

Cartographie des risques érosifs sur le bassin versant de la retenue collinaire d' Abdessadok (dorsale tunisienne)

Patrick ZANTE⁽¹⁾, Jean COLLINET⁽¹⁾, Grégoire LECLERC⁽²⁾

(1) UMR LISAH : ENSA.M, INRA, IRD

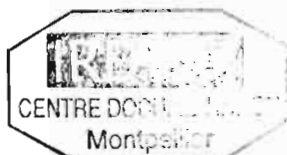
(2) CIRAD Montpellier

Montpellier, Juin 2003



Bassin versant d'Abdessadok (Tunisie), vue vers l'amont en rive droite

#200030193
2 ex FDI
Montpellier



24 SEP. 2003 MF



010060517

Sommaire

| | |
|--|----|
| Résumé | 3 |
| Avertissement | 4 |
| Objectif | 4 |
| 1. Environnement | 5 |
| 1.1. Documents utilisés, localisation | 5 |
| 1.2. Caractéristiques de la retenue | 5 |
| 1.3. Eléments du climat | 6 |
| 1.4. Géologie, géomorphologie | 7 |
| 1.5. Activités agricoles | 7 |
| 2. Méthode | 9 |
| 2.1. Principes généraux | 9 |
| 2.2. Analyses et indexations des variables d'entrée du modèle | 10 |
| 2.2.1. Topographie | 10 |
| 2.2.2. Ouvrages de conservation des eaux et des sols | 11 |
| 2.2.3. Occupation des sols | 12 |
| 2.2.4. Cartographie des sols et évaluation de leurs érodibilités | 15 |
| 2.2.5. Erosivité des pluies | 18 |
| 3. Résultats, interprétations | 20 |
| 3.1. Cartographie des variables d'entrée | 20 |
| 3.1.1. Sols, érodibilités | 20 |
| 3.1.2. Pentes, topographie | 22 |
| 3.1.3. Occupation des sols | 24 |
| 3.1.4. Aménagements et techniques de CES | 26 |
| 3.2. Cartographie des risques d'érosion pour différentes érosivités moyennes annuelles | 28 |
| 3.2.1. Risques érosifs pour une érosivité de 25 MJ.mm / ha.h | 28 |
| 3.2.2. Risques érosifs pour une érosivité de 64 MJ.mm / ha.h | 29 |
| 3.2.3. Risques érosifs pour une érosivité de 93 MJ.mm / ha.h | 30 |
| 3.3. Simulations | 32 |
| 3.3.1. Modifications sur les banquettes | 32 |
| 3.3.2. Reforestation | 35 |
| Conclusion | 38 |
| Bibliographie | 40 |
| Annexes | 42 |

Résumé

Cette étude porte sur la conservation des eaux et des sols dans les régions semi-arides cultivées de la Tunisie. Elle résulte d'une collaboration entre l'Institut National de Recherches en Génie Rural et Eaux et Forêts (I N R G R E F) de Tunis, la Direction Générale de l' Aménagement et Conservation des Terres Agricoles (A C T A) de Tunis et l'Institut Français de Recherche pour le Développement (I R D), représentation de Tunis.

Elle se déroule sur le bassin de la retenue collinaire d'Abdessadok au sud de la dorsale tunisienne. Il s'agit d'analyser et de quantifier les risques érosifs sur les versants cultivés d'un bassin de 307 ha collectant les eaux et les terres érodées vers une retenue en voie de comblement.

Cette analyse met en œuvre un modèle statistique de prévisions des pertes en terres (RUSLE) couplé avec un SIG (Arc View). On obtient ainsi trois types d'informations : 1) les prévisions d'érosions par unités sensibles dans l'état actuel du bassin, 2) les prévisions d'érosions par simulations de changements de situations, 3) les éléments pour une cartographie des zones d'iso-risques correspondant à ces prévisions.

Les érosions globales calculées par pondération des surfaces de production de chaque unités iso-érodables ont été estimées pour trois érosivités annuelles de pluies :

- 1,75 t/ha/an en année sèche caractérisée par un index d'érosivité $R_{si} = 25 \text{ Mj.mm/ha.h}$
- 4,12 t/ha/an en année médiane avec $R_{si} = 64 \text{ Mj.mm/ha.h}$,
- 6,03 t/ha/an en année humide avec $R_{si} = 93 \text{ Mj.mm/ha.h}$.

La simulation a porté sur différents changements de situations, ce qui a permis de prévoir les comportements suivants :

- suppression totale des banquettes sur le bassin $\rightarrow + 30\%$ d'érosion globale ,
- suppression alternative des banquettes selon les rives \rightarrow effet protecteur plus sensible en rive droite (+21% d'érosion) qu'en rive gauche (+ 8%),
- reforestation de l'actuelle garrigue de piémonts sur lithosols à pentes $>25\%$ $\rightarrow -12\%$ avec une pré-forêt de résineux de 20 ans, il faut aussi considérer, qu'à cette action anti-érosive relativement faible, s'ajoutent d'autres profits pour la communauté paysanne (bois d'œuvre et de chauffe).

Les indexations des variables d'entrée du modèle, les prévisions des risques érosifs pour différentes agressivités pluviales, les simulations de nouvelles situations ont permis de créer 16 cartes illustrant les caractéristiques physiques et activités agricoles expliquant les comportements érosifs du bassin, donc les risques de sédimentation sur la retenue collinaire de l'aval.

Mots clefs: érosion hydrique, bassin versant, modélisation, RUSLE, SIG, Tunisie

Avertissement

Ce travail est une contribution au thème général portant sur l'évaluation des risques érosifs sur les bassins versants cultivés de différentes retenues ou barrages collinaires dans les régions semi-arides de la Tunisie.

Il résulte d'une collaboration entre l'Institut National de Recherches en Génie Rural et Eaux et Forêts (I N R G R E F) de Tunis, la Direction Générale de l'Aménagement et Conservation des Terres Agricoles (ACTA) de Tunis et de l'Institut Français de Recherche pour le Développement (I R D) Représentation de Tunis.

Il a commencé en 1998 dans le cadre du programme HYDROMED « Projet de recherche sur les lacs collinaires dans la zone semi-aride du pourtour méditerranéen », plus précisément dans son opération « Eau, Sol et Environnement ». En avril 2001, date de clôture d'HYDROMED, un relais fut assuré dans le cadre de l'Unité de Recherche R 096 de l' I R D intitulée "Analyse et modélisation dans les petits bassins versants méditerranéens fortement anthropisés du ruissellement et de l'érosion " (AMBRE).

Ce travail s'inscrit dorénavant dans la thématique du «Laboratoire d'Etude des Interactions entre Sols, Agro systèmes et Hydro systèmes (LISAH) (UMR 144 ENSAM-INRA-IRD), construite sur la coordination des activités de programmes de l'ENSA.M, de l'INRA et de l'IRD (Montpellier).

Objectifs

La retenue d'Abdessadok est une des 26 retenues collinaires qui ont reçu un équipement permettant une étude des bilans hydrologiques et des risques de sédimentation dans les lacs.

Si l'application de l'équation générale du bilan hydrologique donne les écoulements par événements pluvieux efficaces et si la bathymétrie fournit l'érosion spécifique du bassin versant on constate que ces écoulements et ces érosions spécifiques changent très significativement d'un bassin à l'autre en raison de leurs environnements physiques respectifs et des activités humaines s'y développant. Il convient donc de ***comprendre les causes de ces variations en s'intéressant plus précisément aux comportements hydrodynamiques et érosifs des sols cultivés occupant les verants.***

On utilise pour cette analyse un modèle statistique de prévision des pertes en terres (RUSLE) qui donne trois types d'informations : (1) les prévisions d'érosions par unités sensibles dans l'état actuel du bassin, (2) les prévisions d'érosions par simulations de changements de situations, (3) les éléments pour une cartographie des zones d'isorisques correspondant à ces différentes prévisions.

La compréhension des processus érosifs, leurs quantifications et la cartographie de leurs effets proviennent de l'analyse des variables explicatives suivantes : (a) événements pluvieux, (b) caractéristiques morphologiques et pédologiques du bassin (c) dynamique d'occupation des terres, (d) moyens mis en œuvre pour leurs protections.

1 Environnement

1.1 Documents utilisés, localisation

Les documents suivants ont été utilisés :



- carte topographique : Tunisie, feuille n° 61 de Rohia Djebel Barbrou au 1/50 000
- photos aériennes : mission indéterminée, photos 9274, 9275, 9276 au 1/20 000,
- carte géologique de la Tunisie à 1/500 000 de A.Castany (1953).

Les coordonnées du barrage sont les suivantes: Latitude : 35.678350N (264.522 Lambert) Longitude : 9.248330E (441.029 Lambert).

Le bassin versant d'Abdessadok (Fig. 1) est tributaire de l'oued Zeroud. Il est situé à environ 25 km au sud de Makhtar. On y accède par la route Makhtar - Hajeb el Ayoun, localité en amont du barrage de Sidi Saad sur l'oued Zeroud. Ce bassin versant est rattaché au Gouvernorat et au Commissariat Régional de Développement Agricole (CRDA) de Siliana, délégation de Makhtar, le barrage lui-même est en limite du Gouvernorat de Kairouan.

Figure 1 : localisation du bassin versant d'Abdessadok dans la dorsale tunisienne

1.2 Caractéristiques de la retenue

La construction de la retenue collinaire d'Abdessadok date de 1990. Son volume au déversement est de 92 500 m³ ce qui correspond à une superficie de lac de 3,15 ha. La dernière mesure bathymétrique de septembre 1998 donnait un envasement de quelque 26 000 m³ ce qui laissait une capacité de 66 600 m³ soit une perte de capacité de 3,5% l'an donc une durée de vie de 21 ans avec un envasement spécifique de 10,6 m³ / ha / an. Cette valeur, comparée à celles de l'ensemble des retenues étudiées, est à classer parmi les forts envasements si l'on se réfère à la fourchette suivante : minimum # 1,0 m³ / ha / an sur El Gouazine, Es Seghir, maximum # 25,0 m³ / ha / an sur Kamech et El Oglia . Pour l'année 1999-2000, avec 9 pluies > 10mm pour une pluviométrie annuelle de 432 mm, le coefficient d'écoulement fut de 7,4 % . Cette retenue s'est cependant asséchée pendant 6 mois.

Le bassin versant a une superficie de 307 ha pour un périmètre de 8 km. Il est assez compact avec un indice de compacité de 1,27. Les reliefs amonts font partie des contreforts du massif du Djebel Barbrou, ils culminent à + 1189 m , le barrage est à la cote +815m.

1.3 Eléments du climat

La région d'Abdessadok appartient au bioclimat semi-aride inférieur à hiver frais avec une amplitude thermique annuelle forte de 32 à 33°C, une saison sèche de 7 mois et une humidité moyenne annuelle de 65% (Gounot et al. 1967). L'indice Q2 d'Emberger de 32 points est en limite inférieure de la fourchette définissant ce bioclimat (30 à 70).

La figure 2 donne des statistiques pluviométriques utilisant les relevés de 1995 à 2001 de la station du barrage. Parmi celles-ci, on note, en année très humide, des précipitations > 100mm de septembre à mai avec deux ralentissements centrés sur décembre puis sur mars. On passe des années très humides aux années médianes, autant que ce terme puisse être employé en climat méditerranéen, par une extension des périodes de ralentissements et par une diminution de moitié des hauteurs en saison pluvieuse.

| Abdes. 7 ans | sept | oct | nov | déc | janv | févr | mars | avr | mai | juin | juil | août | Année |
|-------------------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|---------------|
| P médiane | 41,50 | 29,75 | 17,50 | 14,75 | 21,50 | 7,50 | 13,50 | 18,50 | 33,50 | 13,50 | 4,50 | 25,00 | 346,20 |
| P moyenne | 52,70 | 40,70 | 27,81 | 16,31 | 41,14 | 24,21 | 18,96 | 24,50 | 45,64 | 22,71 | 5,71 | 28,36 | 345,24 |
| P maximum | 101,50 | 117,60 | 86,00 | 34,50 | 154,50 | 77,50 | 43,50 | 60,50 | 180,50 | 70,00 | 19,00 | 66,00 | 512,00 |
| P minimum | 15,90 | 10,00 | 5,00 | 1,50 | 5,00 | 1,00 | 0,00 | 10,50 | 0,50 | 1,50 | 0,00 | 2,50 | 166,50 |
| écart type | 35,06 | 36,71 | 29,00 | 13,13 | 52,47 | 30,48 | 16,69 | 17,86 | 60,95 | 24,54 | 7,27 | 21,40 | 111,77 |

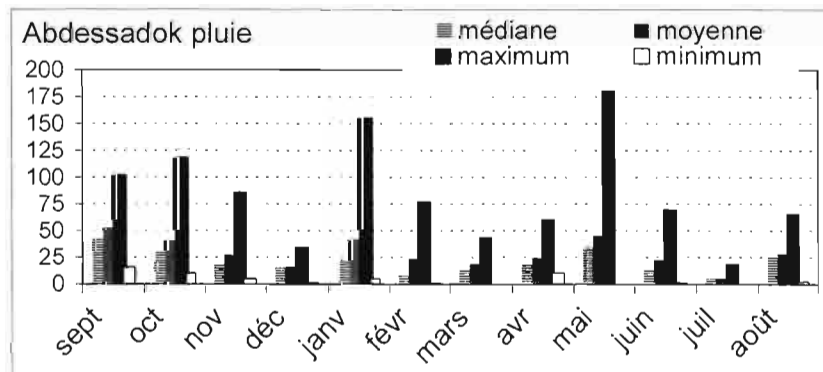


Figure 2 : statistiques pluviométriques sur Abdessadok

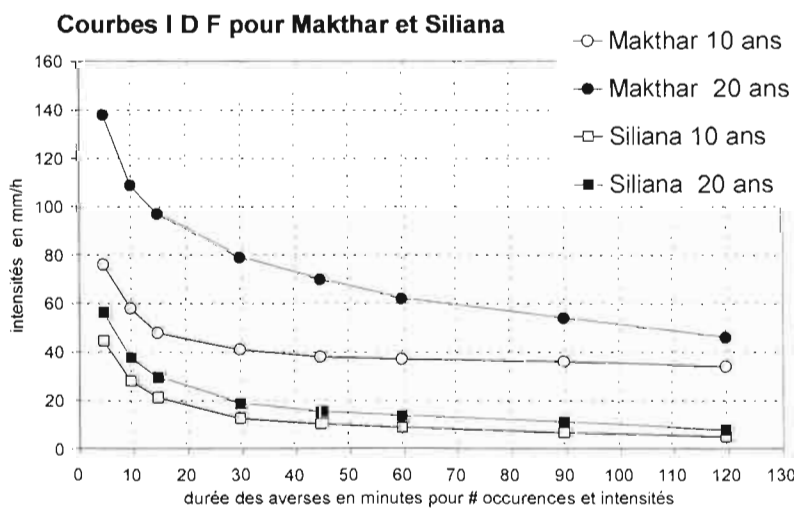
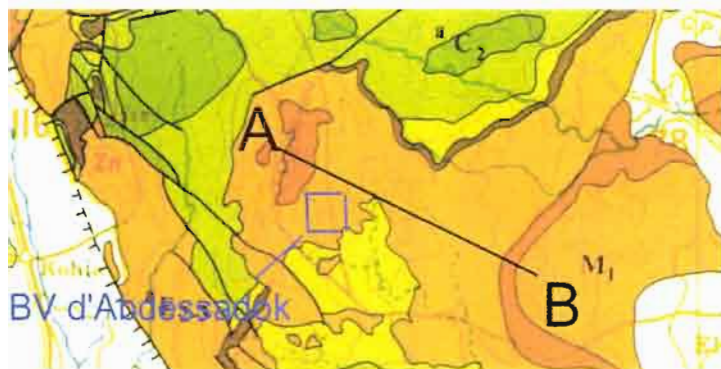


Figure 3 : courbes intensités/durées/fréquences sur Makthar et Siliana

Des courbes intensité-durée-fréquence ont pu être dressées pour la station de Makthar (25 km au nord) pour lesquelles on disposait d'assez de données (fig. 3). Par rapport à la station de plaine la plus proche (Siliana) on constate une agressivité forte pour Makthar sans que l'on puisse savoir s'il s'agit de l'influence de l'altitude ou de celle d'une exposition concentrant d'avantage les pluies.

1.4 Géologie, géomorphologie

Le bassin versant d'Abdessadok est situé sur les contreforts sud-est du massif du Barbrou qui appartient au domaine géologique de la Dorsale (fig. 5). On est encore ici dans les formations du Crétacé et du Tertiaire affectées par une tectonique répercutant les orogénèses pyrénéennes puis alpines. La zone d'étude couvre le passage entre :



(a) le domaine central de la dorsale tunisienne caractérisé par des plissements étroits et abondamment faillés comme ce que l'on découvre dans la diagonale El Fahs – Maktar, (b) la retombée sud-est de cette dorsale où les plis deviennent plus amples en larges anticlinaux et synclinaux souvent coffrés, l'ensemble étant nettement moins faillé qu'au nord-ouest.

Figure 5 : extrait de la carte géologique à 1/500 000 de la zone du bassin

La coupe A B des figures 5 et 6 résume, de façon simplifiée, la structure géologique et la lithologie de la zone contenant le bassin d'Abdessadok :

- l'amont est limité par un Djebel, puissant relief structural sur grés grossiers Miocènes (M1) et alternances argilo-gréseuses Oligocènes (O).
- en aval on passe à un glaucis couvert des éboulis des formations précédentes puis fortement entaillé dans les argiles et les calcaires à lumachelles du Lutétien (aE 2-3).

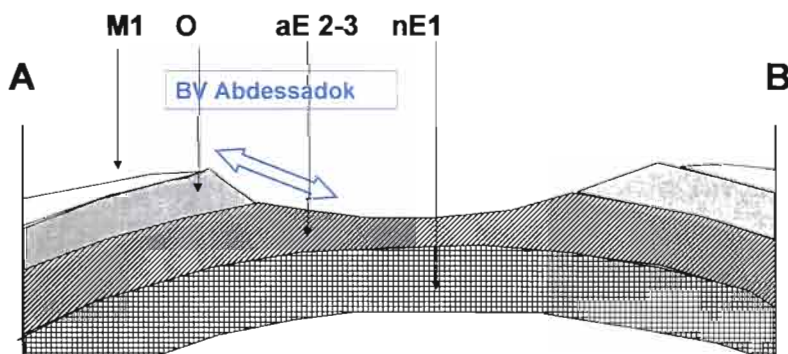


Figure 6 : coupe géologique schématique de la zone du bassin.

Ces différentes formations géologiques, leurs positions respectives et les conditions de leurs altérations orientent la genèse et la distribution des sols du bassin qui interfèrent, quant à eux, sur les comportements hydrodynamiques et érosifs des versants ce que nous découvrirons ultérieurement.

1.5 Activités agricoles

Le gouvernorat de Siliana couvre 467 000 ha, soit 3 % du territoire national, avec des localités importantes comme Siliana, Bouarada, Maktar, Rouhia, Gaafour. Sur 240 000 habitants 70% sont des ruraux qui tirent l'essentiel de leurs ressources d'une céréaliculture à faible rendement (souvent <10 q/ha) et de l'élevage ovin. La région étudiée située au sud de Maktar est la plus touchée par une émigration qui atteindrait 3% l'an . On s'approche de la zone des densités de 25 oliviers/ha ce qui annonce des ressources hydriques faibles et problématiques autant liées à la faiblesse des précipitations qu'à des conditions de rétention hydrique défavorables, toute autre arboriculture a besoin de l'irrigation au moins pour développer les jeunes plants ; on

constate alors que cette possibilité d'irrigation offerte par les retenues collinaires, est nettement sous-utilisée dans la région.

L'occupation des sols du bassin d'Abdessadok est représentative des paysages agricoles de cette région accidentée du sud de Maktar (E. Temple, 2002, J F. Richard, 2001). On y a observé un agencement toposéquentiel classique de segments d'affleurements rocheux, d'éboulis et de sols plus profonds meubles ou encroûtés carbonatés. Les occupations de ces segments sont les suivants :

- amont → sur des pentes de 35 à 100% corniches et revers en affleurements gréseux, calcaires et marneux, éboulis, constituent des surfaces nues qui y représentent la quasi totalité des 15% de la superficie du bassin, çà et là une garrigue claire (10%) et des parcours ligneux bas (14%) peuvent s'installer en utilisant les infractuosités et fissures des roches.
- moyen amont → sur des pentes de 15 à 35 % les cônes d'éboulis disparaissent au profit de colluvions donnant des sols caillouteux peu épais mais à meilleure rétention hydrique que précédemment, les travaux de protection apparaissent mais se limitent à des haies de cactus ; ce segment contient 10% de garrigue assez dense et 5% de parcours ligneux de hauteur moyenne ,
- aval → on passe au glacis avec des pentes de 5 à 15% occupées par des sols meubles parfois encroûtés et presque totalement aménagés en banquettes de terre actuellement comblées et parfois en cordons de pierres ; dans le détail ce segment reçoit différentes utilisations :
 - la limite aval – moyen amont est la zone des habitations avec des jardins protégés par des haies et des massifs de cactus, l'ensemble couvrant 8 %
 - le reste est voué à la céréaliculture avec un assolement céréales-céréales-légumineuses d'hiver, système couvrant 36 % du bassin,
 - des oliveraies et d'autres plantations disséminées occupent les 2 % qui restent.

2 Méthode

2.1 Principes généraux

Le calcul des risques d'érosion et la représentation cartographique d'unités d'iso-risques d'érosion nécessitent :

- la saisie de différents types d'informations qui sont indexées dans le modèle RUSLE,
- leurs combinaisons dans un Système d'Information Géographique, (ARC VIEW),
- un géoréférencement permettant de repérer exactement sur un fond topographique les informations mesurées ou calculées.

Le modèle statistique global de prévision de l'érosion RUSLE (Renard *et al.*, 1991, 1997) a été retenu pour sa facilité d'accès aux variables d'entrée et aussi parce que ses révisions successives permettent une utilisation correcte sur petits bassins versants de quelques kilomètres carrés où les segments homogènes de versant n'excèdent pas 300m . Enfin le modèle permet dorénavant de pondérer le coefficient topographique par les modes d'érosions visibles sur le terrain.

Ce terrain a livré les informations suivantes :

- topographie → longueur, régularité, inclinaison des segments de versants homogènes,
- ouvrages de conservation des eaux et des sols (CES) → types d'aménagements et états de conservation,
- occupation actuelle des sols → tous types de couverts spontanés ou issus des cultures et tous types de traitements agricoles des terres,
- carte pédologique d'où ont été extraites les informations permettant le calcul des érodibilités → les unités ainsi cartographiées, leurs extensions ont été adaptées à l'échelle de restitution finale, leurs contenus ont pris en compte les caractéristiques les plus susceptibles d'interférer sur des comportements hydrodynamiques et érosifs.

L'érosivité des pluies a été calculée par compilations des relevés de Fidh Ali, station distante de 20 km et possédant des informations plus complètes et assez cohérentes avec celles issues des 7 années de relevés d'Abdessadok.

S'il convient de garder son sens critique sur le choix de ce modèle trop peu étayé par des lois physiques et où les termes multiplicatifs de l'équation ne rendent pas compte d'interactions non linéaires entre facteurs, il n'en demeure pas moins que les calculs des érosions ont, jusqu'alors, donné des résultats cohérents avec ceux mesurés par la bathymétrie.

Nous avons rencontré un problème de recalage de la photographie aérienne à 1/20 000 sur le fond topographique à 1/50 000. Cette opération se fait à partir de logiciels qui permettent de faire correspondre des points GPS, positionnés sur la photo lors du terrain et sur l'image scannée de la photo, avec leurs coordonnées entrées dans le système de projection de la carte topographique. Malgré l'utilisation d'un semis de 43 points GPS il n'a pas été possible de recaler la photo de façon satisfaisante sur le fond topographique, les écarts variant de 0 à 70 m notamment sur le réseau hydrographique. Cette difficulté est probablement due à l'ancienneté du fond topo et surtout à une partie des « rajeunissements » d'éditions résultant plus de recopiations que de nouvelles vérifications de terrain. Comme les cartes des différents thèmes étaient déjà reportées sur fond photographique, nous avons décidé de garder cette photo aérienne recalée comme fond général pour toutes les couches d'informations.

2.2 Analyse et indexation des variables d'entrée du modèle

2.2.1 Topographie

- classes de pentes

Compte tenu du problème de recalage évoqué précédemment, on a été amené à calculer un MNT à partir des photos aériennes puis à utiliser les fonctions « pente » et « contour » dans le logiciel « spatial analyst » pour pouvoir dresser une carte des courbes de niveau puis des classes de pentes. La figure 7 montre la distribution des pentes topographiques sur Abdessadok, on y constate un relief accidenté (peu de pentes <5%) et une distribution fortement dissymétrique expliquée par la dualité : glacis (pentes <25%) et puissants reliefs amont avec notamment le segment des falaises (pentes >100%)

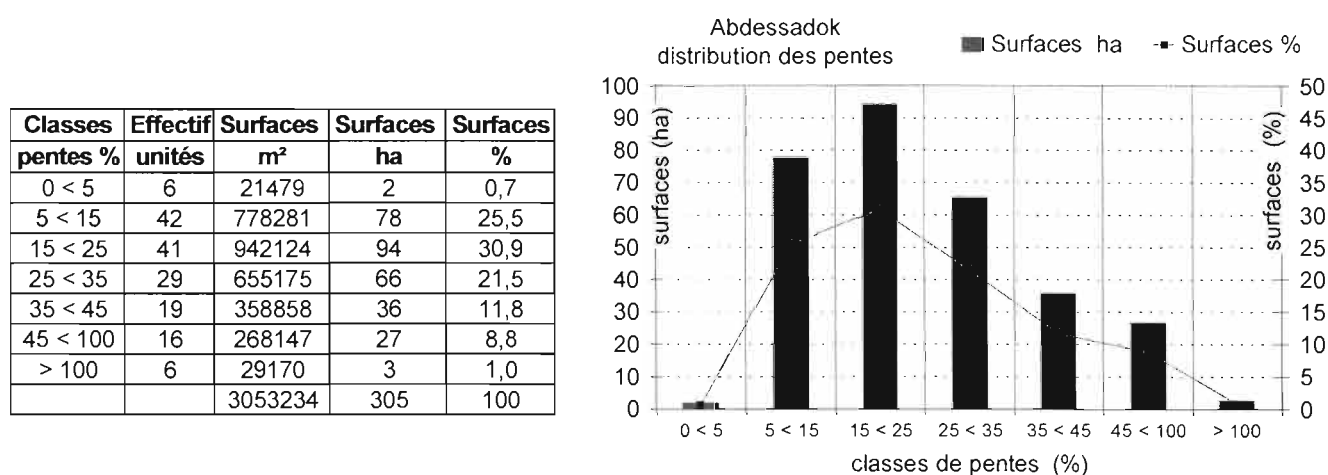


Figure 7 : distribution des pentes topographiques

- indexation de la topographie, indice SL

Le calcul de cet indice fait intervenir la pente et la longueur du versant correspondant à cette pente ainsi que le mode d'érosion s'y produisant. Comme cela a déjà été évoqué, on peut en effet moduler cet indice selon l'importance du rapport érosion en rigole / érosion en nappe ; ainsi, pour une pente et une longueur données le passage à une érosion concentrée augmentera l'indice SL. Le calcul de SL prend en compte les variables suivantes :

- nombre de segments
- identité ou différences de longueurs de ces segments,
- rapports érosion en rigole / érosion en nappe et classement en fort, moyen, faible
- longueur du segment ou des segments (développée ou en projection),
- affectation des pentes et longueurs à chacun des segments

On a considéré que les pentes restituées par le MNT étaient uniformes et que le nombre des surfaces élémentaires était suffisamment important pour restituer correctement les détails du relief. Les calculs ont été faits pour chaque surface élémentaire en prenant, comme valeur de pente, la pente moyenne de la classe à laquelle elle appartient. Certaines surfaces regroupées dans la même classe de pente mais possédant des types d'érosion différents ont été subdivisées.

| Classes SL | Effectif unités | Surfaces m ² | Surfaces ha | Surfaces % |
|------------|-----------------|-------------------------|-------------|------------|
| 0 < 2 | 38 | 266979 | 27 | 9 |
| 2 < 4 | 37 | 538055 | 54 | 18 |
| 4 < 6 | 58 | 864806 | 86 | 28 |
| 6 < 8 | 32 | 337398 | 34 | 11 |
| 8 < 10 | 21 | 449405 | 45 | 15 |
| 10 < 15 | 17 | 419174 | 42 | 14 |
| 15 < 25 | 6 | 177294 | 18 | 6 |
| | | 3053111,00 | 305 | 100 |

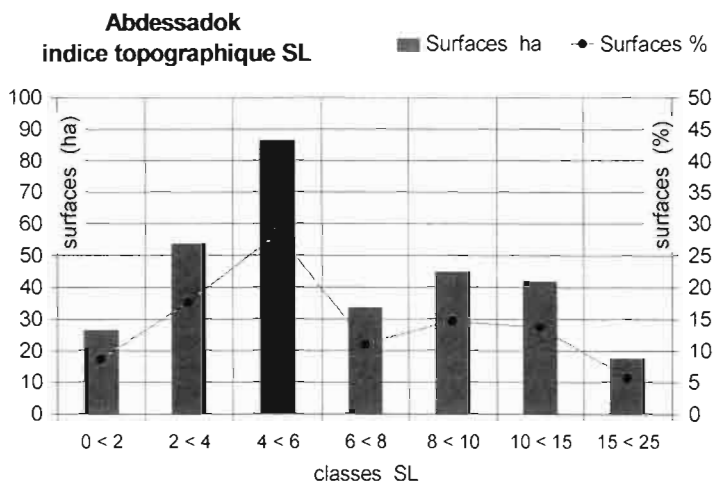


Figure 8 : distribution des indices topographiques SL

La distribution des indices SL est bimodale (figure 8) ce qui s'explique par la structure du bassin en deux ensembles : moitié en glacis avec des indices < 7 et moitié en piémonts, éboulis et reliefs structuraux vigoureux avec des indices >> 7 .

2.2.2 Ouvrages de conservations des eaux et des sols

- identification des ouvrages

Les principaux aménagements sont :

- des banquettes de rétentions totales, en terre, isohypses et essentiellement sur des pentes de 5 à 25%,
- des banquettes amorties occasionnellement renforcées par des cordons de pierres, sur pentes de 5 à 35 %,
- des enclos de cactus plus ou moins arborés en jardins proches des habitations,
- des cactus en bocage ou clôturant les petites parcelles,
- des cactus en protection lorsqu'ils sont plantés en lignes plus ou moins isohypses et continues.

- indexation des ouvrages, les indices P

L'indice de protection P utilisé dans le modèle RUSLE est un rapport sans dimension obtenu par comparaison d'érosion mesurée sur parcelles où le travail est effectué dans le sens de la plus grande pente (P = 1) et l'érosion de parcelles diversement protégées et où P < 1, tous autres facteurs étant par ailleurs égaux.

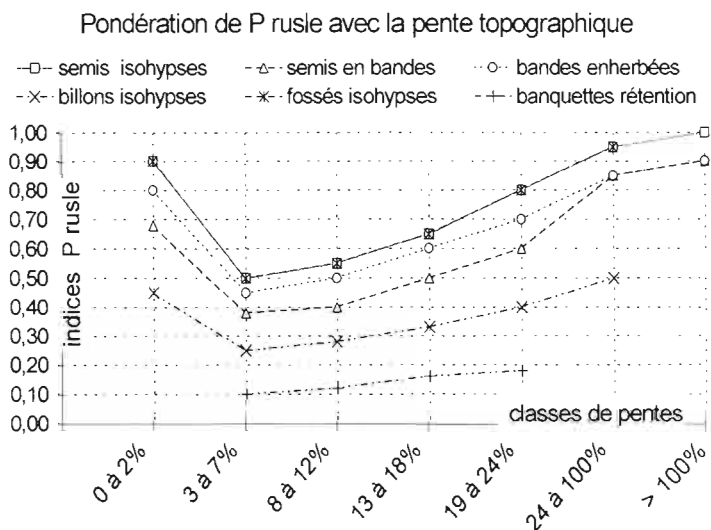


Figure 10 : efficacité des ouvrages de CES en fonction de la pente topographique

L'effet du travail du sol en courbes de niveau dépend de la pente, sa protection est très amoindrie pour

des pentes > 20% (fig. 10 et tableau I) car la rugosité introduite par ce travail devient inopérante pour retenir les eaux et les terres mobilisées et sédimentées en inter-billons, voire en banquettes. Les indices utilisés proviennent essentiellement des résultats expérimentaux de Masson (1971), Heusch (1970) en zone méditerranéenne ainsi que de différentes compilations (FAO, 1993 – CES Tunis, 1995)

Tableau I : Abdessadok, pondération de l'indice P selon la pente pour différents aménagements, distribution de ces indices

| Travaux de CES sur Abdessadok et pentes topographiques | Indices P | % de surface du bassin | % de surface ouvrages |
|--|-------------|------------------------|-----------------------|
| banquettes de rétention 0<5 % | 0,10 | 0,3 | 0,7 |
| banquettes de rétention 5<15 % | 0,12 | 14,0 | 30,8 |
| banquettes de rétention 15<25 % | 0,16 | 10,8 | 23,8 |
| banquettes de rétention 25<35 % | 0,18 | 3,2 | 7,1 |
| banquettes de rétention 35<45 % | 0,28 | 1,5 | 3,2 |
| banquettes amorties 5<15 % | 0,28 | 2,8 | 6,2 |
| banquettes amorties 15<25 % | 0,35 | 2,3 | 5,0 |
| banquettes amorties 25<35 % | 0,40 | 1,2 | 2,6 |
| banquettes amorties 35<45 % | 0,50 | 0,1 | 0,2 |
| cactus en bocage | 0,20 | 2,7 | 6,0 |
| cactus en protection | 0,30 | 3,0 | 6,6 |
| jardins et oliviers en enclos de cactus | 0,26 | 3,5 | 7,6 |

2.2.3 Occupation des sols

- identification des types d'occupation

Pour les cultures annuelles, les surfaces sont essentiellement plantées en céréales qui alternent une année sur deux ou sur trois avec une jachère ou des légumineuses d'hiver ou de la vesce - avoine sans qu'il soit possible d'identifier les parcelles sur lesquelles on pratique un assolement plutôt qu'un autre. Les indexations qui suivent présentent ces différentes possibilités mais, étant donné les imprécisions sur les systèmes culturaux rencontrés, on a opté pour l'assolement le plus probable : *céréales-céréales-légumineuses d'hiver* (C-C-Lh)

Les couverts « naturels » sont des garrigues sensu stricto, des garrigues claires et des parcours ligneux sur les terrains jamais cultivés. La *garrigue* s.s. est une zone à formations buissonnantes hautes de 0,50 m et assurant un couvert de 25%. La *garrigue claire* a une densité de couverture d'environ 15%. Le *parcours ligneux* est constitué de plantes pérennes exclusivement ligneuses basses de 0,30 m de hauteur moyenne, avec un taux de recouvrement d'environ 25%.

- indexation de ces différents types d'occupations : les indices C

Deux voies ont été utilisées pour le calcul des effets des différents couverts végétaux sur les pertes en terre :

- un logiciel prenant en compte des caractéristiques de terrain (RUSLE Maroc),

- une recherche des valeurs de C pour chaque couvert par l'analyse statistique des données expérimentales provenant du domaine méditerranéen ou assimilé.
- o adaptation marocaine du logiciel RUSLE

Pour les cultures annuelles, les variables à prendre en considération sont :

- la masse racinaire dans les 10 premiers cm (kg / ha),
- le couvert végétal aérien (%)
- la hauteur moyenne de ce couvert (m)
- la rugosité du sol selon une liste proposée
- la présence ou non d'une perturbation mécanique,
- la pierrosité de surface et la couverture de résidus végétaux
- une codification du rapport érosion aréolaire / érosion concentrée.

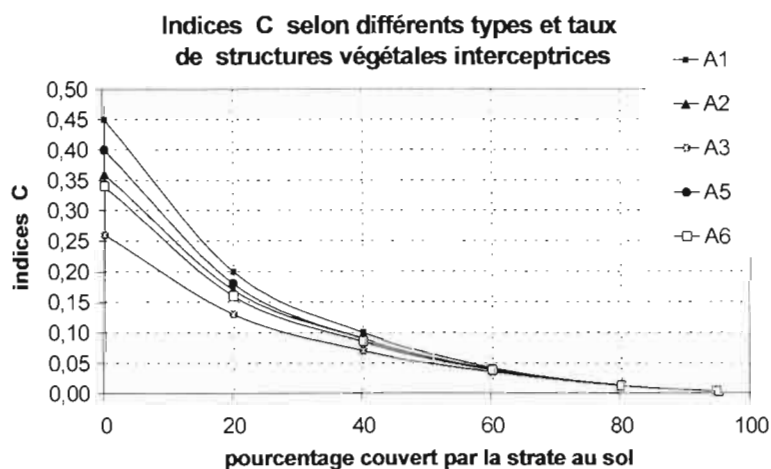
Le tableau III présente quelques exemples de calculs d'indices C pour des plantes pérennes.

Tableau III : Abdessadok, calcul du facteur C selon le logiciel RUSLE

| Occupations | Unités carto. | Masse racin. kg/ha | Couv. % | Haut. m | Rugos mm | Pertur. mécan. | Couv. totale % | Mode éros. | C |
|-----------------------------------|---------------|--------------------|---------|---------|----------|----------------|----------------|------------|--------------|
| Cactus | 1 | 1200 | 60 | 1,5 | 28 | 1 | 40 | 1 | 0,017 |
| Oliviers sol nu | 2 | 1200 | 25 | 2 | 15 | 1 | 10 | 2 | 0,104 |
| Arboriculture | 3 | 1200 | 35 | 2 | 15 | 1 | 10 | 2 | 0,098 |
| Garrigue (Ht 50cm, Couv.25%) | 4 | 1200 | 25 | 0,5 | 20 | 1 | 50 | 2 | 0,04 |
| Garrigue claire (Ht 50, Couv.15%) | 5 | 800 | 15 | 0,5 | 20 | 1 | 60 | 1 | 0,014 |
| Parcours lign. (Ht 30, Couv. 25%) | 6 | 1200 | 25 | 0,3 | 28 | 1 | 60 | 1 | 0,01 |
| Parcours + jachère | 7 | 1000 | 40 | 0.3 | 25 | 1 | 40 | 1 | 0.021 |
| Cultures annuelles | 8 | 1000 | 25 | 0.5 | 25 | 1 | 50 | 1 | 0.018 |
| Rives végétalisées | 12 | 500 | 20 | 0.3 | 25 | 1 | 40 | 3 | 0.021 |

- o statistiques sur la compilation des données expérimentales

Pour les couverts naturels Wischmeier (1975) propose une estimation d'indices C en relation



avec différentes natures, hauteurs, et densités de strates végétales susceptibles d'intercepter l'énergie des pluies. On a retenu la procédure de calcul utilisée pour une étude antérieure sur des couverts présentant les mêmes caractéristiques. Sur les abaques de la figure 11 on a retenu les situations A1 à A6 :

- A1 : pas de strate haute (0%) + au sol graminée fourragère à talaison courte et dense ou résidus organiques décomposés,

Figure 11 : Variations de C en

fonction des natures, hauteurs et densités des strates interceptrices d'énergie des pluies

- A2 : strate haute 25% = herbes hautes ou petits arbustes (hauteur d'égouttage = 0,5 m) + au sol graminée fourragère à talaison courte et dense ou résidus organiques
- A3 : strate haute 50% = herbes hautes ou petits arbustes (égouttage 0,5 m) + au sol graminée fourragère à talaison courte et dense ou résidus organiques
- A5 : strate haute 25% = arbustes (égouttage 2,0 m) + au sol graminée fourragère à talaison courte et dense ou résidus organiques
- A6 : strate haute 50% = arbustes (égouttage 2 m) + au sol graminée fourragère à talaison courte et dense ou résidus organiques

Le tableau IV présente un inventaire des informations sur des indices obtenus expérimentalement (parcelles de ruissellement et d'érosion sous pluies naturelles) et se rapportant aux protections offertes par des couverts végétaux pérennes ou annuels méditerranéens ou assimilables à ce domaine .

Tableau IV : Abdessadok, indices C proposés par différents auteurs ou organismes et indices C retenus.

| Occupation | Wischmeier | Masson | Heusch | CTFT | RUSLE (Maroc) | C Abdessadok |
|---------------------------------------|------------|--------|--------|------|---------------|--------------|
| Cactus en bocage | 0.07 | | | | 0.017 | 0.07 |
| Cactus en protection | 0.12 | | | | | 0.12 |
| Oliviers sol nu | 0.4 | 0,9 | 0,08 | | 0.104 | 0.50 |
| Arboriculture sol couvert 20% | 0.18 | 0,35 | 0,08 | 0,9 | 0.098 | 0.18 |
| Garrigue H50cm, R25 % | 0.17 | | | | 0.04 | 0.25 |
| Garrigue claire H50cm, R15 % | 0.36 | | | | 0.014 | 0.30 |
| Parcours lign.,garrigue H30cm, R 25 % | 0.09 | 0,15 | 0,06 | | 0.021 | 0.20 |
| Parcours + jachère | 0.1 | 0.25 | | | | 0.70 |
| Rives végétalisées | 0.36 | | | | 0.021 | 0.36 |
| Assolement C - J | | 0,4 | 0,24 | 0,4 | | 0.40 |
| Assolement C – Vesce / avoine | | 0,5 | | | | 0.50 |
| Assolement C – C – Légum hiver | | 0,6 | | | | 0.60 |
| Assolement C – fourrage - fourrage | | 0.35 | | | | 0.35 |
| Affleurements roches nues, falaises | 0.45 | | | | | 0.90 |
| Jardins et cactus en bocage large | 0.10 | | | | | 0.10 |

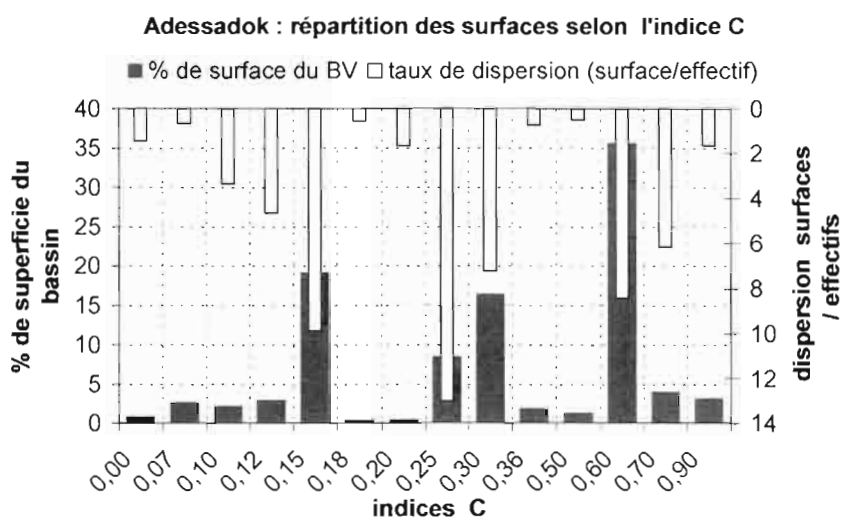
Pour les plantes annuelles on considère toutes les valeurs prises par C au cours du cycle cultural aboutissant plus ou moins rapidement au développement végétal maximum.

Les auteurs considèrent souvent les 4 à 5 périodes suivantes : labour, semis, croissance, développement maximum, couverture post-récolte. L'indice C annuel résulte ensuite d'une pondération prenant en compte la valeur C moyenne de la période et la durée de cette période.

Comme cela a été évoqué précédemment, les imprécisions sur les informations de terrain nous ont seulement permis de prendre pour indice de protection moyen annuel celui correspondant à l'assolement "céréales – céréales – légumineuse d'hiver" pour lequel C = 0,60 (tableau IV).

L'intégration des informations du modèle dans un SIG permettant de simuler tous changements de situations, il reste possible d'entrer dans le modèle toutes informations qui seraient plus conformes au suivi des dynamiques de croissance des végétaux.

La figure 13 et le tableau V ci-dessous indiquent les superficies occupées par chaque unité de couverture des sols du bassin. L'indice de dispersion donne une idée sur le regroupement de couverts en vastes superficies ($i > 3$) ou au contraire sur une dissémination en petites unités. Cette notion est intéressante dans le cadre d'une gestion conservatrice intégrée sur bassin versant.



Il est intéressant de constater que les meilleures protections sont assurées par des couverts naturels ou spontanés qui couvrent une grande superficie en assez peu d'unités séparées (garrigues et parcours ligneux). Dans les mêmes conditions, les champs céréaliers offrent une protection des plus médiocres sur plus de 35 % de la superficie du bassin.

Figure 13 : distribution des indices C et évaluation de la dispersions des unités

Tableau IV : Abdessadok, distribution des surfaces de différents couverts affectés de leurs indices C .

| Occupation des sols | indice C | nombre | surface | surface | dispersion |
|-----------------------------------|----------|--------|---------|---------|------------|
| | | unités | ha | % | ha / nb. |
| cactus en bocage | 0,07 | 13 | 8,4 | 2,7 | 0,64 |
| cactus en protection | 0,12 | 2 | 9,3 | 3,0 | 4,65 |
| oliviers | 0,50 | 8 | 4,0 | 1,3 | 0,49 |
| arboriculture | 0,18 | 3 | 1,7 | 0,5 | 0,56 |
| garrigue | 0,25 | 2 | 26,1 | 8,5 | 13,03 |
| garrigue claire | 0,30 | 7 | 50,6 | 16,4 | 7,23 |
| parcours ligneux | 0,15 | 6 | 59,2 | 19,2 | 9,87 |
| parcours+jachère | 0,20 | 1 | 1,7 | 0,5 | 1,66 |
| rives végétalisées | 0,36 | 8 | 5,8 | 1,9 | 0,72 |
| assolement C-C-LH | 0,60 | 13 | 109,7 | 35,6 | 8,44 |
| affleurements roche nue, falaises | 0,90 | 6 | 9,8 | 3,2 | 1,64 |
| jardins | 0,10 | 2 | 6,7 | 2,2 | 3,33 |
| lit d'oued | 0,70 | 2 | 12,3 | 4,0 | 6,14 |
| lacs | 0,00 | 2 | 2,9 | 0,9 | 1,44 |

2.2.4 Cartographie des sols, évaluation de leurs érodibilités

- cartographie pédologique

La carte des sols est établie à partir de l'analyse de la photographie aérienne, de la carte géologique et d'une prospection de terrain pour renseigner la fiche de description des sites (en annexe) et ajuster les limites issues des analyses précédentes.

La première approche consiste à différencier des unités de sols de façon à rendre compte de leur dynamique actuelle et plus précisément de rechercher toutes caractéristiques pouvant interférer sur des comportements hydrodynamiques et érosifs. En deuxième lieu on distribue les unités selon la taxonomie adaptée de la CPCS (1963-1967) et utilisée en Tunisie.

Tableau V : Abdessadok, unités cartographiques retenues, correspondances en système CPCS, surfaces occupées correspondantes.

| UNITES CARTOGRAPHIQUES | EQUIVALENCE CPCS | EFFECTIF | SURFACE (ha) | SURFACE (%) |
|--|---|----------|--------------|-------------|
| (0) lac | | 2 | 2,88 | 0,9 |
| (1) Falaises de roches calcaires ou gréseuses | SMBNC, Bruts d'érosion, lithosoliques | 6 | 9,82 | 3,2 |
| (2) Eboulis de blocs | SMBNC, Bruts d'érosion, régosoliques sur éboulis de blocs | 3 | 42,80 | 13,9 |
| (3) Affleurements de bancs calcaires ou gréseux alternant avec des marnes, pente > 50%, érosion en nappe dominante | SMBNC, Bruts d'érosion, régosoliques sur calcaires et grès + marnes. | 2 | 29,18 | 9,5 |
| (4) idem mais érosion en ravines dominante | SMBNC, Bruts d'érosion, régosols, sur sur calcaires et grès + marnes . | 1 | 5,19 | 1,8 |
| (5) Affleurements rocheux et cônes d'éboulis dans des marnes, érosion ravinatoire peu intense | SPENC, d'érosion, régosolique, sur cônes d'éboulis reposant sur des marnes. | 3 | 30,67 | 10,0 |
| (6) idem, mais érosion ravinatoire intense | SPENC, d'érosion, régosolique, sur cônes d'éboulis reposant sur des marnes. | 3 | 25,94 | 8,4 |
| (7) Affleurements de marnes et bancs rocheux peu épais, érosion ravinatoire intense | SPENC, d'érosion, régosolique, sur marnes dominantes | 10 | 18,83 | 6,1 |
| (8) Sols meubles A à AL, profil (A) BC, profondeur > 0,5 m | SCC, Bruns calcaires, à encroûtement calcaire, sur calcaires dominants | 5 | 55,77 | 18,1 |
| (9) Sols caillouteux, A à AL, profil AC ou AR, profondeur < 0,5 m | SCC, Bruns calcaires, à encroûtement calcaire, sur calcaires dominants | 6 | 63,82 | 20,7 |
| (10) Sols meubles A à AL, profil ABC, profondeur > 0,8 m | SCC, Bruns calcaires, à encroûtement calcaire, sur calcaires dominants | 5 | 10,51 | 3,4 |
| (11) lit d'oued et ravins | SPENC, d'apport fluvial | 2 | 12,28 | 4,0 |

NB : SMBNC : Sols Minéraux Bruts Non Climatiques
 SPENC : Sols Peu Evolués Non Climatiques
 SCC : Sols Calcimagnésiques Carbonatés

Enfin on extrait de cette carte et de sa légende (tableau V) tous éléments d'informations permettant le calcul de l'indice d'érodibilité de chaque type de sol. Comme il est possible que des unités de sols différentes possèdent la même vulnérabilité, des regroupements d'indices sont ensuite opérés pour obtenir un classement des iso-érodibilités des sols du bassin.

Les différenciations pédologiques observées permettent de prévoir, dans ces grandes lignes, les comportements hydriques et érosifs suivants :

- collecte totale des eaux pluviales sur les lithosols et régosols de l'amont (unités cartographiques 1 et 3) et transmission de ces écoulements vers l'aval où un stockage temporaire dans certains revers de côte ainsi que dans les éboulis est possible (uc 2),

- les unités 3 à 6 transfèrent vers l'aval ces écoulements et, en fonction des pentes, des résistances aux abrasions des flux et de la rugosité liée aux éboulis, ces segments peuvent se raviner fortement, il s'agit d'une grande partie des unités sur marnes et argilites (uc 4, 6 et 7) dans lesquelles se creusent la plupart des effluents,
- par contre, les sols de l'unité 5 dont les surfaces sont protégées par des épandages d'éléments grossiers sont moins soumis à ce ravinement
- les sols du glacis plus épais et meubles (uc 8 et 10) résultent plus du colluvionnement de matériaux fins provenant de l'amont que d'une altéropédogénèse in situ qui, sous le climat actuel, est très faible tant en ce qui concerne l'altération chimique que la désagrégation physique; tout au plus constate-t-on une discrète incorporation humique et quelques précipitations carbonatées diffuses dans le profil étant entendu que les encroûtements, dont on retrouve les restes dans l'unité 9, sont bien antérieurs

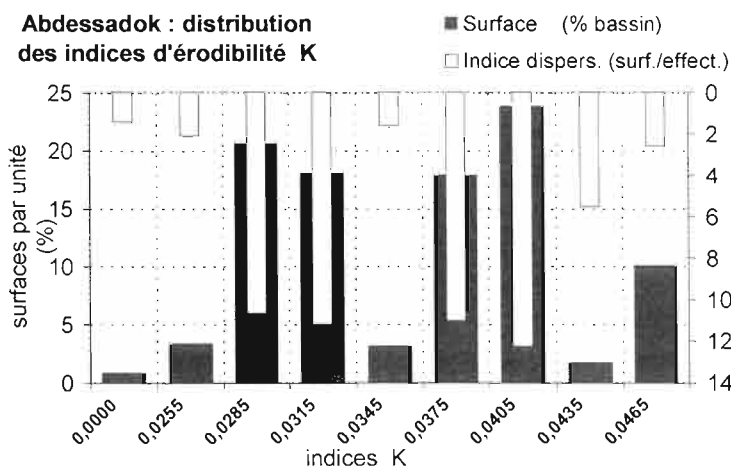
Ce glacis contient 40% des sols ayant au moins 50 cm de matériaux meubles, ils permettent un certain stockage de l'eau donc une mise en culture correcte à l'exception de l'unité 9.

Contrairement à d'autres bassins versants sur formations sédimentaires du Crétacé ou du Tertiaire, on remarque qu'ici les affleurements de marnes et d'argilites sont trop érodés pour qu'aient pu se différencier des sols meubles à argiles gonflantes, donc à dynamique structurale saisonnière, et qui, de ce fait, auraient pu stocker une partie des premières pluies de la saison humide.

- indexation de l'érodibilité des sols, l'indice K

Le calcul de l'érodibilité du sol (indice K) est effectué à l'aide du logiciel RUSLE à partir de divers caractères qui ont la réputation d'interférer sur la stabilité des structures des sols donc d'en modifier l'érodibilité, Ces caractères influents sont les suivants :

- % de limons et sables très fins
- % d'argile
- % de matière organique
- structure codée en quatre catégories →: granuleuse très fine (<1 mm), granuleuse fine (1 -2 mm), granuleuse moyenne (2-5 mm), massive en bloc ou en plaquettes (>5 mm)
- perméabilité évaluée en six classes → rapide, rapide à modérée, modérée, modérée à lente, lente, très lente,
- une correction est prévue pour la présence d'éléments grossiers, il convient alors de distinguer si la perméabilité inclut l'effet de ces éléments et il faut préciser le % pondéral > 75 mm et de 2 à 75 mm.



Le calcul a été effectué à partir de 22 observations réparties sur le bassin versant. Une valeur moyenne de K est ensuite affectée à chaque unité de sol. Enfin, des classes sont définies à partir de la répartition de ces valeurs moyennes. Le tableau VI indique la répartition des surfaces selon les indices K. Le classement fait apparaître trois ensembles (fig. 14)

Figure 14 : distribution des indices K et évaluation de la dispersion des unités

- les sols du glaci à érodibilité faible ($K \# 0,030$), ce sont les sols différenciés sur calcaires, donc à faible taux d'argiles résiduelles, à structures vite effondrées et livrant peu de charges solides dans les eaux de ruissellement,
- les altérites et affleurements marneux protégés par les éboulis, ce sont des altérites de bancs rocheux tendres pouvant livrer des charges solides importantes aux flux hydriques sur pentes fortes, cette forte érodibilité ($K \# 0,040$) est limitée par la rugosité des épandages d'éléments grossiers,
- le dernier ensemble possède une érodibilité maximale ($K > 0,045$), il caractérise les mêmes matériaux sur roches tendres mais non protégés par les épandages grossiers, il leur correspond morphologiquement les champs de ravines et les badlands du bassin.

Tableau VI : Abdessadok, classement des indices d'érodibilité K par unités de sols inventoriées et surfaces occupées.

| Unités de sols | K | Effectif | Surface | Surface | Indice dispers. (surf./effect.) |
|----------------|--------|-----------|---------|------------|------------------------------------|
| | | polygones | ha | (% bassin) | |
| lacs | 0,0000 | 2 | 3 | 0,9 | 1,44 |
| 10 | 0,0255 | 5 | 11 | 3,4 | 2,10 |
| 9 | 0,0285 | 6 | 64 | 20,7 | 10,64 |
| 8 | 0,0315 | 5 | 56 | 18,1 | 11,15 |
| 1 | 0,0345 | 6 | 10 | 3,2 | 1,64 |
| 3 et 6 | 0,0375 | 5 | 55 | 17,9 | 11,03 |
| 2 et 5 | 0,0405 | 6 | 73 | 23,8 | 12,24 |
| 4 | 0,0435 | 1 | 6 | 1,8 | 5,52 |
| 7 et 11 | 0,0465 | 12 | 31 | 10,1 | 2,59 |

2.2.5 Erosivité des pluies, l'indice R

L'agressivité des averses que cherche à traduire l'indice d'érosivité R varie beaucoup d'une année sur l'autre. L'analyse des érosivités R sur sept années de relevés pluviométriques d'Abdessadok illustre l'étendue de ces variations (figure 15).

Les érosivités annuelles varient d'un facteur 10 entre années sèches et années humides mais ce qui importe d'avantage est la conjonction de fortes érosivités avec des périodes de vulnérabilités maximales des terres (labours ou jachères nues). Ces situations sont à l'origine de dégâts qui marquent durablement les versants et colmatent fortement les retenues.

R si R année humide R année médiane R année sèche

| | | | |
|--------------|---------------|--------------|--------------|
| sept | 0,68 | 1,49 | 0,01 |
| oct | 218,63 | 0,00 | 2,74 |
| nov | 0,50 | 0,00 | 0,49 |
| déc | 0,00 | 8,19 | 2,81 |
| janv | 0,00 | 15,68 | 0,14 |
| févr | 0,00 | 1,46 | 14,76 |
| mars | 0,00 | 0,09 | 0,21 |
| avr | 0,88 | 1,46 | 0,40 |
| mai | 0,00 | 0,68 | 2,34 |
| juin | 34,49 | 2,55 | 0,03 |
| juil | 0,00 | 6,06 | 0,23 |
| août | 21,20 | 23,63 | 0,29 |
| Année | 276,39 | 61,28 | 24,45 |

Abdessadok : érosivités cumulées R s.i. (sept années)

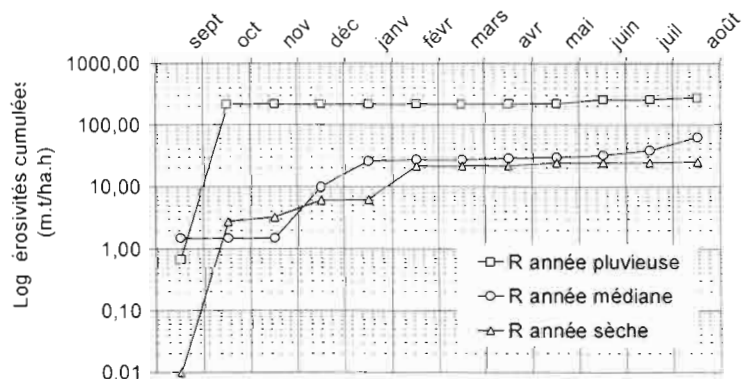


Figure 15 : Abdessadok, érosivités cumulées pour des années humides, médianes et sèches

Compte tenu de ce qui précède il est apparu plus judicieux d'utiliser les informations provenant de stations proches et autorisant des calculs sur de plus grandes séries de données : la station de la retenue de Fidh Ali située à 20km du bassin d'Abdessadok convenait et a permis le calcul des érosivités annuelles suivantes :

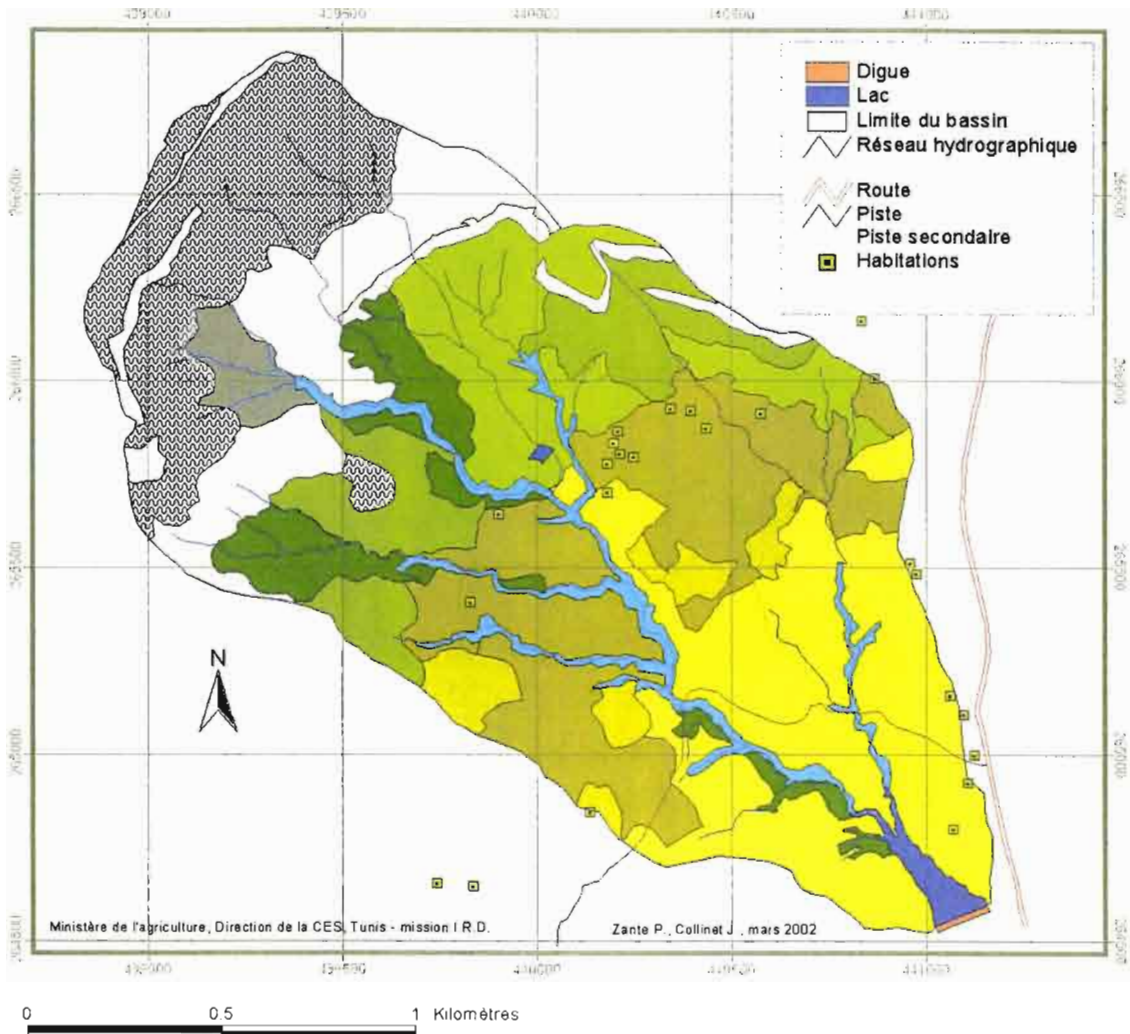
- R année sèche : 25 MJ.mm / ha.h ,
- R année médiane : 64 MJ.mm / ha.h ,
- R année humide : 93 MJ.mm / ha.h .

3 Résultats, interprétations

3.1 Cartographie des variables d'entrée

3.1.1 Sols, érodibilités

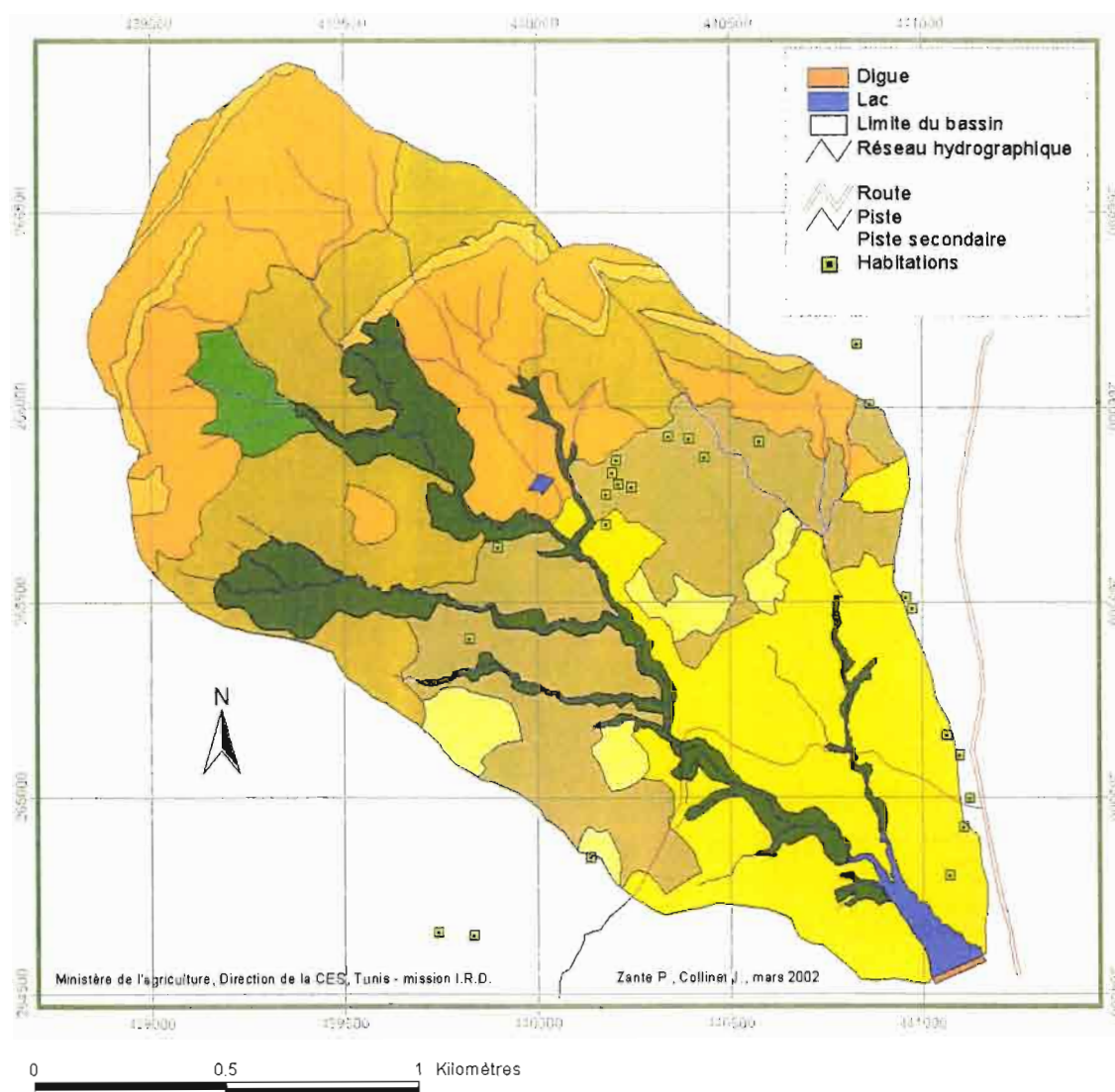
- carte des sols (figure 16)



Légende

- Falaises de roches calcaires ou gréseuses (3.2 % BV)
- Eboulis de blocs (13.9 % BV)
- Affleurement de bancs de calc. ou grès alternant avec marnes pente > 50%, érosion nappe (9.5 % BV)
- Affleurement de bancs de calc. ou grès alternant avec marnes pente > 50%, érosion ravinatoire (1.8 % BV)
- Affleurements rocheux et cônes d'éboulis dans des marnes, ravines peu incisées (10.0 % BV)
- Affleurements rocheux sans cônes d'éboulis et sans ravines, érosion en nappe (8.4 % BV)
- Affleurements de marnes et bancs rocheux peu épais, incision forte, forte érosion ravinatoire (6.1 % BV)
- sols A à AL, (A) B C, profondeur > 50 cm (18.1 % BV)
- sols A à AL, (A) B C ou BC, caillouteux, profondeur < 50 cm (20.7 % BV)
- sols A à AL, A B C, profondeur > 80 cm (3.4 % BV)
- Lit d'oued et ravins (4.0 % BV)
- Lac (0.9 % BV)

carte des érodibilités - indice K (figure 17)



Indices K et surfaces occupées

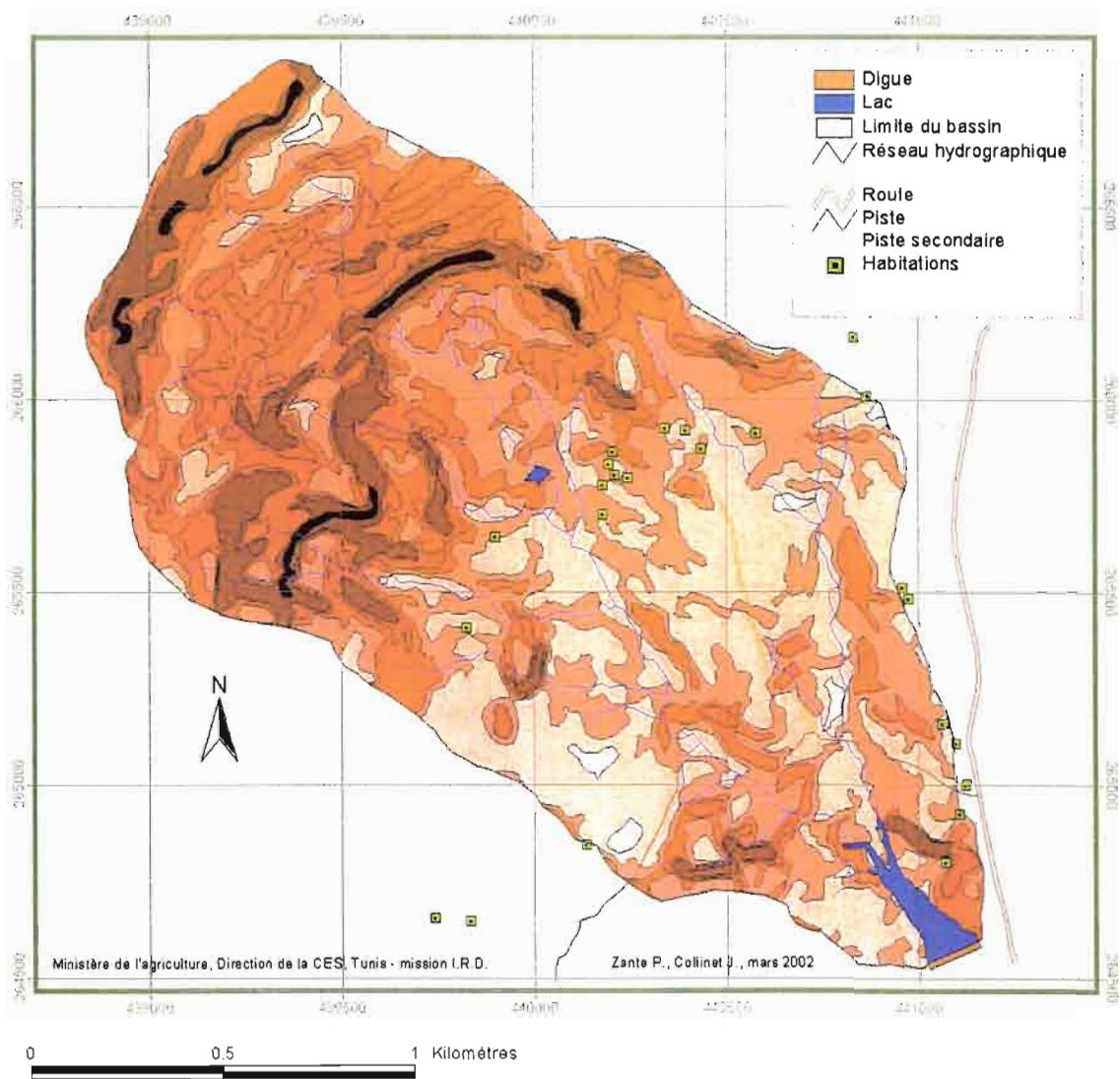
| | |
|--------|-------------|
| 0.0255 | (3.4 % BV) |
| 0.0285 | (20.7 % BV) |
| 0.0315 | (18.1 % BV) |
| 0.0345 | (3.2 % BV) |
| 0.0375 | (17.9 % BV) |
| 0.0405 | (23.8 % BV) |
| 0.0435 | (1.8 % BV) |
| 0.0465 | (10.1 % BV) |
| Lac | |

Cette carte des érodibilités montre deux choses :

- une disposition en éventail d'unités d'érodibilités croissantes vers l'amont,
- que les entailles d'oueds, sur marnes et argilites sous jacentes aux calcaires Lutétiens et encroûtements carbonatés, ne suivent pas l'évolution précédente mais donnent des lithosols sensibles à une érosion concentrée sur les berges et dans les champs avoisinants.

3.1.2 Pentès , topographie

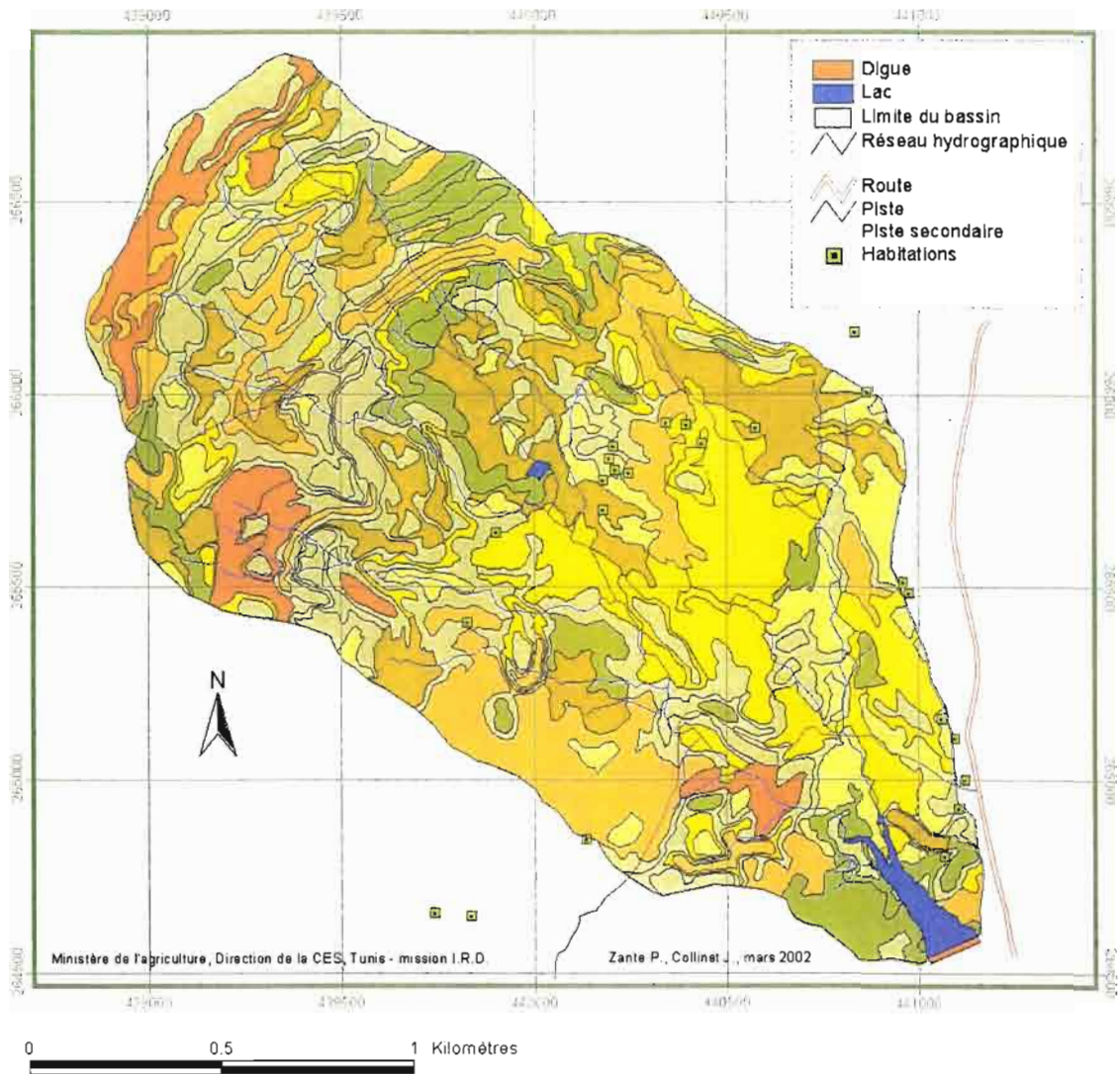
- carte des pentes (figure 18)



Classes de pentes et surfaces occupées

| | |
|--|--------------------|
| | 0 < 5 (0.7% BV) |
| | 5 < 15 (25.3% BV) |
| | 15 < 25 (30.5% BV) |
| | 25 < 35 (21.3% BV) |
| | 35 < 45 (11.6% BV) |
| | 45 < 100 (8.7% BV) |
| | >= 100 (0.9% BV) |
| | lac (0.9% BV) |

- carte des indices topographiques – SL (figure 19)



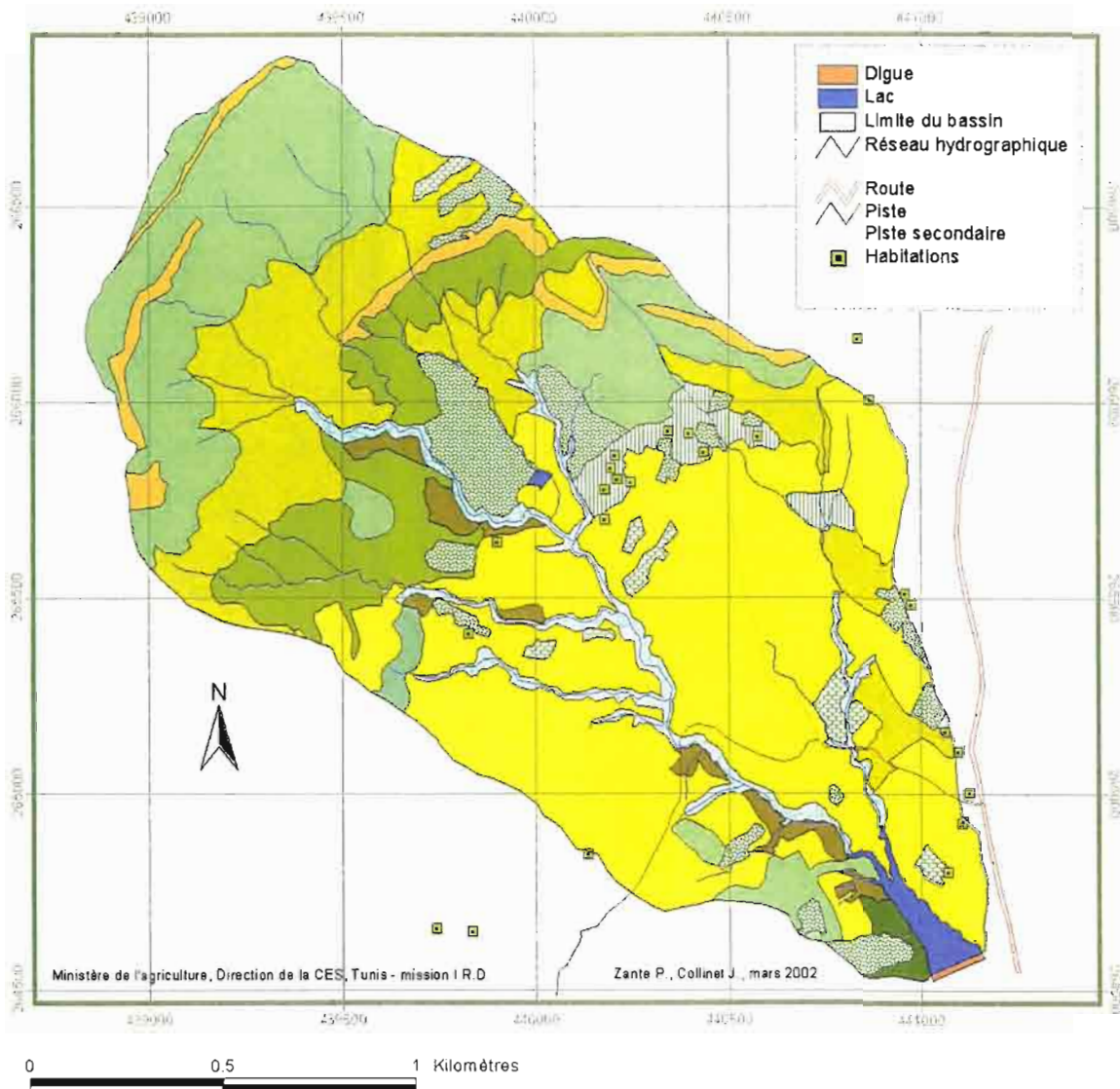
Classes des indices topographiques SL et surfaces occupées

| | |
|--|--------------------|
| | 0 < 2 (8.7% BV) |
| | 2 < 4 (17.5% BV) |
| | 4 < 6 (28.1% BV) |
| | 6 < 8 (10.9% BV) |
| | 8 < 10 (14.6% BV) |
| | 10 < 15 (13.6% BV) |
| | 15 < 25 (5.8% BV) |
| | lac (0.9% BV) |

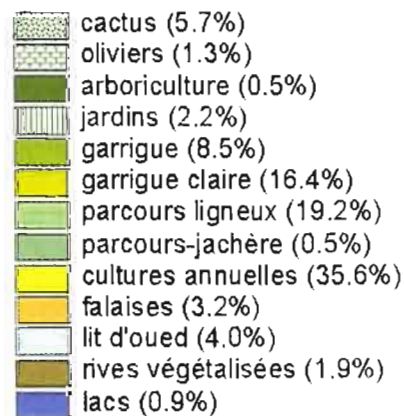
Cette carte des indices topographiques confirme les effets d'une érosion différentielle de bancs rocheux alternativement tendres et durs, donnant des revers de côte profondément entaillés sur marnes et des cuesta sur calcaires et grès des limites sud-ouest et nord-ouest du bassin. La conséquence est une accentuation des risques érosifs liés à la topographie en aval et en rive droite (effet pente dominant) et vers les limites nord en moyen amont (effet longueur de versant dominant).

3.1.3 Occupation des sols

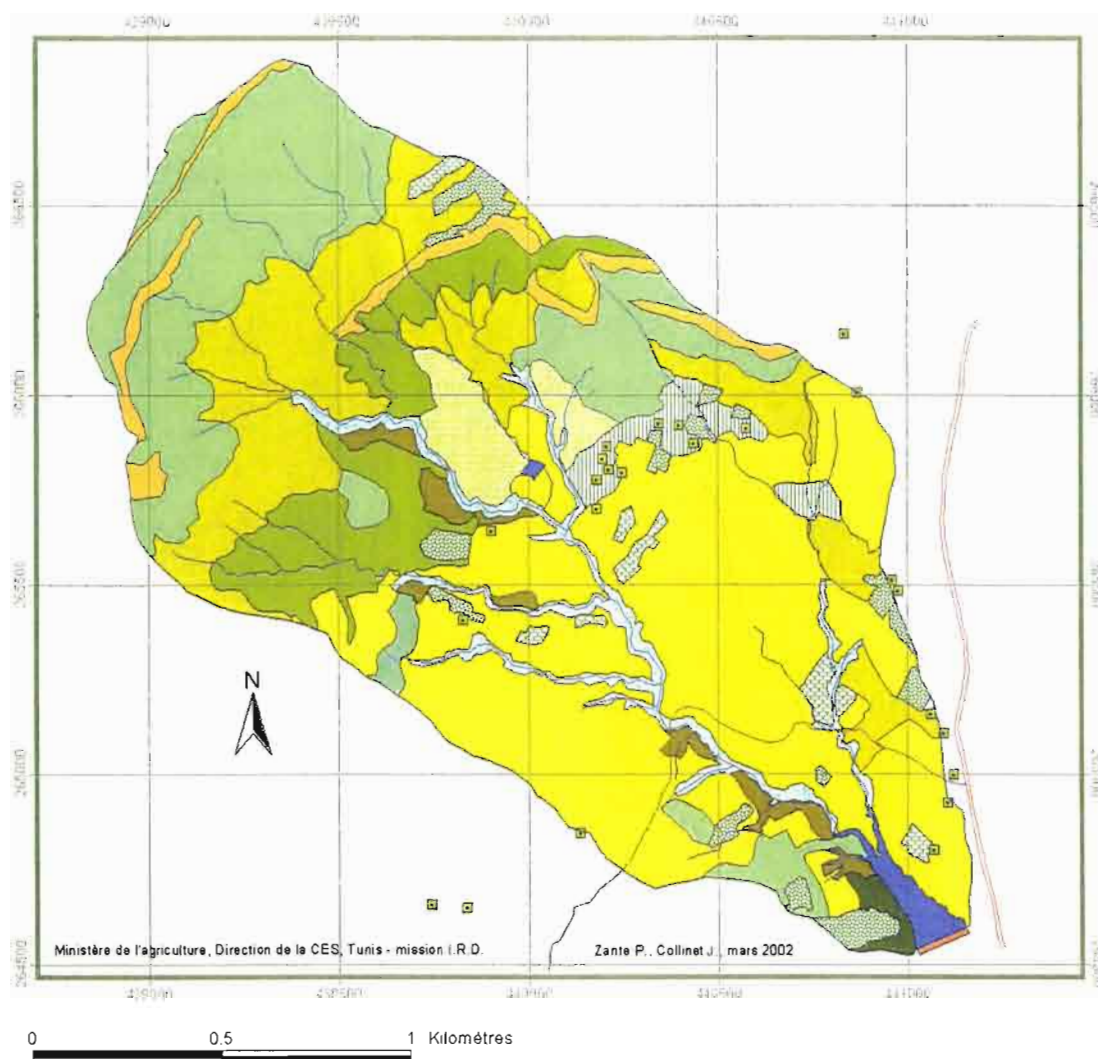
- carte d'occupation des sols (figure 20)



Types d'occupations des terres et surfaces correspondantes



- carte des indices de couvertures C pour un assolement de type céréales-céréales-légumineuse d'hiver (figure 21)



Indices C avec un assolement c-c-lh et surfaces correspondantes

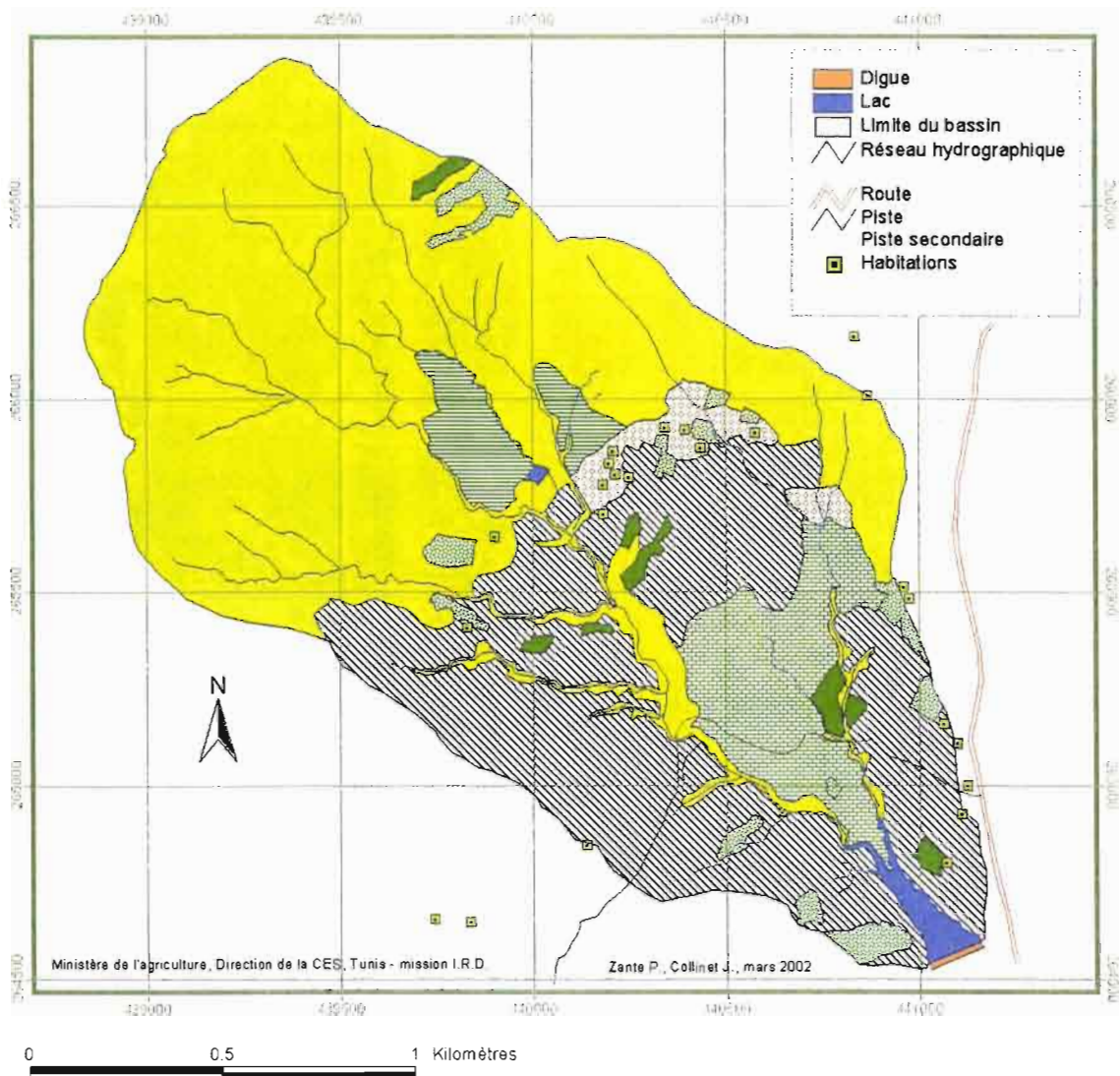
| | |
|--|---------------------------------------|
| | cactus en bocage : 0.07 (2.7% BV) |
| | cactus en protection : 0.12 (3.0% BV) |
| | oliviers : 0.50 (1.3% BV) |
| | arboriculture : 0.18 (0.5% BV) |
| | jardins : 0.10 (2.2% BV) |
| | garrigue : 0.25 (8.5% BV) |
| | garrigue claire : 0.30 (16.4% BV) |
| | parcours ligneux : 0.15 (19.2% BV) |
| | parcours-jachère : 0.20 (0.5% BV) |
| | assolement C-C-LH : 0.60 (35.6% BV) |
| | falaises : 0.90 (3.2% BV) |
| | rives végétalisées : 0.36 (1.9% BV) |
| | lit d'oued : 0.70 (4.0% BV) |
| | lacs (0.9% BV) |

Cette carte des indices de couverture montre que la meilleure protection est assurée, vers la partie moyen-amont du bassin, par une bande de garrigue et de parcours ligneux correspondant à la zone des éboulis. Ce couvert et ces éboulis jouent ainsi le rôle de « bande d'arrêt » pour les écoulements aréolaires provenant des falaises et affleurements de l'amont, par contre, les









écoulements concentrés la traversent de part en part. Le couvert céréaliier protège peu les parties moyen aval et aval du bassin. Les rives droites du lac sont correctement protégées (arboriculture + cactus en bocage), çà n'est plus le cas en rive gauche.

3.1.4 Aménagements et techniques de conservation des eaux et des sols

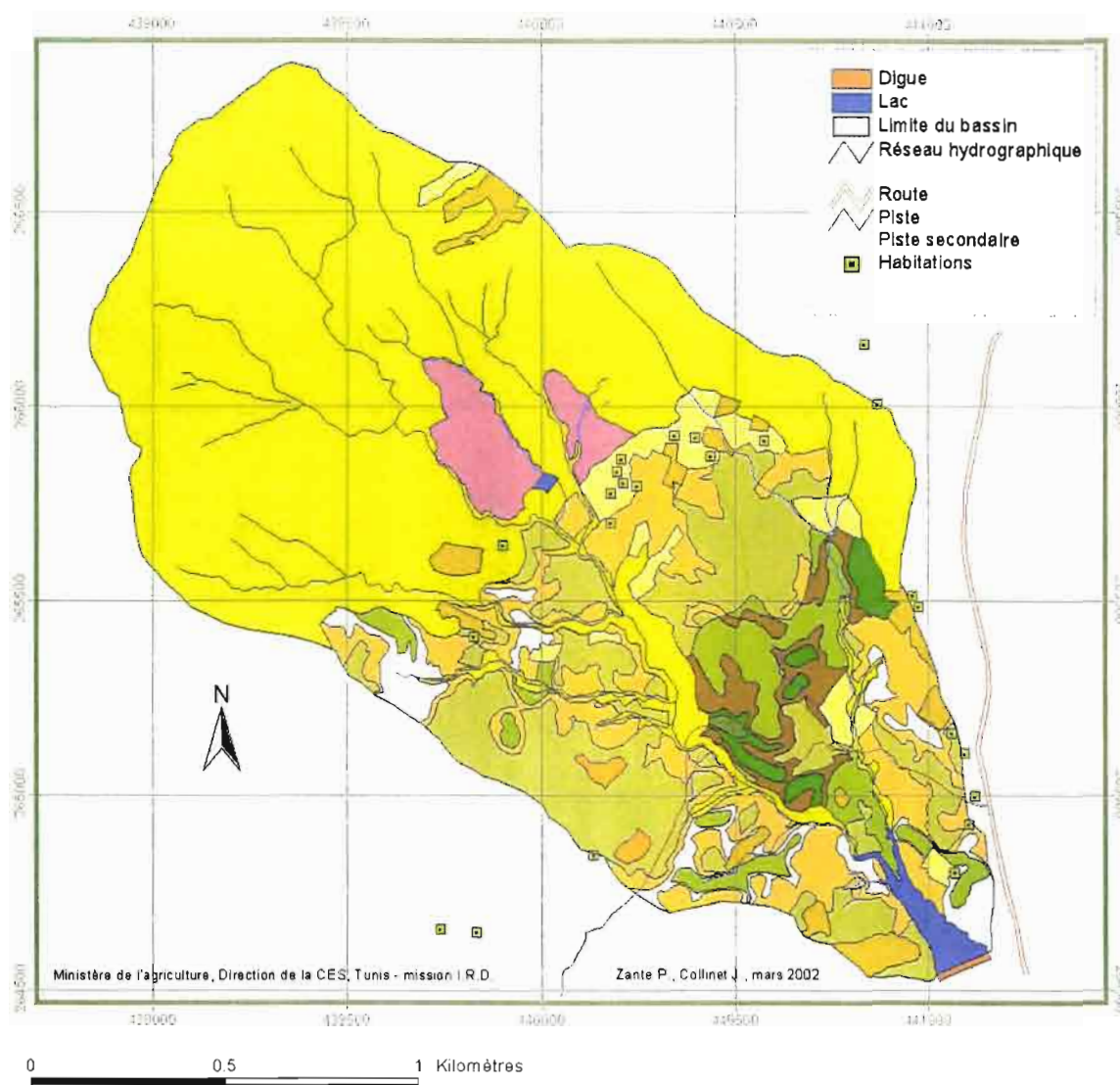
- carte des aménagements de C E S (figure 22)



Aménagements CES et surfaces correspondantes :
 (a) de tout le bassin, (b) de la partie aménagée du bassin

| | |
|---|---|
|  | banquettes (29.1% BV, 62.8% CES) |
|  | cordons de pierres et banquettes amortie (7.2% BV, 15.4% CES) |
|  | cactus en bocage (2.7% BV, 5.9% CES) |
|  | cactus en protection (3.0% BV, 6.6% CES) |
|  | jardins (2.2% BV, 4.8% CES) |
|  | oliviers avec haie de cactus 1.3% BV, 2.8% CES) |
|  | sans CES (53.6% BV) |
|  | lac (0.9% BV) |

- carte des indices P (figure 23)



Indices P et surfaces correspondantes sur tout le bassin

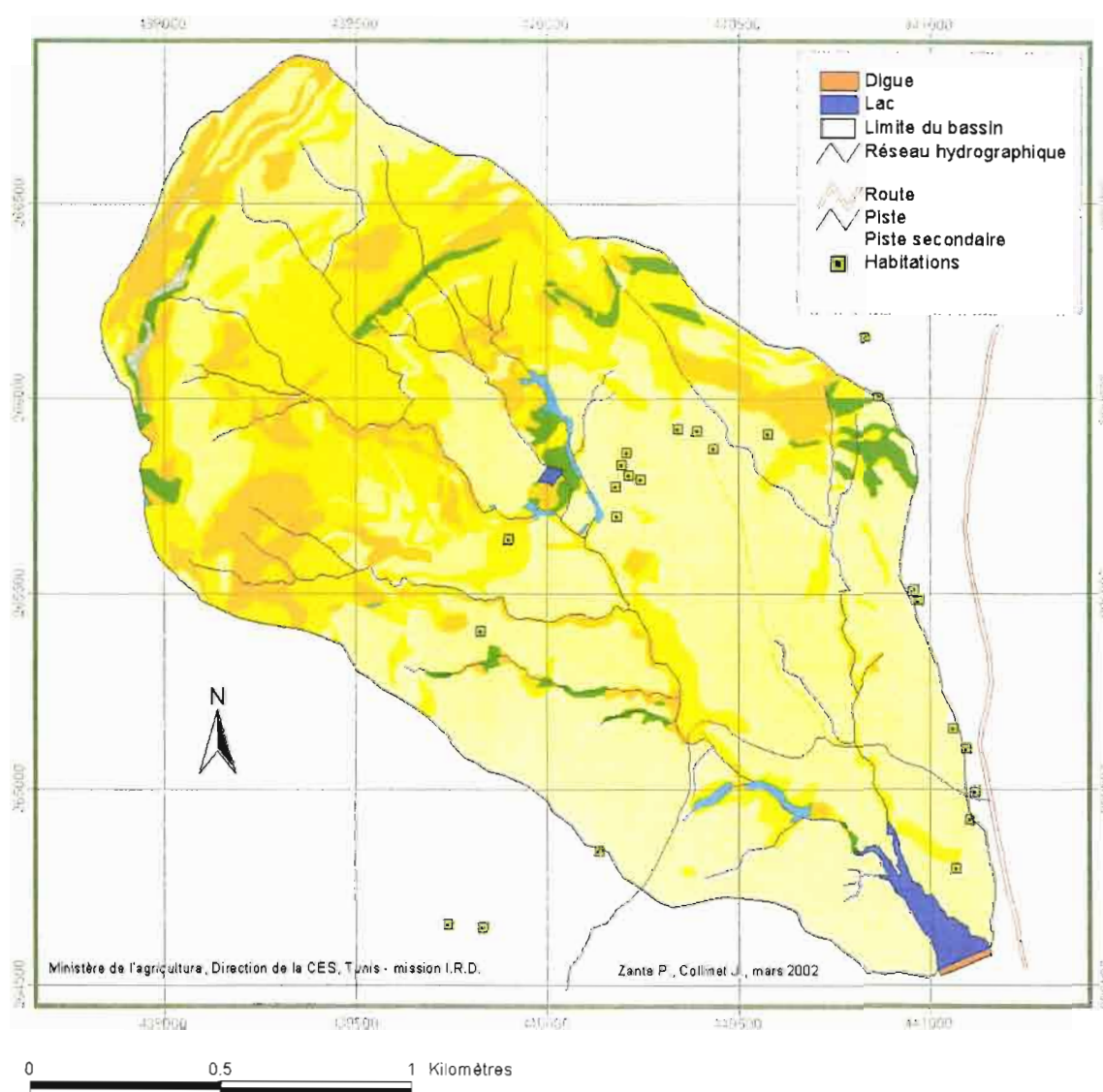
| | |
|--|------------------------|
| | 0.1 (0.3% BV) |
| | 0.12 (14% BV) |
| | 0.16 (10.8% BV) |
| | 0.18 (3.2% BV) |
| | 0.2 (2.7% BV) |
| | 0.26 (3.5% BV) |
| | 0.28 (4.3% BV) |
| | 0.3 (3.0% BV) |
| | 0.35 (2.3% BV) |
| | 0.4 (1.2% BV) |
| | 0.5 (0.1% BV) |
| | 1 (sans CES, 53.6% BV) |
| | lacs (0.9% BV) |

L'unité « banquette » de la carte de la figure 22 est plus détaillée dans cette carte des indices car elle prend en compte les pentes topographiques qui modifient nettement l'efficacité de ces ouvrages comme cela a été développé précédemment (tableau I). On constate que la moitié des banquettes des rives gauches les plus déclives sont comblées ce qui est une preuve de l'efficacité passée de ces ouvrages mais ce qui indique aussi des risques accrus de sédimentation actuelle du lac.

3.2 Cartographie des risques d'érosion pour différentes érosivités moyennes annuelles

La multiplication des indices R, K, SL, P et C, issus des variables d'entrées, fournit par l'intermédiaire du S I G, les trois cartes d'iso-risques érosifs pour des agressivités croissantes de pluies annuelles (fig. 24, 25 et 26) .

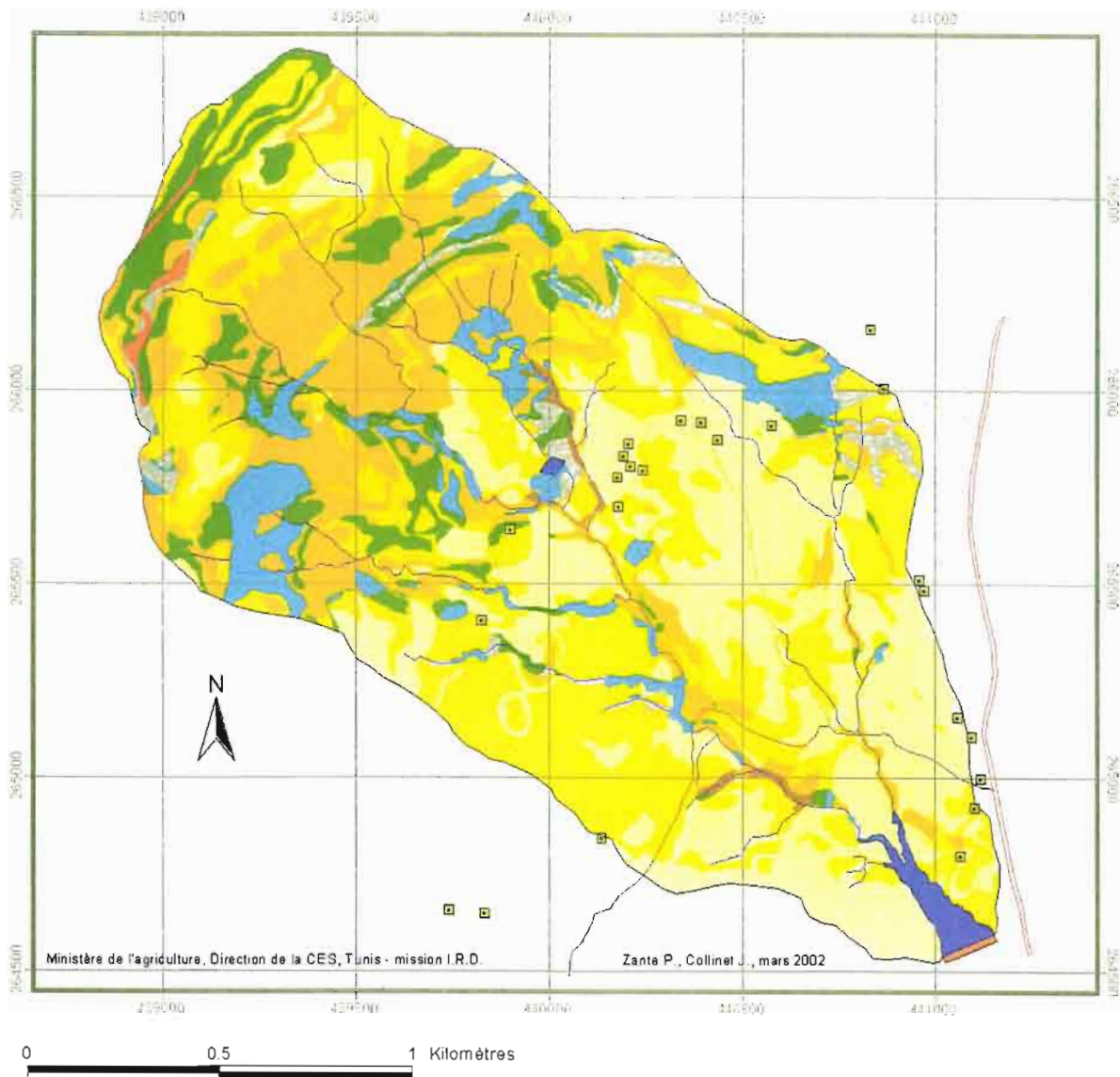
3.2.1 Risques érosifs pour une érosivité de 25 Mj.mm / ha.h (figure 24)



Erosion en t / ha / an et surfaces correspondantes pour une érosivité R(si) de 25

| | |
|---------|------------|
| 0 < 1 | (56.5% BV) |
| 1 < 3 | (26.7% BV) |
| 3 < 6 | (12.1% BV) |
| 6 < 10 | (2.7% BV) |
| 10 < 15 | (0.6% BV) |
| 15 < 25 | (0.4% BV) |
| lac | (0.9% BV) |

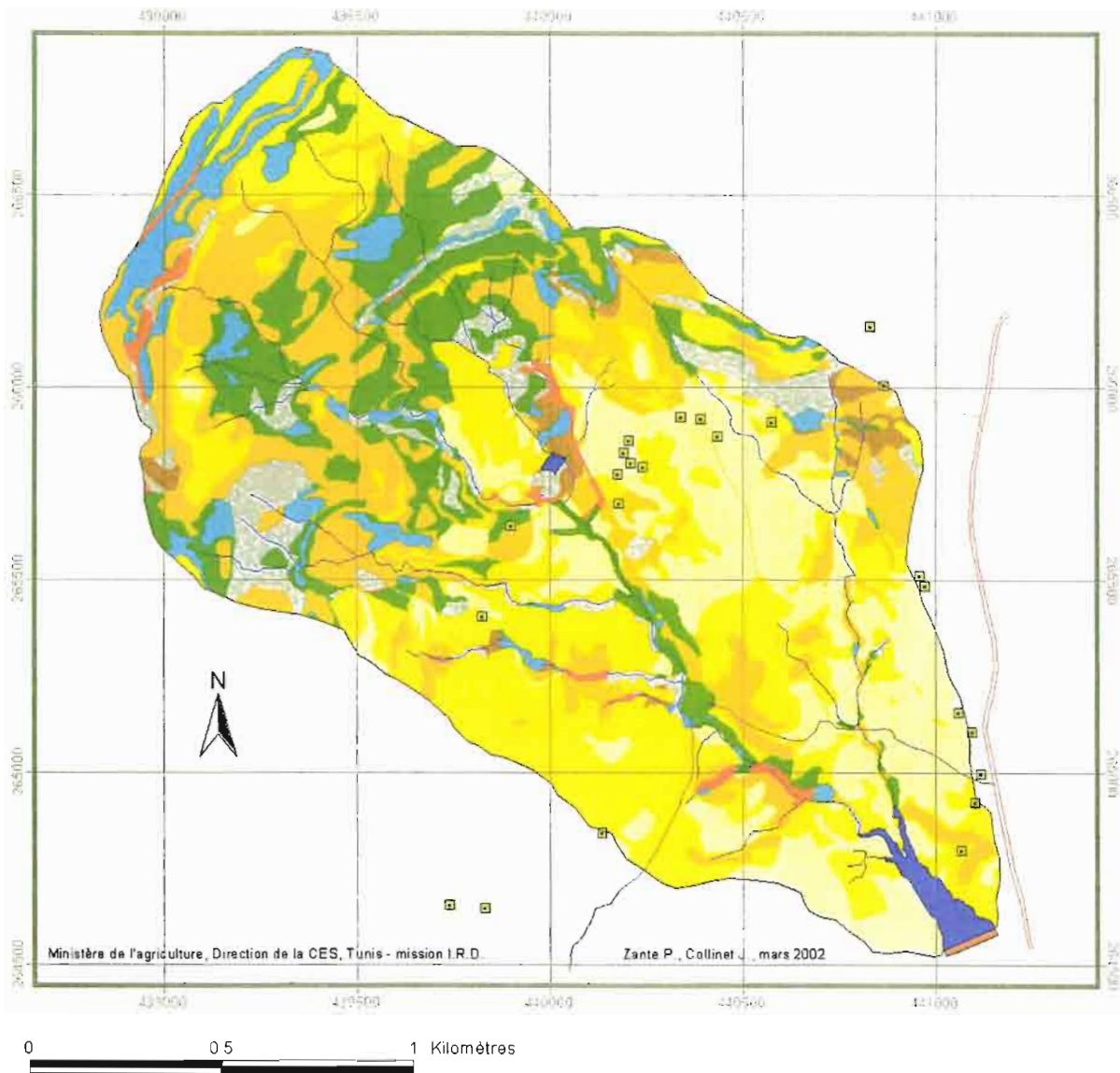
3.2.2 Risques érosifs pour une érosivité de 64 Mj.mm / ha.h (figure 25)



Erosion en t / ha / an et surfaces correspondantes pour une érosivité R(si) de 64

| | |
|-------|------------|
| 0<1 | (28.9% BV) |
| 1<3 | (32.2% BV) |
| 3<6 | (19.6% BV) |
| 6<10 | (7.7% BV) |
| 10<15 | (6.8% BV) |
| 15<25 | (2.8% BV) |
| 25<35 | (0.6% BV) |
| 35<60 | (0.4% BV) |
| lac | (0.9% BV) |

3.2.3 Risques érosifs pour une érosivité de 93 Mj.mm / ha.h (figure 26)



Erosion en t / ha / an et surfaces correspondantes pour une érosivité R(si) de 93

| | |
|--|-----------------|
| | 0<1 (28.9% BV) |
| | 1<3 (32.2% BV) |
| | 3<6 (19.6% BV) |
| | 6<10 (7.7% BV) |
| | 10<15 (6.8% BV) |
| | 15<25 (2.8% BV) |
| | 25<35 (0.6% BV) |
| | 35<60 (0.4% BV) |
| | lac (0.9% BV) |

Tableau VIII : Calcul des érosions globales par pondération des superficies iso-érodables

| Class. eros. Rsi = 25 | Surf. unités (ha) | t/BV/an | t/ha/an |
|-----------------------|-------------------|---------|-------------|
| 0<1 | 173,893 | 86,95 | |
| 1<3 | 82,369 | 164,74 | |
| 3<6 | 37,414 | 168,36 | |
| 6<10 | 8,289 | 66,31 | |
| 10<15 | 1,831 | 22,89 | |
| 15<25 | 1,283 | 25,66 | |
| Totaux | 305,078 | 534,90 | 1,75 |
| Class. Eros. Rsi = 64 | | | |
| 0<1 | 88,956 | 44,48 | |
| 1<3 | 99,222 | 198,44 | |
| 3<6 | 60,428 | 271,93 | |
| 6<10 | 23,751 | 190,01 | |
| 10<15 | 20,987 | 262,33 | |
| 15<25 | 8,620 | 172,39 | |
| 25<35 | 1,831 | 54,93 | |
| 35<60 | 1,283 | 60,95 | |
| Totaux | 305,078 | 1255,46 | 4,12 |
| Class. eros. Rsi = 93 | | | |
| 0<1 | 63,156 | 31,58 | |
| 1<3 | 84,077 | 168,15 | |
| 3<6 | 68,696 | 309,13 | |
| 6<10 | 38,495 | 307,96 | |
| 10<15 | 18,633 | 232,91 | |
| 15<25 | 23,203 | 464,06 | |
| 25<35 | 5,361 | 160,84 | |
| 35<60 | 3,457 | 164,21 | |
| Totaux | 305,078 | 1838,84 | 6,03 |

Pour comparer les effets des érosivités des pluies, tous autres facteurs étant par ailleurs égaux, on a pondéré les érosions de chaque unité par les surfaces qu'elles occupent respectivement, puis additionné ces érosions partielles. On obtient ainsi une imitation d'érosion globale à l'échelle du bassin (Tableau VIII). Cette imitation ne peut s'approcher d'une érosion globale sensu stricto que si on envisage que toutes les terres érodées en provenance de toutes les zones du bassin sont intégralement transmises à l'exutoire, donc sans sédimentation sur le versant. Comme les versants sont courts et généralement très pentus, les écoulements restent durablement compétents étant donné leurs vitesses et la finesse des éléments transportés. L'érosion globale estimée par cette pondération est donc une

hypothèse raisonnable, les prévisions d'érosions proposées ci-dessous sont d'ailleurs cohérentes avec celles que mesure la bathymétrie.

Il est également intéressant de voir comment se modifie la distribution des surfaces iso-érodables avec l'accroissement des érosivités, pour ce faire, on a d'abord représenté sur la figure 27 l'évolution des superficies cumulées des unités iso-érodables pour les différentes classes d'érosion. Il en ressort :

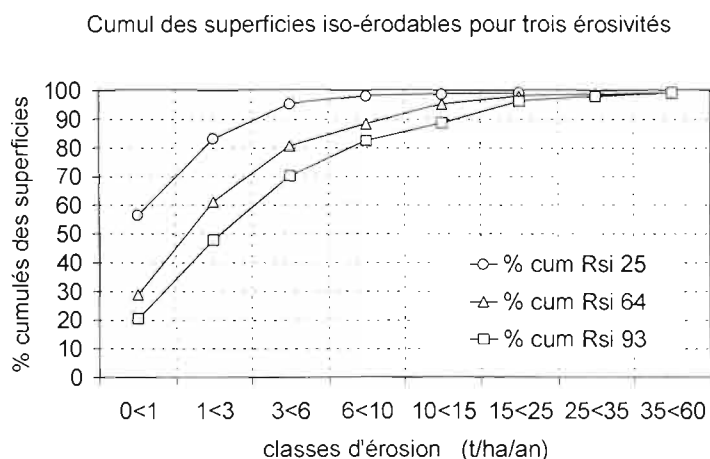
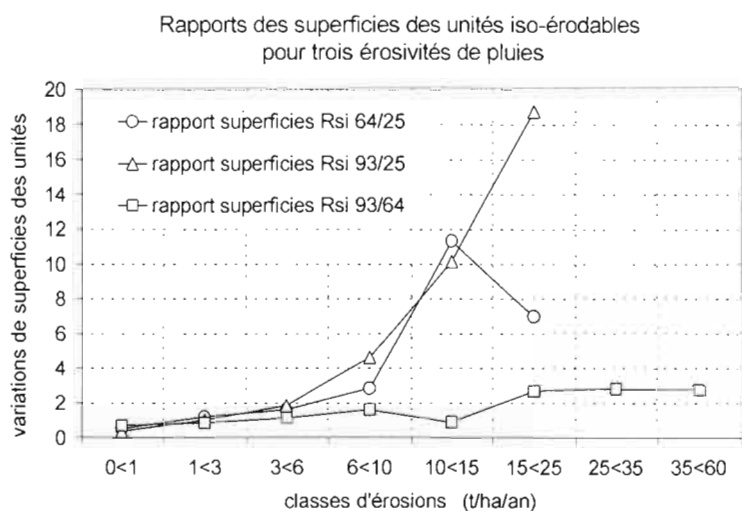


Figure 27 : distribution des superficies iso-érodables avec l'augmentation de l'agressivité des pluies

- une distribution médiocre des classes d'érosions pour une érosivité faible (Rsi 25) → la quasi totalité des érosions provient de parcelles s'érodant peu,
- une meilleure distribution de ces classes, au moins jusqu'à 10 t/ha, pour une érosivité moyenne (Rsi 64) et surtout une érosivité forte (Rsi 93)

- on note enfin que l'augmentation des érosions avec l'agressivité des pluies est surtout le fait des zones en amont de la partie médiane du bassin ; à son aval, les terres du glacis ne s'érodent guère d'avantage avec l'agressivité des pluies sauf aux environs des berges des oueds où affleurent les marnes.

Le rapport des superficies iso-érodables, issues d'érosivités différentes, (fig. 28) confirme que ces superficies augmentent normalement avec les érosivités tant que l'on reste dans des classes <10 t/ha/an. Au delà, cette augmentation est largement plus que proportionnelle aux augmentations des érosivités.



Cela démontre qu'en deçà d'un seuil de résistance des terres l'érosion reste aréolaire et qu'au delà de ce seuil on franchit cette limite de résistance ce qui se traduit par la manifestation d'autres processus tels que des érosions concentrées. Ce processus est à l'origine de l'élargissement des zones fortement érodables à l'endroit des sols sur marnes et argilites qui sont les plus sensibles.

Figure 28 : rapport des surfaces iso-érodables avec l'augmentation de l'agressivité des pluies

3. 3 Simulations

Le couplage du modèle RUSLE avec un SIG a permis de prévoir les érosions des différentes terres agricoles du bassin avec son couvert actuel.

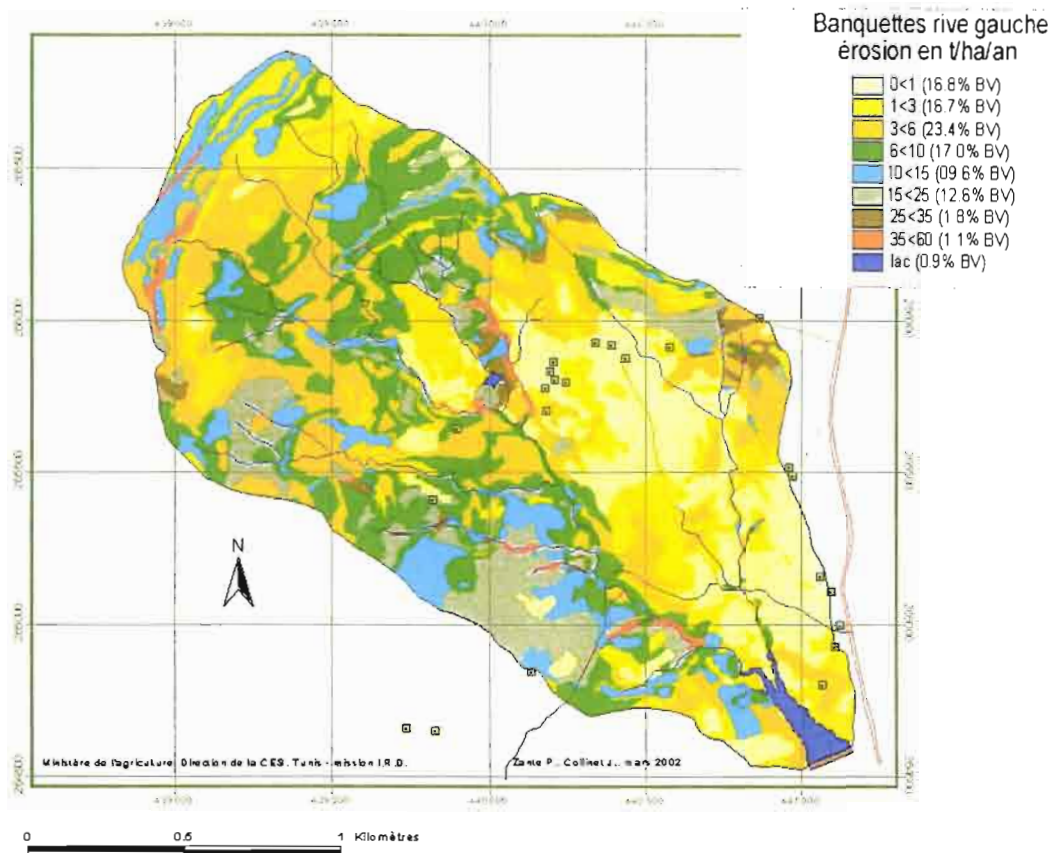
Il est aussi possible de simuler sur ces mêmes terres les effets de changements d'usages. On a retenu deux situations plausibles dans le contexte de ce domaine climatique :

- des modifications de localisations et d'extensions des banquettes de rétention (fig. 29 à 31)
- une reforestation dans une zone particulièrement vulnérable en amont du bassin. (fig. 33 et 34)

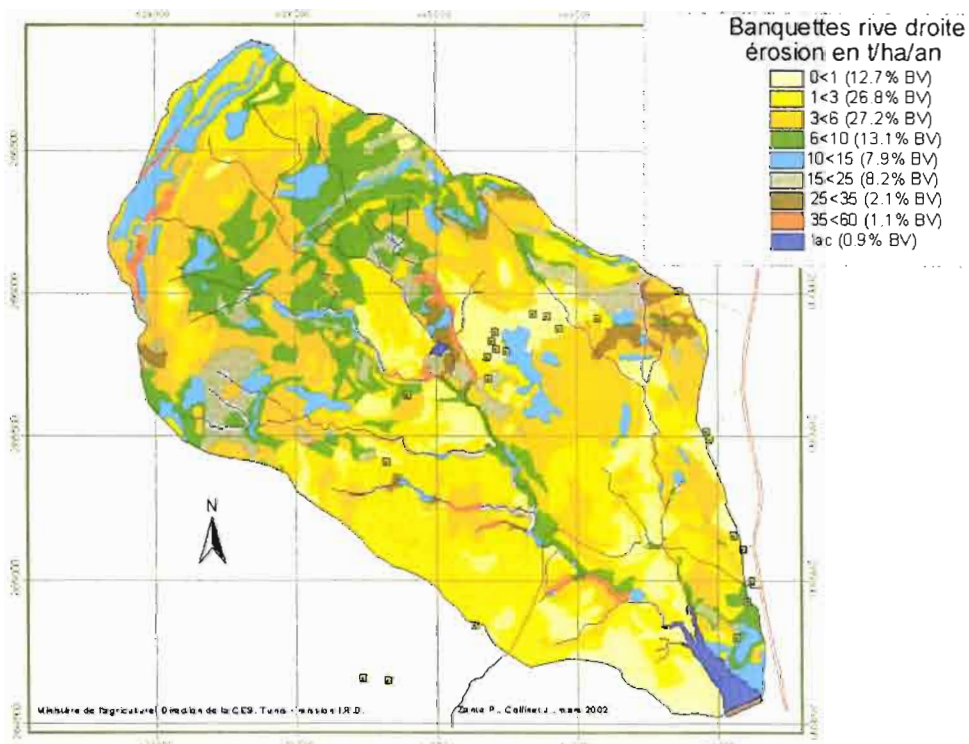
3.3.1 Modification sur les extensions de banquettes

Trois scénarios ont été élaborés pour rendre compte de l'effet d'un aménagement en banquettes de rétention: absence de banquettes, aménagement limité à la rive gauche ou à la rive droite et état actuel, les deux rives étant aménagées.

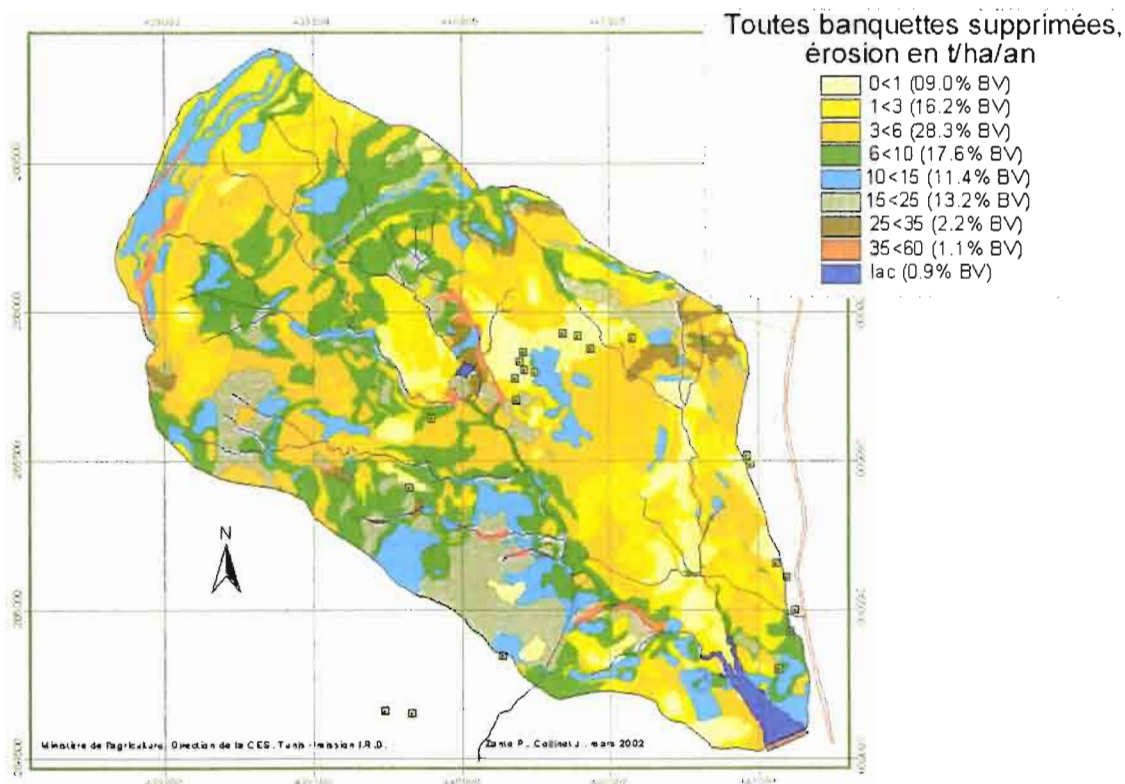
banquettes seulement en rive gauche, Rsi = 93 Mj.mm/ha.h, assolement C-C-Lh (figure 29)



banquettes seulement en rive droite, Rsi = 93 Mj.mm/ha.h, assolement C-C-Lh (figure 30)



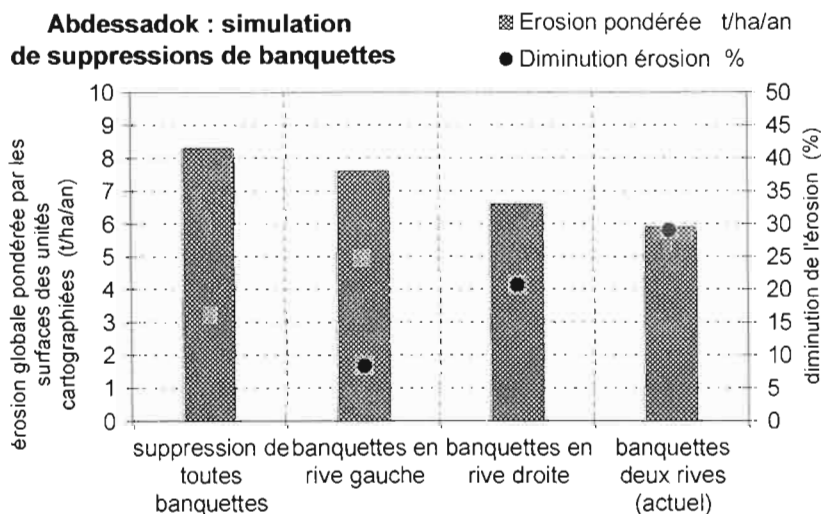
suppression de toutes les banquettes, $R_{si} = 93 \text{ Mj.mm/ha.h}$, assolement C-C-Lh (figure 31)



Pour comparer les effets des différentes simulations, on pondère et on somme, comme précédemment, les érosions de chaque unité par les surfaces qu'elles occupent respectivement. On obtient ainsi une imitation d'érosion globale à l'échelle du bassin, les histogrammes de la figure 32 résument les résultats des calculs effectués sur chaque simulation. En année humide ($R_{si} = 93$) et par rapport aux effets d'une suppression totale de banquettes, on constate :

- une réduction de près de 30% de l'érosion avec la situation actuelle qui est un aménagement en banquettes plus ou moins amorties sur les deux rives au niveau du glacis, on passe en effet de 8,4 à 5,9 t/ha/an,
- la suppression des banquettes sur une des deux rives augmente sensiblement les risques érosifs mais on note que la rive droite est plus fragile que la rive gauche puisque l'adjonction de banquettes sur cette seule rive entraîne une réduction d'érosion globale de quelque 21% ; ceci apparaît nettement à la comparaison des cartes des figures 30 et 31 avec une très nette extension des érosions classées de 10 à 25 t/ha/an,

Abdesadok : simulation de suppressions de banquettes



et 31 avec une très nette extension des érosions classées de 10 à 25 t/ha/an, - enfin, l'adjonction de banquettes sur la seule rive gauche n'entraîne qu'une diminution d'érosion de quelque 8%

Figure 32 : érosions globales et variations en modifiant les aménagements en banquettes de rétention

3.3.2 Reforestation des lithosols (uc 3) et régosols (uc 7) sur des pentes > 25%

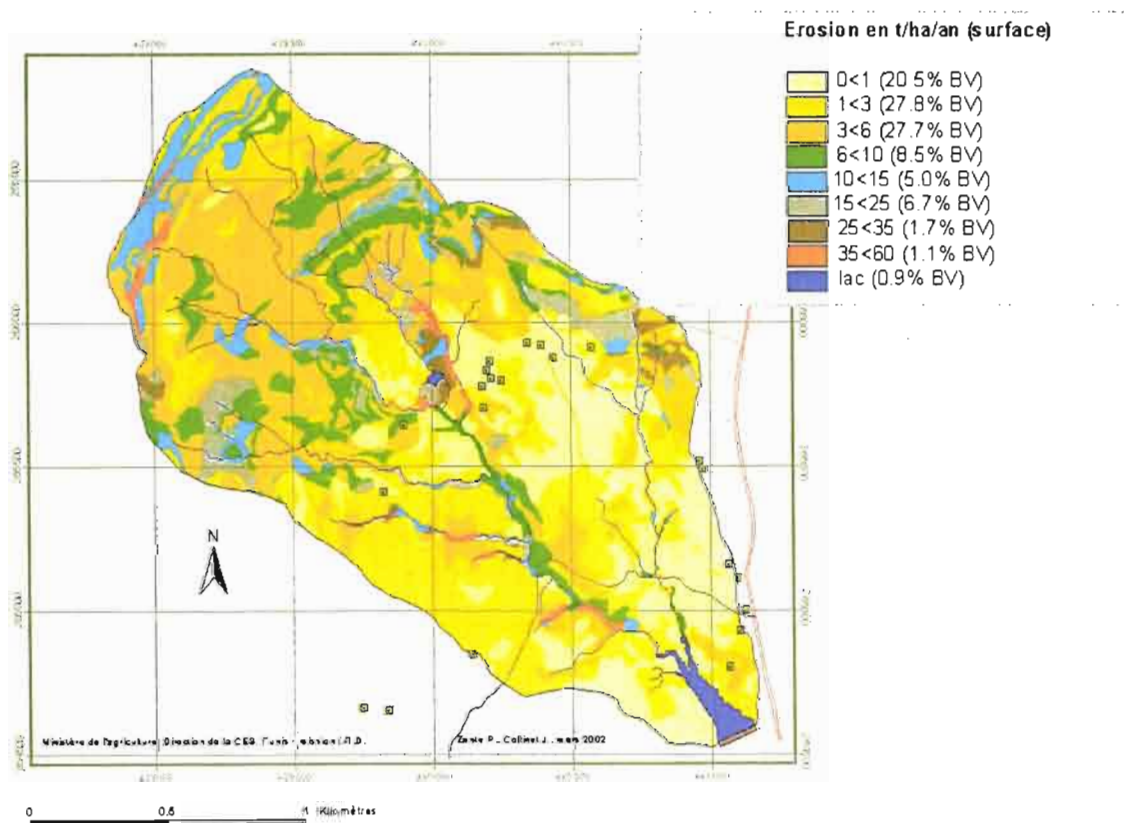
La simulation porte cette fois sur une imitation de reforestation en Pins des zones de l'amont sur sols peu épais et affleurements gréseux et calcaires actuellement couverts par une garrigue plus ou moins dense.

Cette zone est occupée par les unités pédologiques 3 (lithosols sur roches dures) et 7 (régosols sur roches plus tendres) de la carte de la figure 16 ; elle supporte les couverts végétaux cartographiés en garrigues (uc 6) et ou garrigue claire (uc7) de la carte de la figure 20. Cette zone est totalement dépourvue d'ouvrages de CES.

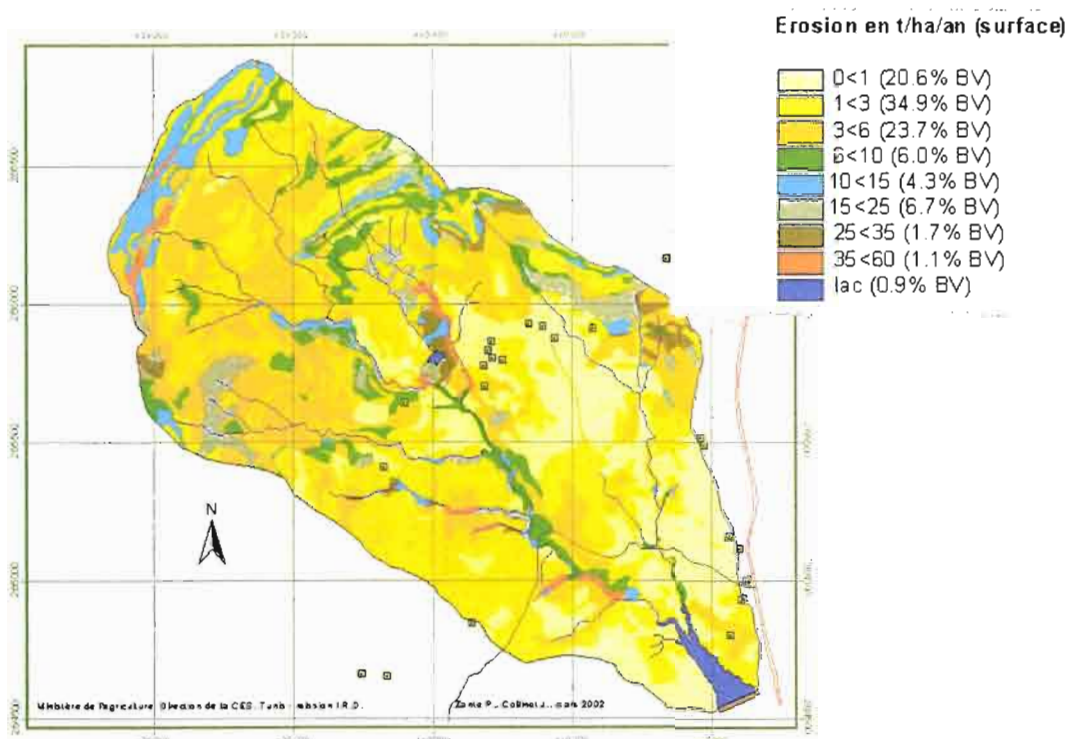
La simulation permet de suivre la protection offerte :

- par une plantation jeune (figure 33) encore caractérisée par la faible densité des structures interceptrices des énergies de pluies, une production de biomasse faible et par conséquent un faible couvert en surface du sol ; toutes ces caractéristiques donnent un indice $C = 0,18$ indiquant une meilleure protection que celle assurée actuellement par les garrigues plus ou moins denses (C de 0,25 à 0,30).
- par la même plantation de Pin au bout de 18 à 20 ans avec des arbres de 15m dont les structures couvrent 60% du sol , avec un léger sous bois et surtout avec un recouvrement de 60% du sol par les aiguilles des résineux et quelques adventives (figures 34) ; toutes ces caractéristiques donnent un indice $C = 0,08$.

Garrigue remplacée par une forêt jeune (5% de recouvrement ligneux de 2 m de haut, 20% de ligneux bas, 20 % de strate au sol → $C = 0,18$) (figure 33)

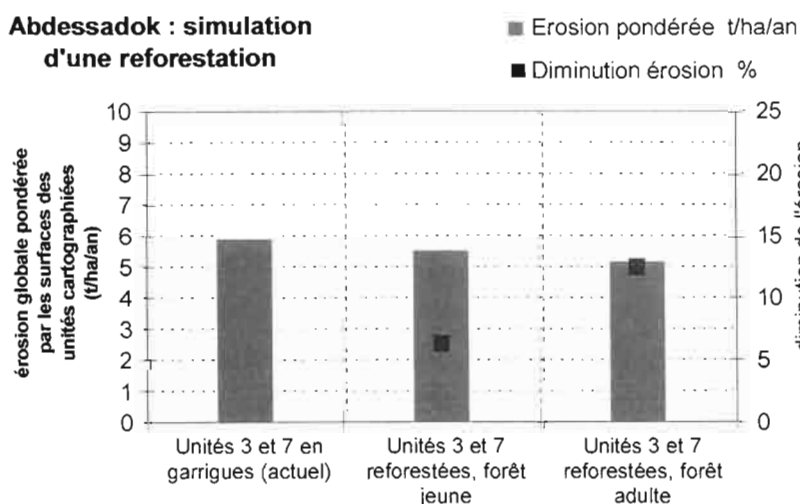


Garrigue remplacée par une forêt adulte (60% de recouvrement ligneux de 15 m de haut, 10 % de ligneux bas, 60% de strate au sol, C = 0,08) Figure 34



Les histogrammes de la figure 35 montrent que, par rapport au bassin versant en son état actuel, la réduction de l'érosion d'un bassin en reforestation amont n'est vraiment sensible que pour une forêt adulte où l'érosion est ramenée de 5,95 à 5,15 t/ha/an ce qui représente une réduction d'érosion globale de près de 12%. Cette opération de reforestation de l'amont est intéressante mais semble, a priori, moins efficace que l'établissement des banquettes dans les zones de culture du glacis de l'aval. Il faut cependant être conscient du fait qu'au cours du temps le système « forêt » ne fera que s'améliorer quant à sa fonction « anti-érosive » tandis que se dégradera le système de banquettes malgré une surveillance et des réparations plus ou moins suivies.

Abdessadok : simulation d'une reforestation



Une forêt bien conduite, c'est à dire protégée des divagations des troupeaux dans son jeune âge et comportant une zone tampon interdisant divers types de destructions précédant une « récupération » agricole, peut être une source de revenu intéressante pour la communauté locale (bois d'œuvre, bois de chauffe).

Figure 35: Erosions globales et variations en reforestant les garrigues

Son efficacité anti-érosive dans la zone du projet d'installation doit cependant être discutée. Elle sera certainement efficace en ce qui concerne les interceptions directes des énergies des pluies et l'ancrage des matériaux vis à vis d'hypothétiques risques de glissements de terrain, mais elle restera peu efficace pour arrêter voire « éponger » les flux en provenance de son amont. En ce sens la situation garrigue dense à nombreuses stratifications de structures végétales interceptrices proches de la surface du sol introduit une rugosité plus efficace pour rompre l'énergie des flux et favoriser leurs infiltrations sur matériaux divers dont des bancs rocheux fissurés.

CONCLUSION

Ce travail vise une évaluation des risques d'érosion des terres cultivées d'un bassin versant de 307 ha situé au sud de la dorsale tunisienne, alimentant une retenue collinaire qui faisait 92 500 m³ à sa construction et dont le volume n'atteint plus actuellement que 65 000 m³ à cause d'une érosion spécifique de quelque 11 m³/ha/an.

Différents relevés de terrain ont permis d'identifier et de caractériser les composantes physiques du bassin et son utilisation par l'homme. Ces données ont été indexées pour servir de variables d'entrée dans le modèle RUSLE qui, couplé avec un SIG, a permis de produire un ensemble de cartes de représentation de risques d'érosion pour des agressivités moyennes annuelles croissantes des pluies ainsi que des cartes montrant les effets de simulations de changement d'états des couverts végétaux et des techniques de CES.

S'il convient de garder son sens critique sur une modélisation peu étayée par des lois physiques et où les termes multiplicatifs de l'équation ne rendent pas compte d'interactions pas forcément linéaires entre facteurs, il n'en demeure pas moins que les calculs des érosions ont donné sur trois études antérieures de bassins de superficies équivalentes des résultats cohérents avec ceux mesurés par la bathymétrie. Cette cohérence est probablement due au fait que les sédiments produits sur les différents segments des versants sont intégralement transmis à l'exutoire, sans sédimentation intermédiaire : comme les versants sont courts et généralement très pentus, les écoulements restent durablement compétents étant donné leurs vitesses et la finesse des éléments transportés. Dans les limites des caractéristiques énoncées précédemment, l'estimation d'une érosion globale calculée par pondération est également une hypothèse raisonnable.

Les érosions globales pondérées d'un bassin de 307 ha, utilisé à 50% pour des activités agricoles (céréaliculture de faible rendement + élevage ovin extensif sur terres de parcours pentues) ont été estimées pour trois agressivités pluviales :

- 1,75 t/ha/an en année sèche qui a été imitée avec un index pluie $R_{si} = 25 \text{ MJ.mm/ha.h}$
- 4,12 t/ha/an en année médiane avec $R_{si} = 64 \text{ MJ.mm/ha.h}$,
- 6,03 t/ha/an en année humide avec $R_{si} = 93 \text{ MJ.mm/ha.h}$.

Les événements exceptionnels marquent fortement les prévisions précédentes calculées sur de longues périodes. C'est le cas de l'année 1994-95 sur Abdessadok qui fut particulièrement agressive avec un R annuel de 276 points dont 219 pour le seul mois d'octobre 1994, époque de terres labourées très vulnérables. Le calcul de son érosion globale pondérée par la superficie et un index de couvert = 1 pendant la période de terres dénudées donne 22,5 t/ha/an ce qui est compatible avec les érosions spécifiques moyennes mesurées par bathymétrie à l'issue de six années d'observation.

Il est possible de relier les différenciations topo et litho-séquentielles des sols ainsi que les structures et densités de leurs couverts respectifs avec les érosions spécifiques pour approcher une prévision sur la dynamique du versant. De l'amont vers l'aval les comportements sont les suivants :

- collecte totale des eaux pluviales sur les lithosols et régosols imperméables de l'amont et transmission de ces écoulements vers l'aval, mais un stockage temporaire, dans certains replats sur les revers de côte ainsi que dans les éboulis, est possible.
- les piémonts à couverts végétaux naturels tels que les garrigues ou à végétaux introduits tels que les cactus se distinguent de la façon suivante:

- ils s'érodent peu lorsqu'ils se trouvent à l'aplomb de sols ou d'altérites issus de calcaires,
 - ils s'érodent fortement lorsque affleurent des marnes et argilites non protégées par les éboulis, car ces mêmes couverts trop peu denses ne protègent pas des érosions concentrées qui se développent préférentiellement sur ces matériaux.
- sur le glacis, les sols argilo-limoneux, moyennement épais (0,5 à 1,0m), plus souvent meubles qu'encroûtés carbonatés, reçoivent peu d'écoulement de l'amont à l'exception de ceux qui sont canalisés dans les effluents les traversant ; ils sont peu érodibles car leurs pellicules superficielles favorisent éventuellement les ruissellements mais limitent sensiblement la mobilisation de terres.

L'augmentation des érosions avec l'agressivité des pluies est surtout le fait d'une extension des zones iso-érodables à forte érodibilité, tandis que les productions de sédiments provenant des zones faiblement érodables bougent peu.

On continue à constater la grande efficacité des banquettes de terre construites il y a quelques années et qui continuent à limiter de 3 à 10 fois selon la pente topographique les risques de pertes en terre. Cette efficacité explique que certaines de ces banquettes soient actuellement presque comblées donc plus ou moins transformées en terrasses pour lesquelles les efficacités anti-érosives tombent en dessous de 3, il faut alors craindre les effets d'évènements pluviaux paroxysmaux .

Enfin, on a recherché les effets d'une simulation de divers changements de situations, ce que le couplage modèle + SIG permet de réaliser aisément.

- la suppression totale des banquettes sur les deux rives de l'oued dans sa traversée du glacis cultivé amènerait une augmentation de 30% de l'érosion globale du bassin,
- en supprimant tantôt les banquettes en rive droite, tantôt en rive gauche on a montré que leurs effets protecteurs étaient sensiblement différents selon les rives : la rive droite apparaissant plus fragile,
- la simulation a ensuite porté sur une reforestation de l'actuelle zone de garrigue des piémonts pentus (25%) et à lithosols : il faut attendre la croissance d'une pré-forêt en environ 20 ans pour observer une protection globale du bassin de quelque 12% ,
- il faut considérer qu'à cette action anti-érosive, relativement faible, s'ajoutent des profits qui peuvent devenir essentiels pour la communauté paysanne de la région (bois d'œuvre et de chauffe).

Le bassin d'Abdessadok est, heureusement, encore à un stade où il peut recevoir utilement les mesures techniques permettant de conserver en l'état son potentiel agricole actuel et aider les paysans à le gérer au plus près pour une production optimale. Ces mesures techniques seraient les suivantes :

- identification et enrochement des naissances de ravines dans les zones de piémont à l'aplomb des marnes et argilites,
- surveillance accrue des banquettes non encore amorties,
- surélévation par lignes de pierres des banquettes amorties transformées en terrasses,
- densification plutôt que reforestation de la garrigue du piémont,
- végétalisation des berges des ravins et effluents du glacis en utilisant des végétaux à fort enracinement, donc susceptibles de fixer ces berges, et à forts effets de couverture superficielle pour éviter la formation de rigoles cisillant les flancs des ravins, ces deux fonctions peuvent être obtenues par des buissons d'épineux.

BIBLIOGRAPHIE

CASTANY A., 1953

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

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

Cartographie des risques érosifs sur le bassin versant du barrage collinaire de Zanfour (nord dorsale tunisienne). Pour la convention CRDA Le Kef / ESAK / IRD dans le cadre du Programme : Développement durable autour des retenues collinaires et suivi de l'érosion., Mission I R D de Tunis. 60 p.

CPCS, 1967

Classification des sols par Commission de Pédologie et Cartographie des Sols, coord. J. Boulaïne + 27 collaborations. Labo. De Géologie – Pédologie de l'ENSA de Grignon. 87 p.

CTFT, 1979

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

DG-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 (DG de l'Amélioration et de la Conservation des Terres Agricoles (ACTA) depuis 2002), 274 p., Tunis, 1995.

DG-CES, DG ACTA, I R D

Annuaire hydrologiques des lacs collinaires (1995 à 2001), réseau pilote de surveillance hydrologique. Equipe CES puis ACTA : M.Boufaroua, S. Ghédoui, A.Debabria, M.Ben Youssef. Equipe IRD : J.Albergel, JM Lamachère, Y. Pépin, M.Ben Younes Louati, Z.Jenhaoui. 170 p.

FAO, 1993

Guide pratique d'aménagement des bassins versants – Etude et planification par T.C. Sheng, Professeur au « Department of Earth Resources, Colorado State University ». Cahier FAO n° 13/6, 185 p.

GOUNOT M., LE HOUEROU H N. 1967

Carte bioclimatique de la Tunisie Septentrionale à 1/500 000 avec le concours de BALDY C., BORTOLI L., BIGOT A., FLORET C., FROMENT D., GUILLERM L., JACQUINET JC., LE FLOCH E., SCHOENENBERGER A., SOLER A., VAN SWINDEREN H. Editée par le CNRS / CEPE Montpellier pour le compte du Secrétariat d'Etat au Plan et à l'Economie Nationale du Gouvernement Tunisien., copyright CNRS 1967. carte + légende.

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.

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.

- RENARD K.G., FOSTER G.R., WEESIES G.A., PORTER J.P., 1991
 RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation, J. Soil and Water Conservation 46(1): 30-33.
- RENARD K.G., FOSTER G.R., WEESIES G.A., McCOOL D.K., YODER D.C., 1997
 Predicting Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the revised Soil loss Equation (RUSLE). Dept. Of Agric. Handbook N° 703, 404 pp. .
- RICHARD J-F., TEMPLE E., 2001
 Le paysage et l'eau, deux exemples préliminaires en Tunisie. Programme AMBRE. CD-Rom mission IRD Tunis.
- RICHARD J-F., 2001
 Lacs collinaires en Tunisie, un réseau de surveillance hydrologique. Séminaire international « Les petits barrages dans le monde méditerranéen » 28-31 mai 2001, Tunis. CD-Rom mission IRD Tunis.
- TEMPLE E., 2001
 Segmentation du paysage : interprétation hydrodynamique (le cas de deux petits bassins versants méditerranéens dans la dorsale tunisienne). Mémoire de DEA présenté sous la direction du Prof. P. Arnould à l'Université de Paris 1 – UFR de Géographie le 30 aout 2001. I R D Tunisie. 102 p.
- WISCHMEIER W. H. , SMITH D. D., UHLAND R.E., 1958
 Evaluation of factors in the soil loss equation. Agronomy Engeeneering, 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., VI, pp. 418-425.
- WISCHMEIER W. H. and SMITH D. D.,1965
 Predicting rainfall erosion losses from cropland. U.S.D.A. Agr. Handbook n° 282, 47 p., U.S. Gov. Printing Office, Wash. D.C.
- WISCHMEIER W. H., 1966
 Relation of Field-Plot Runoff to Managment and Physical Factors. Soil Science Society of America Proc., V. 30, p. 272-277.
- WISCHMEIER W. H., JOHNSON C.B., CROSS B.V. , 1971
 A soil erodibility normograph 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 SSS of America, august 1974, Syracuse, New York. pp.179-195.
- ZANTE P., COLLINET J., 2001
 Cartographie des risques érosifs sur le bassin versant de la retenue collinaire de El Hnach (dorsale tunsienne), Direction de la Conservation des Eaux et des Sols, Institut de Recherche pour le Développement (I R D mission de Tunis), 70 p.

ANNEXES

1 - Photo aérienne redressée du bassin-versant

2 - Fiche de relevés de terrain

BASSIN VERSANT D'ABDESSADOK



Ministère de l'agriculture, DG ACTA, Tunis - mission I.R.D.

Zante P., Collinet J., mars 2002

0 0.5 1 Kilomètres

- | | |
|--|--|
|  Digue |  Route |
|  Lac |  Piste |
|  Limite du bassin |  Piste secondaire |

| | |
|---|------------------------------|
| BASSIN VERSANT: Observation N° : | DATE: 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 | PARCOURS | JACHERE |
| 2 m | 4 m | 0.5 m | | | | |
| Nom | 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 | | | | | |