii) la densité de la dernière strate de végétaux ou résidus la plus proche de la surface du sol.

Pour le bassin versant d'El Hnach, les occupations du sol se rapprochent des situations suivantes :

A1 : strate haute 0% + au sol graminée fourragère à talaison courte et dense ou résidus organiques décomposés

A2 : strate haute 25% herbes hautes ou petits arbustes (donnant un égouttage de 0,50 m) + au sol graminée fourragère à talaison courte et dense ou résidus organiques

A3 : strate haute 50% herbes hautes ou petits arbustes (donnant un égouttage de 0,50 m) + au sol graminée fourragère à talaison courte et dense ou résidus organiques

A5 : strate haute 25% arbustes (donnant un égouttage de 2,00 m) + au sol graminée fourragère à talaison courte et dense ou résidus organiques

A6 : strate haute 50% arbustes (donnant un égouttage de 2,00 m) + au sol graminée fourragère à talaison courte et dense ou résidus organiques

Tableau VIII : El Hnach - calcul de l'indice C tenant compte des stratifications et structures végétales naturelles (Wischmeier, 1975)

Occupation	Tables		C
	situation	% strate sol	
Cactus	A3	40	0,07
Oliviers sol nu	A5	0	0,40
Oliviers sol couvert	A5	20	0,18
Arboriculture sol couvert 20%	A5	20	0,18
Garrigue H 0,50m , R25	A2	20	0,17
Garrigue claire H 0,50m , R15	A2	0	0,36
Parcours ligneux (garrigue H20 R 10)	A2	10	0,25
Ravine vive	A1	0	0,45
Ravine végétalisée	A1	10	0,33
Plantation arbustes CES	A6	20	0,16

c) Résumé des indices C en zone méditerranéenne par Wischmeier (1975), Masson (1971), Heusch (1970), le CTFT (1979) et indices C retenus pour le bassin versant de El Hnach

Pour les cultures céréalières, les paysans du bassin versant pratiquent deux types d'assolement, d'où des indices C sensiblement différents. On tient compte, d'autre part, de la vigueur des couverts assurant une bonne ou mauvaise protection des terres, cela en relation avec la nature des sols, ceci amène la réalisation de deux cartes d'indices C:

- première carte avec :

Céréales – Jachère ---> terres bien protégées : C = 0.30

Céréales – Jachère ---> terres mal protégées : C = 0.50

- seconde carte avec:

Céréales – Céréales – Jachère ---> terres bien protégées : C = 0.35

Céréales – Céréales – Jachère ---> terres mal protégées : C = 0.65

Tableau IX : El Hnach - résumés, indices C retenus.

OCCUPATION	Wischn.	Masson	Heusch	CTFT	RUSLE Maroc	C pour El Hnach
Cactus	0,07				0,017	0,07
Oliviers sol nu	0,40	0,90	0,08		0,104	0,50
Oliviers sol couvert	0,18					0,18
Arboriculture sol couvert 20%	0,18	0,35	0,08	0,90	0,098	0,18
Garrigue H 0,50m , R25	0,17				0,04	0,25
Garrigue claire H 0,50m , R15	0,36				0,014	0,30
Parcours ligneux H 0,20m, R10	0,25	0,15	0,06			0,20
Ravine vive	0,45	0,90				0,70
Ravine végétalisée	0,33				0,039	0,40
Assolement C - J bien protégé		0,40	0,24	0,40		0,30
Assolement C - J mal protégé		0,40	0,24	0,40		0,50
Assolement C - C - J bien protégé		0,50		0,40		0,35
Assolement C - C - J mal protégé		0,50		0,40		0,65
Affleurements de calcaires nus						0,90*
Plantation arbustive pour CES	0,16	0,15				0,15
Mixte: céréales + parcours ligneux			0,10			0,28

(0,90 et non 1,00 à cause d'une discrète végétalisation des fissures)

2.5 L' érodibilité des sols

Calculer l'érodibilité d'un sol consiste à évaluer ses tendances à l'érosion du fait de ses caractéristiques intrinsèques, toutes autres causes étant par ailleurs fixées (pente topographique, longueur de versant, 0 protections végétales, 0 pratiques antiérosives), les techniques culturales étant, quant à elles, choisies pour fragiliser le sol au maximum.

2.5.1 Historique

Une standardisation rigoureuse des conditions expérimentales a permis d'évaluer l'érodibilité des sols de milliers de parcelles du Middle Ouest américain. Ce travail notoire est consigné dans les publications de Wischmeier, Smith, Uhland (1958) - Wischmeier (1959, 1960, 1972, 1974), Wischmeier, Smith (1960) et Wischmeier, Johnson, Cross (1971). Le succès des opérations réalisées sur le continent nord-américain fut tel que les premières équations de prévision des érosions furent qualifiées d'universelles par leurs auteurs. Son application en d'autres lieux et notamment à Hawaï, donc encore aux Etats-Unis (Dangler, Swaïfi et al. 1976) en Afrique de l'ouest (Roose, 1977) - (Collinet, 1988) ou en Afrique du nord (Nasri, 1990) a prouvé que ce qualificatif devait être abandonné pour revenir à plus de raison quant aux limites et conditions d'application de ce modèle.

2.5.2. Limites du modèle

Ce modèle statistique basé sur l'expérimentation reste intéressant pour toutes comparaisons des érosions dans un cadre morphologique et climatique donné, à la condition de rester en deçà d'une échelle d'application dans laquelle les lois de l'hydraulique imposées par la topographie et la physique des sols restent pertinentes. Cette remarque concerne essentiellement les effets d'un allongement du versant sur l'érosion. Pratiquement, cette longueur est limitée à environ 300m:

. en deçà, on reste dans le domaine d'une mobilisation des terres initiée par l'agressivité des pluies et poursuivie par une prise en charge des éléments détachés et simplement transportés, ces contraintes ne révèlent que les réactions du matériau-sol.

. au-delà, on passe aux domaines où, au mode érosif précédent, s'ajoute celui lié à l'abrasion d'un flux de ruissellement qui varie selon sa vitesse et la charge solide qu'il transporte, ces contraintes révèlent donc autre chose que les strictes réactions du matériau-sol et notamment les effets des allongements ou inclinaisons des versants sur les compétences et caractéristiques abrasives des flux.

Si on reste dans le premier et seul domaine d'application du modèle, il se conçoit que les caractéristiques pédologiques utilisées ici sont toutes celles qui informent sur la stabilité ou la fragilité des structures fragmentaires naturelles ou artificielles ; en l'absence de cette organisation, ce peut être aussi tout ce qui renseigne sur la solidité de ciments colloïdaux organiques ou minéraux (composés humiques, ions, oxydes pectisés etc..) assurant la cohésion d'ensembles continus d'éléments non organisés.

2.5.3 Principes de calcul de *K*

Les données prises en compte dans le calcul de l'érodibilité rentrent dans des abaques (nomogramme) ou plus récemment dans des logiciels facilitant les différents calculs (RUSLE et autres qui s'en inspirent). Ces données sont extraites de la carte pédologique du bassin versant qui a deux buts:

- a) déterminer des limites d'unités pédologiques donc, après regroupements liés aux classements des indices, identifier les unités d'iso-érodibilités potentielles,
- b) connaître les caractéristiques intrinsèques des sols susceptibles d'interférer sur leurs stabilités ou fragilités vis-à-vis des risques érosifs.

Les données d'entrée du sous-modèle K de RUSLE sont..

- la texture (A% et L + STF%),
- la teneur en matière organique,
- une appréciation sur le développement, la dimension et la géométrie des unités structurales,
- un classement des perméabilités selon 6 classes.

La fiche de terrain a été conçue pour saisir un maximum d'informations entrant dans le modèle. Si l'on trouve dans cette liste des éléments intervenant effectivement dans la stabilité de la structure, donc sur la susceptibilité à la dispersion du matériau considéré, on ne trouve, par contre, pas d'informations sur la chimie ou la minéralogie des argiles, informations effectivement difficiles à évaluer sur le terrain mais importantes dès lors qu'il s'agit de caractériser:

- la solidité des ciments organiques ou minéraux assurant la cohésion du sol (rôles des cations et anions du complexe absorbant ou des solutés des solutions du sol),
- la dynamique structurale saisonnière liée à la présence d'argiles gonflantes.

D'autres modèles, plus récents et bâtis sur le même principe, tentent d'intégrer ces informations complémentaires. S'ils fournissent des diagnostics plus pointus, il n'est pas sûr qu'ils soient plus performants en ce qui concerne la fidélité des informations érosives fournies.

Le **tableau XI** montre un classement des érodibilités des sols des différentes zones climatiques

Classes des érodibilités des sols "K"		
	K usa	K si
Très basse	<0,100	<0.014
Basse	0.100 à 0.199	0.014 à 0.027
Moyenne basse	0.200 à 0.319	0.026 à 0.042
Moyenne haute	0.320 à 0.429	0.042 à 0.056
Haute	0.430 à 0.549	0.057 à 0.072
Très haute	> 0.550	> 0.073

des Etats Unis, y compris les Oxisols et Andisols d'Hawaï. Ce tableau sert ici à fixer une "fourchette" de ces indices K.

Les résultats sont exprimés en unités anglo-saxonnes (K u.s.) et en unités internationales (K si) avec:

$$K \text{ s.i.} = 0.1317 \text{ Kus.}$$

Tableau XI: classement des érodibilités K (SCS de l'USDA de 1973, cité par E.W.Dangler, S.A. El Swaïfi et al., 1976)

2.5.4 Reconnaissance pédologique du bassin

Les informations pédologiques évoquées dans le & 1 . 5. sont trop générales pour être utilisables à notre échelle d'analyse, elles s'expriment d'autre part en termes taxonomiques ayant peu de rapport avec la dynamique actuelle des sols. Il convient donc d'adapter la saisie des informations à cet objectif.

Le **tableau A6** en **annexe** donne un exemple de saisie d'informations de terrain (5 des 45 observations effectuées sur des sites représentatifs. La carte des sols (annexe C2) a été dressée avec une légende de 8 unités explicitées ci-dessous.

unité 1: Sols minéraux bruts, lithiques, sur roches mères dures (calcaires dominants)

Ils sont différenciés à l'aplomb des bancs calcaires (du Sénonien à l'Yprésien), très peu de matériaux meubles sauf éventuellement dans les fissures des bancs rocheux pouvant alors accueillir une végétation très rase. Ces unités servent d'imperméables, les écoulements y apparaissent rapidement avec des coefficients maximums, les érosions y sont

nulles puisqu'il n'y a pas (ou qu'il n'y a plus) de matériau meuble, les eaux peu chargées sortant de ces unités ont une capacité abrasive maximale. Cette unité couvre 12,1% du BV.

unité 2 *Sols minéraux bruts et sols peu évolués non climatiques d'érosion, lithiques et régosoliques sur roches mères tendres* (marnes et argilites dominantes)

Contrairement au cas précédent, ces matériaux sont érodibles car il sont rapidement ameublés par altération ou sont à l'origine peu consolidés. Cette érosion s'attaque d'abord aux horizons (A) ou A des sols peu évolués, puis aux altérites (C) voire aux matériaux originaux non lapidifiés (R) lorsqu'il s'agit d'argilites, sols minéraux bruts ici. A cette faible résistance ajoutons que, situés en contrebas de l'unité précédente, ils reçoivent des écoulements à forte capacité abrasive. Seules sont épargnées les portions de piémont ou glacis encore protégées par des encroûtements. Cette unité couvre 12,5% du BV.

unité 3 *Sols peu évolués non climatiques d'érosion et sols calcimagnésiques peu épais à épandage >30% d'éléments grossiers*

La charge superficielle en éléments grossiers est la caractéristique de cette unité, ceux ci proviennent, soit d'un enrichissement relatif de ce qu'il y a en dessous (autochtonie par érosion éliminant les fines), soit d'un enrichissement absolu (allochtonie d'éléments grossiers charriés par les eaux ou éboulés par gravité). Les seules considérations morphogénétiques auraient amené la distinction de deux unités, l'une sur pentes faibles, l'autre sur pentes fortes ; s'agissant ici de mettre en avant des implications comportementales des sols enrichis superficiellement en éléments grossiers, une seule unité a été retenue. Cette unité est la plus vaste avec 28% du BV de couvert.

unité 4 *Sols peu évolués non climatiques d'érosion sur croûtes calcaires (isohumiques et calcimagnésiques érodés, affleurement Bk)*

Cette unité pourrait être assimilée à l'unité 1 lorsqu'il s'agit de simples affleurements de croûte calcaire dure. Elle a cependant été distinguée pour trois raisons:

- morphologiquement, elle se présente en "doigts de gant" divergeant à partir des plateaux ou corniches calcaires,
- certaines croûtes, friables et fissurées, possèdent une certaine infiltrabilité,
- ce sont les ultimes protections contre l'érosion des marnes et argilites, ces sols sont donc associés à ceux de l'unité 2.

Cette unité couvre près de 4 % de la superficie du BV.

unité 5 *Sols calcimagnésiques bruns calcaires à bruns calciques, profonds (>80cm sur calcaire, >60cm sur marnes), argileux à forte dynamique structurale*

Les sols de cette unité sont meubles, assez profonds, ils possèdent une structure fragmentaire fine bien développée donc une bonne perméabilité interne malgré une texture lourde. Les stocks hydriques peuvent être importants mais les réserves utiles sont plus faibles que dans l'unité 6 suivante car elles sont déviées vers de fortes humidités. Ce défaut est contrebalancé par des conductivités superficielles importantes et assez durables du fait d'une forte dynamique structurale liée à la présence d'argiles gonflantes régénérant, par alternance de dessiccation et d'humectation, des structures fragmentaires superficielles sur labour ou des fissurations sur jachères. Dans les deux cas, les premières pluies de la saison humide seront en grande partie stockées. Leurs organisations pelliculaires superficielles sont des pellicules structurales (PS) friables et perméables. Cette unité est à l'aplomb des marnes et argilites en topographie

largement ondulée. Ces sols ne deviendraient fortement érodibles que par augmentation des ruissellements, ce qui se produirait en année très humide, événement pouvant amener un lent colmatage des porosités superficielles.

Cette unité occupe 16 % de la superficie du BV.

unité 6 *Sols calcimagnésiques bruns calcaires, profonds à moyennement profonds (30 à 60cm sur calcaire), limono-argileux à faible dynamique structurale*

On trouve les sols de cette unité en des positions topographiques voisines de celles des sols de l'unité 5 précédente, mais ils sont à l'aplomb de roches plus marneuses qu'argileuses et laissant par altération d'assez fortes proportions de limons fins, ce qui atténue les effets des argiles gonflantes. Les sols de cette unité sont meubles, assez profonds, ils possèdent une structure fragmentaire peu développée parfois massive mais friable, la perméabilité interne reste bonne, on n'y a jamais détecté de semelles de labour (travaux en des périodes correctes?). Les stocks hydriques sont moyens mais facilement utilisables ; malheureusement ces sols possèdent une texture favorisant la formation de pellicules de battance (PB) imperméabilisant les surfaces. Leurs taux d'argiles gonflantes sont insuffisants pour que se réalise la même dynamique structurale que celle des sols de l'unité 5 précédente. L'érodibilité de ces sols n'augmentera que si l'on passe d'une érosion en nappe (i) à une érosion en rigole (ii). Dans le premier cas (i) l'augmentation des écoulements peut même limiter l'abrasion, dans l'autre cas (ii), l'augmentation de la vitesse des flux (bas de versant convexe) cisailera le champ ce qui augmentera l'effet "splash".

Cette unité occupe près de 20 % du BV.

unité 7 *Anciens sols rouges épars en sites plus ou moins protégés ou épargnés par l'érosion.*

Ces sols rouges "méditerranéens", (ou sols fersiallitiques ou terra rossa ou autres vocables taxonomiques) sont des reliques d'anciennes formations pédologiques occupant bien des domaines au nord et au sud de la Méditerranée à une époque plus humide provoquant d'autres altéropédogénèses qui permettaient entre autres choses la libération d'oxydes de fer (rubéfaction) s'intégrant dans les réseaux cristallins d'argiles également synthétisées alors après décarbonatation des profils. Cette unité regroupe des sols argileux peu épais, voire des poches de matériaux argileux rouges dans les fissures des calcaires. Ils sont très dispersés au milieu d'autres unités ; comme ils étaient un peu plus fréquents en amont du BV, près de la corniche des calcaires sénoniens, ils ont pu être identifiés en tant qu'unité. Ils interfèrent cependant très peu sur la dynamique générale du bassin.

Cette unité représente moins de 3% du BV.

unité 8 *Alluvions et affleurements rocheux des oueds*

Cette unité correspond aux "non-sols", ce sont les formations alluvionnaires actuelles des lits d'oueds et les affleurements rocheux nus, non altérés et non encore colonisés par les végétaux. Elle couvre près de 5 % du BV.

Les **tableaux A71 et A72** en **annexe** montrent les principes du calcul et du classement final des indices d'érodibilité Ksi.

Les érodibilités des sols du bassin de El Hnach couvrent une large fourchette comme l'indique le **tableau XIII** depuis des érodibilités de 0,001 pour les très basses jusqu'à plus de 0,080 pour les très hautes.

Tableau XIII: El Hnach - érodibilités médianes des unités de sols inventoriés

Erodibilités médianes K	Unités de sols représentées à plus de 75% dans les classes d'érodibilités K	Appréciations sur les érodibilités des sols
0,001	1 - Minéraux bruts lithiques (*)	Très basse
0,019	5 - Profonds, argileux, à forte dynamique structurale 7 - Anciens "rouges méditerranéens"	Basse
0.036	2 - Minéraux bruts, Peu évolués sur roches tendres 6 - Profonds et moyennement profonds, limono-argileux, à faible dynamique structurale	Moyenne basse
0.054	3 - Peu évolués et calcimagnésiques, à épandages superficiels de plus de 30% d'éléments grossiers	Moyenne haute et Haute
0.080	3 - idem ci dessus et 4 - Peu évolués, sur croûtes calcaires affleurantes parfois assez friables	Très haute

(*) les affleurements rocheux durs, consolidés, non végétalisés, sont des "non-sols" et ont une érodibilité nulle

2.6 L'érosivité des pluies

On a utilisé les données pluviométriques de la station installée depuis 1993 sur la digue de la retenue de El Hnach. Le dépouillement des hyétogrammes a permis de retenir deux types d'événements : une année à agressivité pluviométrique normale, une autre année étant nettement plus agressive.

Les années normales et agressives sont sélectionnées selon leurs indices d'érosivités R exprimés en système international MTS approché (*) avec $R_{SI} = 1,702 R_{US}$, pour passer du $R_{US} = \text{foot} \cdot \text{long ton} / \text{acre} \cdot \text{hour}$ au $R_{SI} = \text{mètre} \cdot \text{tonne} / \text{hectare} \cdot \text{heure}$ (* secondes du MTS remplacées par des heures).

L'érosivité cumulée par période considérée est calculée pour des intensités maximales de pluies en 5 minutes et non pas 30 minutes, ce que les pluviographes récents installés sur les petits bassins permettent d'obtenir.

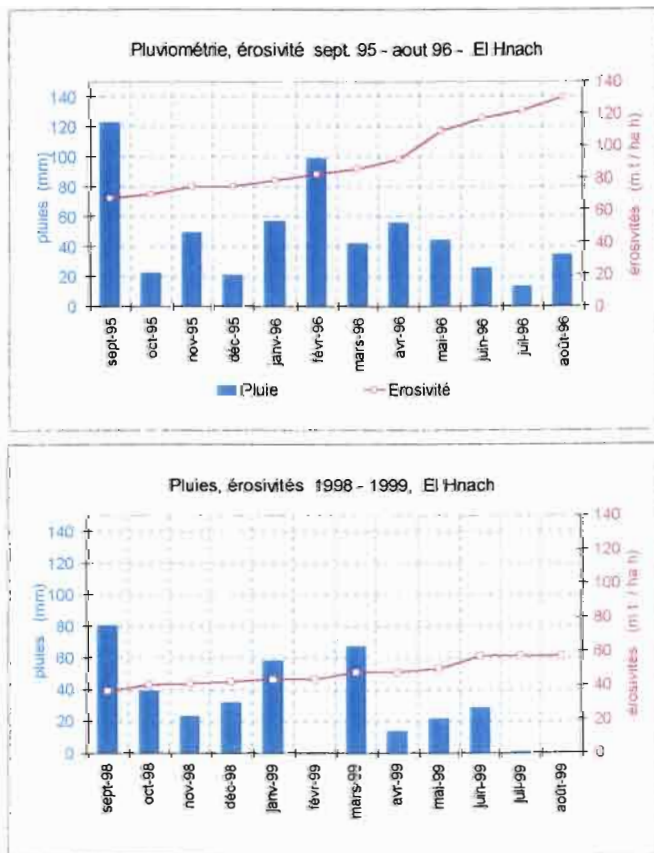


Figure 7 : pluviométries et érosivités des années 1995-96 et 1998-99 sur El Hnach

On a retenu:

- comme année agressive, septembre 1995 à août 1996 qui totalise une érosivité annuelle R de 130 unités s.i. pour P = 588mm,

- comme année normale la période de septembre 1998 à août 1999 avec un R de 57 unités s.i. pour P = 369mm. (fig.7)

PARTIE III

RESULTATS , COMMENTAIRES

Les résultats se présentent sous deux formes :

- des produits préliminaires qui sont différentes couches d'informations sur les caractéristiques physiques et anthropiques provenant du traitement des données de terrain,
- des produits élaborés qui sont les synthèses cartographiques générées par le fonctionnement d'un système d'information géographique (Arc View) utilisant les indices calculés dans le modèle RUSLE.

Ce système est dynamique, il peut répondre à différentes requêtes, soit en introduisant des situations et des événements correspondant à l'évolution réelle, annuelle du système, soit en simulant des situations dans le but de suivre les effets d'une amélioration dans la conservation du bassin ou de tester sa résistance à de possibles contraintes.

3.1 Données préliminaires : les différentes couches d'informations

Chaque couche d'information a, le plus souvent, pour support une carte qui informe sur des facteurs d'iso-risques ou d'iso-protections. Ces cartes présentent les différents indices R, K, SL, C et P classés selon des seuils ou des valeurs médianes, cela selon la nature des paramètres représentés.

3.1.1 *L'érosivité des pluies, les indices R si*

On a retenu deux érosivités annuelles (cf. & 2.6) pour représenter des événements interannuels moyens avec $R_{si} = 57 \text{ m.t} / \text{ha. h}$ et une année exceptionnellement agressive avec $R_{si} = 130 \text{ m.t} / \text{ha. h}$. On a simulé le détail des effets sur les pertes en terre des érosivités se rapportant à chaque épisode cultural d'une céréaliculture. (**tableau XIV**) . Comme il n'y a qu'un seul pluviographe sur les quelque 4km^2 du bassin, il n'a pas été possible de présenter une carte illustrant les éventuelles variations des précipitations sur le bassin.

Le **tableau XIV** reproduit des événements pluviométriques classiques: fortes intensités pendant l'instauration de la saison pluvieuse automnale, intensités hivernales et printanières généralement plus faibles jusqu'à la fin de la saison pluvieuse, possibilités de violents orages estivaux vers l'époque des moissons.

Tableau XIV: périodes culturales d'un champ de céréales et érosivités correspondantes

	labour du 01/09 au 01/11	semis du 01/11 au 01/12	levée du 01/12 au 01/03	maturation du 01/03 au 15/06	jachère paturée du 15/06 au 01/09	total R année
R année moyenne	37	4	2	10	4	57
R année agressive	70	5	7	31	17	130

La différence entre une année moyenne et une année agressive provient d'un plus grand effectif d'averses à fortes intensités en automne et en été.

3.1.2 L'érodibilité des sols, la carte de l'indice K_{si}

La carte des indices K (fig. 8) reproduit les limites des unités de la carte des sols (C2 en annexe), unités simples ou unités complexes regroupant plusieurs sols possédant des caractéristiques dont la combinaison donne finalement des érodibilités assez voisines pour pouvoir entrer dans la même classe. Cette carte des indices d'érodibilité K met en évidence:

- une distribution assez homogène de toutes les valeurs entre le "stable" et le "fragile" ; on note cependant que l'amont est plus stable (K de 0,0019 à 0,036) que l'aval qui a une forte représentation d'indices > 0,055 dénotant une vulnérabilité des terres les plus proches du lac.
- la morphologie du bassin est bien illustrée dans sa zone moyen-amont avec une gradation entre des indices faibles sur corniches calcaires ou sur sommets dénudés (couleur claire) passant, soit directement à des indices de 0,080 sur les argilites ravinées en "éventail", soit à des valeurs plus faibles (K = 0,036) lorsque ces glacis divergents sont protégés par des encroûtements ou des épandages de cailloux.

3.1.3 La topographie, carte de l'indice $S L$

La carte des indices topographiques SL (fig.9) quantifie les risques liés à la vigueur du modelé, elle intègre aussi les effets de l'irrégularité des versants.

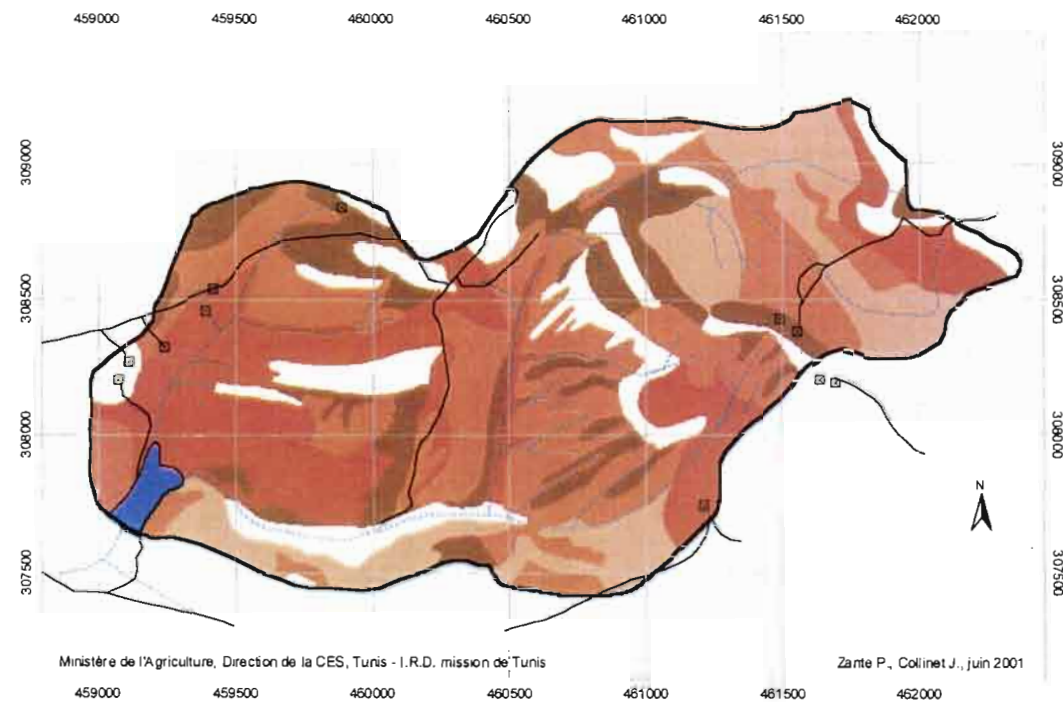
La carte des pentes qui lui sert de base (C3 en annexe) montre une distribution bimodale :

- 66% du bassin sont occupés par des pentes de 5 à 20% avec une fréquence légèrement marquée vers les pentes de 5 à 10%,
- une deuxième partie, 15%, est occupée par des pentes de 30 à 40%.

Cette distribution révèle en fait les effets du recul du front d'érosion lorsqu'il rencontre des roches plus tendres comme les argilites ou les marnes qui forment des ravins ou bad lands à versants très pentus ; il s'agit de la zone transversale du moyen-amont qui correspond en gros à l'axe anticlinal faillé du Sénonien (coupe de la figure 3). Les pentes plus faibles, toutes proportions étant gardées, correspondent aux revers de côte non encore disséqués de l'amont ou encore vers les limites de l'aval, d'autres revers plus calcaires, délaissés autour d'une "boutonnière" centrale plus marneuse et totalement disséquée (cf photo 3 de la couverture).

Figure 8

BASSIN VERSANT EL HNACH (Tunisie) Carte de l'indice K



Ministère de l'Agriculture, Direction de la CES, Tunis - I.R.D. mission de Tunis

Zarte P., Collinet J., juin 2001

- Limite bassin versant
- Lac
- Réseau hydrographique
- Piste
- Habitations

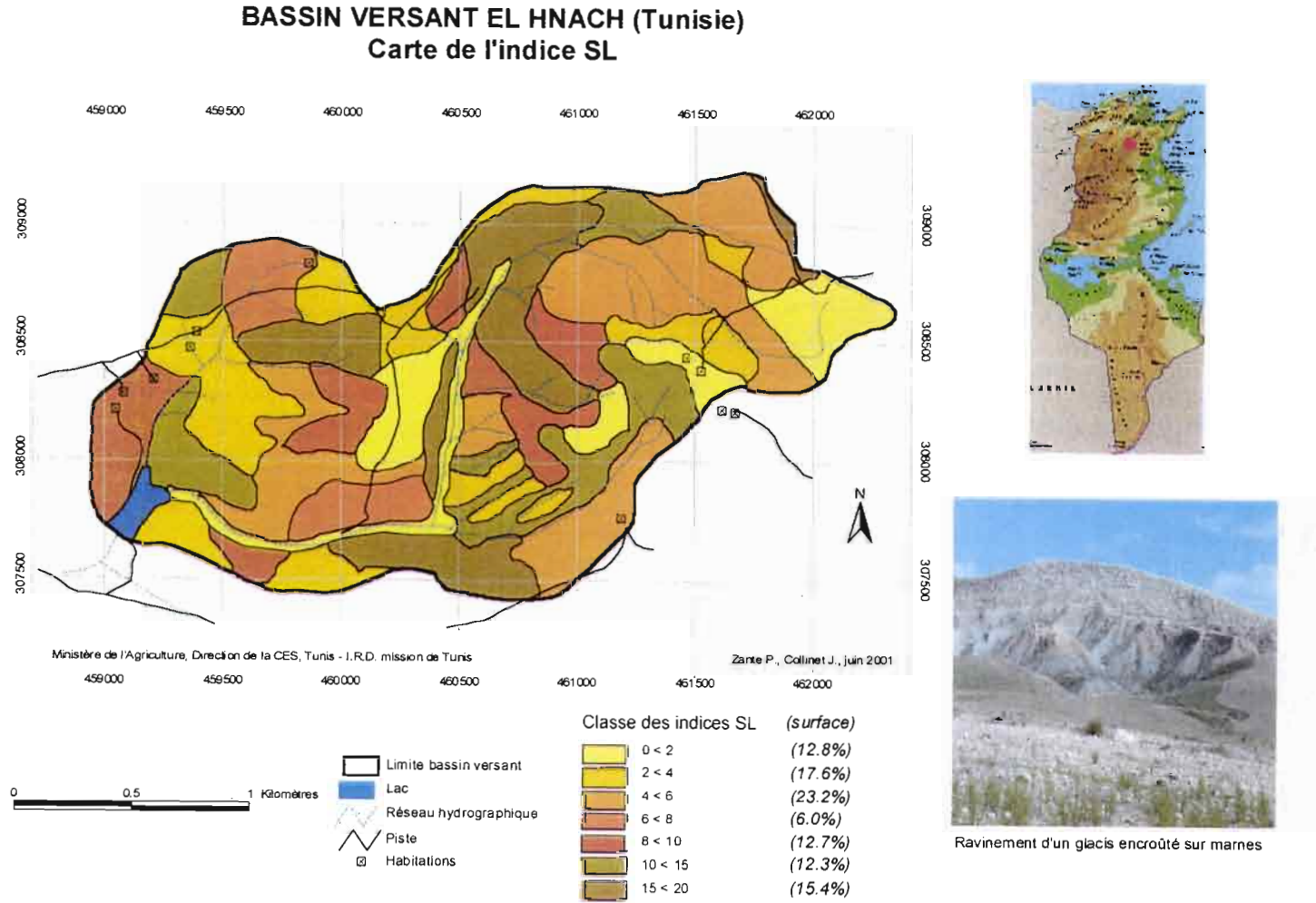
Indice K (surface)	
0.001	(14.3%)
0.019	(15.8%)
0.036	(31.6%)
0.055	(23.7%)
0.080	(14.6%)



Sol peu évolué d'érosion peu épais à éléments grossiers

Figure 9

31



3.1.4 L'occupation des sols, l'indice C

La carte d'occupation des sols (C4 en **annexe**) montre les occupations suivantes

- environ 45% du bassin est cultivé: cultures annuelles (céréales), arboriculture et zones mixtes actuellement parcours-jachère,
- 25% est en garrigues ou parcours ligneux permanents
- le reste est constitué de zones actuellement dégradées (ravinement) avec quelques tentatives de récupérations par des ouvrages de CES (cf. & suivant)

Ces couverts végétaux se distribuent selon deux ensembles :

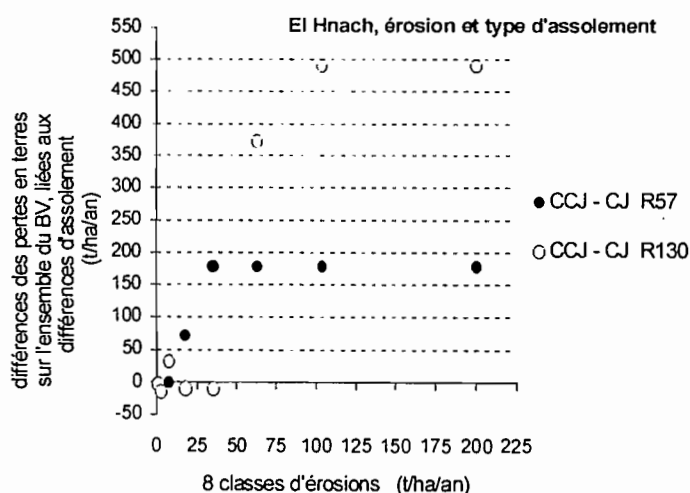
- premier ensemble de quelque 45% en céréales ou en jachère = amont + aval + limites latérales sud et en partie nord + axe médian nord-sud ,
- un second ensemble occupant les deux boutonnières de ravines et bad lands de part et d'autre de l'axe médian nord-sud

Cette distribution reflète les caractéristiques morphopédologiques du bassin, cela n'est pas surprenant puisque celles-ci interfèrent sur la profondeur des terres meubles donc aussi sur l'économie de l'eau .

Deux cartes des indices C des couverts végétaux ont été dressées (**fig. 10,11**) pour rendre compte des deux types d'assolements pratiqués sur le bassin (**cf. § 2.4**) :

- sole céréale -jachère (C+J) avec des indices de 0,30 (bonne densité du couvert) à 0,50 (faible densité du couvert),
- sole céréale-céréale-jachère (C+C+J) avec des indices faisant, respectivement, 0,35 et 0,65.

La sensibilité du modèle est suffisante pour révéler des modifications de risques érosifs signalés



par d'aussi faibles changements de C sur # 150 ha de bassin (0,40 de céréales x 378,5 ha superficie du BV exondé) allant vers une intensification des pertes en terres annuelles pour la sole C+C+J.

L'accroissement des érosivités se traduit par une augmentation quasi proportionnelle de l'érosion sur l'ensemble du BV avec quelque 3000 tonnes de plus en passant d'une année normale (R57) à une année agressive (R130).

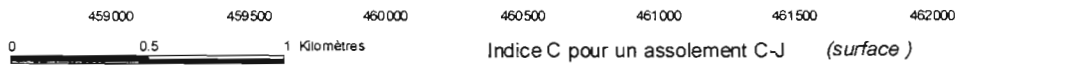
Figure 12: comparaison des pertes en terres, répercutées sur l'ensemble du bassin, du fait d'un changement d'assolement

Figure 10

BASSIN VERSANT EL HNACH (Tunisie) Carte de l'indice C pour un assolement céréales-jachère



Ministère de l'Agriculture, Direction de la CES, Tunis - I.R.D. mission de Tunis Zante P., Collinet J., juin 2001



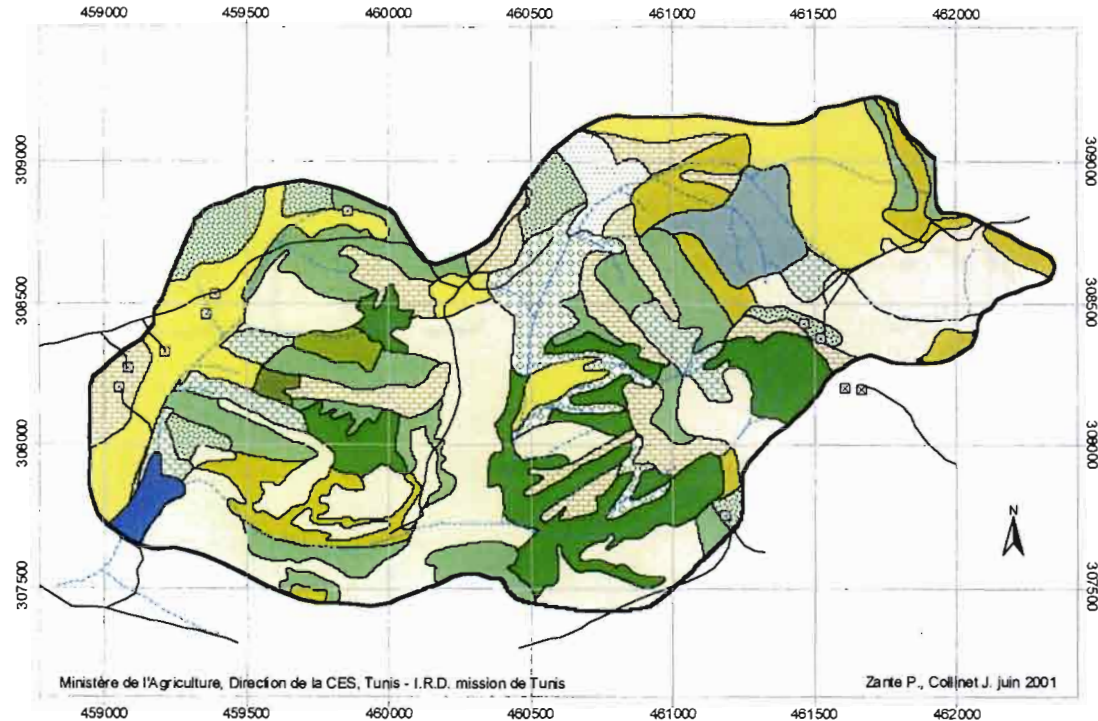
- | | | |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Limite bassin versant Lac Réseau hydrographique Piste Habitations | <ul style="list-style-type: none"> Cactus : 0.07 (4.3%) Oliviers : 0.50 (3.8%) Arboriculture : 0.18 (0.4%) Garrigue : 0.25 (0.8%) Garrigue claire : 0.30 (7.2%) Parcours ligneux : 0.20 (13.3%) | <ul style="list-style-type: none"> Ravines vives : 0.70 (10.9%) Ravines végétalisées : 0.40 (4.6%) Assolement C-J bonne protection : 0.30 (14.1%) Assolement C-J faible protection : 0.50 (26.1%) Affleurements calcaires nus : 0.9 (9.8%) Plantations arbustives (CES) : 0.15 (1.6%) Unité mixte assolement et parcours ligneux : 0.28 (3.1%) |
|--|---|--|



Céréales sur terre à bonne protection

Figure 11

BASSIN VERSANT EL HNACH (Tunisie)
Carte de l'indice C pour un assolement céréales-céréales-jachère



Ministère de l'Agriculture, Direction de la CES, Tunis - I.R.D. mission de Tunis

Zarte P., Collinet J. juin 2001

0 0.5 1 Kilomètres

- Limite bassin versant
- Lac
- Réseau hydrographique
- Piste
- Habitations

Indice C pour un assolement C-C-J (surface)

Cactus : 0.07 (4.3%)	Ravines vives : 0.70 (10.9%)
Oliviers : 0.50 (3.8%)	Ravines végétalisées : 0.40 (4.6%)
Arboriculture : 0.18 (0.4%)	Assolement C-C-J bonne protection : 0.35 (14.1%)
Garrigue : 0.25 (0.8%)	Assolement C-C-J faible protection : 0.65 (26.1%)
Garrigue claire : 0.30 (7.2%)	Affleurements calcaires nus : 0.9 (9.8%)
Parcours ligneux : 0.20 (13.3%)	Plantations arbustives (CES) : 0.15 (1.6%)
	Unité mixte assolement et parcours ligneux : 0.28 (3.1%)



Céréales sur terre à bonne protection

Le graphique de la **figure 12** montre l'effet du changement d'assolement sur l'érosion globale du BV: le passage d'un assolement biennal (C+J) à un assolement triennal (C+C+J) provoque des pertes supplémentaires de 178 tonnes en année normale (R57) et de 500 tonnes en année agressive (R130) . Ces pertes supplémentaires, provenant de 150 ha des céréales semées sur les 378 ha du bassin versant exondé, représentent environ de +7 à +10% des pertes totales selon les érosivités annuelles des pluies (**tableau XV**).

Tableau XV: El Hnach, pertes en terres annuelles selon les années et selon les assolements

Erosivités annuelles	année normale (R57)		année agressive (R130)	
	Céréale + Jachère	Céréale + Céréale + Jachère	Céréale + Jachère	Céréale + Céréale + Jachère
Pertes en terres totalité du bassin (t/an) et (t/ha/an)	2361 (6,2)	2539 (6,7)	4844 (12,8)	5335 (14,1)
Différences des pertes en terres dues au passage de C J à C C J (%)	+ 7,5 %		+ 10,1 %	

3.1.5 Les travaux de C E S, l'indice P

Des travaux de C E S ont été identifiés sur un peu moins de 40% du bassin, ils concernent surtout ses limites rives droites, l'axe médian et une partie de l'amont.

La carte des aménagements CES (C1 en annexe) montre qu'il s'agit essentiellement de banquettes de terres (24% de la totalité du BV) et d'environ 10% de cordons de pierres plus ou moins végétalisés par des cactus ou des reboisements arbustifs. Les végétalisations simples (planting sur ripage ou haie de cactus) sont plus rares (5%).

La carte de l'indice P (fig. 13) sert à quantifier les influences respectives de ces aménagements depuis les très fortes efficacités protectrices des banquettes végétalisées jusqu'aux cordons de pierre (P de 0,3), surtout efficaces pour ralentir la vitesse des flux, et ripage (P = 0,7) pour forcer une infiltration et faciliter l'enracinement de jeunes plants. On note que deux petites zones de ravins vifs évoluant plus ou moins en bad-lands ont reçu des petits barrages de protection non encore comblés et en bon état apparent, à part cela, l'ensemble de la rive gauche est plus ou moins abandonnée au ravinement dans les zones les plus déclives.

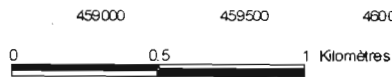
Figure 13

BASSIN VERSANT EL HNACH (Tunisie) Carte de l'indice P



Ministère de l'Agriculture, Direction de la CES, Tunis - I.R.D. mission de Tunis

Zarte P., Collinet J. juin 2001



- Limite bassin versant
- Lac
- Réseau hydrographique
- Piste
- Habitations

Indice P		(surface)	
	0.10 (19.4%) (7.3%BV)		0.20 (06.8%) (2.6%BV)
	0.12 (23.5%) (8.8%BV)		0.26 (04.8%) (1.8%BV)
	0.15 (02.4%) (1.0%BV)		0.30 (03.4%) (1.3%BV)
	0.16 (20.1%) (7.6%BV)		0.35 (11.3%) (4.2%BV)
	0.18 (04.6%) (1.7%BV)		0.70 (03.9%) (1.5%BV)
			1 (62.2%BV)



Ravinement des marnes intercalaires

3.2 Données élaborées : les cartes de susceptibilité à l'érosion

Les cartes de susceptibilité à l'érosion présentées dans ce qui suit (fig. 14 a,b,c,d) représentent des exemples de prévisions de risques érosifs exprimés selon la formule $E = Rsi \cdot K \cdot SL \cdot C \cdot P$.

Les quatre premières cartes représenteront sur le bassin versant de El Hnach des unités d' iso-risques érosifs annuels pour deux années d'agressivités différentes et avec deux types d'assolement (cf. & 3.1.4).

Les dix autres cartes sont autant de simulations représentant ces risques érosifs analysés, cette fois, pour les cinq époques culturelles d'une céréale avec un labour effectué début septembre, ceci permettra, entre autres choses, de détecter les périodes les plus vulnérables pour deux types d'érosivités.

3.2.1 Signification des érosions calculées: de la mobilisation initiale des terres à l'érosion globale

Le fonctionnement du modèle donne une information qu'il convient de circonscrire aux limites suivantes:

- il informe sur la mobilisation des terres cultivées, ou non cultivées, sous les effets des énergies cinétiques de pluies, c'est le premier stade de l'érosion qui est une mobilisation initiale des éléments,
- il informe sur la prise en charge des éléments détachés par un flux de ruissellement et sur leurs transferts, ou leurs dépôts sur un segment homogène de versant n'excédant pas 300m de longueur,
- il informe sur une partie de l'abrasion linéaire, en rigoles, c'est-à-dire sur des risques d'incision ne dépassant pas 10cm de profondeur,
- il n'informe pas sur les pertes en terres liées aux mouvements de masses,
- il n'informe pas sur les pertes en terres liées aux effondrements de berges de l'oued principal et de ses principaux affluents.
- il ne peut pas non plus donner d'informations sur le bilan "exportations / dépôts" de sédiments au-delà de 300m de segment homogène de versant, ceci, a fortiori, pour les transferts sur fond de lit de l'oued des sédiments provenant de l'amont.

Ce modèle calcule donc les pertes provenant de versants non ou peu sujets au ravinement.

Cependant, il applique aux ravineaux et ravins les fonctionnements énoncés précédemment, cela signifie que leurs berges et leurs lits sont traités comme des versants d'ordre "n""n-1", etc.. produisant des sédiments par les seuls effets des énergies des pluies et des abrasions en nappe ou des abrasions linéaires faiblement canalisées sur un maximum de 300m de longueur. Le modèle ne peut, par contre, pas considérer la capacité abrasive et la capacité de transport d'un flux profond canalisé dans des drains plus importants que des rigoles.

3.2.2 Erosions pondérées par les surfaces et érosions globales

a) bilans

Le **tableau XVI**, ci dessous, présente les résultats des risques érosifs annuels sur les 378,5ha du BV pour les deux assolements biennaux et triennaux et pour deux érosivités annuelles.

- la colonne 1 présente les classes d'érosion retenues dans la légende des cartes pour faciliter toutes comparaisons,

- les colonnes 2 à 5 concernent la distribution des superficies érodées (en % de la superficie totale du BV) dans les limites des classes présentées précédemment,

- les colonnes 6 à 9 concernent les pertes en terres pondérées par les superficies précédentes et pour chaque classe d'érosion,

Tableau XVI: El Hnach, érosions pondérées , érosions globales

Class. éros. moy. t/ha/an	Pourcentage des surfaces de BV				Erosions pondérées par les surfaces et érosions globales			
	2	3	4	5	6	7	8	9
	C+J	C+J	C+C+J	C+C+J	C+J	C+J	C+C+J	C+C+J
	R57	R130	R57	R130	R57	R130	R57	R130
0,5	39,8	27,3	38,4	25,5	75,3	51,7	72,7	48,2
2,5	25,4	22,2	24,7	21	240,3	210,0	233,7	198,7
7,5	17,2	20,2	17,5	21,8	488,2	573,3	496,7	618,7
17,5	12,8	12,8	13,9	12,2	847,7	847,7	920,5	807,9
35	4,1	11,7	4,9	11,7	543,0	1549,7	649,0	1549,7
63	0,7	4,3	0,7	5,9	166,9	1025,2	166,9	1406,6
104	0	1,3	0	1,6	0,0	511,6	0,0	629,7
200	0	0,1	0	0,1	0,0	75,7	0,0	75,7
	érosions globales t / BV / an				2361	4845	2539	5335
	érosions spécifiques t / ha / an				6,24	12,80	6,71	14,10
	érosions spécifiques m3 / ha / an				4,159	8,533	4,473	9,397

- C + J signifie que les informations sont données pour une sole biennale céréale + jachère (40% du BV),

- C+C+J signifie que les informations sont données pour une sole triennale céréale + céréale + jachère,

- R57 est l'érosivité d'une année pluviométrique normale (P = 369mm), R130 est l'érosivité d'une année pluviométrique plus agressive (P = 588mm)

Dans un premier temps, on remarque que les valeurs globales présentées pour les situations C+J ou C+C+J et en année agressive soit respectivement 12,8 et 14,10 t/ha/an (ou encore 8,5 et 9,4 m3/ha/an), sont cohérentes avec celle de la seule mesure bathymétrique de 1996 et qui donnait 17,8 t/ha/an (ou encore 11,9 m3/ha/an).

b) analyse des cartes de susceptibilités annuelles

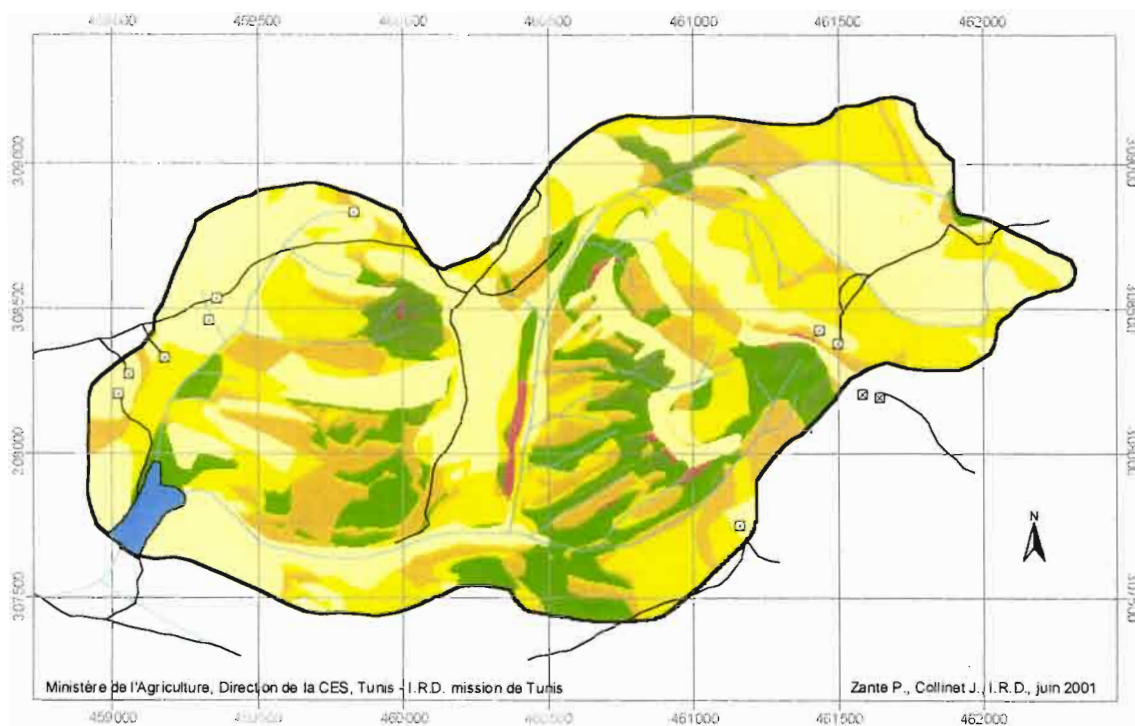
L'observation des quatre cartes de susceptibilité annuelle à l'érosion, et les analyses graphiques qu'elles permettent, font ressortir les faits suivants:

1) sur la **figure 15** on constate qu'en année peu agressive (R57) il faut traiter en priorité les surfaces qui mobilisent de 11 à 24 t/ha/an (unité 4) pour pouvoir limiter l'érosion générale du bassin ; 900 tonnes de terres proviennent de ces surfaces, soit 38% de l'érosion globale. En année agressive (R130), ce sont les zones contenues dans les unités 5 et mobilisant 24 à 46 t/ha/an qui doivent être traitées en priorité, cela permettrait de diminuer les pertes de ces zones qui approchent actuellement les 1600 tonnes, soit 33% de l'érosion globale.

Figure 14 a

BASSIN VERSANT EL HNACH (Tunisie)
Carte de susceptibilité à l'érosion (R = 57 m.t/ha.h)

39



0 0.5 1 Kilomètres

- Limite bassin versant
- Lac
- Réseau hydrographique
- Piste
- Habitations

Erosion en t/ha/an (surface)

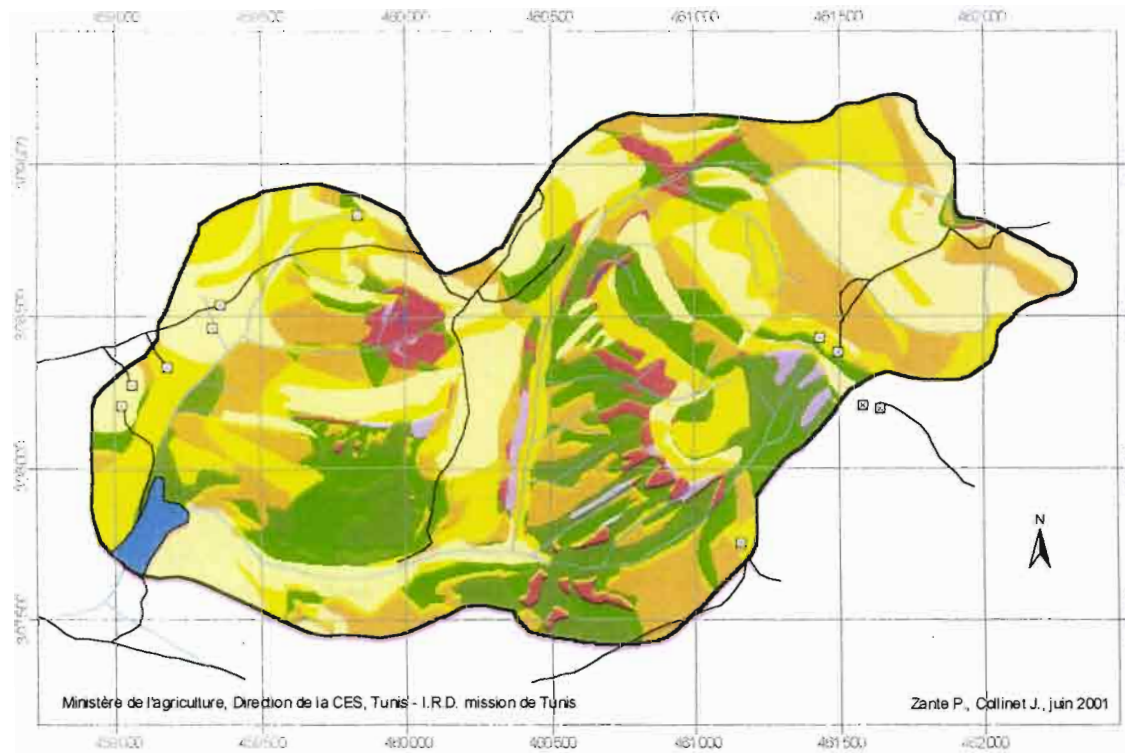
- 0 < 1 (39.8 %)
- 1 < 4 (25.4 %)
- 4 < 11 (17.2 %)
- 11 < 24 (12.8 %)
- 24 < 46 (4.1 %)
- 46 < 80 (0.7 %)
- 80 < 128 (0 %)
- >= 128 (0 %)



Le lac collinaire d'El Hnach

Figure 14 b

BASSIN VERSANT EL HNACH (Tunisie)
Carte de susceptibilité à l'érosion (R = 130 m.t/ha.h)



- Limite bassin versant
- Lac
- Réseau hydrographique
- Piste
- Habitations

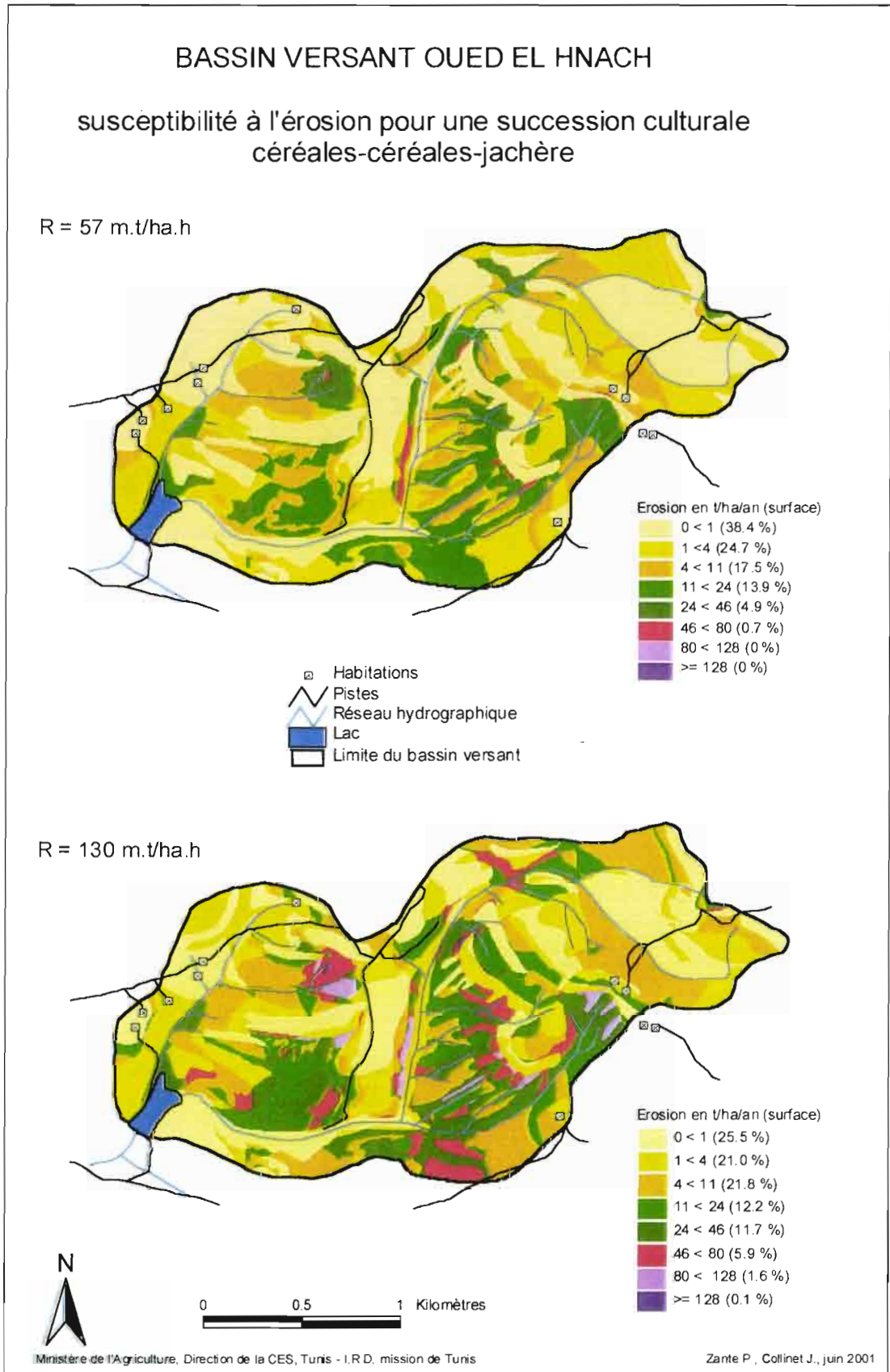
Erosion en t/ha/an (surface)

0 < 1	(27.3 %)
1 < 4	(22.2 %)
4 < 11	(20.2 %)
11 < 24	(12.8 %)
24 < 46	(11.7 %)
46 < 80	(4.3 %)
80 < 128	(1.3 %)
>= 128	(0.1 %)



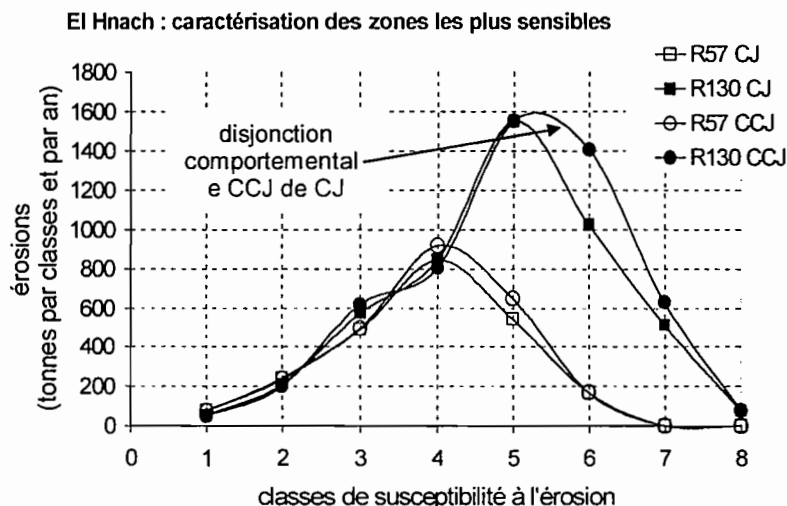
Le lac collinaire d'El Hnach

Figures 14 c et 14 d



On note, en plus, pour cette année agressive, une disjonction des comportements entre les assolements C+J et C+C+J, aussi faudrait-il traiter à la fois les unités 5 et 6 lorsqu'elles contiennent des parcelles en assolement triennal.

2) toutes les cartes montrent un effet protecteur remarquable des banquettes ; là où elles



existent, on ne note pour ainsi dire aucune augmentation de risques érosifs ni avec l'accroissement de l'érosivité (R de 57 à 130) ni d'ailleurs avec le passage du système biennal au système triennal. Ceci est clairement illustré (i) dans la zone céréalière de l'amont du BV, (ii) dans l'axe médian, (iii) en rive droite de l'aval du BV qui est pourtant caractérisée par des indices SL élevés signalant une forte vulnérabilité topographique.

Figure 15: El Hnach, recherche des zones à fortes susceptibilités érosives pour différents événements climatiques et différentes situations culturelles

3) Ces cartes permettent de départager deux processus d'érosion donc de préconiser des moyens de CES adaptés à ces deux processus:

- les classes 1 à 3, donc entre les risques 0 et 11 t/ha/an, couvrent les zones à érosion aréolaire stricte, les augmentations globales des érosions liées à l'accroissement de R ou de C se traduisant par une augmentation des superficies couvertes par l'unité 3,
- les classes 5 à 8, aux risques compris entre 24 et plus de 128 t/ha /an, couvrent des zones à fortes érosions linéaires, ce qui est révélé par les observations du terrain et confirmé par une conjonction d'indices topographique (SL) et d'érodibilité des sols (K) élevés.

4) Les risques d'érosions linéaires restent sensibles en année à faible érosivité (R57) puisque, pour la situation CCJ, les quelques 4,8% de la somme des superficies des classes 5 + 6 fournissent encore 31% de l'érosion globale du BV.

c) analyse des cartes de susceptibilités saisonnières - simulation du cycle culturel d'une céréale

Cette analyse s'appuie sur dix cartes illustrant les susceptibilités érosives saisonnières de champs recevant une culture céréalière (C5 à C14 en annexe) et les analyses graphiques qu'elles permettent.

Le tableau XVII ci dessous, résume les données utiles pour appréhender et analyser les risques érosifs périodiques et globaux des cultures céréalières qui couvrent 43% du BV.

Le premier sous-tableau identifie des superficies d'iso-risques pour:

- (i) les cinq périodes culturelles classiques des céréales avec un labour commençant début septembre et un assolement de type céréale- jachère (C+J),
- (ii) la distribution des érosivités partielles des pluies pour chacune de ces périodes en considérant:

- une année normale où la distribution des érosivités périodiques 37 + 4 + 2 + 10 + 4 donne la somme annuelle de 57 points,

- une année agressive où une autre distribution 70 + 5 + 7 + 31 + 17 donne la somme de 130 points.

Tableau XVII : El Hnach, érosions pondérées par les surfaces et érosions globales du bassin

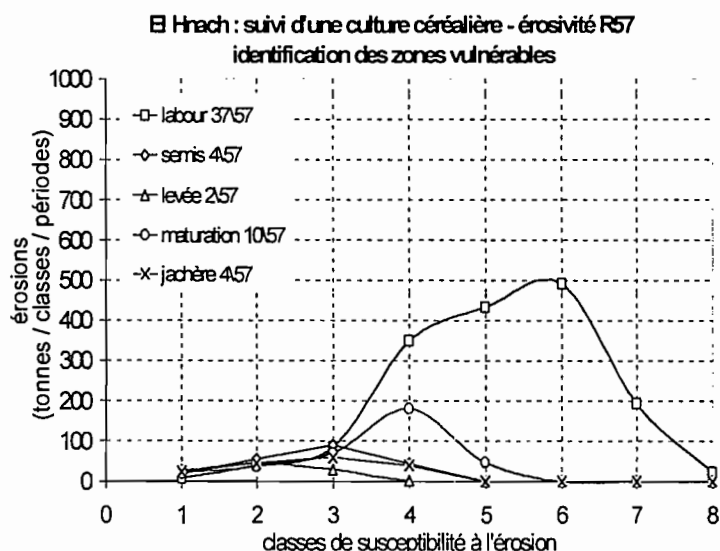
distribution des surfaces par classes de susceptibilité (en %)											
unités	classes	labour		semis		levée		maturation		jachère	
carto.	érosions t/ha/an	37\57	70\130	4\57	5\130	2\57	7\130	10\57	31\130	4\57	17\130
1	0,1	18,9	14	50,9	46,5	71,2	46,1	53,7	30,2	62,6	37,6
2	0,5	20,7	16	29,3	32	23,2	29	19,7	27,3	23,6	24,5
3	1,4	15,9	12,8	16,9	13,8	5,5	14,1	13,2	12,6	11,2	16,6
4	4	23	24,2	2,9	7,8	0,1	10,2	12	16,4	2,6	16,4
5	9	12,7	12,5	0	0	0	0,6	1,4	8,2	0	3,8
6	18	7,2	11,9	0	0	0	0	0	4,7	0	1,2
7	32	1,6	5,2	0	0	0	0	0	0,6	0	0
8	60	0,1	2,8	0	0	0	0	0	0	0	0

distribution des érosions, par classes de susceptibilité (en tonnes cumulées par périodes culturales et pour les érosivités cumulées correspondantes)											
unités	classes	labour	labour	semis	semis	levée	levée	maturation	maturation	jachère	jachère
carto.	érosions t/ha/an	37\57	70\130	4\57	5\130	2\57	7\130	10\57	31\130	4\57	17\130
1	0,1	7,2	5,3	19,3	17,6	26,9	17,4	20,3	11,4	23,7	14,2
2	0,5	39,2	30,3	55,4	60,5	43,9	54,9	37,3	51,7	44,7	46,4
3	1,4	84,2	67,8	89,5	73,1	29,1	74,7	69,9	66,8	59,3	87,9
4	4	348,2	366,3	43,9	118,1	1,5	154,4	181,6	248,3	39,4	248,3
5	9	432,5	425,7	0,0	0,0	0,0	20,4	47,7	279,3	0,0	129,4
6	18	490,4	810,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	320,2	0,0	81,7
7	32	193,8	629,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	72,7	0,0	0,0
8	60	22,7	635,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		1618,2	2971,5	208,1	269,3	101,5	321,9	356,9	1050,2	167,0	607,9

Le second sous-tableau présente les érosions périodiques, puis globales.

Ces érosions périodiques, exprimées en tonnes / classes de susceptibilité / périodes, sont calculées en utilisant les pondérations suivantes :

pourcentage de la surface occupée par la classe ad'hoc x surface totale du bassin exondé x risque érosif de la classe d'érosion.



Les **figures 16 et 18** présentent les variations des érosions par classes de susceptibilité. Puisque à chacune de ces classes correspond une unité cartographique informant sur la vulnérabilité des terres et des situations culturales qu'elles supportent, il est facile d'identifier les zones les plus vulnérables et d'indiquer ce qu'elles "perdent" en des circonstances parfaitement identifiées:

Figure 16: El Hnach - recherche des zones à fortes susceptibilités érosives pour les différentes périodes culturales d'une céréaliculture, avec R annuel = 57

1) la **figure 16**, illustre ce qui se passe en année peu agressive (R57). On constate que le labour est l'époque de tous les dangers pour la majorité des sols du bassin avec des pertes globales de 1618 tonnes. Celles-ci proviennent des zones couvertes par les classes 4 (350t) et surtout 5 et 6 (>400t) ; ces trois classes livrent à elles seules 78% des pertes liées au labour et cela sur 43% du BV soit sur 162ha.

Il convient cependant de ne pas comptabiliser dans ce type de comportement de sols fragiles les 16,3 % de sols "calcimagnésiques profonds argileux à argilo-limoneux à forte dynamique structurale" de l'unité pédologique n°5 (cf. & 2.5.4). En effet, le modèle RUSLE est peu apte à prendre en compte les caractéristiques expliquant des augmentations d'infiltrabilité liées aux dynamiques structurales de sols à argiles gonflantes, il explique mal les diminutions de l'érosion que cette dynamique permet.

Par contre, le modèle rend bien compte des risques érosifs liés aux orages estivaux, au moment des moissons, avec des pertes en terres évaluées à quelque 182 t. à raison de 2 à 6 t/ha sur les 45 ha de l'unité 4.

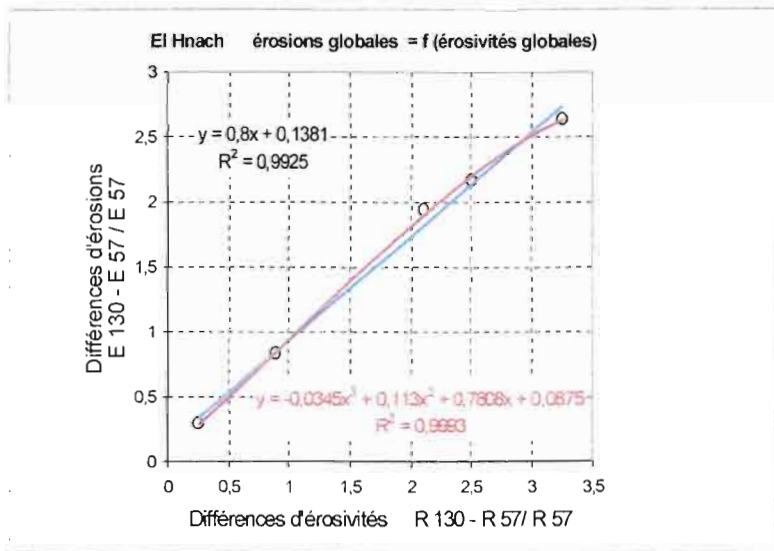


Figure 17: EI Hnach - analyse des relations Erosion / Erosivités globales

Avant de considérer ce qui se passe pour des érosivités plus fortes il convient d'analyser les relations liant érosions et érosivités. Deux essais de régression (**fig. 17**) utilisant les données globales pour chaque période culturale montrent que l'érosion croît moins que proportionnellement à l'érosivité. Ceci est le propre des systèmes dynamiques réagissant aux actions cumulées de contraintes diverses, dont celles provoquant l'érosion hydrique.

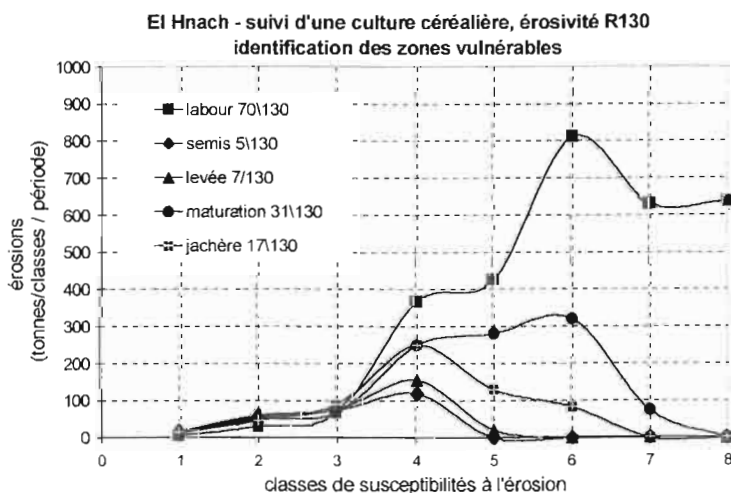


Figure 18: EI Hnach - recherche des zones à fortes susceptibilités érosives pour les périodes culturales d'une céréale, avec R annuel = 130

2) La **figure 18**, illustre les comportements des années plus agressives (R130). Même s'il n'y a pas exacte proportionnalité des érosions aux érosivités, on constate que les périodes à risques maximums suivent le même ordre que précédemment avec de forts risques pendant le labour et la moisson

En période de labour les pertes globales avoisinent les 3000 tonnes provenant de zones couvertes par 5 des 8 classes qui livrent plus de 100 tonnes.

Ces classes ont les numéros 4 (366t), 5 (426t), 6 (811t) 7 (630t) et 8 (636t), leurs superficies fournissent plus de 97% des pertes à la seule époque des labours sur 56% du BV (210ha), celles ci représentent aussi 52% des risques d'érosion annuelle, cette proportion est donc considérable. Cette érosion, en période de labour, est plus liée à une augmentation de la production de sédiments des unités vulnérables déjà révélées par une érosivité de 57 points, qu'à l'augmentation de superficies qui deviendraient vulnérables avec cet accroissement de l'érosivité.

En période de maturation ou de moisson, les pertes avoisinent les 1000 tonnes provenant de zones couvertes par 3 des 8 classes qui livrent plus de 100 tonnes. Ce sont les classes 4 (248t), 5 (279t) et 6 (320t), ces superficies fournissent 81% des pertes de cette période sur 13% du BV (50ha), ce qui représente 22% des risques érosifs annuels.

Par rapport aux années "normales", la période de jachère donne des situations dangereuses lorsqu'elle reçoit les premières averses développant les érosivités d'une année agressive (R = 17 points sur 130 annuels) . Il en résulte des pertes de 608 tonnes provenant surtout des zones définies par les unités 4 (248 t) et 5 (129 t), ces superficies livrent 62% des pertes de cette époque, mais celles-ci ne représentent plus que 7 % des pertes annuelles.

La consultation des cartes, analysant de façon plus détaillée un cycle cultural, permet de repérer la ou les périodes des risques maximums. Si les diagnostics ont une précision appréciable, les remèdes sont souvent difficiles à préconiser dans le cas de cette céréaliculture sur champs ouverts:

- on peut envisager un calage du cycle cultural qui viserait à faire coïncider les labours avec les premières fortes averses et espérer que les pluies suivantes soient moins agressives pour pouvoir garder une infiltrabilité suffisante permettant aux semis de lever dans de bonnes conditions ; il faut bien dire que la distribution des précipitations annuelles en zone méditerranéenne est relativement a-cyclique et se prête mal à ce genre de prévision,

- on peut probablement jouer plus facilement sur les soins apportés ultérieurement aux cultures afin de favoriser une croissance dense des semis, ceci agira sur l'interception des énergies des averses donc sur l'indice C,

- il apparaît enfin que la période de jachère nue peut aussi devenir une période à risque en année agressive avec une installation précoce de la saison pluvieuse : le remède à court terme est difficile à trouver compte tenu de l'errance des troupeaux et de l'exportation et de la vente des pailles.

Là où les techniques mécaniques (banquettes) ne sont pas envisageables, il convient de tout mettre en oeuvre pour limiter les écoulements:

- cette possibilité existe déjà naturellement chez certains sols à argiles "actives" qui reconstruisent leurs structures lors des alternances d'humectation et de dessiccation,

- pour les textures plus limoneuses voire plus sableuses, la seule voie possible pour favoriser cette dynamique structurale est une restauration du bilan organique sur les premiers décimètres.

Cette opération nécessiterait une assez fondamentale révision des habitudes et une recherche de nouvelles voies d'utilisation des biomasses produites par l'agro-industrie tunisienne. Au moyen terme les apports direct d'azote et de phosphore facilement minéralisables amélioreraient les rendements avec une action sur l'indice C. Au long terme une reprise de l'activité faunique allié à une action directe sur la stabilité des structures améliorerait les porosités tubulaires et fissurales ainsi que la cohésion des structures naturelles ou artificielles ce qui agirait sur l'indice K.

CONCLUSION

Les risques érosifs ont été évalués dans un petit bassin versant abondamment cultivé de la dorsale tunisienne aux environs de la localité de Siliana. Ce bassin versant de El Hnach a une superficie de 380ha et alimente une retenue collinaire qui avait, lors de sa construction en 1993, une capacité de 77 000m³. L'étude a été réalisée dans le cadre d'un programme de recherche mené conjointement par la Direction de la CES du Ministère de l'Agriculture de Tunisie et l'IRD français (ex ORSTOM).

El Hnach est un bassin représentatif qui fait partie du réseau des quelque 25 retenues dont les bilans hydrologiques et les érosions sont plus intensément suivis parmi les 520 retenues collinaires déjà construites en Tunisie semi-aride sur les 1000 prévues.

L'objectif final est de pouvoir développer un modèle prédictif de comportements en relation avec des variables explicatives inhérentes aux événements pluvieux, à la morphopédologie du bassin, à la variation de l'occupation des terres, voire aux aménagements CES qu'il subit. Cet objectif mène à des applications permettant d'orienter la gestion intégrée des eaux et des sols dans le semi-aride tunisien et aussi de connaître la durée de vie des retenues collinaires en fonction des comportements érosifs des versants cultivés.

El Hnach représente correctement les milieux physiques et humains d'une vaste région. Comme beaucoup de lacs collinaires de la Tunisie semi-aride, il se situe dans une zone de piémont de quelques kilomètres de large séparant un alignement de djebels d'une large plaine. Les sols proviennent de roches sédimentaires alternativement argileuses, marneuses et calcaires dont les altérations ont construit un modèle classique en corniches et revers de côtes sur les bancs calcaires assez épais et résistants alternant avec des champs de ravines, voire de bad lands sur les marnes et argilites. Un encroûtement calcaire continue à protéger çà et là quelques zones de piémonts et de glacis contre la remontée de l'érosion ravinaire sur les versants.

Ces sols supportent des terres fortement cultivées et dont les qualités dépendent de différents facteurs: a) l'épaisseur, qui est en relation directe avec les dynamiques érosives passées et actuelles, b) la piérrosité qui limite plus ou moins le volume de matériaux meubles, c) la texture qui régit, en partie, l'économie de l'eau, d) le bilan organique qui est d'ailleurs uniformément mauvais avec des taux médians de MO <0,7%. Ajoutons que certaines argiles gonflantes, héritées de la roche-mère commandent une dynamique structurale très intéressante pour améliorer l'infiltrabilité générale des sols donc limiter l'érosion.

La méthode de travail combine un modèle de prévision des pertes en terre (RUSLE) avec un système d'information géographique (ARCVIEW). Cette procédure permet de donner une dimension dynamique aux informations du terrain et de simuler les situations les plus réalistes. Une réflexion sur l'adéquation de cette méthode aux objectifs suivis permet de cerner les performances et les limites de cette méthode. Le modèle détecte correctement toutes formes d'érosions aréolaires, abrasions en nappe et risques liés aux incisions en rigole. Ceci résulte du fait que le modèle fonctionne sur des portions de versant homogènes jusqu'à 300m ce qui est compatible avec un BV longiligne parcouru par un réseau dense. Ce modèle ne prétend pas donner une production de sédiments provenant de la capacité abrasive de flux hydriques profonds, canalisés et rapides, susceptibles de créer les champs de ravines lors de quelques événements pluviométriques paroxysmaux. Par contre, si le modèle donne l'abrasion aréolaire sur versants plans il la donne aussi sur les systèmes ravinaires (berges et lits) pré-existants et susceptibles de fournir, eux aussi, des sédiments par l'effet de l'énergie des pluies, par détachement de matériaux mobilisables par le foisonnement des argilites et marnes sur les berges des ravines vives, ou par reprise des éboulements de gravités (secs) sur berges et sur lits. Dans son état actuel, le bassin perd de 6,2 à 6,7 t/ha/an en année normale (P = 369mm, R = 57 m.t/ha.h), et de 12, 8 à 14,1 t/ha/an en année agressive (P = 588mm avec R = 130 m.t/ha.h) .

Ces données calculées sont cohérentes avec les données bathymétriques mesurées en 1996, année particulièrement agressive, qui donnait une érosion spécifique de 16,6 t/ha/an. Ces érosions calculées ou mesurées sont élevées, donc préoccupantes pour la durée de vie de la retenue .

Cette étude confirme la grande efficacité des banquettes dans le blocage des érosions des zones qui en sont équipées.

Pour les champs ouverts non munis de banquettes ou d'autres mesures de CES, les remèdes contre l'érosion sont multiples mais leur application connaît des difficultés qui peuvent être en partie levées en tenant compte de la dynamique actuelle de deux types de sols cultivés, meubles, profonds et occupant 40% de la superficie du BV. Ces sols possèdent en effet des comportements structuraux totalement opposés et à très fortes implications sur les infiltrabilités donc sur les risques érosifs que tous refus d'infiltrations entraînent, ce sont:

- a) les sols argileux à argilo-limoneux de l'unité 5 (carte de sols), ils contiennent des argiles gonflantes en quantités suffisantes pour *reconstruire des structures*, donc des porosités superficielles, à l'issue des alternances des phases d'humectation et de dessiccation,
- b) les sols limoneux à limono-argileux de l'unité 6, ils contiennent trop peu d'argiles gonflantes pour obtenir les résultats décrits précédemment ; en plus leur faible stabilité structurale superficielle amène la formation de pellicules de battance diminuant fortement la conductivité hydraulique superficielle donc l'infiltrabilité générale du sol.

Dans le premier type de sol (a) et au moment des labours qui est l'époque de la vulnérabilité maximum des terres, les risques érosifs sont réduits tant que la structure motteuse superficielle reste "ouverte", ou tant que les averses sont suffisamment espacées pour permettre une régénération de l'infiltrabilité par dessiccation de ces surfaces. Si les pluies sont violentes et fréquentes, ces contraintes extérieures ont finalement raison de leur meilleure stabilité relative, ces sols se désagrègent alors avec des érosions maximums liées à la conjonction d'un ruissellement faible à moyen et de très fortes charges solides puisque ces sols restent rugueux.

Dans le second cas (b), les structures s'effondrent rapidement même sous les contraintes faibles d'un début de saison pluvieuse peu agressive, il s'y forme des pellicules de battance, ces sols s'érodent moyennement par conjonction de forts ruissellements et de faibles charges solides car ces sols se sont rapidement "lissés". Avec un début de saison pluvieuse agressive les érosions ne croissent qu'en raison de l'augmentation des ruissellements car les charges solides restent faibles avec une énergie de pluie interceptée par une lame ruisselante uniformément répartie.

Si un "travail minimum du sol" devait être préconisé, il conviendrait de respecter cette distinction entre les deux types de dynamique structurale ; en raison de ce qui précède, il est probable que ce "minimum tillage" serait uniquement efficace sur le second type de sol et quasiment inutile sur le premier type.

Enfin, si de nouvelles voies dans l'utilisation des biomasses , produites notamment par l'agro-industrie, pouvaient se dégager, il conviendrait de restaurer, dans un premier tant les bilans organiques des premiers décimètres des sols à faible dynamique structurale (second type de sol). Au moyen terme les apports direct d'azote et de phosphore facilement minéralisables amélioreraient les rendements avec une action sur l'indice "couvert végétal" C. Au long terme une reprise de l'activité faunique alliée à une action directe sur la stabilité des structures améliorerait la porosité et la stabilité structurale ce qui agirait sur l'indice "érodibilité" K.

BIBLIOGRAPHIE

ALBERGEL J. BEN YOUNESS M., BOUFAROUA M., DEBABRIA A., GUIGUEN N., JENHAOUI Z., GHEDOU S., PEPIN Y. permanent
Annuaire hydrologiques des lacs collinaires - réseau pilote de surveillance hydrologique (1995 - 2000)

BLANCANNEAUX Ph. 1989

Les sols à accumulation calcaire de la Tunisie centrale et septentrionale, - notice et carte à 1/500000. ORSTOM mission de Tunis et Faculté des Sciences de Tunis), multigraph. 113p. + annexes

BORST H.L., WOODBURN R., 1940

Rain simulator studies of the effect of slope on erosion and runoff. U.S. Depart. of Agronomy.SCS-TP-36

CASTANY A. 1953

Carte géologique de la Tunisie au 1/500 000 (deuxième édition). Direction des Travaux Ppublics. Service des Mines de l'Industrie et de l'Energie. 143p. 1 carte géologique à 1/500 000 , annexes de 14 planches.

CES, 1995

Guide de conservation des eaux et du Sol, projet PNUD / FAO, TUN/86/020. Ministère de l'Agriculture, Direction de la Conservation des Eaux et des Sols, 274 p., Tunis, 1995.

COLLINET J. 1988

Comportements hydrodynamiques et érosifs de sols de l'Afrique de l'ouest - évolution des matériaux et des organisations sous simulation de pluies. Thèse Doctorat Université Louis Pasteur, Strasbourg. 513p. 1988.

COLLINET J. , ZANTE P., BALIEU O., GHESMI M. 2001

Cartographie des risques érosifs sur le bassin versant du barrage collinaire de Zanfour (nord dorsale tunisienne) - Mission IRD Tunis. 60p.

COLLINET J., TESTOURI JEBARI S. 2001

Etude expérimentale du ruissellement et de l'érosion sur les terres agricoles de Siliana (Tunisie) - INRGREF - Direction des Sols - IRD. 48p.

COQUE R., JAUZEIN A. 1965

Essai d'une carte néotectonique de la Tunisie au 1/1000 000. Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique. Paris, 2ème série, vol. 7, fasc. 3 pp.253-265.

CPCS, 1967

Classification des sols, par commission de Pédologie et de Cartographie des sols. Coord. J. Boulaine, 27 auteurs. Labos. de géologie-Pédologie de ENSA de Grignon. 87p.

CTFT, 1979

Conservation des sols au sud du Sahara. Collection techniques rurales en Afrique, 2ème édition, Ministère de la Coopération. 296 p., 1979.

DANGLER E.W., EL-SWAIFY S.A., AHUJA L. R., BARNETT A. P., 1976

Erodibility of selected Hawaii soils by rainfall simulation, Agricultural reasearch service, US department of agriculture, western region, 113 p. , 1976

F.A.O., 1968

Definitions of Soil Units for the Soil Map of the World. World Soil Resources Report FAO n°33. 73p. 1968.

F. A O. - ISSS - ISRIC 1994

World Reference Base for Soil Resources. Edit. par O.C. Spaargaren. 38 auteurs. 161. 1994

F.A.O., 1993

Guide pratique d'aménagement des bassins versants - Etude et planification, par T.C. Sheng, Prof. Dep. of Earth Reources, Colorado State University. Cahier FAO "Conservation" 13/6. 185p. 1993

HEUSCH B., 1970

L'Erosion du Pré-Rif. Une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du Pré-Rif occidental. Rapport 1970 de la station de recherches forestières de Rabat, T. 12, 176 p., 1970.

HUDSON N.W., 1973

Soil Conservation - Batsford édit. London. 320p.

JAUZEIN A., COQUE R. et al. 1967

The Geomorphology and Quaternary Geology of Tunisia in: Guidebook to the geology and history of Tunisia. (The Petrol. Explor. Soc. of Libya 9th Annual Field Confer. 1967) pp.227-257.

JAUZEIN A. 1967

Contribution à l'étude géologique des confins de la dorsale tunisienne -Tunisie septentrionale. in Mines et Géologie de Tunis n°22, vol. 4, 475p. (extrait d'une thèse doc. Fac. Sciences de Paris, juin 1962).

MASSON J.M., 1971

L'érosion des sols par l'eau en climat méditerranéen. Méthodes expérimentales pour l'étude des quantités érodées à l'échelle du champ. Thèse USTL, 213p + annexes, 1971.

NASRI S., 1990

Contribution à l'étude de la Dynamique érosive dans le bassin versant de l'oued Ettieur. Mem. de fin d'études du cycle de spécialisation. INAT de Tunis, 90p. 1990

ONIBON H., 1997

Erosion et transport solide. Rapport d'avancement de Mémoire de DEA, ENIT, IRD, Tunis, 1997

ROOSE E., 1977

Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest, vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales, Travaux et documents n°78, ORSTOM Paris, 1977.

RUELLAN A. 1971

Les sols à profils calcaires différenciés des plaines de la basse Moulouya (Maroc Occidental). Contribution à la connaissance des sols méditerranéens. Mémoire ORSTOM n°54., 302p.

WISCHMEIER W. H. , SMITH D. D., UHLAND R.E., 1958

Evaluation of factors in the soil loss equation. *Agronomy Engineering*, 39, 8, pp.458-462

WISCHMEIER W. H., 1959

A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, V. 23, p. 246-249

WISCHMEIER W. H., 1960

Cropping management factor evaluation for an universal soil loss equation. *Soil Science Society of America Proceedings*; 23, pp. 246-249.

WISCHMEIER W. H. and SMITH D. D., 1960

A universal soil-loss estimating equation to guide conservation farm planning, 7 th. Cong. Of Intern. Soil Sci. Soc., V.,I, p. 418-425.

WISCHMEIER W. H., JOHNSON C.B., CROSS B.V. , 1971

A soil erodibility nomograph for farmlands and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation - Soil Science Society of America* 26, 5, pp. 189-192.

WISCHMEIER W. H., 1972

Upslope erosion analysis, from *Environmental Impact on Rivers*, chapt. 15, pp. 15-1 à 15-26, H. W. SHEN Publisher

WISCHMEIER W. H., 1975

New developments in estimating water erosion. Reprint. of the 29th. Annual meeting of the SSSof America, august 1974, Syracuse, New York. pp.179-195

ZING A.W., 1940

Degree and length of land slope as it affects soil loss and runoff. *Agr. Eng.* 21, pp.56-64

ANNEXES

Tableau A1 : Calcul des pentes par interception de courbes de niveau équidistantes de 10 m .

Nombre d'intervalles	1/10 000				1/12 500				1/20 000			
	0,5	0,75	1	1,5	0,5	0,75	1	1,5	0,5	0,75	1	1,5
1	20,0	13,3	10,0	6,7	16,0	10,7	8,0	5,3	10,0	6,7	5,0	3,3
2	40,0	26,7	20,0	13,3	32,0	21,3	16,0	10,7	20,0	13,3	10,0	6,7
3	60,0	40,0	30,0	20,0	48,0	32,0	24,0	16,0	30,0	20,0	15,0	10,0
4	80,0	53,3	40,0	26,7	64,0	42,7	32,0	21,3	40,0	26,7	20,0	13,3
5	100,0	66,7	50,0	33,3	80,0	53,3	40,0	26,7	50,0	33,3	25,0	16,7
6	120,0	80,0	60,0	40,0	96,0	64,0	48,0	32,0	60,0	40,0	30,0	20,0
7	140,0	93,3	70,0	46,7	112,0	74,7	56,0	37,3	70,0	46,7	35,0	23,3
8	160,0	106,7	80,0	53,3	128,0	85,3	64,0	42,7	80,0	53,3	40,0	26,7
9	180,0	120,0	90,0	60,0	144,0	96,0	72,0	48,0	90,0	60,0	45,0	30,0
10	200,0	133,3	100,0	66,7	160,0	106,7	80,0	53,3	100,0	66,7	50,0	33,3

Tableau A2 : Bassin versant El Hnach, calcul des pentes

N° segment	Longueur cm	dénivelée m	pente %	classe de pente
1	2,1	20	9,524	2
2	2,25	20	8,889	2
3	1,1	40	36,364	6
4	1,5	30	20,000	5
5	1,5	20	13,333	3
6	0,8	10	12,500	3
7	1,3	50	38,462	6
8	0,9	40	44,444	7
9	2	20	10,000	3
10	1,8	20	11,111	3
11	2,3	30	13,043	3
12	1	30	30,000	6
13	1,6	30	18,750	4
14	1,2	10	8,333	2
15	2	30	15,000	3
16	2,1	10	4,762	1
17	1,8	20	11,111	3
18	2,2	20	9,091	2
19	1,3	20	15,385	4
20	1,3	20	15,385	4
21	1,8	20	11,111	3
22	2,3	20	8,696	2

Tableau A2 (suite et fin): Bassin versant El Hnach, calcul des pentes

N° segment	Longueur cm	dénivelée m	pente %	classe de pente
23	2,5	30	12,000	3
24	1,6	30	18,750	4
25	2	10	5,000	1
26	0,55	20	36,364	6
27	0,9	20	22,222	5
28	1,4	20	14,286	3
29	2	20	10,000	3
30	0,7	10	14,286	3
31	0,9	20	22,222	5
32	1	20	20,000	5
33	1,2	40	33,333	6
34	1,1	40	36,364	6
35	1,2	30	25,000	5
36	0,75	20	26,667	5
37	0,7	10	14,286	3
38	2,5	10	4,000	1
39	1,5	20	13,333	3
40	1,1	20	18,182	4
41	2	20	10,000	3
42	0,9	20	22,222	5
43	1,7	30	17,647	4
44	2	50	25,000	5
45	2,2	20	9,091	2
46	1	20	20,000	5
47	1,4	20	14,286	3
48	1,7	40	23,529	5
49	1,9	20	10,526	3
50	2,6	20	7,692	2
51	2,3	20	8,696	2
52	1,2	20	16,667	4
53	1,3	30	23,077	5
54	2,5	40	16,000	4
55	1,1	20	18,182	4
56	1,5	20	13,333	3

Tableau A3 : Bassin versant El Hnach, calcul des indices SL

N°	Longueur. cm	Dénivelée m	Pente %	Erosion rigole / érosion nappe			Classes SL
				faible	moyen	fort	
1	2,1	20	9,524	2,36			2
2	2,25	20	8,889	2,13			2
3	1,1	40	36,364	11,5			6
4	1,5	30	20,000	6,47			4
5	1,5	20	13,333	3,61			2
6	0,8	10	12,500		3,2		2
7	1,3	50	38,462		17,6		7
8	0,9	40	44,444		15,7		7
9	2	20	10,000		3,66		2
10	1,8	20	11,111		4,13		3
11	2,3	30	13,043	4,12			3
12	1	30	30,000			13,84	6
13	1,6	30	18,750			11,4	6
14	1,2	10	8,333	1,6			1
15	2	30	15,000	4,85			3
16	2,1	10	4,762	0,94			1
17	1,8	20	11,111	2,9			2
18	2,2	20	9,091	2,2			2
19	1,3	20	15,385		5,7		3
20	1,3	20	15,385		5,7		3
21	1,8	20	11,111		4,14		3
22	2,3	20	8,696		3,07		2
23	2,5	30	12,000		5,62		3
24	1,6	30	18,750		8,53		5
25	2	10	5,000	0,98			1
26	0,55	20	36,364			10,4	6
27	0,9	20	22,222			9,1	5
28	1,4	20	14,286			7,18	4
29	2	20	10,000	2,52			2
30	0,7	10	14,286			4,3	3
31	0,9	20	22,222			9,1	5
32	1	20	20,000			8,68	5
33	1,2	40	33,333			17,9	7
34	1,1	40	36,364			18,2	7
35	1,2	30	25,000			13,4	6
36	0,75	20	26,667			9,72	5
37	0,7	10	14,286		3,6		2
38	2,5	10	4,000	0,78			1
39	1,5	20	13,333			6,76	4
40	1,1	20	18,182			8,26	4
41	2	20	10,000			5,25	3
42	0,9	20	22,222			9,1	5

Tableau A3 (suite et fin) : Bassin versant El Hnach, calcul des indices SL

N°	Longueur. cm	Dénivelée m	Pente %	Erosion rigole / érosion nappe			Classes SL
				faible	moyen	fort	
43	1,7	30	17,647			11	6
44	2	50	25,000			19,4	7
45	2,2	20	9,091		3,23		2
46	1	20	20,000		6,97		4
47	1,4	20	14,286		5,34		3
48	1,7	40	23,529		12		6
49	1,9	20	10,526	2,7			2
50	2,6	20	7,692		2,76		2
51	2,3	20	8,696		3,07		2
52	1,2	20	16,667			7,86	4
53	1,3	30	23,077			12,6	6
54	2,5	40	16,000		8,85		5
55	1,1	20	18,182	4,97			3
56	1,5	20	13,333	3,61			3

Tableau A4 : Bassin versant El Hnach modulation de l'indice P selon la pente

N° unité	Travaux CES	Pente %	Indice P
1	Banquettes avec ou sans plantations	8-12	0,12
2	Banquettes avec ou sans plantations	13-18	0,16
3	cordons de pierres sèches		0,35
4	Ripage	13-18	0,7
5	plantation isohypse		0,3
6	cordons de pierres cactus et reboisement		0,15
7	cordons de pierres et cactus		0,2
8	cordons de pierres sèches		0,35
9.1	Banquettes avec ou sans plantations	5-10	0,1
9.2	Banquettes avec ou sans plantations	10-15	0,12
9.3	Banquettes avec ou sans plantations	15-20	0,16
10	cordons de pierres sèches		0,35
11.1	Banquettes avec ou sans plantations	15-20	0,16
11.2	Banquettes avec ou sans plantations	5-10	0,1
11.3	Banquettes avec ou sans plantations	15-20	0,16
12	cordons de pierres sèches		0,35
13	cordons de pierres sèches		0,35
14	cactus en lignes		0,26
15	plantation isohypse		0,3
16.1	Banquettes avec ou sans plantations	5-10	0,1
16.2	Banquettes avec ou sans plantations	20-30	0,18
17	Banquettes avec ou sans plantations	20-30	0,18

Tableaux A5 : Diverses sources d'informations sur la détermination de l'indice de couvert végétal C

Tableau A51 - variations de l'indice C selon les assolements (Dorsale à Sidi Boubakar) (J.M. Masson, 1971).

Assolements	C
Assolements biennaux	
Céré - Jach	0,4
Céré - VA/LH	0,55
Céré - VA	0,5
Assolements triennaux	
Céré - céré - LH	0,6
Céré - céré - fourrage, Céré - céré - eng. vert pat.	0,55
céré - céré - jach	0,5
Assolements quadriennaux	
Céré - VA - céré - LH	0,55
Céré - Fourrage - céré - LH	
Assolements spéciaux	
Céré - céré - fourrage - fourrage	0,4
Céré - fourrage - fourrage	0,35
Céré - céré - prairie 6 ans	0,2

Tableau A52 - ONIBON H. (Wischmeier adapté par MASSON)

Type de culture	C
Assolement : fèves fourrage blé	0.59
Assolement 2 ans : fourrage, blé	0.60
Assolement 6 ans : pâturage (3 ans), blé, jachère, blé	0.23
Assolement 3 ans : blé, orge, jachère	0.63
Assolement 3 ans : blé orge pâturage	0.81
Assolement 4 ans : pâturage (3 ans) blé ou orge	0.15
Assolement 2 ans : céréales	0.40
Assolement : oliviers 12x12, succession fourrage blé orge en intercalaire	0.60
Arboriculture avec travail du sol	0.90
Parcours améliorés	0.10
Parcours simples	0.25
Parcours avec affleurements rocheux	0.15
Vergers simples	0.35
Zones érodées	0.60
Travaux de CES	0.30

**Tableau A53 – CTFT - Conservation des sols au sud du Sahara
(valeurs pour l’Afrique du Nord)**

Type de culture	C
Jachère travaillée	1
Arboriculture fruitière	0.90
Blé	0.71
Assolement céréalier	0.40
Assolement avec fourrage	0.15 à 0.23
Prairie améliorée bien constituée	0.01

Tableau A54 – J.M. MASSON, 1971 - extraits de sa Thèse

VEGETATION PERENNE	
type	C
Vigne, vergers au sol travaillé continuellement	0,9
Parcours ordinaires	0,15
Reboisement	0,15
Forêt claire	0,05
Forêt dense ou pâturage dense	0,01

ASSOLEMENTS	
Assolements biennaux	C
Céré - Jach	0,4
Céré - VA/LH	0,55
Céré - VA	0,5
Assolements triennaux	C
Céré - céré - LH	0,6
Céré - céré - fourrage, Céré - céré - eng. vert pat.	0,55
céré - céré - jach	0,5
Assolements quadriennaux	
Céré - VA - céré - LH	0,55
Céré - Fourrage - céré - LH	
Assolements spéciaux	
Céré - céré - fourrage - fourrage	0,4
Céré - fourrage - fourrage	0,35
Céré - céré - prairie 6 ans	0,2
Céré - céré - prairie 6 ans	0,2

Tableau A54 suite – J.M. MASSON, 1971 - extraits de sa Thèse

CULTURE D'UNE CEREALE: VALEUR DE C SELON LE CYCLE CULTURAL					
	période				C
labour, jachère travaillée	1/9 - 1/11				0,65
semis	1/11 - 1/12				0,7
établissement	1/12 - 1/3				0,45
végétation	1/3 - 15/6				0,15
chaumes, jachère pâturée	15/6 - 1/9				0,2
chaumes sans pailles					0,2
chaumes avec pailles	-				0,12
VARIATIONS DE C SELON LE CYCLE CULTURAL POUR DIVERSES CULTURES					
	période				
1: labour, jachère travaillée	1/9 - 1/11				
2: semis	1/11 - 1/12				
3: établissement	1/12 - 1/3				
4: végétation	1/3 - 15/6				
5: chaumes et jachère pâturée	15/6 - 1/9				
culture					
	Période culturale				
	1	2	3	4	5
Céréale avec retournement, pas de pâturage de plus de 2 ans consécutifs, paille ramassée	0,65	0,7	0,45	0,15	0,2
Fourrage Vesce/Avoine dans un assolement céréalié avec retournement, sans pâturage de plus de 2 ans consécutifs	0,65	0,7	0,4	0,07	0,2
Plante sarclée type fèves, dans un assolement céréalié avec retournement, sans pâturage de plus de 2 ans consécutifs	0,65	0,7	0,6	0,32	0,8
Pâturage	0,01 à 0,03				
1 ère année de céréales après 3 ans de pâturage	0,23	0,4	0,4	0,1	0,15
2ème année de céréale après 3 ans de pâturage et 1 céréale	0,6	0,65	0,45	0,15	0,2

Tableau A55 : HEUSCH, 1970 - L'érosion du Pré Rif

Occupation du sol	Coefficient C
Culture mécanisée	0.25
Culture attelée (céréales)	0.12
Matorral cultivé (céréales)	0.10
Vergers (oliviers)	0.08 (pas sarclés)
Ermes (parcours)	0.06
Zones de DRS (banquettes mises en défens et plantées)	0.04 ?
Matorral	0.02
Forêts dégradées	0.01

Assolement	Coefficient C
Blé dur – bersim/sorgho	0.37
Blé dur – chou/pois chiche – sulla	0.36
Blé dur – sorgho	0.37
Blé dur – mélilot	0.26
Blé dur – vesce avoine - sorgho	0.29
Blé dur - bersim	0.25
Blé dur – vesce avoine	0.24
Blé dur - fève	0.44
Blé dur – vesce avoine - fève	0.34
Blé dur - jachère	0.24

**Tableau 6 : Exemple de saisie de données de terrain
(5 des 45 sites analysés)**

N° site et prélè v.	Couleur	Texture A/L/SF/SG	Profondeur	Organisation surface	EG GR/CA/BL	M O	Structure Fin/Moyen/Gros/Massif	Perm	Gravéros.	Erod K	Divers
P 34 HNA CH 1	Sec 0/1cm 10YR7/3 Frais 10YR5/4 Sol humide à -15cm !	45/30/10 /05 A	100% >100 cm	90% PS 10% mottes fondues de 5 à 20cm	0%	1,5	Moy. SFFD poly subang. 15 à 20mm et grum. 5 à 10mm Da = 1,30	R à M	2		Colline en limite du BV sur marnes et calcaires, milieu du versant rectiligne, pente 4% sur au moins 100m, Champ de blé mûr 50cm, recouvr. 30%, pas de trav. CES.
P 35	Sec 10YR6,5/3 Hum. 10YR5/4	50/20/25 /05 A	100% >70cm	80% PB 20% mottes fondues 20cm	0%	1,5	Moy. SFMD Grenue fine 2 à 3mm > Poly-subang. 10 à 15mm Da = 1,1	R	2		Col entre 2 ravines sur marnes, pente de 9% sur au moins 20m. Champ labouré sens pente, récolté, ondul. 50x10cm. Couvr.5% chaumes, Assolement = Blé - Jachère
P 36 HNA CH 2	Sec 0/1cm 2,5Y5,5/2 Hum. 10YR4/3	60/25/10 /05 TA	100% >100 cm	80% PS fissurée 10% mottes 10% agrégats grenus libres. Rugosité liée mottes	2% G et C	1,7	Moy. SFMD Grenue fine > Grum. gross.Friable Da = 1,30	R	2		Col entre 2 collines sur marnes. Pente 5% sur au moins 20m. Labour isohypse assez fondu. Rares chaumes
P37				20% PB	80% 50G/20 C/10B						Parcours ligneux 60% de Graminées et Rampants, 5% de ligneux bas
P 38	?	55/20/20 /05 A	100% >100 cm	80% PS fissur. 5% mottes fondues 10mm et 5% Grenus fins libres. Ligne semis isohyps. 20 x 1cm	10% 50% G 50% C	2,0	Fine SFFD Grenue très fine >Grum. fine à moy. Très meuble Da = 1,10	R	2		Colline limite BV, dominante retenue en rive gauche, versant concavo rectiligne, pente 9% sur au moins 100m. Blé 30cm recouvr. 30%

**Tableau A71: Principe de calcul des érodibilités K
à l'aide du logiciel RUSLE**

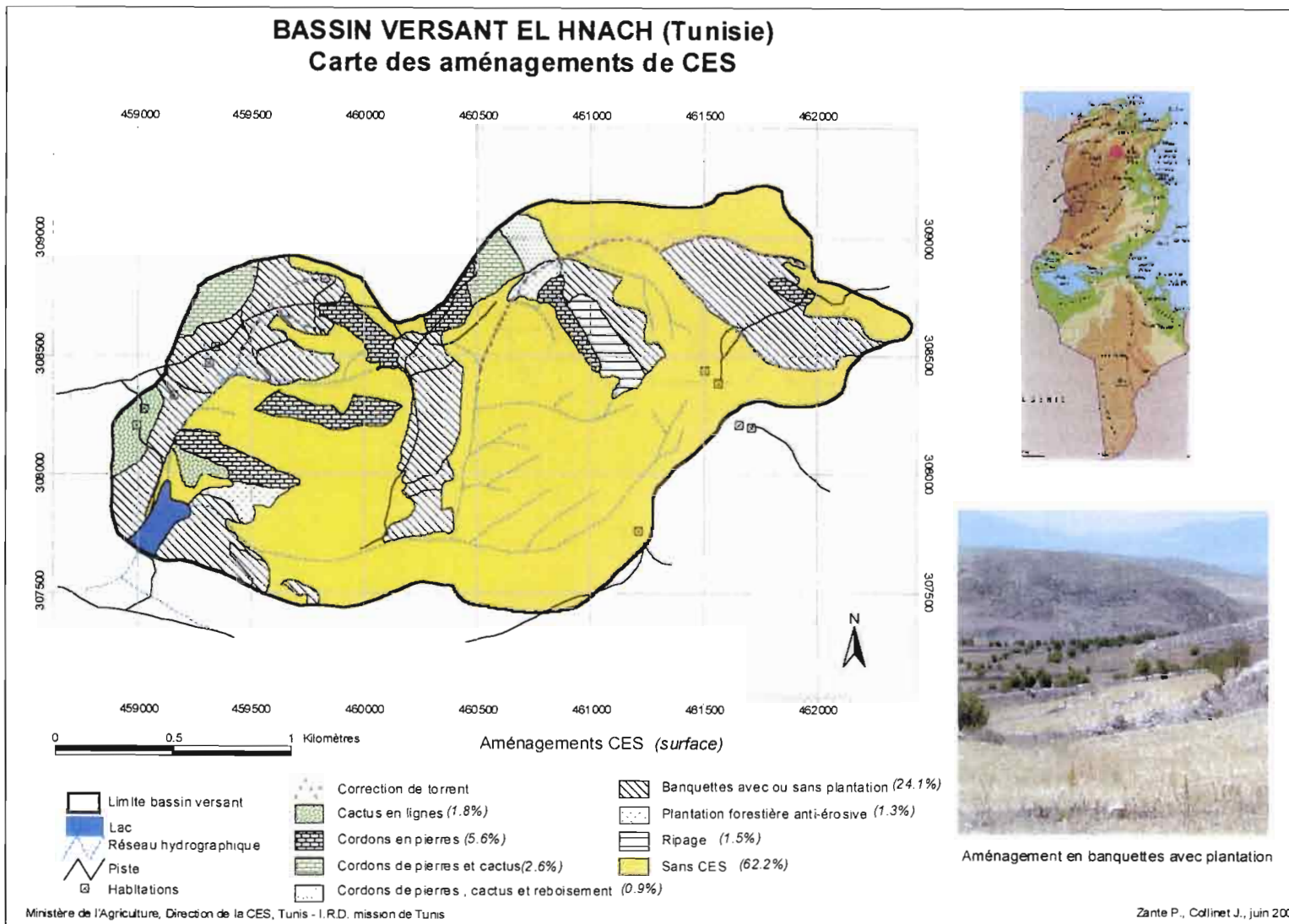
El Hnach : calcul des érodibilités K														
Sites	unités	% lim+stf	% arg.	% M.O.	code struct.	code perm.	correction liée présence E G				K us non classés	K si non classés	K si classés	Sites classés
							v% >75mm	p% >75mm	v%2 -75mm	p%2 -75mm				
P16	3	75	5	0,50	4	5	2	3,32	27,00	44,82	0,6890	0,0910	0,0910	P16
P18	6	65	35	1,00	2	2	0	0,00	0,00	0,00	0,4220	0,0560	0,0800	P19*
P19*	4	70	15	0,50	4	6	2	3,32	60,00	99,60	0,6100	0,0800	0,0610	P19'
P19'	3	50	15	0,70	4	4	5	8,30	5,00	8,30	0,4650	0,0610	0,0590	P41
P20	5	45	45	1,00	2	2	0	0,00	5,00	8,30	0,2460	0,0320	0,0560	P18
P22	5	40	55	1,50	3	1	0	0,00	0,00	0,00	0,0960	0,0130	0,0530	P25
P24	6	50	40	1,00	4	5	0	0,00	10,00	16,60	0,3530	0,0460	0,0500	oued alluvion
P25	3	60	30	0,50	2	3	20	33,20	30,00	49,80	0,4010	0,0530	0,0460	P24
P27	6	45	40	1,00	2	4	0	0,00	40,00	66,40	0,2390	0,0310	0,0380	P39
P31 *	1							0,00		0,00	0,0000	0,0000	0,0380	P43
P32	6	50	35	1,50	1	3	0	0,00	5,00	8,30	0,2650	0,0350	0,0360	Unité 2
Ob33	7	30	50	1,50	1	2	0	0,00	5,00	8,30	0,1450	0,0190	0,0350	P32
P34	5	47	46	0,90	2	2	0	0,00	0,00	0,00	0,151	0,0200	0,0340	P40
P35	5	45	50	1,50	2	1	0	0,00	0,00	0,00	0,1420	0,0190	0,0320	P20
P36	5	43	50	1,30	2	1	1	1,66	1,00	1,66	0,156	0,0250	0,0310	P27
P38	5	40	55	2,00	1	1	5	8,30	5,00	8,30	0,1250	0,0170	0,0270	P42
P39	6	53	30	1,90	1	4	20	33,20	20,00	33,20	0,2910	0,0380	0,0250	P36
P40	5	50	46	1,10	2	3	0	0,00	2,00	3,32	0,2620	0,0340	0,0230	P44
P41	3	65	20	0,70	1	4	0	0,00	30,00	49,80	0,4510	0,0590	0,0200	P34
P42	5	41	53	1,10	1	2	2	3,32	3,00	4,98	0,2020	0,0270	0,0190	Ob33
P43	6	50	40	1,00	2	3	0	0,00	2,00	3,32	0,2880	0,0380	0,0190	P35
P44	5	40	50	1,25	1	2	0	0,00	5,00	8,30	0,1730	0,0230	0,0170	P38
P45	5	40	50	1,50	2	1	0	0,00	0,00	0,00	0,0780	0,0100	0,0130	P22
oued roche	8R							0,00		0,00	0,0000	0,0000	0,0100	P45
oued alluvion	8A	50	0	0,00	1	1	10	16,60	30,00	49,80	0,3830	0,0500	0,0000	P31 *
Unité 2	2	25	25	0,00	4	6	0	0,00	0,00	0,00	0,2760	0,0360	0,0000	oued roche

**Tableau A72: Classement des érodibilités
et détermination des unités cartographiques**

K ordonné			K médians classé	
K ordonné	sites	unités	rangs	K médians
0,0910	P16	3	E	0,0800
0,0800	P19*	3	E	0,0800
0,0610	P19'	4	E	0,0800
0,0590	P41	3	D	0,0545
0,0560	P18	6	D	0,0545
0,0530	P25	3	D	0,0545
0,0500	alluvion oued	8	D	0,0545
0,0460	P24	6	C	0,0360
0,0380	P39	6	C	0,0360
0,0380	P43	6	C	0,0360
0,0360	unité 2	2	C	0,0360
0,0350	P32	6	C	0,0360
0,0340	P40	5	C	0,0360
0,0320	P20	5	C	0,0360
0,0310	P27	6	C	0,0360
0,0270	P42	5	B	0,0190
0,0250	P36	5	B	0,0190
0,0230	P44	5	B	0,0190
0,0200	P34	5	B	0,0190
0,0190	Ob33	7	B	0,0190
0,0190	P35	5	B	0,0190
0,0170	P38	5	B	0,0190
0,0130	P22	5	B	0,0190
0,0100	P45	5	B	0,0190
0,0000	P31	1	A	0,0010
0,0000	roche oued	1	A	0,0010

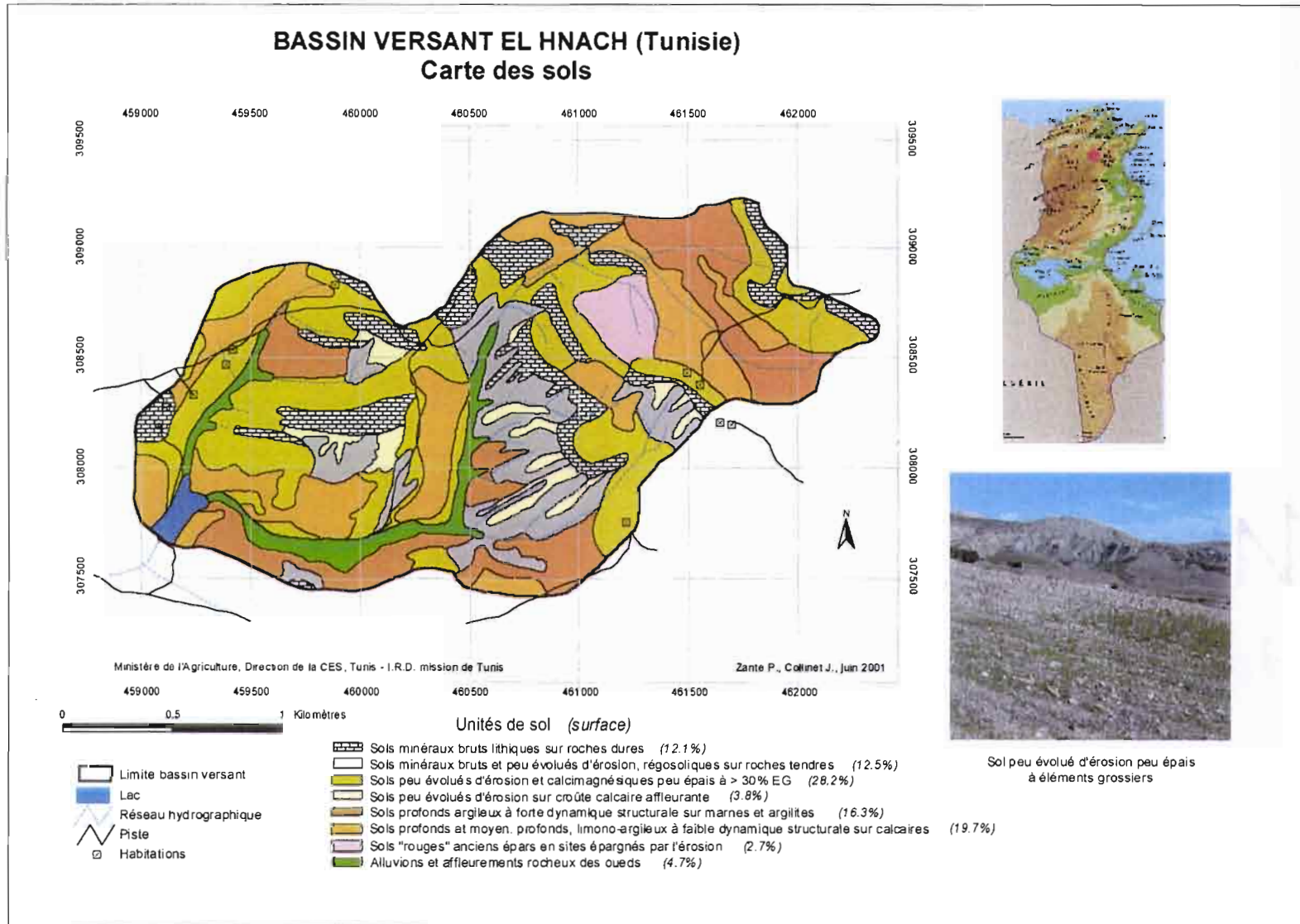
CARTE C1

61

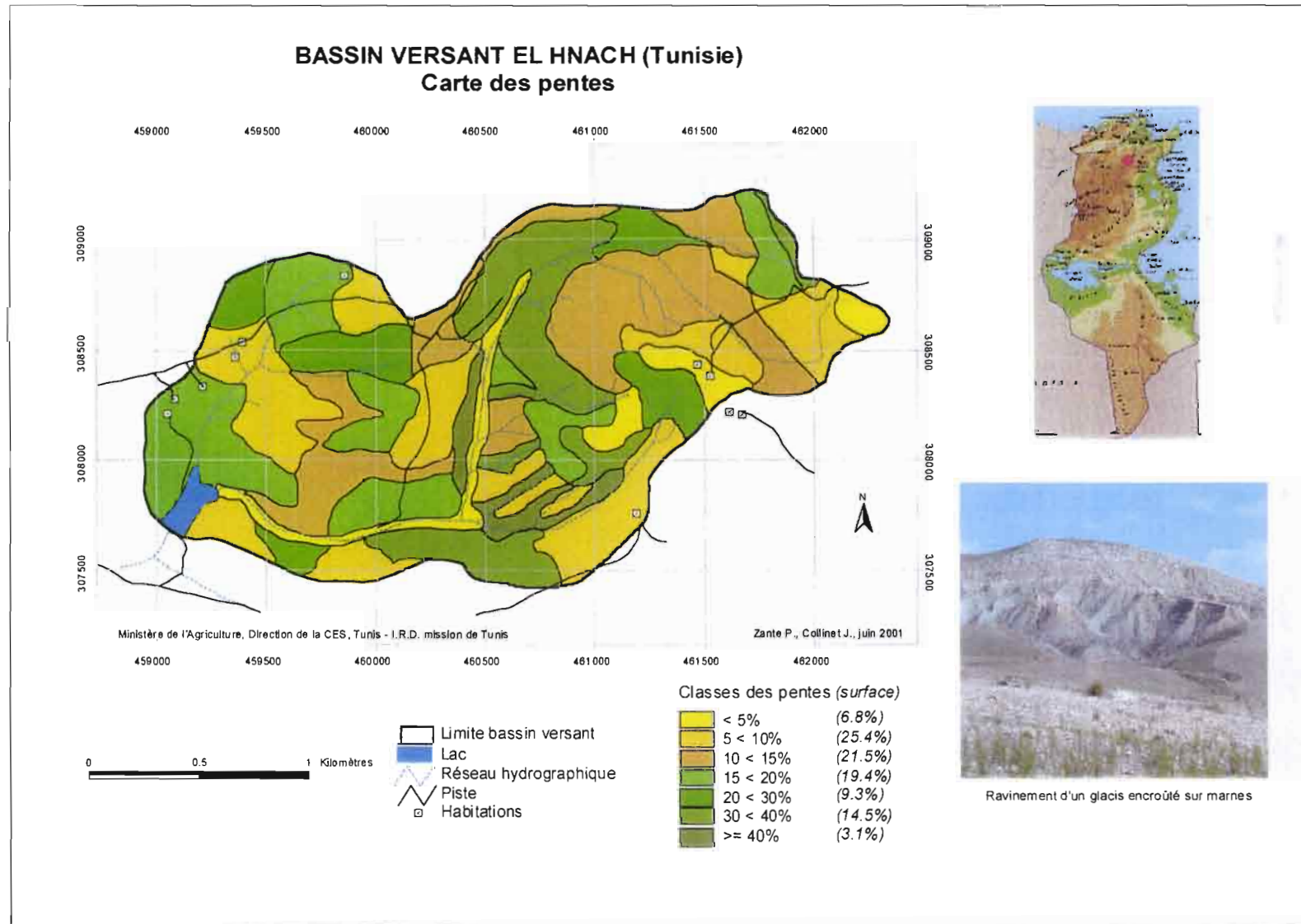


CARTE C2

62

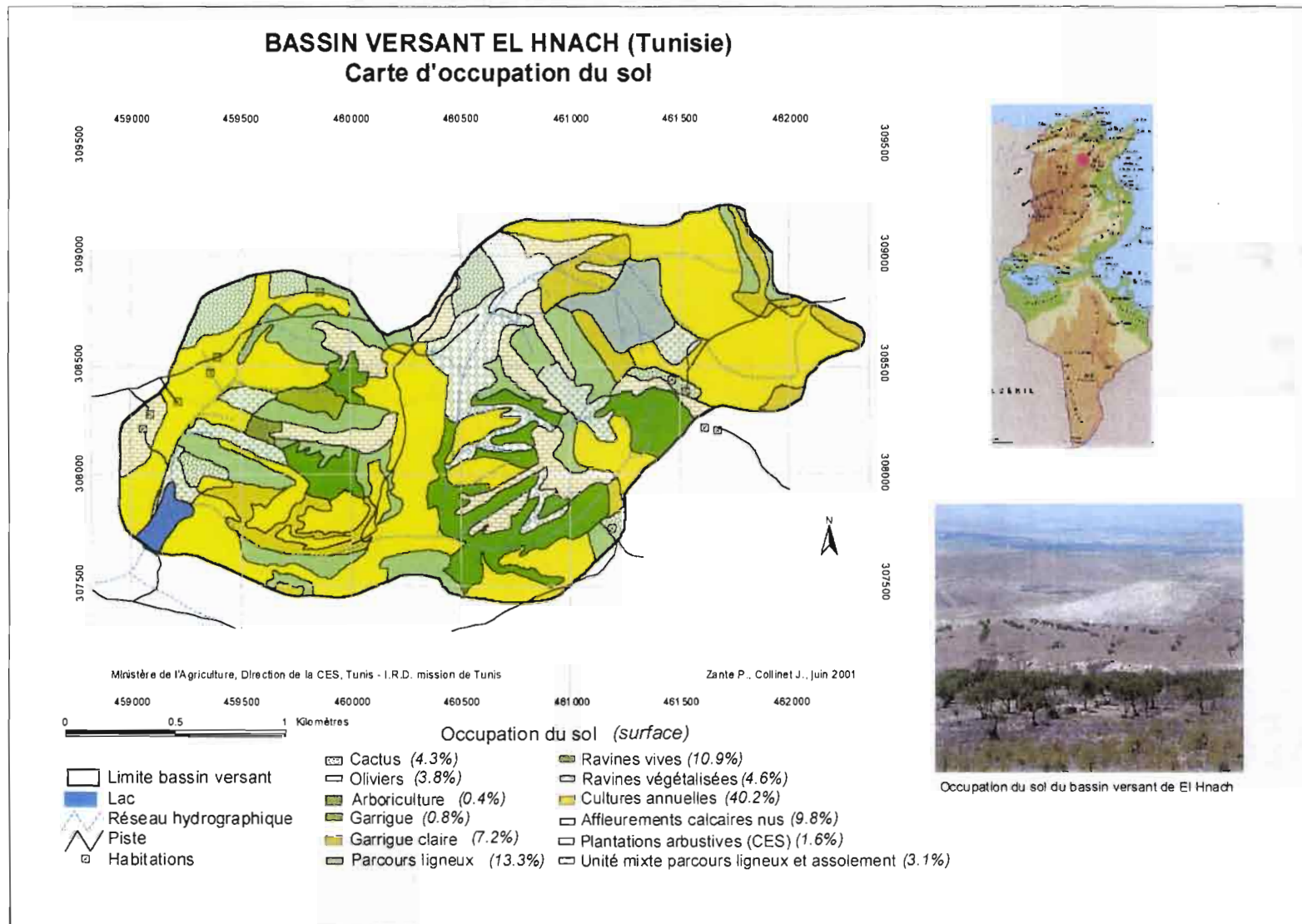


CARTE C3



CARTE C4

64

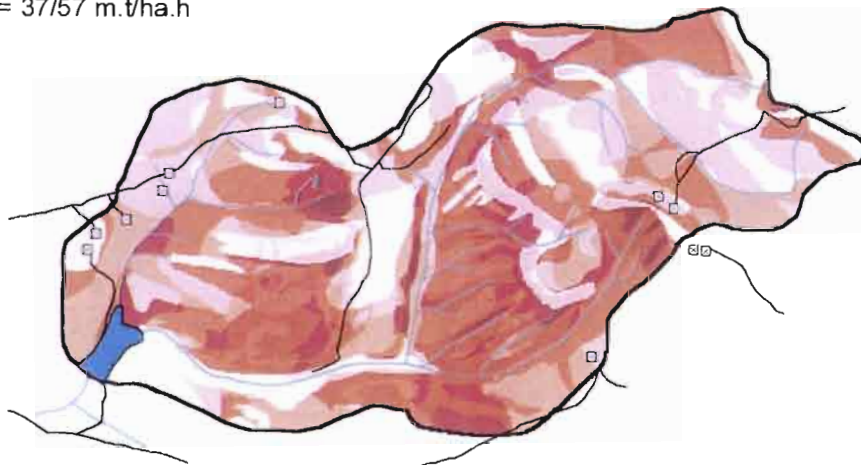


CARTES C5 – C6

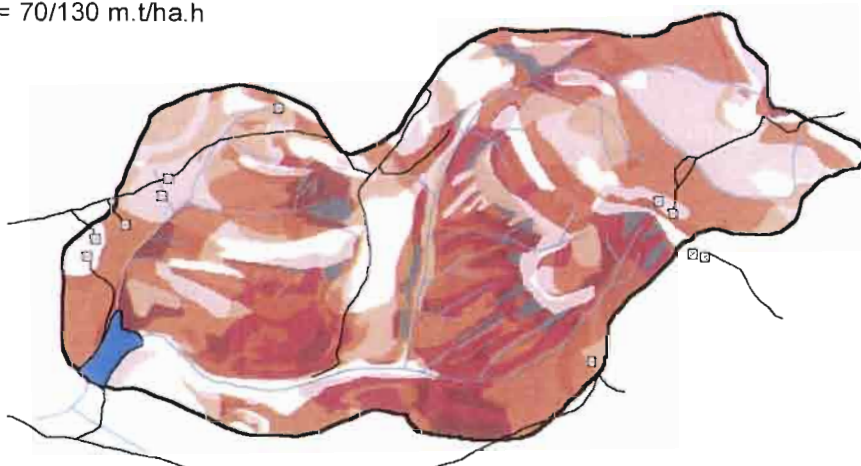
BASSIN VERSANT OUED EL HNACH

susceptibilité à l'érosion pendant la période du labour (1/09 au 1/11)

R = 37/57 m.t/ha.h



R = 70/130 m.t/ha.h



- Habitations
- Lac
- Pistes
- Réseau hydrographique
- Limite du bassin versant

Erosion en t/ha

- 0 < 0.2
- 0.2 < 0.8
- 0.8 < 2
- 2 < 6
- 6 < 12
- 12 < 24
- 24 < 40
- 40 < 80



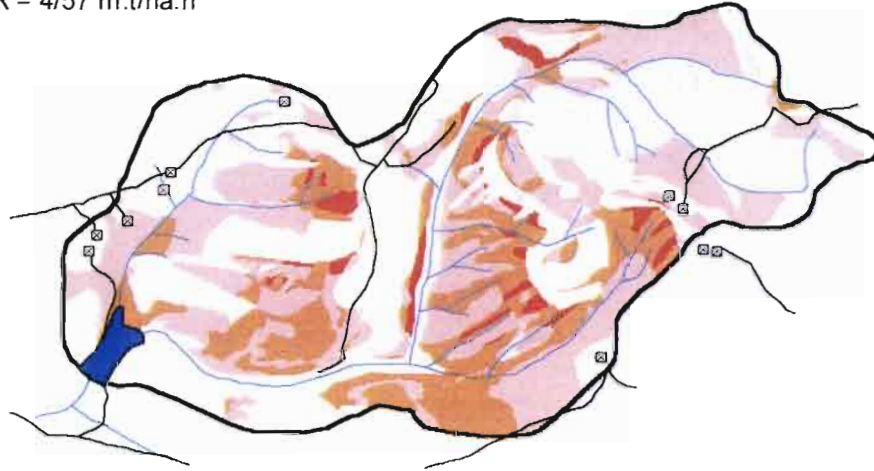
0 0.5 1 Kilomètres

CARTES C7 – C8

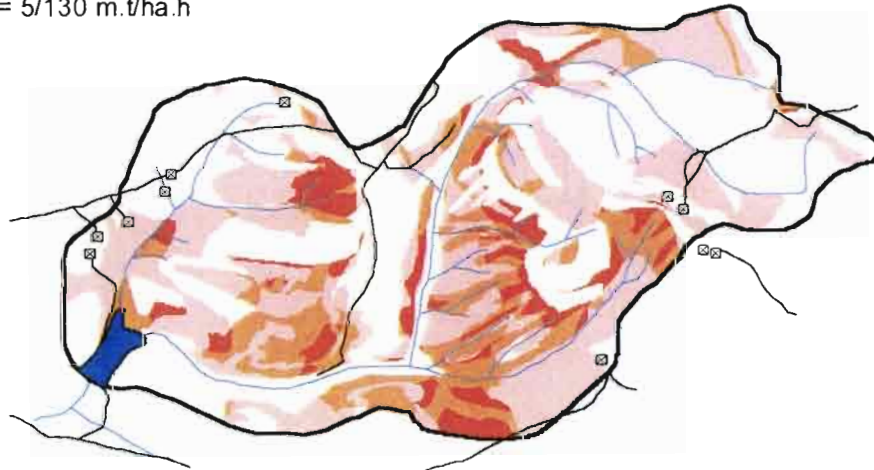
BASSIN VERSANT OUED EL HNACH

susceptibilité à l'érosion pendant la période du semis (1/11 au 1/12)

R = 4/57 m.t/ha.h



R = 5/130 m.t/ha.h



- ☐ Habitations
- Lac
- ▲ Pistes
- ⚡ Réseau hydrographique
- Limite du bassin versant

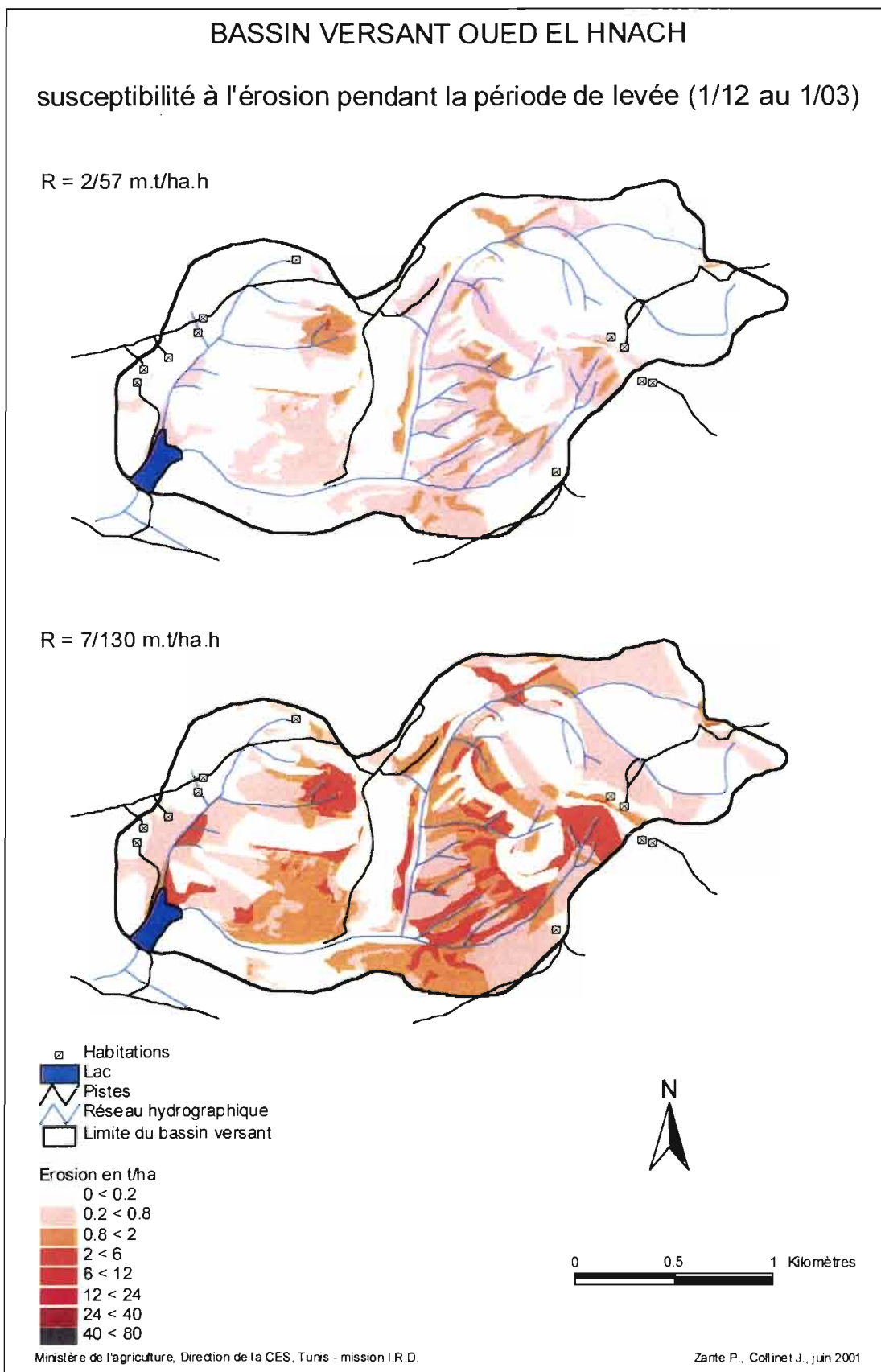
Erosion en t/ha

- 0 < 0.2
- 0.2 < 0.8
- 0.8 < 2
- 2 < 6
- 6 < 12
- 12 < 24
- 24 < 40
- 40 < 80



0 0.5 1 Kilomètres

CARTES C9 – C10

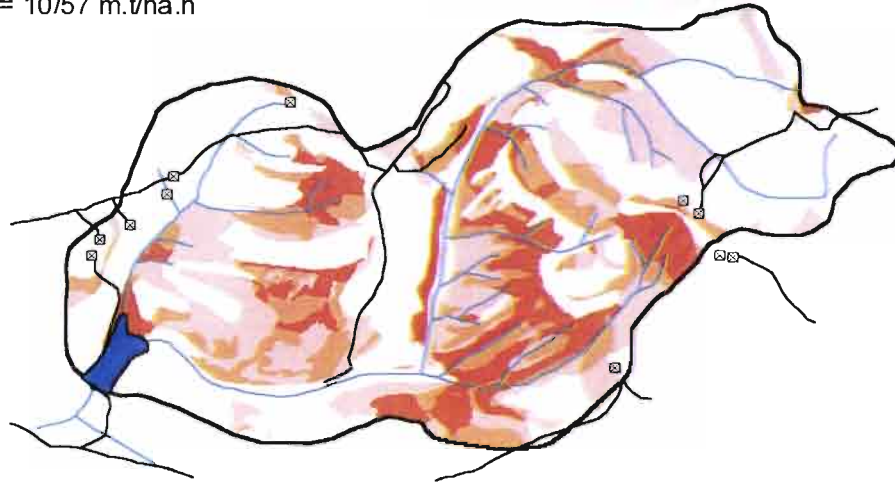


CARTES C11 - C12

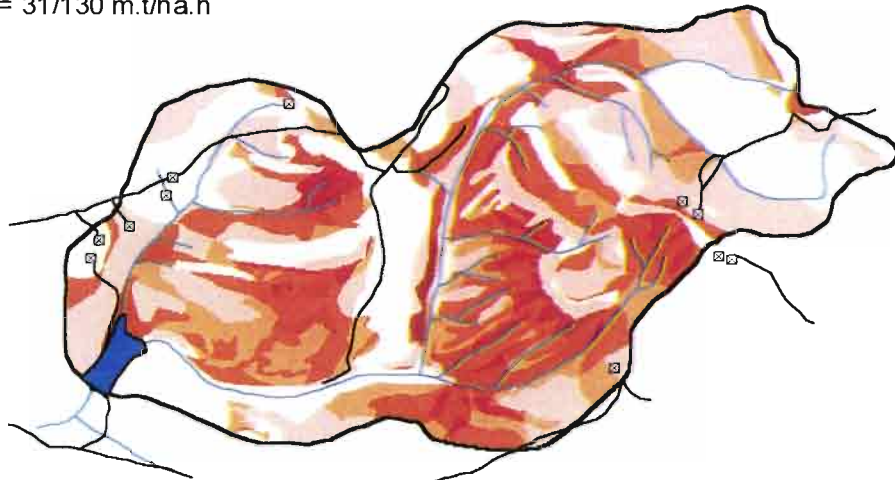
BASSIN VERSANT OUED EL HNACH

susceptibilité à l'érosion pendant la période
de végétation des céréales (1/3 au 15/06)

R = 10/57 m.t/ha.h



R = 31/130 m.t/ha.h



- Habitations
- Lac
- Pistes
- Réseau hydrographique
- Limite du bassin versant

Erosion en t/ha

0 < 0.2
0.2 < 0.8
0.8 < 2
2 < 6
6 < 12
12 < 24
24 < 40
40 < 80



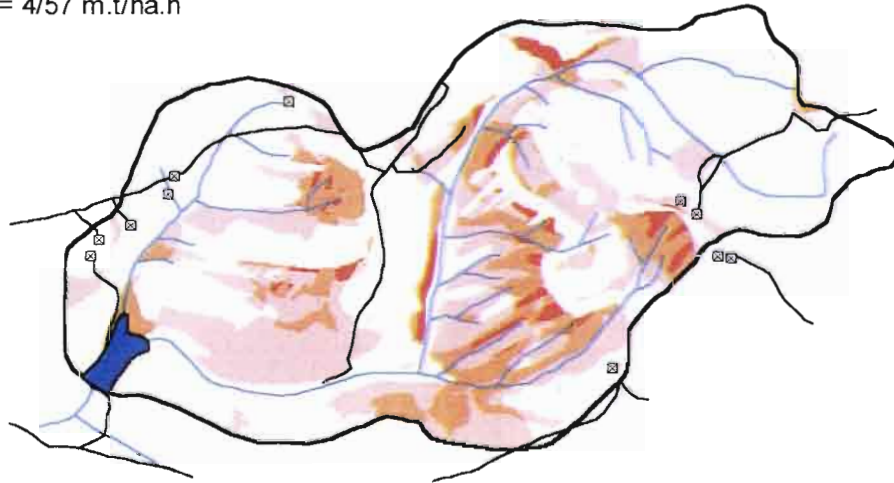
0 0.5 1 Kilomètres

CARTES C13 – C14

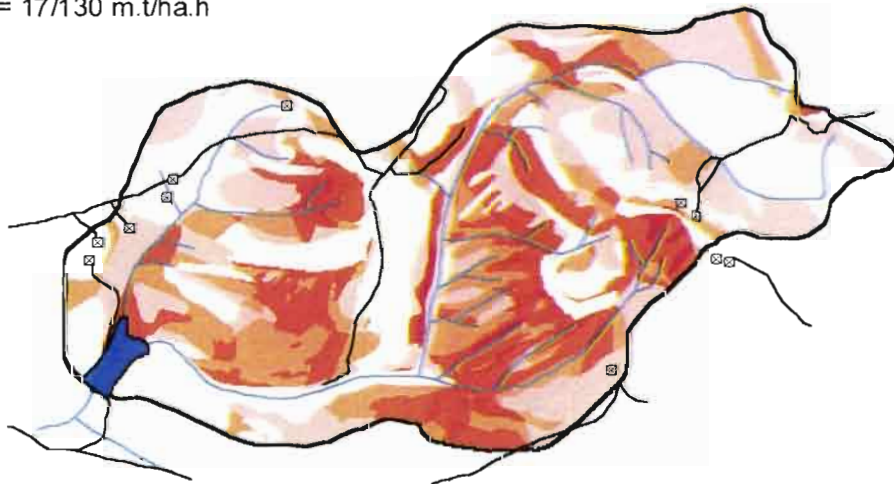
BASSIN VERSANT OUED EL HNACH

susceptibilité à l'érosion pendant la période
de jachère pâturée (15/06 au 1/09)

R = 4/57 m.t/ha.h



R = 17/130 m.t/ha.h



- Habitations
- Lac
- ▲ Pistes
- ▲ Réseau hydrographique
- Limite du bassin versant

Erosion en t/ha

- 0 < 0.2
- 0.2 < 0.8
- 0.8 < 2
- 2 < 6
- 6 < 12
- 12 < 24
- 24 < 40
- 40 < 80



0 0.5 1 Kilomètres

Fiche de description des sites (milieux, sols, occupations)

BASSIN VERSANT :	DATE :
Observation N° :	NOM :

GEOLOGIE GEOMORPHOLOGIE

Paysage	Forme	Roche	Pente et longueur	couverture pédo épaisseur	Dynamique actuelle

OCCUPATION ET AMENAGEMENT

FORET - GARRIGUE - MAQUIS					
Ligneux hauts		Ligneux bas		Strate au sol	
2 m	4 m	0.5 m		PARCOURS	JACHERE
Nom	Nom	Nom	Nom	Nom	Nom
%	%	%	%	%	%

ARBO FRUITIER	OLIVIERS	CULTURE	ASSOLEMENT	IRRIGATION	Travaux CES
% arbre	% arbre				
% herbes	% herbes				

ETAT DE SURFACE

OPS	EG	Fentes	Microrelief
PB %	%	Larg.	
PS %		Pfd.	
Mottes % cm	Graviers Cailloux Blocs	diam	

SOL

HUMIDITE	COULEUR	TEXTURE	STRUCTURE	MO	CONSISTANCE
		A %	F M G		
		LSTF %	Massive		
		SG %	Nom :		

CLASSES DE PERMEABILITE (mm/h)

CLASSES DE Da

GRAVITE BIOLOGIQUE DE L'EROSION

200	100	50	1.00	1.25	1.40	1.60	1 ABC	2 (A)BC	3 BC	4 C ou R
R	R à M	M	M à L	L	TL					