

**CARTOGRAPHIE DES ZONES SENSIBLES A L'ÉROSION
DANS LES ROUGIERS DE CAMARÈS (SUD-AVEYRON)**

Application à une région test sur la commune de Montlaur

*Mémoire présenté pour l'obtention du Diplôme d'études supérieures spécialisées
(DESS) Aménagement Rural et Développement Local
par Raymonde MIRAMON-RICQUEBOURG*

Sous la direction de **Régine CHAUME
Bernard BARTHES
Georges DE NONI**

**Laboratoire d'études du
Comportement des Sols Cultivés
Montpellier, septembre 1997**



SOMMAIRE

	Pages
REMERCIEMENTS	1
INTRODUCTION	2
<i>Présentation des Rougiers de Camarès</i>	<i>3</i>
<hr/>	
I/ LE MILIEU PHYSIQUE	3
1. Situation géographique	3
2. Climat	3
3. Géologie et formation des sols	5
4. Topographie	5
5. Unités pédopaysagères	5
II/ LE CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE	8
1. Historique des activités agricoles : l'intensification et la réduction du couvert végétal	8
2. Evolution de l'utilisation des terres agricoles	8
3. Préoccupations des agriculteurs	9
III/ L'EROSION DANS LES ROUGIERS DE CAMARES	9
1. Les différentes formes d'érosion	9
2. Les causes	10
3. Des conséquences diverses sur le milieu	12
4. Un programme d'actions concertées pour lutter contre l'érosion	12
5. Problématique	13
 <i>Spatialisation des zones d'érosion par télédétection</i>	 <i>14</i>
<hr/>	
I/ PRINCIPES ET OBJECTIFS :	14
1. La télédétection, science et technique de la détection à distance	14
2. Objectifs de l'étude	14
3. Méthodologie générale d'utilisation en pédologie	15

II/ DONNEES ET MOYENS TECHNIQUES	17
1. Données satellitales	17
2. Prétraitement des données	17
3. L'exploitation des données satellitales	17
4. Les autres sources d'information	18
III/ METHODOLOGIE	19
1. Correction géométrique	19
2. Composition colorée	19
3. Classification	21
4. Indice de végétation	21
5. Remarque : utilisation d'autres indices pour caractériser les sols nus	22
6. Combinaison et masque	22
7. Modèle numérique de terrain et carte des pentes	23
IV/ RESULTATS	23
1. Différents types d'occupation du sol caractérisés à partir de la composition colorée	23
2. Les zones sensibles à l'érosion déterminées par une classification dirigée	25
3. La répartition des sols nus déduite par le calcul de l'indice de végétation	25
4. Les confusions entre classes éliminées par une combinaison entre classification dirigée et indice de végétation	28
5. L'évolution de l'extension des zones érodées nommées « bad-lands » extraite d'une comparaison à 9 ans d'intervalle	28
6. Les zones érodées localisées plutôt sur des parcours et à la source des ruisseaux	30
7. L'exploitation du modèle numérique de terrain	33
8. La carte des pentes difficilement valorisable	33
9. Un outil d'aide à la gestion des terres : l'arbre de définition des zones à risque	38
CONCLUSION	40
GLOSSAIRE	41
ANNEXES	
1. L'ORSTOM de Montpellier	43
2. Légende simplifiée des 17 unités pédopaysagères identifiées dans les Rougiers	45
3. Relevé pluviométrique des 4 premiers mois des années de prise de vue	46
BIBLIOGRAPHIE	47

LISTE DES ILLUSTRATIONS

		Pages	
Figure n°	1	Localisation géographique de la zone d'étude	4
	2	Pluviométrie mensuelle - station de St-Affrique	3
	3	Coupe schématique du bassin permien des Rougiers	7
	4	Localisation de la zone d'étude sur l'image recalée de la scène Spot	16
	5	Proportion de coteaux gras, de coteaux maigres, de parcelles de plaine et de bad-land au sein de chacune des unités cartographiques	18
	6	Représentation schématique de la méthodologie adoptée	20
	7	Composition colorée	24
	8	Classification dirigée	26
	9	Indice de végétation (NDVI)	27
	10	Comparaison des surfaces érodées en 1987 et 1995	29
	11	Indice de végétation (SAVI)	31
	12	Localisation des bad-lands par rapport au réseau hydrographique	32
	14	Relevé altitudinal de la zone test	34
	15	Modèle numérique de terrain au pas de 20 mètres	35
	16	Visualisation en trois dimensions du MNT au pas de 50 mètres	36
	17	Carte des pentes	37
	18	Arbre de décision pour la définition du niveau de risque	39
Photos n°	1	Erosion en nappes, St-Juéry - Avril 1997.	11
	2	Erosion en ravines, bad-lands, Verrières - Avril 1997	11

REMERCIEMENTS

Le rapport présenté ici clôt le stage pratique proposé et réalisé au sein du Laboratoire d'études du Comportement des Sols Cultivés du centre ORSTOM de Montpellier.

Aussi je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail :

Madame Régine Chaume, pour son encadrement technique en matière de traitement d'image ;

Monsieur Bernard Barthès, pour son appui thématique et sa disponibilité ;

Messieurs Georges De Noni, Marc Viennot et tous les chercheurs, thésards, stagiaires et autres personnels du laboratoire pour leur sympathie et leurs encouragements ;

Madame Catherine Guillerm de la Chambre d'Agriculture de Saint-Affrique, pour ses services et Messieurs Bernat et Valat, pour leurs apports d'information de terrain.

Raúl, co-stagiaire en télédétection au Laboratoire des sols, pour sa constante bonne humeur, ses précieux conseils et sa collaboration permanente ;

L'ensemble de mes collègues du DESS pour leur soutien moral ;

Enfin, merci à Julie, mon bébé, pour m'avoir permise de mener dans de bonnes conditions le DESS et le stage.

INTRODUCTION

Depuis plusieurs décennies, les changements intervenus dans les systèmes de production agricole, comme la modification des rotations et des pratiques culturales, et l'extension des cultures sur des terrains en pente, considérés marginaux autrefois, ont conduit à une multiplication des signes d'érosion hydrique des sols dans le Sud Aveyron, et plus particulièrement dans la zone des Rougiers de Camarès.

Dans ce contexte, une première phase travaux de recherche menée par l'Orstom (voir présentation du centre et du laboratoire en annexe 1) et la Chambre d'Agriculture de l'Aveyron sont orientées vers deux types d'études complémentaires. Le premier type aborde la compréhension des mécanismes à diverses échelles : de la parcelle expérimentale de quelques mètres carrés sous pluie simulée (Moussa, 1994) ou de la parcelle cultivée (Assogba, 1995 et Galibert, 1996) jusqu'aux bassins versants. Ces travaux s'intéressent principalement à l'identification des facteurs intervenant sur l'ensemble du processus érosif ainsi qu'à leur classification au sein d'un système hiérarchique.

A un stade beaucoup moins avancé, le second type s'appuie sur les connaissances acquises lors des étapes précédentes pour développer des modèles spatiaux d'évaluation des risques d'érosion à des échelles moyennes (1/500 000 - 1/250 000) et sur des surfaces qui peuvent atteindre plusieurs milliers de kilomètres carrés. L'étude qui est présentée ici s'inscrit dans ce cadre là.

La télédétection spatiale, au travers des satellites dédiés aux ressources terrestres tels que les séries Spot, est un outil de nouvelle génération qui permet de caractériser la distribution spatiale de certains paramètres de la surface terrestre à un moment donné, sur une large zone et à un coût relativement faible. Par ailleurs, la capacité de visite fréquente et régulière des sites étudiés par les plates-formes satellitaires facilite l'introduction de variables temporelles et les résolutions spatiales aujourd'hui utilisées peuvent atteindre une précision cartographique considérée comme compatible avec des échelles de 1/25 000 - 1/50 000. Néanmoins la gamme de résolution actuellement disponible ne permet pas d'envisager une cartographie directe des signes d'érosion tels que les rigoles ou même les ravines.

Etant donné que la gamme de résolution actuellement disponible ne permet pas encore d'envisager une cartographie des signes directs d'érosion tels que les rigoles ou même les ravines (Mathieu *et al.*, 1993), il est nécessaire d'étudier des critères indirects révélant en surface la présence de phénomènes érosifs ou associés à l'érosion tels que par exemple la mise à nu des horizons sous-jacents des sols ou la modification des couvertures végétales, comme dans le cas des sols argilo-limoneux des Rougiers de Camarès.

Dans l'étude qui suit, nous proposons sur une zone test :

- de cartographier les zones affectées par l'érosion, à partir de données multitemporelles Spot ;
- de hiérarchiser, au niveau d'une unité spatiale de fonctionnement de l'érosion, les surfaces en fonction de leur sensibilité à l'érosion.

Présentation des Rougiers de Camarès

I/ LE MILIEU PHYSIQUE

1. Situation géographique :

Les Rougiers de Camarès se situent à l'extrême sud-ouest du département de l'Aveyron (voir figure n°1), et représentent une des six régions naturelles du département. Ils couvrent une superficie totale d'environ 170 000 hectares dont 84 000 hectares de surface agricole utile.

Les cantons concernés pour partie par cette zone sont : Belmont-sur-Rance, Camarès, Cornus, Saint-Affrique, Saint-Rome-de-Tarn et Saint-Sernin-sur-Rance.

2. Climat :

Trois influences climatiques interfèrent sur cette région :

- une influence océanique au printemps et à l'automne avec une dominance des vents d'ouest humides, provoquant des pluies à caractère orageux intervenant à une période où les sols sont souvent nus ou avec un faible couvert végétal (semis de printemps et d'automne) ;

- une influence continentale durant l'hiver, avec des gelées qui débutent en novembre ; quelque fois l'apparition de gelées précoces au mois d'octobre retarde l'installation du couvert végétal des cultures d'automne ;

- une influence méditerranéenne durant l'été, avec une dominance des vents du sud qui sont responsables d'une sécheresse très marquée aux mois de juillet et août (moins de 100 mm de pluie en moyenne sur deux mois) ; l'importance de cette sécheresse, accentuée par des températures élevées (supérieures à 27°C), frappe particulièrement les sols les moins épais, appelés localement coteaux maigres, où la végétation disparaît pendant l'été, exposant un sol dénudé aux orages d'automne ; cette sécheresse se situe entre le 25 juin et le 15 septembre.

Figure n°2

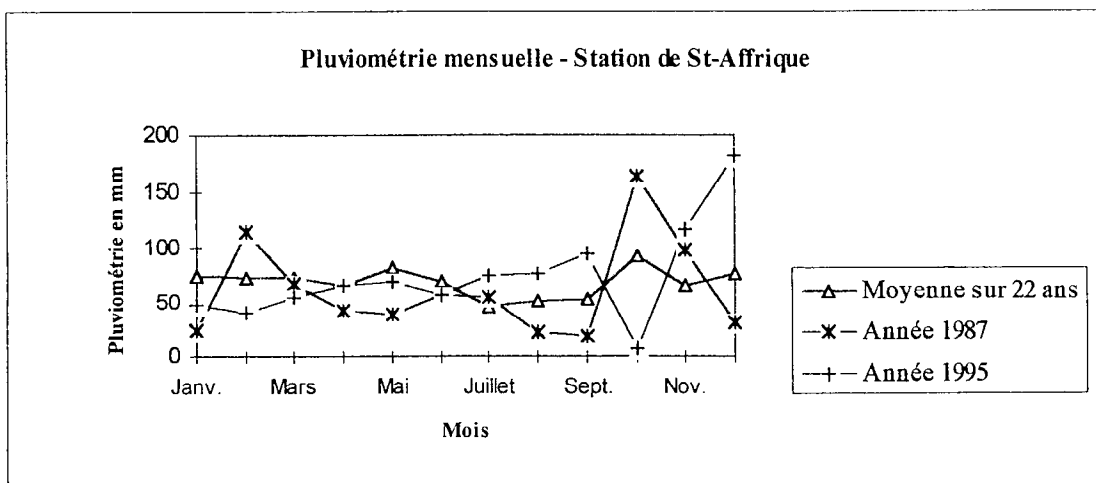
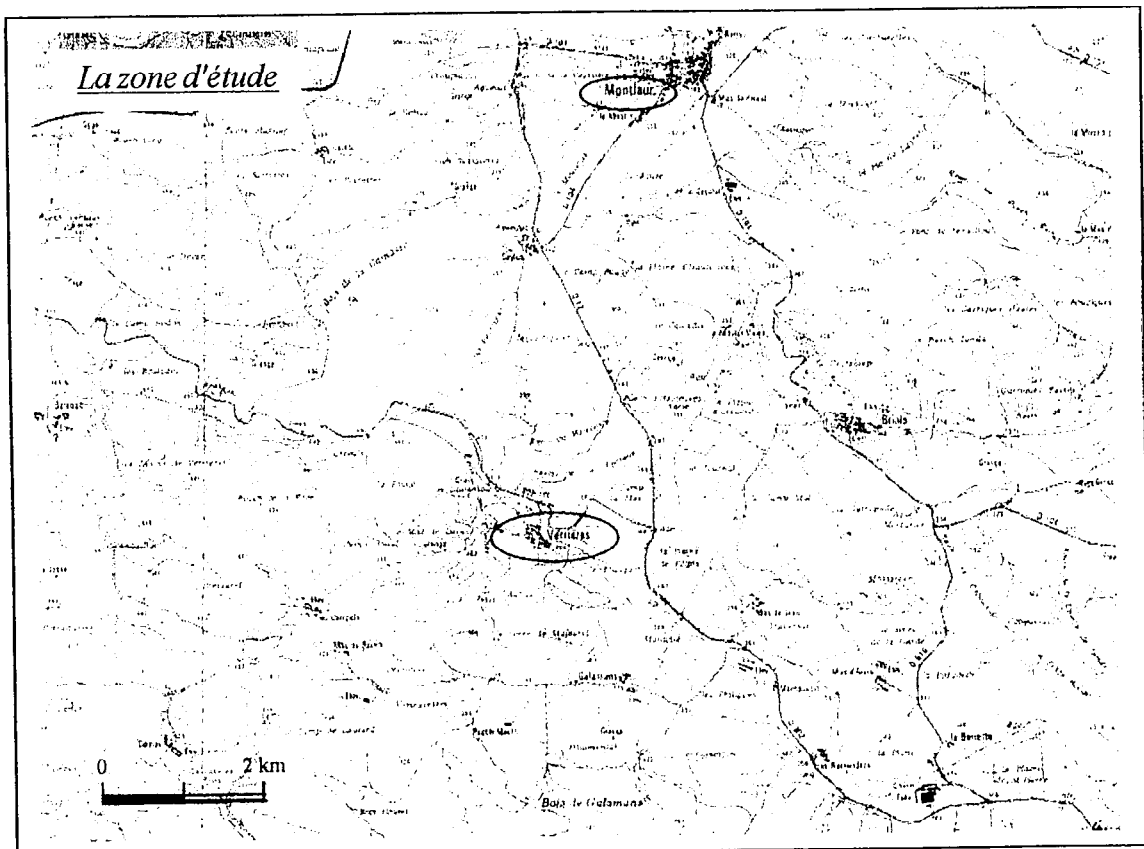
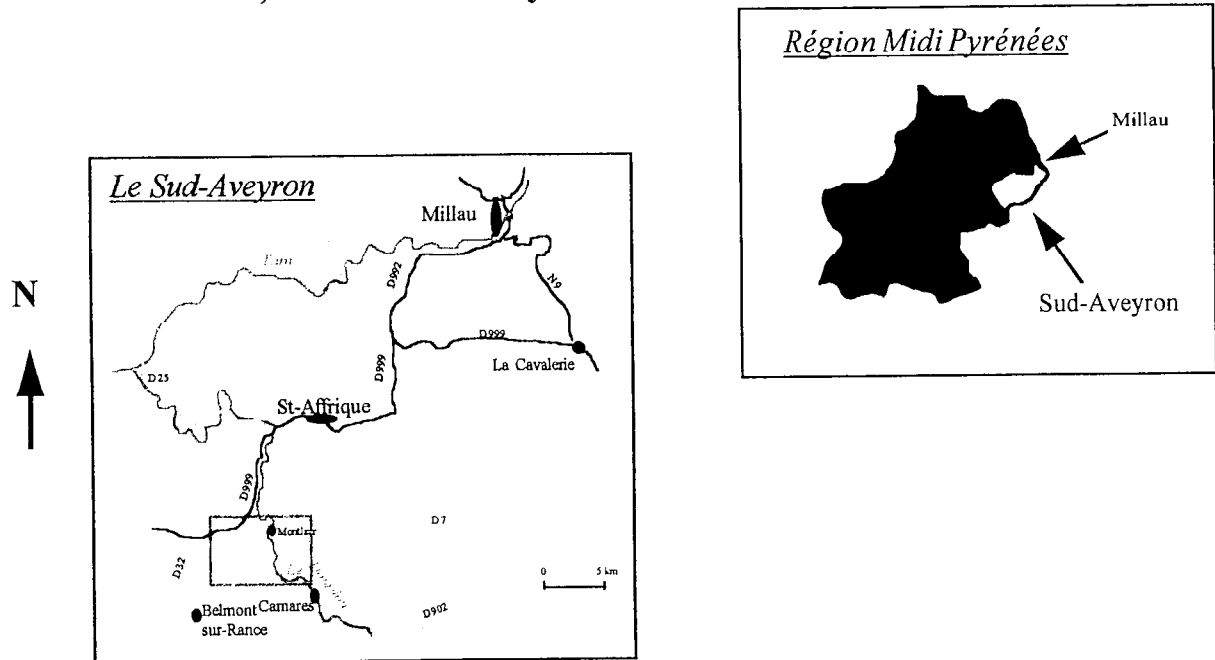


Figure n°1

Localisation géographique de la zone d'étude :
MONTLAUR, dans le sud-Aveyron



Source : IGN - Carte topographique au 1/25000 n° 2442 E

Pour l'ensemble des Rougiers, les données de la station météorologique de Saint-Affrique indiquent une moyenne pluviométrique annuelle de l'ordre de 800 mm, pour la période 1971 à 1992, ce qui fait des Rougiers une des régions les plus sèches du département avec deux pics à 80 mm en mai et octobre (cf. figure n°2). Cependant, ces données ne rendent pas toujours compte des orages locaux.

3. Géologie et formation des sols :

Le bassin de Camarès est constitué de terrains sédimentaires détritiques grésoschisteux (essentiellement schistes fins, grès de dureté variable, pélites et argilites) de la fin de l'ère primaire. Ils proviennent de l'érosion des plissements des Monts de Lacaune d'âge hercynien (Artis, 1995), suivie d'une sédimentation sous climat chaud et humide.

Les formations héritées de cette période sont disposées en une alternance de bancs de schistes, plus ou moins durs à cause d'un enrichissement en silice, et de bancs de pélites et d'argilites plus tendres et plus épais qui ont donné ces formes mollement arrondies caractéristiques des Rougiers.

Les roches qui constituent le sous-sol sont donc particulièrement friables (pélites, argilites) ou faiblement consolidées (grès, schistes), ce qui est une des raisons de leur fragilité et la sensibilité du sol à l'érosion. L'affaissement lent sous le poids des dépôts sédimentaires et le jeu des fractures ont provoqué une légère inclinaison d'ensemble des strates à l'origine du modelé actuel parfois sous forme de cuestas.

Par la suite, le Dourdou et la Sorgue, qui sont les principaux cours d'eau, et leurs affluents se sont mis en place. Ce réseau a vigoureusement érodé les interfluves mettant ainsi en valeur les différences de faciès et donnant naissance à un paysage très morcelé, vallonné, avec beaucoup de terrains en pente.

Le climat chaud et humide, régnant à l'époque, a provoqué la coloration rouge des sols, riches en oxydes de fer (phénomène de latérisation). Cette couleur dominante dans le paysage a donné son nom aux Rougiers.

4. Topographie :

La région des Rougiers est constituée d'une zone dépressionnaire entourée de monts et collines. La plaine est exploitée par une agriculture intensive, axée sur la production d'ovins-lait. Les cultures fourragères et céréalières sont vouées à l'alimentation du bétail. Les monts et collines des alentours (d'une altitude de 350 à 600 mètres), où l'exploitation est moins intensive, bénéficient d'un environnement plus bocager.

5. Unités pédopaysagères :

Dans son étude sur la cartographie des *pédopaysages*¹ du Sud-Aveyron (1996), V. Leconte identifie 17 types de paysages sur l'ensemble des Rougiers (cf. annexe 2), parmi

¹ La définition des mots en italique figure dans le glossaire.

lesquels la zone dépressionnaire des environs de Montlaur et les collines entourant la dépression.

Une unité pédopaysagère constitue une entité territoriale, bien caractérisée par sa morphologie, sa géologie, sa lithologie, sa végétation, les systèmes de cultures qui y sont pratiqués et par les sols qui s'y distribuent de façon non aléatoire (Leconte, 1976).

Nous nous intéressons plus particulièrement à la zone dépressionnaire, où existent 4 types de modelés qui peuvent s'expliquer par l'alternance grès/pélites (cf. figure n°3) :

- les zones régulièrement ondulées avec des successions de mamelons,
- les zones de succession de petites cuestas,
- les vallons,
- et la vallée du Dourdou.

Les zones mamelonnées sont développées sur une alternance grès/pélites mais avec des bancs de grès plus cohérents et plus épais qu'ailleurs (de 40 cm à 1,50 m). Ces mamelons constituent d'ailleurs des zones hautes dans le paysage et les villages sont généralement installés au sommet de ces formations (Verrières en particulier). Les sols développés sur ces bancs de grès sont en majorité des sols bruns plus épais, moins sableux que ceux développés sur pélites. Ils sont exploités en petites parcelles près des villages ou en plus grandes parcelles généralement cultivées en céréales.

Les zones de cuestas sont développées sur une alternance grès/pélites où les bancs de grès sont très minces (quelques centimètres) et moins cohérents. Le léger pendage des couches provoque un relief de cuestas. Les versants conformes (pente parallèle au pendage) et non conformes sont cultivés. Les sols sont plus pauvres et superficiels que sur les mamelons. De texture sablo-limoneuse, ils portent plus de marques d'érosion.

La succession de cuestas et mamelons correspond à l'unité paysagère appelée localement « les coteaux ». Ils sont situés sur des reliefs de 350 à 450 mètres d'altitude, de part et d'autre de la vallée du Dourdou où alternent des coteaux profonds et des coteaux maigres. Les coteaux profonds ont des pentes inférieures à 15 % ; les sols sont argilo-sableux et caillouteux, avec une épaisseur voisine de celle de la vallée et des combes. Les coteaux maigres ont une pente moyenne de 20 % ; les sols, d'une profondeur inférieure à 30 cm, sont très caillouteux et plutôt sableux.

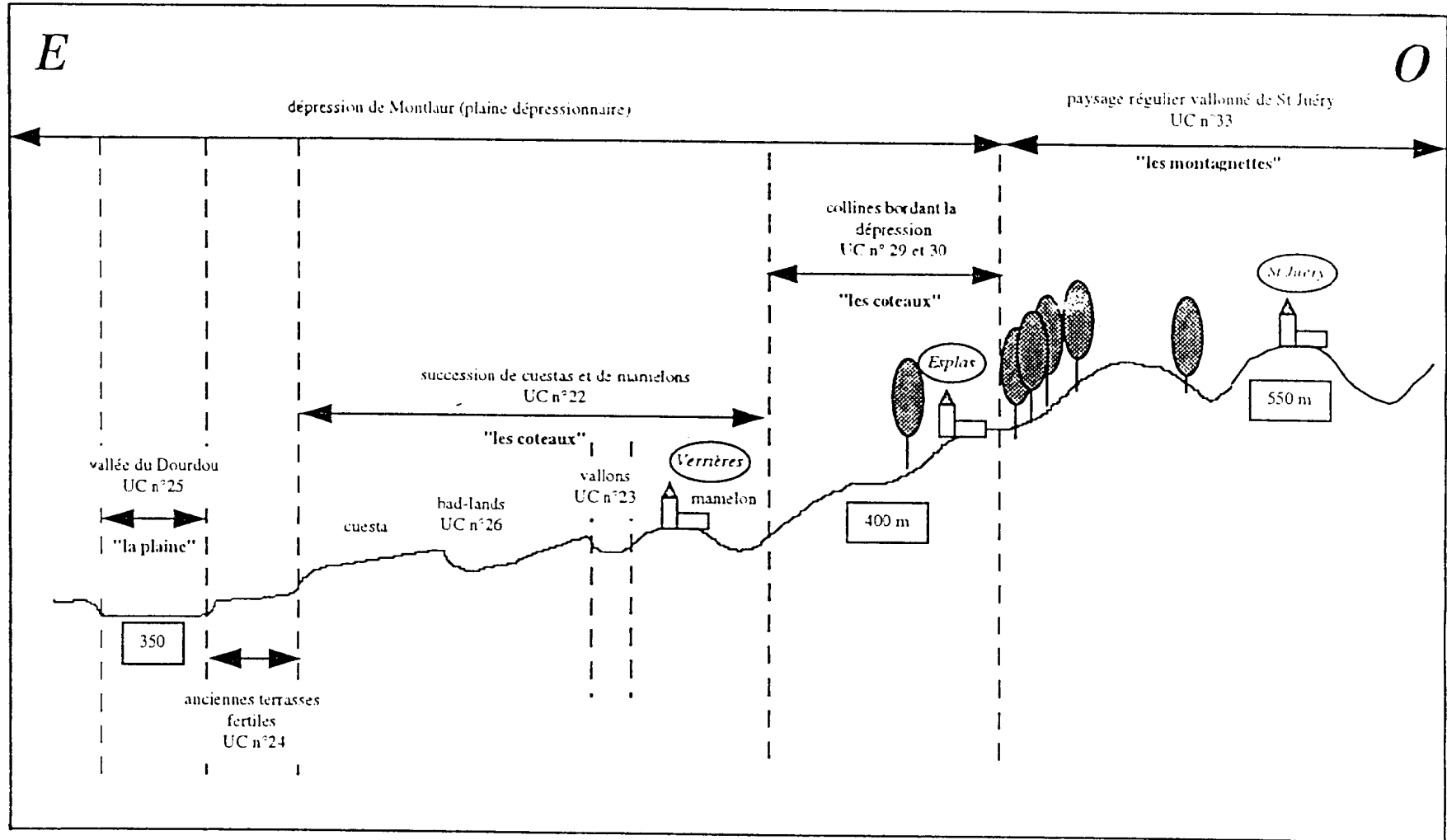
La vallée du Dourdou est située à 320 mètres d'altitude environ. Le sol, d'origine essentiellement alluviale, est battant et possède une tendance hydromorphe. Il est profond de plus de 50 cm. Les vallons, entaillés ou non d'un ruisseau, sont constitués de sols alluvio-colluviaux profonds, argileux ou argilo-limoneux.

Sur l'ensemble des monts et collines entourant la dépression, la proportion de bancs de grès est plus importante que celle observée pour la zone dépressionnaire. Les sols y sont peu variés : essentiellement rankers et sols bruns développés sur grès et pélites, qui se débitent en plaquettes un peu plus épaisses.

Les reliefs situés à des altitudes de 450 à 600 m, appelés « montagnettes », sont cultivés au niveau des replats sommitaux et des pentes les plus faibles.

Figure n°3

Coupe schématique du bassin permien des Rougiers



Source : Leconte V., 1996. Cartographie au 1/250.000 des pédopaysages du Su-Aveyron.

II/ LE CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE

1. Historique des activités agricoles : l'intensification et la réduction du couvert végétal :

Avant les années 1950, l'agriculture pratiquée dans les Rougiers était autarcique et diversifiée (Guillerm, 1994). A partir de cette date, le désenclavement de la région, le développement de l'économie de marché et la traction mécanique se sont accompagnés d'un remembrement et d'un regroupement des parcelles. La spécialisation ovins-lait (pour la fabrication des fromages de Roquefort) et la concurrence croissante au sein de l'Union Européenne ont provoqué l'intensification des productions, la récupération des terres marginales (déboisement) et l'emploi de machines puissantes. Les dispositifs (terrasses, haies, bosquets) permettant de couper les pentes et de limiter le ruissellement ont disparu et le paysage s'est simplifié.

Cette intensification s'est certainement produite, au départ, préférentiellement dans la zone dépressionnaire, sur les pentes les plus faibles (vallée du Dourdou et pentes faibles des coteaux profonds). Puis des terres ont été progressivement gagnées sur les bois sur les pentes plus fortes des coteaux maigres. Ces sols, plus sensibles à l'érosion ont alors été de plus en plus dégradés au cours des années.

En revanche, la zone des montagnettes semble avoir subi une intensification moindre. Les cultures qui y sont pratiquées sont plus couvrantes (prairies et cultures fourragères) et les bois occupent encore près de 25 à 30 % de l'espace. L'intensification semble donc avoir joué un grand rôle dans le développement des processus d'érosion.

Face à la crise du secteur agricole des 15 dernières années (baisse des prix des produits agricoles, augmentation des coûts de production, application des quotas dans le secteur laitier, baisse des rendements liée à la généralisation des phénomènes d'érosion...) et vu la dégradation évolutive des sols, les agriculteurs ont quelque peu modifié la façon de conduire leurs activités. Malgré la faible extension du marché du fromage de Roquefort, la production de lait de brebis reste une sécurité pour les exploitations de la région, les marchés des viandes bovine et ovine étant actuellement en difficulté.

2. Evolution de l'utilisation des terres agricoles :

L'analyse du dernier recensement agricole sur les trois cantons représentatifs des Rougiers (Belmont-sur-Rance, Camarès, St-Sernin-sur-Rance) montre que la surface totale des exploitations reste stable (Guillerm, 1994). Par contre les surfaces toujours en herbe ont fortement diminué (moins 25%). On constate une évolution très nette vers des cultures qui nécessitent un labour tous les 1 à 3 ans au détriment des couverts végétaux permanents qui assuraient une protection contre le ruissellement des eaux de pluie : 65% vers des prairies artificielles (ray grass italien et luzerne), 14% vers des céréales à pâturer et 14% vers des friches (abandon et reprise de l'érosion). En moyenne, plus d'un tiers de la surface agricole est retournée chaque année, mais cette moyenne cache des disparités inter-exploitations en fonction du niveau d'intensification du système fourrager.

De même, les méthodes de cultures ont elles aussi évolué dans le temps. Au sous-solage réalisé au ripper dans les années 70, afin d'augmenter la profondeur de terre, les

agriculteurs préfèrent aujourd'hui les labours profonds (25 à 30 cm) qui remontent les éléments schisteux du sous-sol en surface. Ces éléments grossiers seront ensuite pulvérisés par des passages répétés d'outils puissants de préparation du sol (herse rotative, cultipaker...).

Enfin le travail du sol dans le sens de la pente a toujours été pratiqué, mais ces conséquences sont plus néfastes depuis le regroupement des parcelles et le défrichage des hauts de coteaux. Depuis 20 ans, on compte 4 remembrements sur la zone qui concernent un total de 5510 hectares, dont 1626 sur la commune de Montlaur. Ainsi, des longueurs de pente plus importantes ont été créées, où aucun obstacle ou discontinuité ne vient freiner l'eau qui ruisselle et s'accélère, entraînant une perte du sol sur son passage.

En fait, les agriculteurs ne réalisent pas toujours la fragilité de leur sol, pas plus qu'ils ne perçoivent les dégâts insidieux qu'entraînent les ruissellements et la perte de terre.

3. Préoccupations des agriculteurs :

Les préoccupations suivantes ont été identifiées à partir d'un diagnostic réalisé en 1992 par Kagone (cité par Guillerm, 1994) :

- des conditions difficiles de travail liées d'une part à l'activité de l'élevage (agnelages groupés et garde des brebis) et d'autre part à des pointes de travail occasionnées par la récolte des fourrages et les semis d'automne ;
- une faible production liée à la productivité du sol, à la valeur fourragère du foin produit, mais aussi à un déséquilibre sol-troupeau ; il s'en suit une marge moyenne dégagée par rapport au coût alimentaire inférieure à la moyenne départementale ;
- l'érosion qui représente une baisse de fertilité des sols et un handicap dans la conduite du travail du sol ; cette érosion contribue au déficit fourrager et détériore les capacités productives du milieu.

III/ L'ÉROSION SUR LES ROUGIERS DE CAMARES

L'érosion des sols fait partie de l'histoire des Rougiers. Lorsqu'ils sont interrogés sur leur perception du phénomène, les agriculteurs affirment que les accidents liés à l'érosion s'amplifient depuis une vingtaine d'années et leur inquiétude grandit (Guillerm, 1994).

1. Les différentes formes d'érosion

Le phénomène d'érosion se manifeste sur la zone des Rougiers, chaque année pendant les épisodes pluvieux printaniers, lorsque les sols sont encore peu couverts, ou lors des violents orages de fin d'été et d'automne sur des sols que les récoltes laissent également peu couverts. Aux manifestations spectaculaires (ravinement, glissement de terrain) s'ajoutent des phénomènes plus discrets, tels que des formations de griffes sur les versants ou des accumulations de terre, en bas de versant.

Les différentes formes d'érosion observées sont de trois types : érosion en nappe, érosion en rigoles et érosion en ravines (Artis, 1995).

L'érosion en nappes, qui touche les zones cultivées, est la forme la plus répandue sur la zone. Elle correspond à une dynamique ruissellement diffus, incapable d'inciser le sol. Cette forme d'érosion se manifeste sur les pentes faibles et provoque localement l'apparition de tâches de sol plus claires où la végétation pousse difficilement (voir photo n°1). La plupart des coteaux maigres seraient touchés par cette érosion insidieuse.

L'érosion en rigoles commence lorsque la pente favorise la concentration de l'eau. Elle forme des sillons dont la profondeur peut atteindre 10 à 20 cm. Le plus souvent, ces rigoles suivent les motifs de la topographie, notamment les fonds des vallonnements où la vitesse tractrice du ruissellement s'accélère avec la pente. Les travaux agricoles font parfois disparaître temporairement ces indices, mais l'emplacement des ravines ou des rigoles reste reconnaissable surtout sur les ruptures de pente où l'érosion régressive est très active. Sur les sols soumis aux passages fréquents des engins agricoles, le ruissellement suit de manière préférentielle les traces de roues.

Ces deux types d'érosion touchent 93% des coteaux et 75% de la surface totale de la commune de Montlaur.

L'érosion en ravines apparaît lorsque le tracé des rigoles conflue et que la pente s'accroît. Ces ravines sont de grande taille (quelques décimètres à plusieurs mètres de profondeur) et collectent les rigoles situées en amont. Leur formation est la conséquence de vitesses de ruissellement importantes. En évoluant, ces ravines s'élargissent et occupent la totalité de la surface du sol, ce qui conduit à un ravinement généralisé de sols et à la formation d'un paysage de "bad-lands" (voir photo n°2) avec abandon des cultures et absence de toute végétation sauf quelques touffes de thym. Le terme de bad-land signifie « mauvaises terres » et désigne les terrains ravinés par l'érosion torrentielle.

Cette forme d'érosion touche 9% des coteaux maigres de Montlaur.

2. Les causes

Différents facteurs contrôlent l'érosion et peuvent être hiérarchisés comme suit (Guillerm, 1994) : le climat, la topographie et le sol.

Bien que la répartition des pluies soit relativement régulière, avec une faible variation intermensuelle (cf. figure n°2), le climat constitue un élément déterminant. En effet, son agressivité est liée à l'intensité de chaque épisode pluvieux et la fréquence de ces intensités.

La présence d'une saison sèche très marquée, avec une évapotranspiration potentielle élevée, provoque le dessèchement des plantes herbacées ; celles-ci n'assurent plus la protection des sols, qui se trouvent ainsi exposés aux premières pluies d'automne, ces pluies prenant alors un caractère plus agressif.

La topographie est un facteur aggravant de l'érosion : le paysage est vallonné avec un modelé irrégulier. Les pentes sont travaillées jusqu'à 35% avec des longueurs pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres. Or la valeur de la pente conditionne la vitesse de l'eau et sa longueur intervient en augmentant la quantité d'eau qui ruisselle.

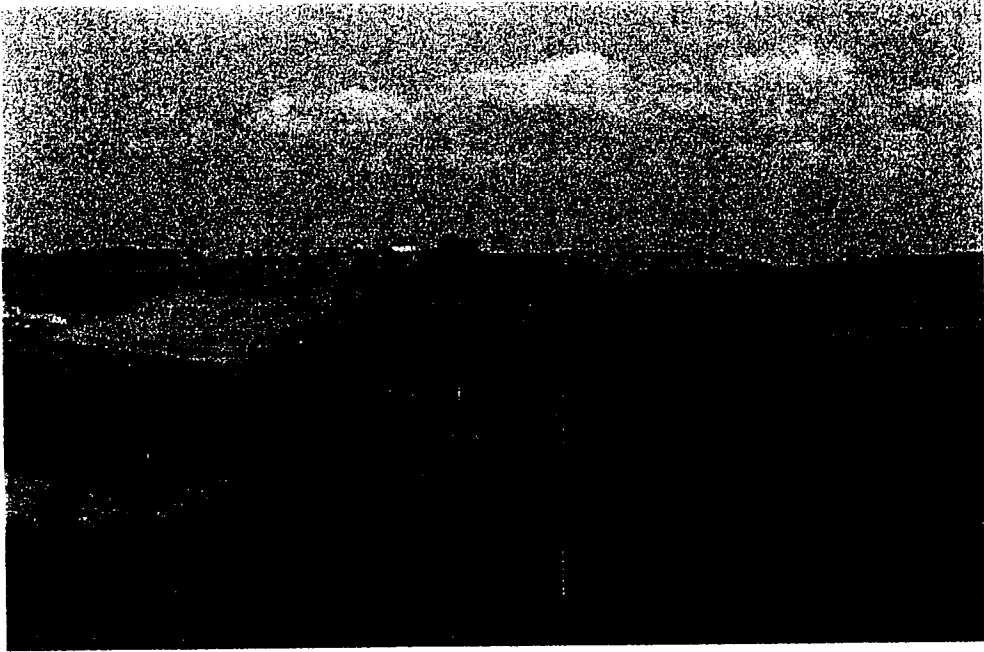


Photo n°1 : Erosion en nappes - St Juéry - Avril 1997

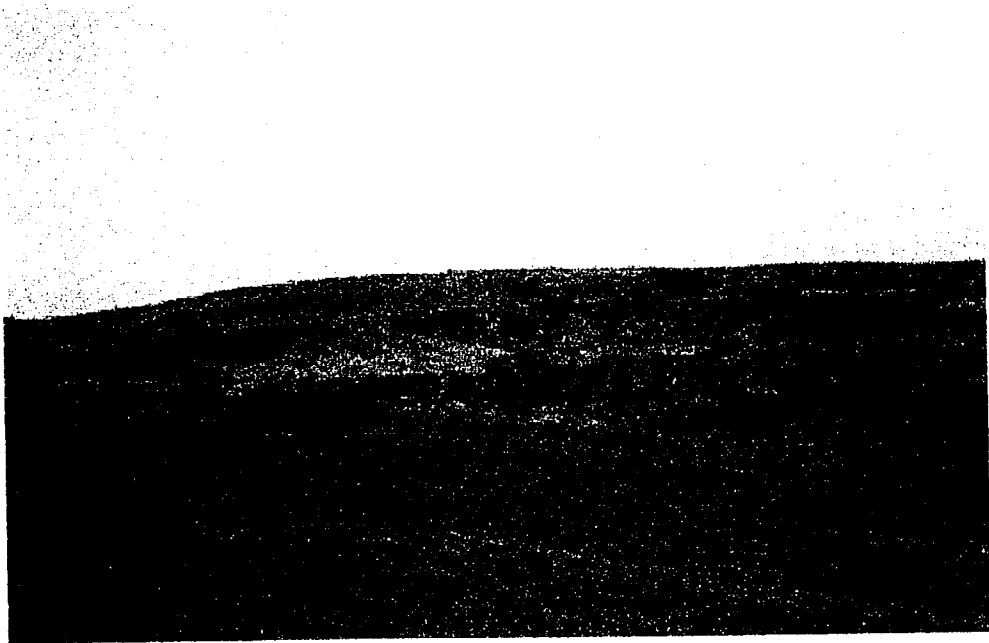


Photo n°2 : Bad-land, Erosion en ravines - Verrières - Avril 1997

Le sol lui-même est fragile. Ce n'est pas sa composition qui le fragilise : constitué de sables grossiers et d'argiles, il est protégé superficiellement de l'impact des gouttes par de nombreux cailloux. C'est sa faible profondeur qui en fait sa fragilité : sa capacité de stockage en eau est limitée par les barres schisteuses situées à 10 - 20 centimètres, ainsi que par sa richesse en sables grossiers et cailloux. Le sol étant rapidement saturé en eau, le ruissellement apparaît en surface, entraînant avec lui les éléments les plus fins.

3. Des conséquences diverses sur le milieu (d'après Artis, 1995) :

Dans les parcelles de culture, les dégâts essentiellement supportés par les agriculteurs sont surtout liés au transfert de sol au sein même de la parcelle. Ils se traduisent par l'arrachement de plants, la destruction de semis par ravinement ou le recouvrement de semis en bas de parcelle.

Les ravinements, qui créent un obstacle pour les opérations culturales, obligent à travailler les parcelles en morceaux. Ils augmentent ainsi les temps de travail et les coûts de production, du fait des remises en état nécessaires.

L'économie en eau du sol peut être perturbée par la diminution de la réserve utile (lorsque l'épaisseur du sol diminue), mais également par l'imperméabilisation superficielle due à la formation d'une croûte de battance. Le ruissellement accru entraîne des pertes d'engrais et de produits de traitement qui occasionnent des phénomènes de phytotoxicité en bas de parcelle.

Les pertes en sol cumulées peuvent constituer une perte de patrimoine lorsqu'elles ont des conséquences directes sur la réserve utile en eau pour les sols peu épais, ou lorsque l'ablation sélective des éléments fins et des matières organiques augmente la sensibilité à la dégradation de la structure du sol.

La dégradation des chemins d'exploitation touchent également les agriculteurs. De la même manière, le sapement des chaussées posent problème aux collectivités, notamment pour le financement des réparations des dégâts d'orage (curages de fossés, réfection d'ouvrages, de chaussées).

Les engravements et salissement de chaussées nécessitent des travaux de déblaiement et nettoyage. Souvent comptabilisés dans des travaux d'entretien de la voirie, leur poids peut être toutefois important pour le budget d'une petite commune.

Le colmatage progressif ou le comblement des réseaux de collecte des eaux pluviales et des ouvrages de protection (bassin d'orage) peut causer des défaillances et entraîner des dégâts. Ces risques sont aggravés par le manque d'entretien courant.

Les collectivités sont également concernées par la dégradation de la qualité des eaux. Les transferts de matières solides peuvent avoir des conséquences néfastes sur la qualité des eaux superficielles. La turbidité des eaux provoque l'envasement et le colmatage des lits des cours d'eau, participant ainsi à la dégradation de leur qualité piscicole et perturbant les échanges nappes-rivière. Les pollutions azotées sont liées au développement du ruissellement dans les parcelles de culture, néfaste pour la potabilité des eaux. Elles représentent également des pertes pour les agriculteurs.

4. Un programme d'actions concertées pour lutter contre l'érosion :

Face à ces risques de dégradation des terres et des infrastructures, les responsables agricoles des Rougiers ont initié un programme d'actions concertées pour promouvoir la conservation des sols. La Chambre d'Agriculture de l'Aveyron a mis en place une station expérimentale au début des années 1990, avec l'appui d'organismes de recherche : l'INRA², l'ITCF³ et l'ORSTOM (Barthès *et al.*, 1997).

Les travaux développés par cette station portent sur la recherche d'espèces fourragères assurant un couvert pérenne (trèfles annuels, luzerne médic, associations graminées-légumineuses) et sur l'adaptation des itinéraires techniques (travail du sol, apports). Des travaux ont également concerné la mise en place de barrières anti-érosives filtrantes (haies, bandes enherbées).

Parallèlement à ces actions, dans le cadre du programme agri-environnemental de Midi-Pyrénées, l'ADASEA⁴ proposait dans les Rougiers, des mesures incitatives de conversion des terres arables en herbages extensifs sur les pentes supérieures à 15%.

5. Problématique :

Il ressort de cette présentation que les coteaux maigres sont plus sensibles à l'érosion que les coteaux gras. Cependant ces derniers présentent également des risques à terme, en raison de l'exploitation intensive qui en est faite. Il serait alors intéressant de pouvoir les spatialiser dans une optique d'aide à la décision, au niveau des politiques d'aménagement agricole et rural, pour la protection des terres contre l'érosion.

Les techniques actuelles de télédétection à partir d'image satellitale et l'utilisation d'un modèle numérique de terrain constituent un moyen d'observation et d'analyse que nous nous proposons d'exploiter pour obtenir une cartographie des zones sensibles à l'érosion.

Plusieurs facteurs, détectables sur image satellite, déterminent l'ablation et l'accumulation de matériaux dont les principaux sont : la pente, la nature du sol et le couvert végétal. Tant que la végétation est couvrante et protège le sol, la pente et les autres facteurs ont un effet très réduit. Ainsi, en l'absence de toute perturbation au niveau de la végétation, les propriétés de sol se conservent.

Le risque d'érosion apparaît avec l'exploitation du sol et de la végétation sous ses formes diverses. Il croît avec l'intensité de cette exploitation, le plus souvent agricole, au point que l'érosion se manifeste même sur les pentes faibles. Le milieu est alors agressé par l'homme et devient agressif pour ce dernier, l'érosion affectant à la fois les cultures, les voies de communication, l'habitat, etc...

C'est sous cette vision et au moyen des outils de télédétection spatiale que vont s'effectuer la cartographie et l'analyse des risques d'érosion dans le bassin des Rougiers de Camarès.

² INRA : Institut national de recherche agronomique

³ ITCF : Institut technique des céréales et des fourrages

⁴ ADASEA : Association départementale pour l'aménagement des structures des exploitations agricoles

Spatialisation des zones sensibles à l'érosion par télédétection

I/ PRINCIPES ET OBJECTIFS :

1. La télédétection, science et technique de la détection à distance :

La télédétection se définit comme « l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contacts matériels avec ceux-ci » (COMITAS 1988).

L'image satellite est une image numérique, c'est-à-dire un assemblage de pixels, ou surfaces élémentaires, référencés en ligne et colonnes formant un maillage régulier de la surface totale balayée par le *capteur*. Chaque *pixel*⁵ contient une somme d'informations codées par les valeurs des comptes radiométriques et les coordonnées en pixels.

A chaque surface élémentaire de l'image correspond autant de mesures numérisées qu'il existe de canaux. Il existe 256 (0 à 255) valeurs radiométriques possibles définissant une mesure de l'intensité de la lumière solaire réfléchiée par la surface terrestre ayant atteint le capteur en orbite. Cette intensité, appelée *luminance*, est donnée dans chaque *canal*. De même il existe 256 niveaux de gris différents dans la table de codage associée à l'image : chaque valeur radiométrique est représentée par un niveau de gris.

La résolution au sol correspond à la taille réelle d'un pixel : elle vaut 20 m x 20 m pour une image Spot multibande (XS).

L'interprétation d'images requiert un certain nombre de prétraitements :

- les corrections géométriques, qui sont liées à l'attitude du vecteur. Il s'agit de corriger les effets des différents mouvements secondaires du satellite (lacet, roulis, tangage) enregistrés à bord, qui déforment la géométrie de l'image ;
- la transformation de l'image satellitale dans un système de projection cartographique traditionnel ;
- le renforcement des contrastes de l'image pour l'optimisation de l'exploitation future des données.

2. Objectifs de l'étude :

Il s'agit de réaliser la cartographie (échelle 1/50 000) des formes d'érosion à partir de l'interprétation de données satellites Spot. L'analyse d'une image, à deux dates différentes, devrait montrer l'extension des terres agricoles sur forte pente et l'évolution des phénomènes d'érosion.

Les Rougiers de Camarès s'étendent sur 1700 km². Le recours aux images satellites (3600 km²) permet d'assurer une couverture géographique complète de cette région. Outre cet aspect, l'apport de la télédétection s'exprime également par la possibilité de cartographier simplement et rapidement un phénomène. La cartographie réalisée reflètera, à la date de prise de vue des images, l'état et la répartition des zones affectées par l'érosion.

⁵ Les termes en italique sont définis dans le glossaire.

Le travail présenté dans ce rapport qui clôture le stage réalisé au Laboratoire d'études du Comportement des Sols Cultivés de l'Orstom, correspond à une phase de recherche méthodologique pour atteindre ces objectifs. Il a été basé sur l'exploitation d'une zone support afin de tester une démarche d'interprétation.

Le choix de la zone test a été guidé par les activités du Laboratoire d'études du Comportement des Sols Cultivés, dans la région sur le site de Verrières plus précisément. Elle concerne donc une partie de la commune de Montlaur et ses environs (cf. figures n°1 et n°4). Sa taille, environ 3000 hectares, a été sélectionnée de manière à :

- éliminer des informations « parasites » (nuages, couvert forestier) susceptibles de générer une confusion des thèmes analysés ;
- englober des surfaces de bad-lands facilement repérables par leur taille ;
- disposer de références de terrain pour l'interprétation des données satellitales.

3. Méthodologie générale d'utilisation de la télédétection en pédologie : (d'après Dubucq, 1986)

L'interprétation de l'imagerie spatiale en pédologie se heurte aux mêmes problèmes que ceux rencontrés avec les photographies aériennes. L'image obtenue est le résultat de l'énergie réfléchie sur les différents objets à la surface du sol et captée par le satellite. Cette surface est recouverte bien souvent par la végétation spontanée ou les cultures. En outre, même si la surface du sol est nue, des sols différents peuvent avoir des luminances identiques. A l'inverse, des sols identiques peuvent avoir des luminances différentes (Naert, 1977). Les quantités d'énergie réfléchies ou émises (thermiques) dépendent, d'une part, des conditions d'éclairage, d'autre part, de l'état de surface du sol, enfin de son environnement. De ce fait, un sol donné peut avoir dans le temps plusieurs *signatures spectrales*.

Il ne faut pas perdre de vue que toute donnée de télédétection est un instantané qui ne fournit d'informations que sur les objets existants au moment de la saisie. Donc, à chaque date de prise de données correspondra un classement des éléments observés dépendant des cycles naturels et des façons culturales.

L'extraction de l'information «aspect de l'érosion», à partir des données satellitales, pourra être directe ou indirecte, comme pour les photographies aériennes.

Dans le premier cas, l'analyse des images de sols nus ou peu couverts par la végétation permet de caractériser la surface des sols. Cette analyse est possible si des rapports étroits existent entre les données de télédétection, les caractères de la surface des sols et l'érosion. Nous savons que les effets apparents de l'érosion se manifestent en premier lieu à la surface des sols et que de telles relations existent. On raisonne en terme de présence ou d'absence d'un paramètre considéré.

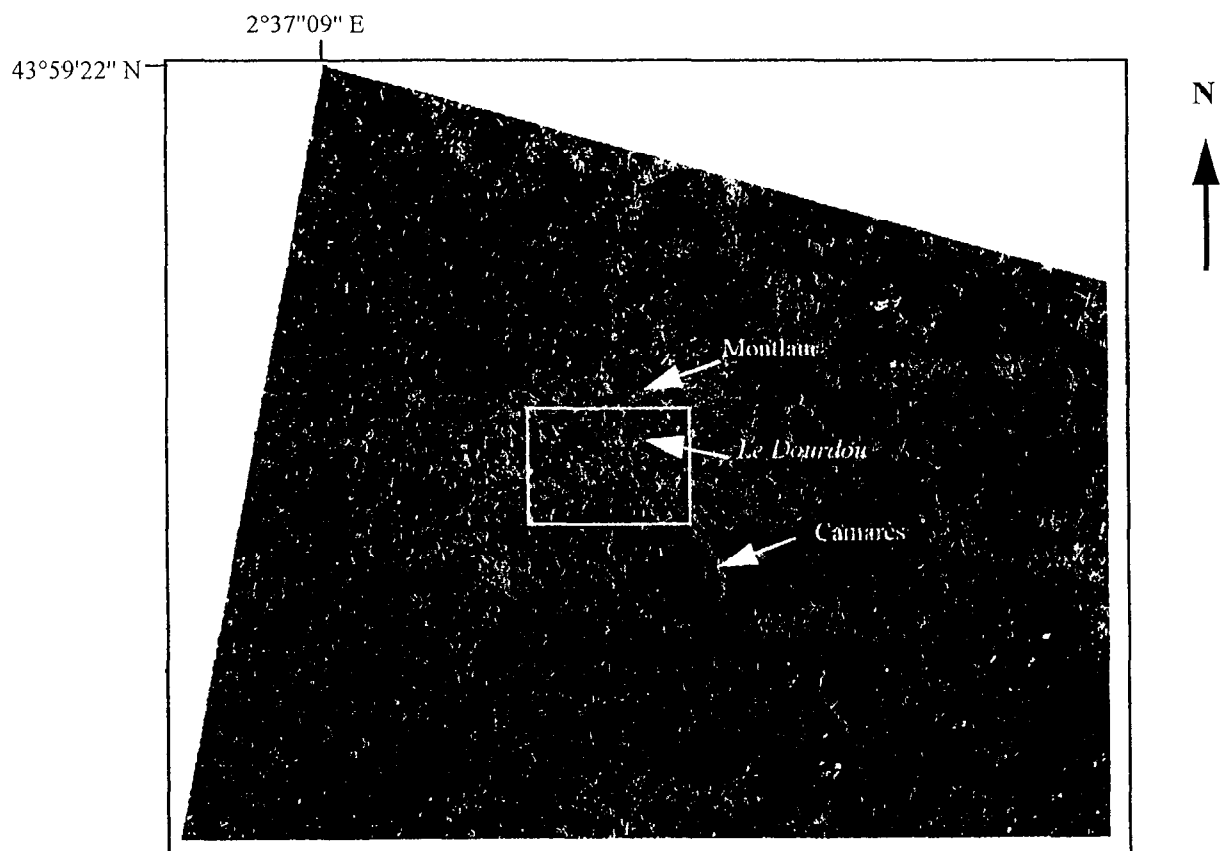
D'autres formes de dégradation sont, pour la plupart, invisibles mais peuvent dans certains cas être déduites grâce à des « indicateurs ». C'est l'extraction indirecte. Ces indicateurs seront :

- la végétation, dans le cas où elle est fortement influencée par les facteurs édaphiques ; les problèmes de stress de la végétation ont déjà été utilisés en photographie aérienne ;
- les structures spatiales telles que :

- * les aménagements humains : type de parcellaire, façons culturales, état des cultures et labours ;

Figure n°4

LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE SUR L'IMAGE RECALEE
DE LA SCENE SPOT REFERENCEE KJ 045-262



Echelle : 1/300 000
Composition colorée des 3 canaux
de l'image de 1995

- * les structurations caractéristiques liées au type d'érosion, soulignées par la couleur, les ombres et les formes de l'érosion hydrique ;
- * les évolutions saisonnières des états d'humidité.

Dans ce cas, l'analyse multitemporelle peut apporter des enseignements précieux : par exemple, le remplacement d'une zone boisée par des cultures indique une transformation de l'usage du sol et peut être un indicateur indirect d'une reprise de l'érosion.

II/ DONNEES ET MOYENS TECHNIQUES :

1. Données satellitaires :

L'ensemble de la zone des Rougiers de Camarès est observable sur deux images du satellite Spot. Le travail présenté ici, qui se limite à l'étude de la zone test de Montlaur, s'appuie sur une seule image (référéncée KJ 045-262⁶) acquise en 1987 (21 mai 1987) et en 1995 (12 avril 1995). Chacune des images est disponible dans un format *multibande* (vert, rouge et proche *infrarouge*) et numérique.

2. Prétraitement des données :

Les données numériques acquises par le satellite d'observation de la Terre SPOT sont traitées avec le logiciel TeraVue pour les travaux de correction et d'analyse.

Pour le rétablissement des données numériques dans un format et une géométrie conformes à une projection cartographique ou à une autre image, la méthode classique des points d'appui ou amers est ici employée. Elle s'appuie sur un modèle mathématique de déformation qui établit une relation entre les coordonnées cartographiques du système de projection utilisé (GDTA, 1993).

La démarche d'analyse et d'interprétation des informations numériques est testée sur deux imageries créées par extraction de chacune des images recalées géographiquement. La figure x précise leur position par rapport à l'image globale. Avec 220 lignes et 340 colonnes de pixels d'une résolution de 20 mètres, elles couvrent près de 3000 hectares, qui constituent la zone test.

3. L'exploitation des données satellitaires :

L'analyse visuelle constitue l'étape la plus simple et la moins coûteuse. La démarche suivie est identique à celle employée en photographie aérienne. Elle tend à prendre en compte, en plus des variations de niveaux de gris, des critères de texture (aspect local) et de structure (organisation et relations entre les éléments texturaux). Les données multibandes peuvent être étudiées canal par canal ou à partir de compositions de canaux (Dubucq, 1986).

⁶ Référence géographique de l'image dans la grille de référence Spot GRS. Le centre de cette image a pour coordonnées : 43°40'27'' de latitude et 2°55'24'' de longitude.

4. Les autres sources d'information :

La **carte des pédopaysages** du Sud-Aveyron au 1/250 000 (Leconte, 1996) renseigne sur la proportion et la répartition des coteaux gras et des coteaux maigres (cf. figure n°5) dans chacune des unités cartographiques définies. Ces informations ont contribué à guider le choix de la zone test.

Figure n°5

Proportion des coteaux gras, coteaux maigres, parcelles de plaine et des bad-lands au sein des unités cartographiques (UC) de la zone dépressionnaire (d'après Leconte, 1996)

UC	% plaine	% coteaux gras	% coteaux maigres	% bad-lands
22	10	25	50	15
23	100			
24		100		
25	100			
26			5	95
27	5	60	35	

La **carte topographique** au 1/25.000 de Belmont-sur-Rance (IGN, 1982) est consultée pour faciliter le repérage des éléments structurants du paysage : villages, routes, rivières, ... et les zones de bad-lands au cours des étapes de classification. Par ailleurs, après l'obtention des premiers résultats de classification, elle permet la validation ou la remise en question de la localisation de bad-lands.

Afin d'obtenir des **références complémentaires de terrain** pour l'interprétation des données satellitales, une enquête de terrain, sur environ 220 hectares, a été réalisée⁷ afin d'identifier l'occupation du sol pour l'année 1995. Trois groupes de parcelles sont distingués en fonction des cultures :

- fort recouvrement : céréales, cultures fourragères (trèfle, luzerne, dactyle, ray-grass) ;
- moyen à faible : parcours, terme employé pour définir les superficies en herbe à faible productivité, exploitées en pacage par les troupeaux ;
- nul : sols nus (travaillés peu de temps avant la prise de vue).

L'utilisation des informations relatives aux pentes du terrain s'appuie sur l'exploitation d'un **modèle numérique de terrain**.

Un modèle numérique de terrain (MNT) est une représentation numérique et simplifiée du relief qui est reproduit par le codage des altitudes en chaque point d'une matrice. Le MNT utilisé ici est généré à partir des courbes de niveau numérisées de la carte topographique au 1/25.000 avec le logiciel Alliance⁸.

⁷ Etablie en mai 1997, lors d'un entretien avec deux agriculteurs de Verrières, à partir de leur assolement cultural de l'année 1995.

⁸ Alliance : logiciel développé par la société ICARE International, pour les systèmes d'information géographique.

III METHODOLOGIE :

La méthode utilisée procède selon différentes étapes successives, schématisées par l'organigramme de la figure 6.

1. Correction géométrique :

Elle vise à superposer directement et exactement l'image à une carte ou à une autre image. Les paramètres du modèle sont déterminés par une méthode de minimisation des moindres carrés appliquée sur une liste de points d'appui mettant en correspondance l'image à corriger et sa référence.

Cette correction se fait en deux temps :

- rectification par rapport à une référence cartographique : l'image 1995, déjà référencée géographiquement, est recalée par rapport à la carte topographique IGN réalisée dans le système de projection conique conforme de Lambert ;
- rectification image à image : l'image 1987 est recalée par rapport à l'image 1995 recalée.

2. Composition colorée :

Une composition colorée correspond à une combinaison de trois bandes spectrales. Une couleur fondamentale est affectée à chacune des composantes :

Canal	Longueur d'onde	Couleur affectée
XS 1	vert	bleu
XS 2	rouge	vert
XS 3	proche infrarouge	rouge

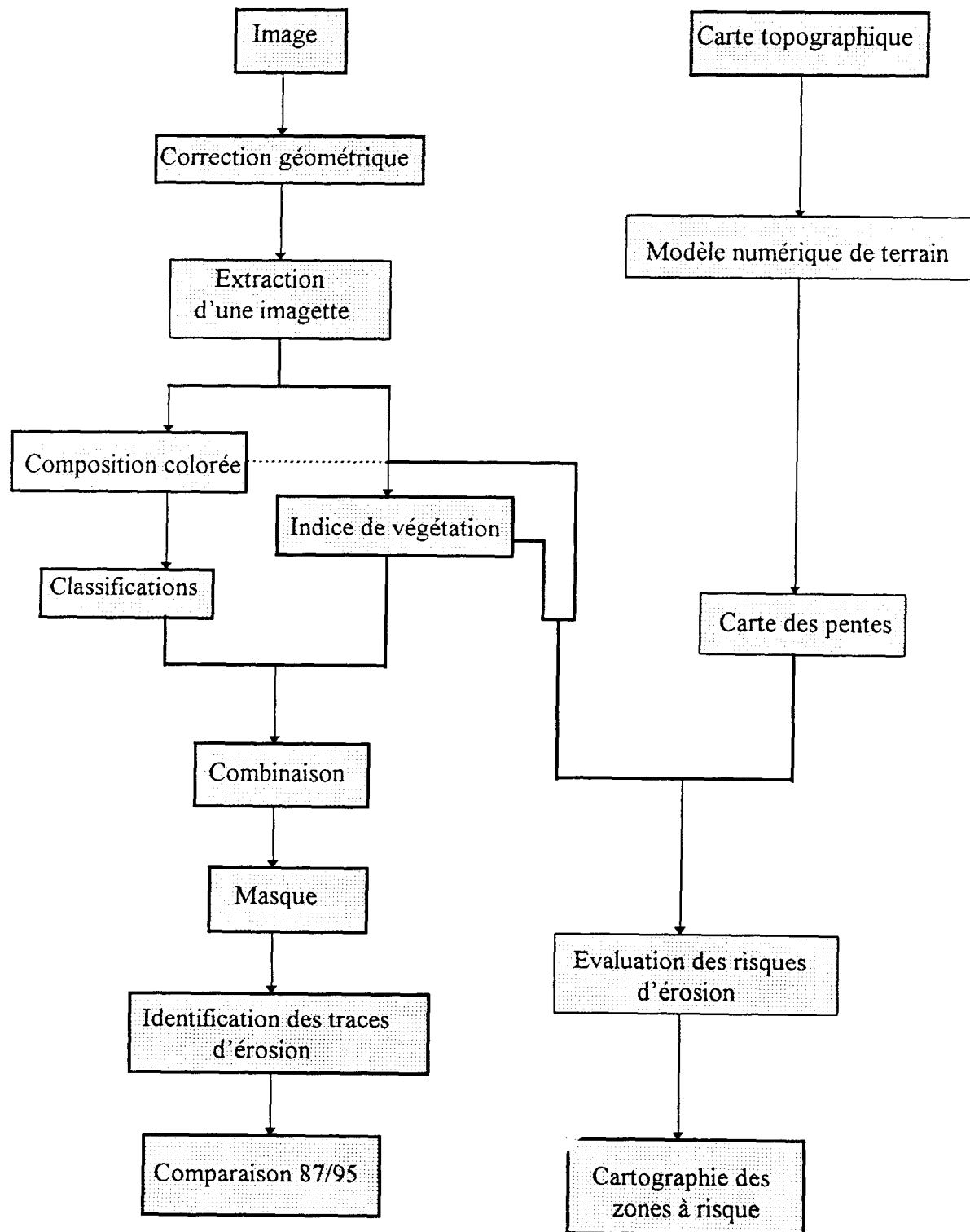
L'utilisation d'une composition colorée accroît considérablement la quantité d'information disponible. En effet, les données individuelles de chacune des trois bandes peuvent être représentées par des niveaux de brillance dans une image couleur. De plus, les variations dans les réponses spectrales des trois canaux apparaîtront comme des différences de couleur dans la composition colorée. Enfin, l'information complète des trois images initiales est contenue dans un seul document, évitant ainsi le passage d'une image à l'autre.

Diverses techniques permettant, soit d'affiner la perception visuelle de l'image, soit de mettre l'image sous une forme plus appropriée à l'analyse pourront être recherchées dans ce travail.

L'analyse numérique utilise des techniques informatiques qui permettent le classement en plusieurs catégories, d'objets possédant une répartition d'énergie plus ou moins semblable dans le spectre. On arrive ainsi à créer une signature spectrale et à émettre une hypothèse sur la nature de l'élément étudié (GDTA, 1992), en fonction d'une typologie déterminée par les références de terrain. On rejoint la démarche classique de photo-interprétation consistant à définir des « clés » d'identification ou d'interprétation visuelle d'objets.

Figure n°6

Représentation schématique de la méthodologie adoptée



3. Classification :

Les méthodes de classification (opérations sur les valeurs spectrales) permettent de faire correspondre des groupements de valeurs radiométriques dans les différents canaux à une thématique donnée. Le but est de rassembler en classe les points qui sont censés représenter les mêmes objets. La classification appliquée est de type dirigé, c'est-à-dire basée sur la connaissance de la zone d'entraînement, ou parcelles-test, à travers des données de terrain.

La signature d'une classe d'objets n'étant pas unique, dans la réalité, mais composée d'un certain nombre de signatures plus ou moins fréquentes, il peut être opportun de traiter celles-ci à partir de lois probabilistes : cette approche permet d'effectuer alors une segmentation du spectre suivant des règles de décision où les risques d'erreur sont minimisés par calcul de probabilités. La méthode de maximum de vraisemblance (règle de Bayes) est ici utilisée pour classer les images en fonction de la nature de l'occupation du sol (Bonn et Rochon, 1993).

L'intérêt de ce traitement consiste à localiser et à isoler, au moyen d'un masque, les surfaces où les traces d'érosion sont susceptibles d'être visibles. Il s'agit des zones de badlands, des sols nus et des parcours. Ces parcours occupent généralement les sols les moins fertiles et sont les plus sensibles à l'érosion, car partiellement dénudés en fin d'été.

4. Indice de végétation :

La détermination du taux de recouvrement du sol par la végétation est un des indicateurs fondamentaux pour pouvoir mesurer le taux de protection des sols vis-à-vis des pluies et du ruissellement (Bonn et Escadafal, 1996).

L'indice de végétation propose une lecture des extractions où la végétation active occupe la plage des fortes valeurs numériques et où les sols nus sont codés sur les valeurs les plus proches de 0 (représentées sur les images obtenues par le noir et les gris les plus foncés). Il donne la possibilité de quantifier l'activité chlorophyllienne, la densité du couvert végétal et par déduction les sols nus.

Comme plus de 90% de l'information spectrale sur un couvert végétal sont contenus dans les bandes rouge et proche infrarouge, ce sont ces deux bandes qui sont le plus souvent combinées (Baret et Guyot, 1991⁹).

Parmi les différents indices, celui qui est le plus fréquemment utilisé est la différence normalisée¹⁰ (NDVI) qui s'écrit :

$$NDVI^{11} = (\lambda \text{ Proche infrarouge} - \lambda \text{ Rouge}) / (\lambda \text{ Proche infrarouge} + \lambda \text{ Rouge})$$

où λ = valeur radiométrique dans le canal considéré

⁹ Cités par Guyot, 1996.

¹⁰ Guyot, 1996.

¹¹ NDVI : Normalized different vegetation index (proposé par Rouse et al, 1973).

Le NDVI est très largement utilisé en raison de sa grande simplicité ; il présente toutefois l'inconvénient d'être très dépendant des propriétés optiques du sol sous-jacent. C'est pourquoi d'autres indices sont proposés pour réduire les perturbations dues au sol, comme le SAVI proposé par Huete (1988).

$$\text{SAVI}^{12} = \left(\frac{\text{XS3} - \text{XS2}}{\text{XS3} + \text{XS2} + \text{L}} \right) \times (1 + \text{L})$$

La constante L est introduite pour minimiser l'effet de la brillance du sol ; l'auteur suggère 0,25 pour un couvert végétal dense et 0,5 pour un couvert intermédiaire.

5. Remarque : Utilisation d'autres indices pour caractériser les sols nus

Certains auteurs (Madeira, 1993 ; Bonn et Escadafal, 1996) proposent de travailler sur d'autres indices identifiant les états de surface des sols nus.

En effet, il est possible de caractériser rapidement le comportement spectral d'un sol dans le visible. Ces résultats sont actuellement appliqués à l'étude des rapports entre la couleur, la nature et l'organisation des constituants des sols (Escadafal *et al.*, 1988).

De plus, Pouget¹³ indique dans ses travaux que les processus d'érosion hydrique et éolienne modifient la couleur de surface et que leurs effets sur le milieu peuvent être détectés et suivis quantitativement et spatialement à un stade souvent difficilement détectable par d'autres moyens.

Ainsi, des indices de couleur et de rougeur - étant donné la couleur typique des sols des Rougiers - sont testés, sachant que l'indice de rougeur permet une meilleure appréciation des nuances de variation de couleur.

Cependant, les résultats obtenus ont confirmé que l'utilisation de ces indices en télédétection satellitale n'est pertinente que lorsque l'influence des autres caractéristiques de surface (humidité, végétation) est faible (Devineau et Zombre, 1996). En effet, étant donnée la proportion de sols nus observés (moins de 30%), il est impossible de détecter les nuances de leur couleur par de simples indices.

6. Combinaison et masque :

Les néo-canaux correspondant à la classification dirigée masquée et au NDVI sont combinés de manière à effacer les confusions qui pourraient exister entre les sols nus, les parcours et les bad-lands.

L'objectif est ici d'identifier les traces d'érosion en mettant en évidence les zones déjà érodées, regroupées sous le terme de « bad-lands ». Ces entités sont ensuite isolées pour effectuer la comparaison multitemporelle de leur extension.

¹² SAVI : Soil adjusted vegetation index.

¹³ Cité par Mougenot et Cailleau (1996)

7. Modèle numérique de terrain et carte des pentes :

La réalisation du MNT fait ressortir les formes de relief. Il permet ainsi d'en déduire les dynamiques d'écoulement des eaux au travers de la cartographie des bassins versants, utilisable dans le cadre de la réflexion sur les principes d'aménagement à entreprendre pour la maîtrise du ruissellement à l'échelle des bassins versants.

Egalement produite à partir du MNT, la carte des pentes est analysée parallèlement à la composition colorée afin de montrer la corrélation qui existe entre les critères « pente » et « nature de l'occupation des sols ». Cette exploitation devrait aboutir :

- à l'élaboration d'un arbre de décision pour définir le niveau de risque ;
- et à la cartographie des risques d'érosion.

IV/ RESULTATS :

A partir de l'image corrigée géographiquement, une imagerie correspondant à la zone d'étude est extraite. C'est sur cette extraction que sont appliqués les différents traitements décrits dans la partie méthodologique. Chacun d'eux donne lieu à des résultats qui servent de base au traitement suivant. Ainsi la comparaison des surfaces érodées (désignées par commodité par le terme de bad-lands), entre 87 et 95, découle des observations issues de la composition colorée, de la classification dirigée, de l'indice de végétation (NDVI) et enfin de la combinaison de ces deux dernières opérations.

1. Grands types d'occupation du sol caractérisés à partir de la composition colorée (voir figure n°7) :

La lecture de ce type de visualisation est très schématiquement la suivante :

- la végétation apparaît rouge : plus l'activité photosynthétique est intense, plus la végétation réfléchit l'infrarouge et plus les valeurs radiométriques enregistrées dans le canal XS3 sont élevées ; cette végétation a tendance à absorber l'énergie émises dans les longueurs d'ondes mesurées par le canal XS1 et le canal XS2, le rouge prédomine donc lors de son association au vert et au bleu ;
- les éléments minéraux apparaissent bleutés, selon un principe similaire mais appliqué aux canaux XS1 et XS2 ; les tons de bleu et cyan (bleu-vert) dominant lors de la visualisation des trois canaux.

A partir de ces constats, des documents disponibles au Laboratoire des Sols Cultivés et de l'enquête de terrain, il est possible de formuler des hypothèses sur l'occupation du sol. Ainsi on peut distinguer sur cette image 5 classes d'occupation du sol :

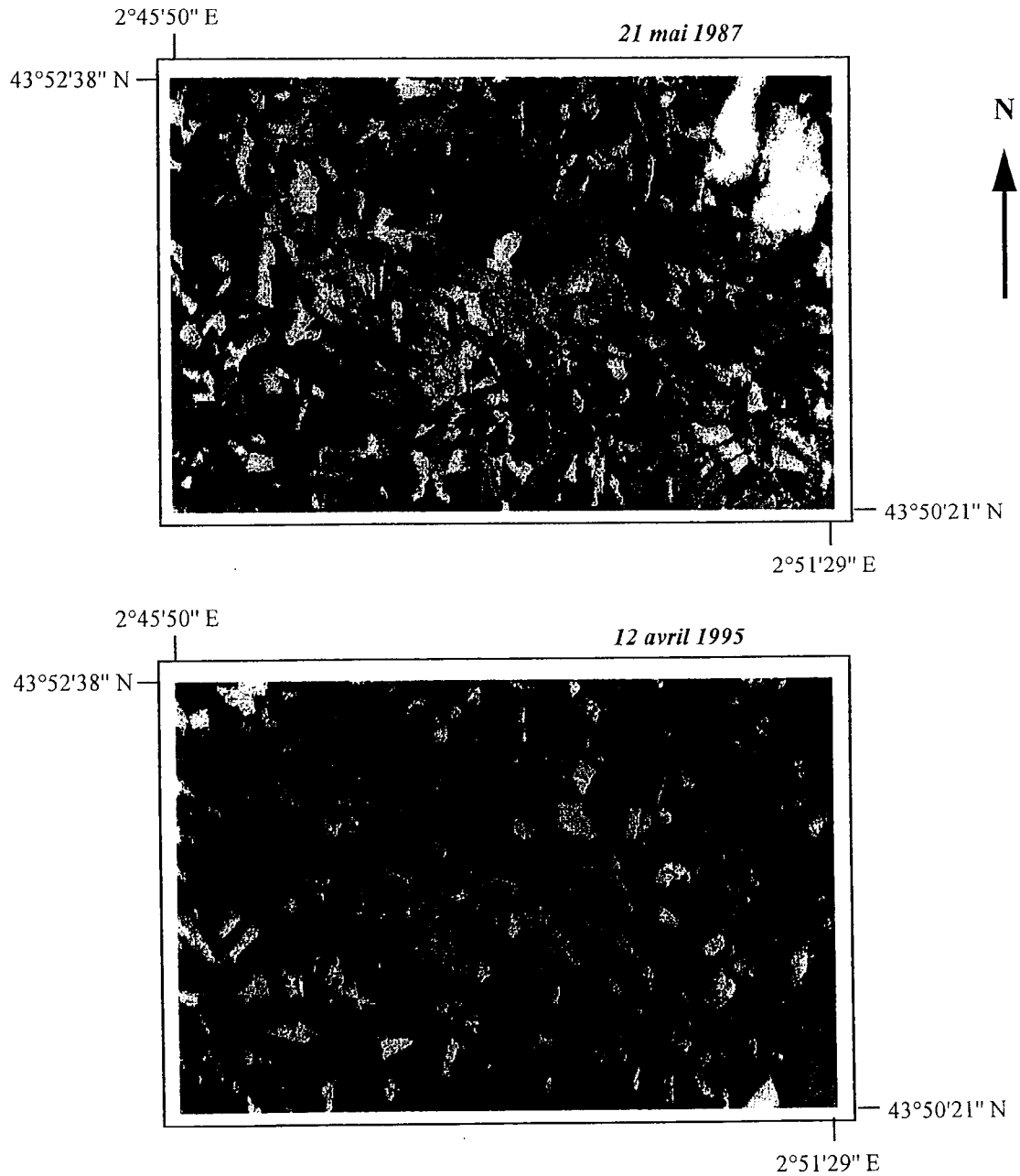
- très rouge : cultures en pleine croissance, notamment les céréales ou les cultures fourragères (luzerne, dactyle, ray-grass),
- rouge : cultures fourragères moins denses, c'est-à-dire de 3 ans d'âge ou moins si les sols sont érodés,
- bleu, bleu-vert : sols nus,
- vert-marron : parcours.

Figure n°7

COMPOSITION COLOREE











Extractions de l'image Spot référencée KJ 045-262

Projection conique conforme de Lambert



Légende :

1987 1995

- | | | |
|---|---|--|
|  |  | céréales, cultures fourragères à couvert végétal dense |
|  |  | cultures fourragères à couvert végétal moins dense |
|  |  | sols nus |
|  |  | |
|  |  | parcours |

0 1 2 km

Les traitements suivants permettront de valider ces hypothèses et d'affiner le zonage des différentes classes.

2. Les zones sensibles à l'érosion déterminées par une classification dirigée :

La résolution des pixels des images Spot étant de 20 mètres, il n'est possible de repérer directement que les traces d'érosion les plus étendues. On cherche donc au moyen de cette classification à sélectionner les zones où sont localisés des bad-lands. Les parcelles de référence, sur lesquelles est identifiée leur signature spectrale, sont repérées à partir des données cartographiques du fond topographique au 1/25000.

Les résultats de cette première classification montrent une certaine confusion dans l'identification de cette classe « bad-lands » ; en effet, la composition colorée les a répertorié soit comme sols nus, soit comme parcours.

Rappelons que les images satellites ont été prises au printemps. Aussi le signal radiométrique enregistré pour les surfaces de bad-lands est perturbé par la végétation qui redémarre, même si elle y est peu couvrante. A la saison considérée, il apparaît donc difficile d'associer aux bad-lands une signature spectrale propre. Pour obtenir cette information, il conviendrait de réaliser la prise de vue en fin d'été (septembre) lorsque la végétation a subi les conséquences de la sécheresse et se trouve très clairsemée.

Les renseignements obtenus permettent de conclure que les trois classes « bad-lands », « sols nus » et « parcours », isolées par une seconde classification (voir figure n°8) présentent des états de surface peu différents. Ainsi nous pouvons déjà dire que les zones sensibles à l'érosion se trouvent dans ces classes puisqu'elles contiennent les traces du stade ultime d'un sol érodé.

3. La répartition des sols nus déduite par le calcul de l'indice de végétation :

La lecture des images, présentée sur la figure n°9, se fait selon les principes suivants :

- plus le niveau de gris est clair, plus la surface réfléchit l'énergie lumineuse, donc plus la couverture végétale est dense ;
- plus le niveau de gris est foncé, plus la surface absorbe l'énergie, donc moins le sol est couvert ; le dégradé va jusqu'au noir, qui représente les sols nus.

Cette image met en évidence les contours des surfaces classées « sols nus ». Ainsi, si ces contours sont indéfinis, il s'agit de bad-lands. Par contre, s'ils sont bien définis avec des formes plus ou moins géométriques, ces surfaces correspondent à des champs cultivés, temporairement nus : pendant la période qui sépare la récolte et la mise en place de la culture suivante. Le risque érosif est d'autant plus grand que ces sols sont en situation de pente et que cette dénudation est longue et répétée : cas des monocultures céréalières, peu fréquent, ou des rotations céréales à pâturer - cultures fourragères à courte durée (ex. ray-grass).

Figure n°8

CLASSIFICATION DIRIGEE

Extractions de l'image Spot référencée KJ 045-262

Projection conique conforme de Lambert

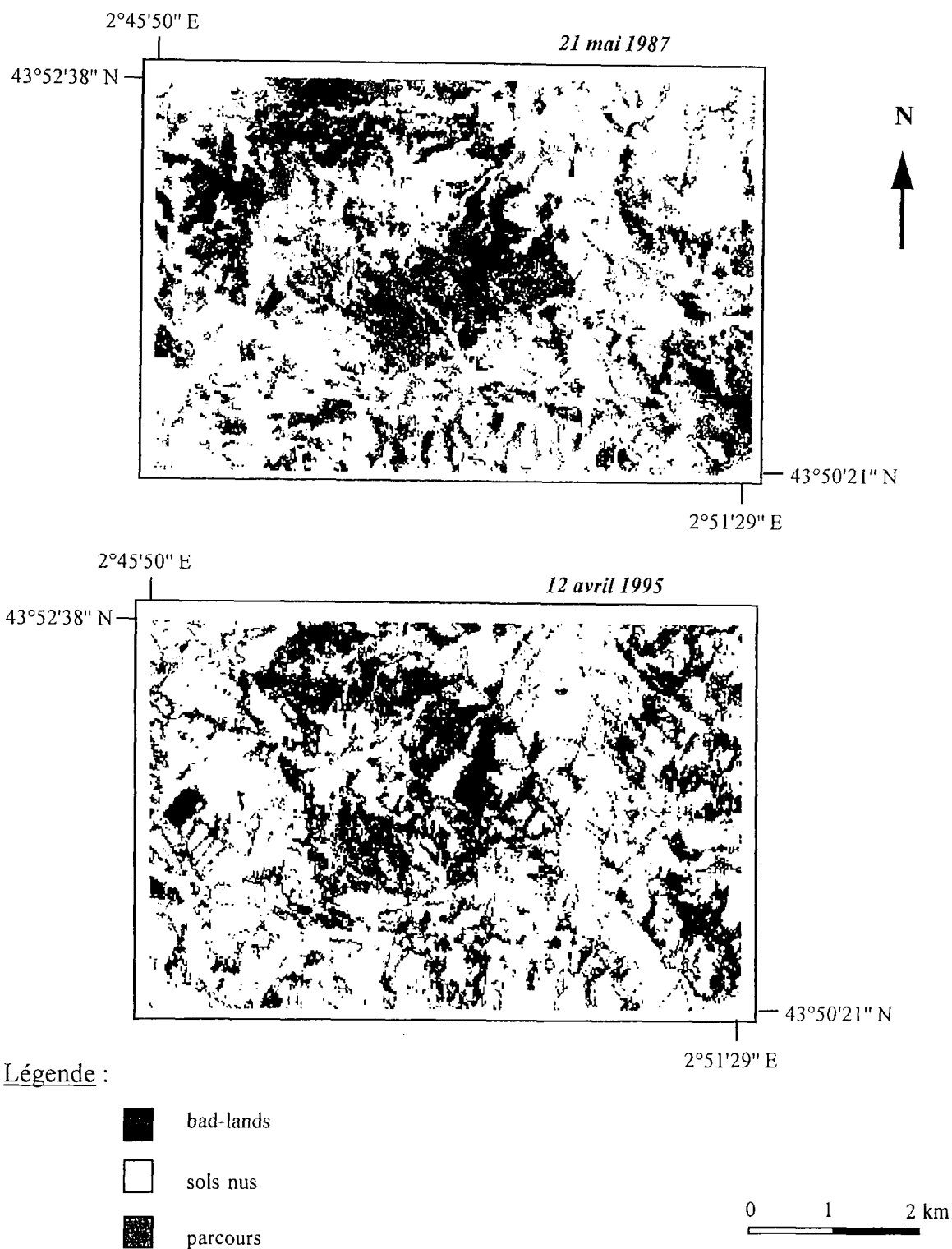
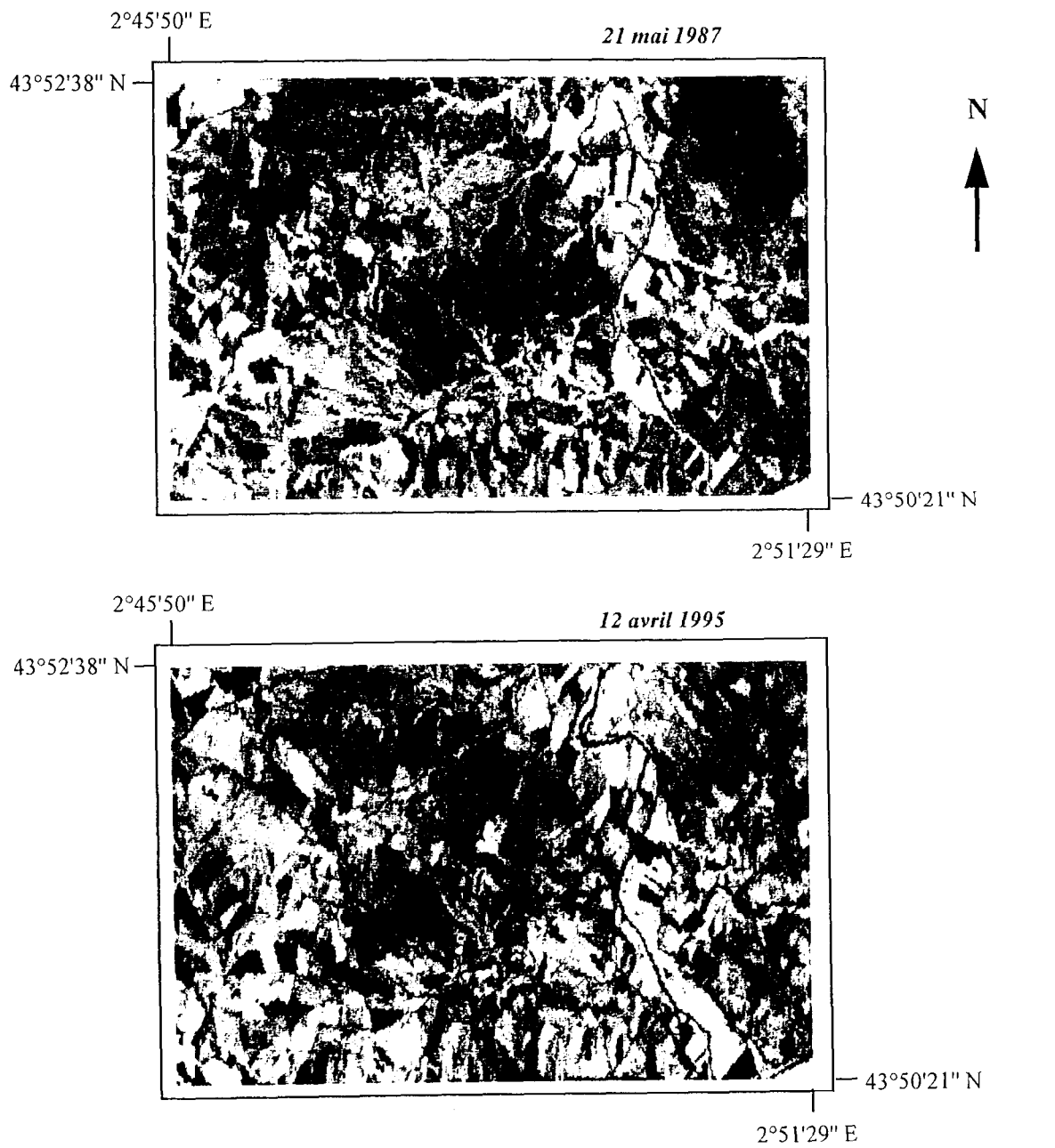


Figure n°9

INDICE DE VEGETATION (NDVI)

Extractions de l'image Spot référencée KJ 045-262

Projection conique conforme de Lambert



4. Une combinaison entre classification dirigée et indice de végétation pour éliminer les confusions générées par la classification :

Cette combinaison permet avant tout de valider la classification qui a été réalisée. Cela concerne surtout la classification menée sur l'image 87 pour laquelle aucune donnée de terrain n'est disponible. En effet, le calcul de l'indice de végétation nuance, par des niveaux de gris plus ou moins clairs, le type de couvert végétal ainsi que nous venons de le voir dans le paragraphe précédent. Comme il représente la réalité, il sert de référence pour vérifier les opérations de la classification dirigée, basée elle sur des hypothèses.

Chaque classe est codifiée comme suit :

	Classification dirigée (CD)	Indice de végétation (IV)	Combinaison			
			IV \ CD	sol nu	badland	parcours
sol nu	1	10	sol nu	11	12	13
badland	2	20	badland	21	22	23
parcours	3	30	parcours	31	32	33

Dans la combinaison, les canaux « classification dirigée » et « indice de végétation » sont additionnés. En observant sa codification, il est possible d'éliminer les confusions de classement des pixels identifiés « bad-land » que l'on retrouve dans les autres catégories (codées par un nombre terminant par 2).

A partir de ces résultats, on isole la population de pixels représentatifs des zones déjà érodées, généralisées par le terme de « bad-lands », qui sert de base au traitement suivant. Ce traitement consiste à comparer l'importance et la ressemblance de cette population sur les deux années considérées.

5. L'évolution de l'extension des zones érodées nommées « bad-lands » extraite d'une comparaison à 9 ans d'intervalle :

La superposition des images représentant les zones érodées en 1987 et en 1995 (cf. figure n°10) donne la répartition suivante :

- zones érodées en 1987 : 1369 pixels
- " en 1995 : 1059 " soit 310 pixels (23%) de moins qu'en 1987
- " en 87 et 95 : 153 "

Malgré les avis des agriculteurs et des responsables locaux qui pensent que les surfaces dégradées par l'érosion tendent à augmenter, nous pouvons seulement affirmer que l'extension des surfaces identifiées comme étant érodées semble moins importante en 1995.

Il est nécessaire de préciser qu'une certaine confusion subsiste, notamment au niveau des parcelles exploitées, identifiables par leurs contours. En effet, des pixels ont été identifiés « bad-lands » alors qu'ils représentent les contours d'une parcelle en sol nu.

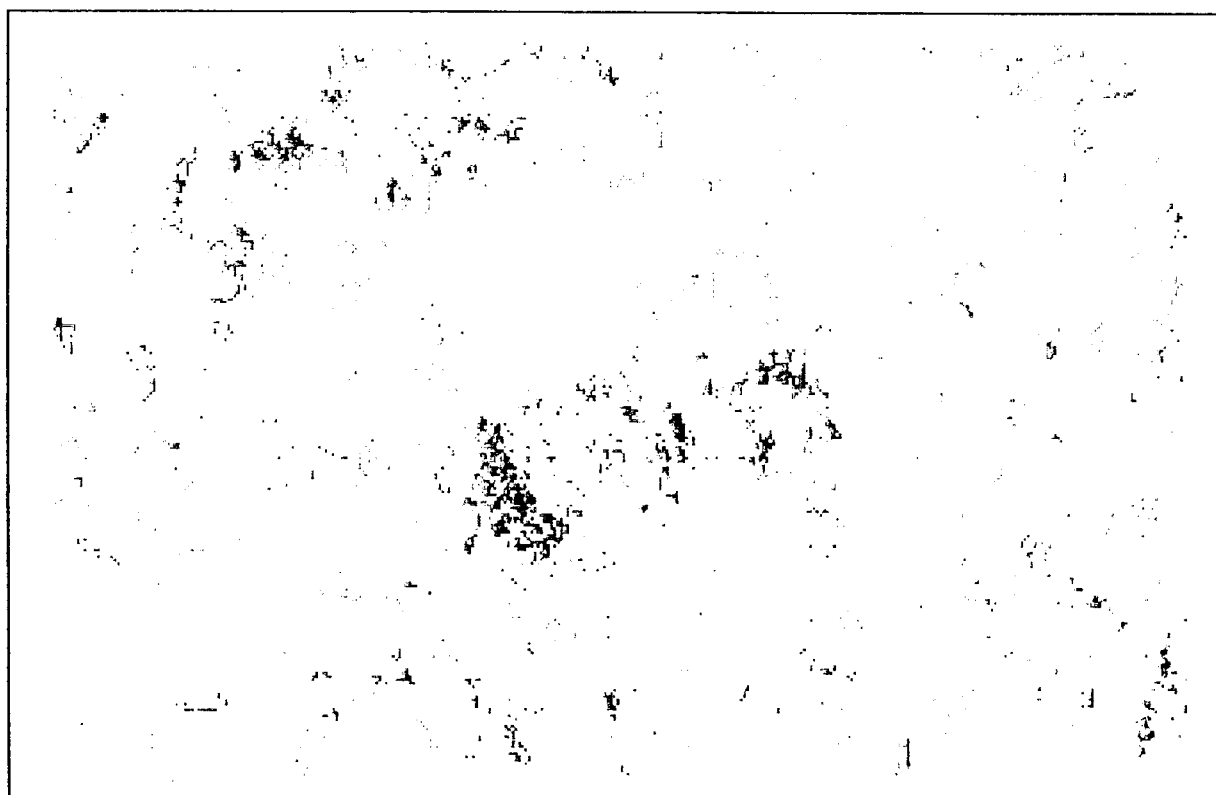
La localisation de ces trois classes (« bad-lands repérés uniquement en 1987 », « bad-lands repérés uniquement en 1995 » et « bad-lands repérés aux deux années ») donne une indication des zones où se manifestent des phénomènes d'érosion intenses. Sur cette base, nous

Figure n°10




COMPARAISON DES SURFACES ERODEES EN 1987 ET 1995

*Extractions de l'image Spot référencée KJ 045-262
Projection conique conforme de Lambert*

43°52'38" N
2°45'50" E



Légende :

-  zones érodées en 1987
-  zones érodées en 1995
-  zones érodées identifiées en 1987 et en 1995

43°50'21" N
2°51'29" E

Echelle : 1/50 000

avons tenté de la mettre en relation avec d'autres critères tels que la nature du couvert végétal, la pente, le réseau hydrographique, dont les résultats figurent dans les paragraphes 6 et 7.

Il reste donc à tenter d'expliquer pourquoi moins de surfaces érodées sont recensées neuf ans plus tard.

a- La première raison peut être d'ordre technique, c'est-à-dire liée à une précision insuffisante dans le choix des pixels de référence pour la classification, donc un manque de représentativité de ceux-ci. En effet, un pixel apparaîtra comme « érodé » alors que seule une petite partie l'est. Remarquons que la résolution à 20 mètres des pixels reste un obstacle à l'obtention de résultats plus fins.

b- L'hypothèse qui semble la plus plausible est fondée sur un taux de couverture végétale plus important en 95 qu'en 87. Bien que la prise de vue en 1995 ait été réalisée environ un mois plus tôt dans la saison par rapport à 1987, la végétation a bénéficié pour son installation d'une pluviométrie plus élevée en 1995 (cf. annexe 3).

C'est pourquoi nous avons recours au calcul d'un autre indice de végétation qui tienne mieux compte des perturbations radiométriques liées au sol. La figure n°11 présente la proportion de couvert végétal calculée par la formule SAVI pour les deux années. Ainsi, on observe que le taux de recouvrement est supérieur en 1995 : 49 % contre 41 % en 1987.

c- Enfin, peut-être que les résultats issus de la comparaison 87/95 des surfaces érodées contredisent effectivement les affirmations concernant l'extension des phénomènes d'érosion. Ils pourraient s'expliquer par les effets positifs des mesures de lutte contre l'érosion engagées il y a quelques années dans le cadre du programme agri-environnemental (reconversion en herbage des terres arables, implantation de bandes enherbées le long des berges, plantation de haies vives). Cependant, cette explication semble difficilement acceptable étant donné que les mesures considérées sont relativement récentes (1994-1995) et ne semblent pas concerner la restauration des sols de bad-lands.

Il conviendrait pour vérifier cette hypothèse, de mener une analyse plus fine au niveau du terrain. Il s'agirait en particulier de recenser les espaces ayant fait l'objet de ce type d'aménagement et de les localiser sur l'image de manière à faire apparaître leur proximité voire leur superposition avec des surfaces identifiées « érodées » en 1987.

6. Les zones érodées localisées plutôt sur des parcours et à la source des ruisseaux

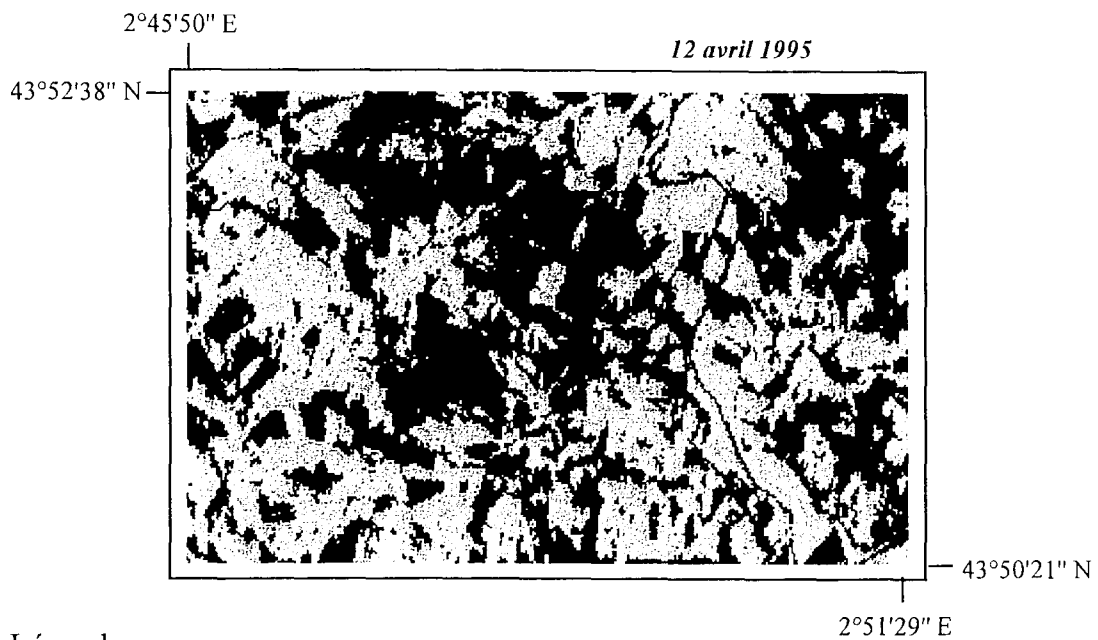
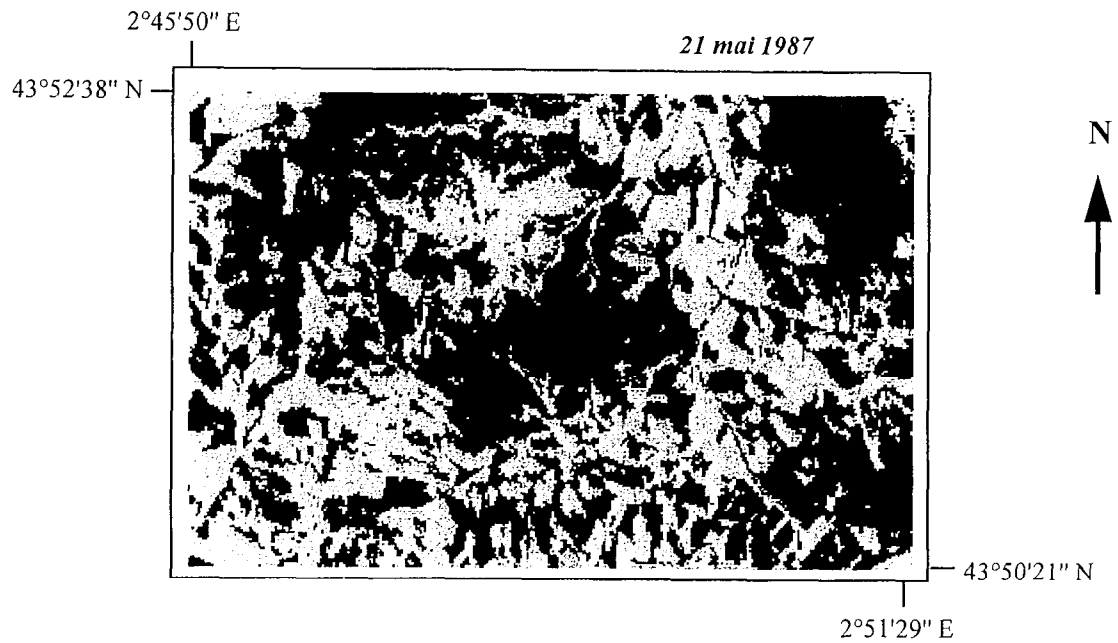
La combinaison des canaux correspondants à l'indice de végétation et à la représentation des « bad-lands » aux deux années fait apparaître, au moyen d'un seuillage (répartition des données par classe et application d'une couleur correspondante), que la plupart des zones érodées - classe « bad-lands » - se situent sur les terrains exploités en parcours. Ceci est justifié puisque nous avons vu que les parcours constituent le mode d'exploitation des sols les moins épais et les plus dégradés. Ce constat confirme la nécessité d'intervenir pour limiter au maximum les pertes en sol des terres qui sont encore productives grâce à leur profondeur.

La superposition du réseau hydrographique sur l'image de synthèse des « bad-lands » (figure n°12) montre que le réseau secondaire est initié au niveau des bad-lands qui ruissellent beaucoup. C'est pourquoi, de manière à enrayer les processus d'érosion, il est important



Figure n°11

INDICE DE VEGETATION (SAVI)

*Extractions de l'image Spot référencée KJ 045-262
Projection conique conforme de Lambert*



Légende :

-  couverture végétale faible à nulle
-  couverture végétale dense

0 1 2 km


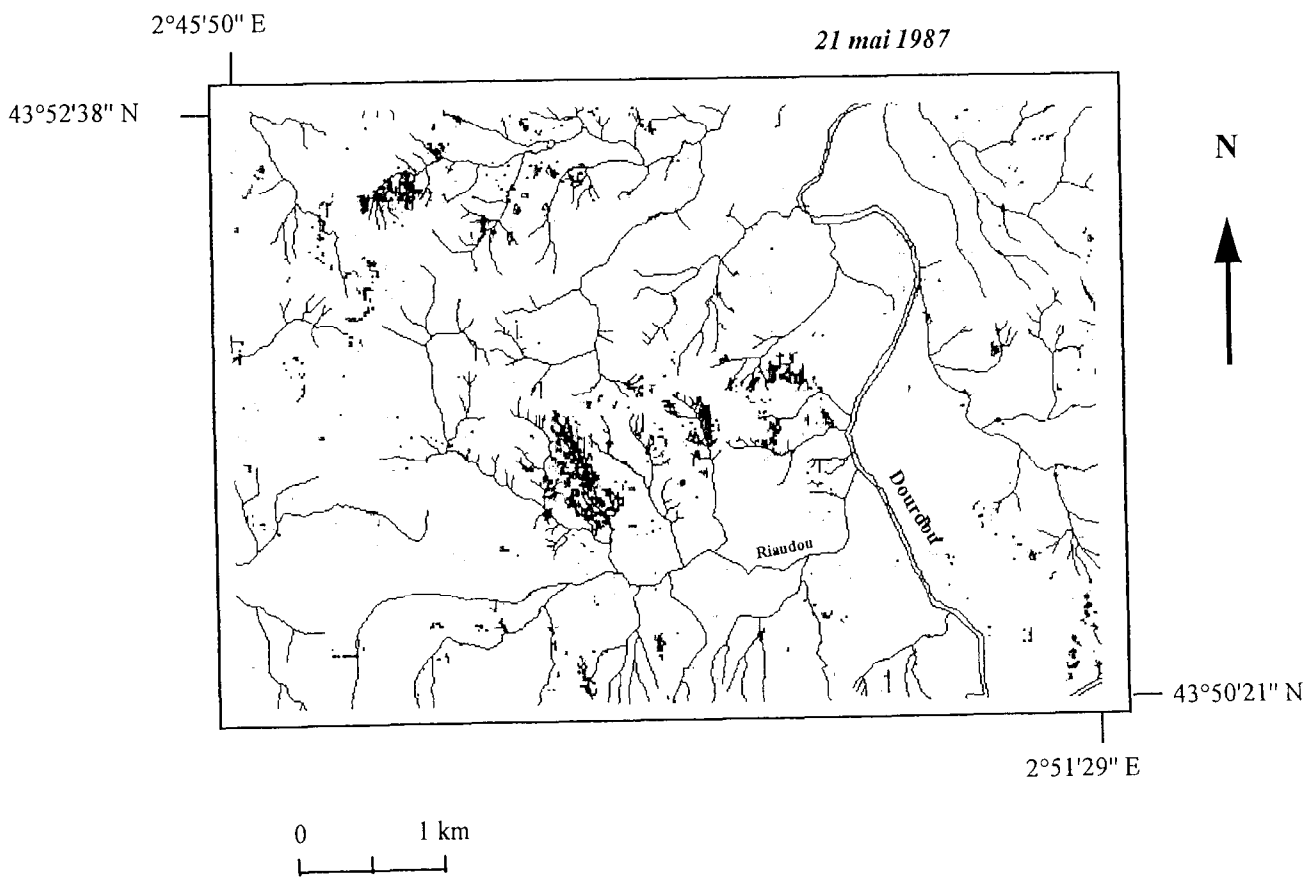


Figure n°12

**LOCALISATION DES BAD-LANDS
PAR RAPPORT AU RESEAU HYDROGRAPHIQUE**



d'aménager les terrains qui se trouvent en aval, par des mesures de protection comme l'enherbement des berges voire le changement de pratiques culturales, déjà préconisées dans le cadre du programme agri-environnemental.

7. L'exploitation du modèle numérique de terrain (MNT):

L'utilisation d'un MNT vise à mesurer l'importance de la variable « relief » dans l'analyse et la cartographie des zones sensibles à l'érosion. La représentation simplifiée du relief que constitue le MNT devait servir de support à l'élaboration de la carte des bassins versants et de la carte des pentes. Les difficultés techniques dans la réalisation du MNT n'ont pas pu être résolues.

Le MNT utilisé est réalisé à partir du fond topographique IGN qui contient de nombreuses informations (végétation, réseau hydrographique et routier, toponymie, etc.) qui gênent quelque peu la lecture de l'altimétrie. Ainsi toutes les courbes de niveau n'ont pu être recensées. Le relevé qui a servi de support (figure n°13) montre qu'il n'y pas systématiquement équidistance entre les courbes représentées. Cet aspect, ajouté au fait qu'il y a peu de dénivelé dans la zone considérée pour l'étude (150 mètres), semble être la source d'erreurs générant des artefacts sur le MNT réalisé au pas de 20 mètres. Ces artefacts représentent les altérations produites artificiellement par le modèle en raison de signaux parasites tels qu'une courbe au tracé irrégulier par rapport à ces voisines (ex. courbe d'altitude 400m à l'ouest de Verrières sur la figure n°13 et artefacts vertical qu'elle occasionne sur la figure n°14).

Un empêchement technique pour la réalisation du MNT au pas de 20m, dès le premier traitement, nous a conduit à effectuer un MNT au pas de 50m. La visualisation en trois dimensions de celui-ci (figure n°15), donne une idée du résultat escompté pour le MNT au pas de 20m, car il présente moins d'artefacts du fait de sa moindre précision.

La valorisation de ces MNT par la superposition avec une composition colorée ou un autre canal d'image satellite n'a pas été possible en l'état actuel de maîtrise du logiciel rendant imprécis le recalage géométrique d'un fichier à l'autre.

8. Une carte des pentes difficilement valorisable :

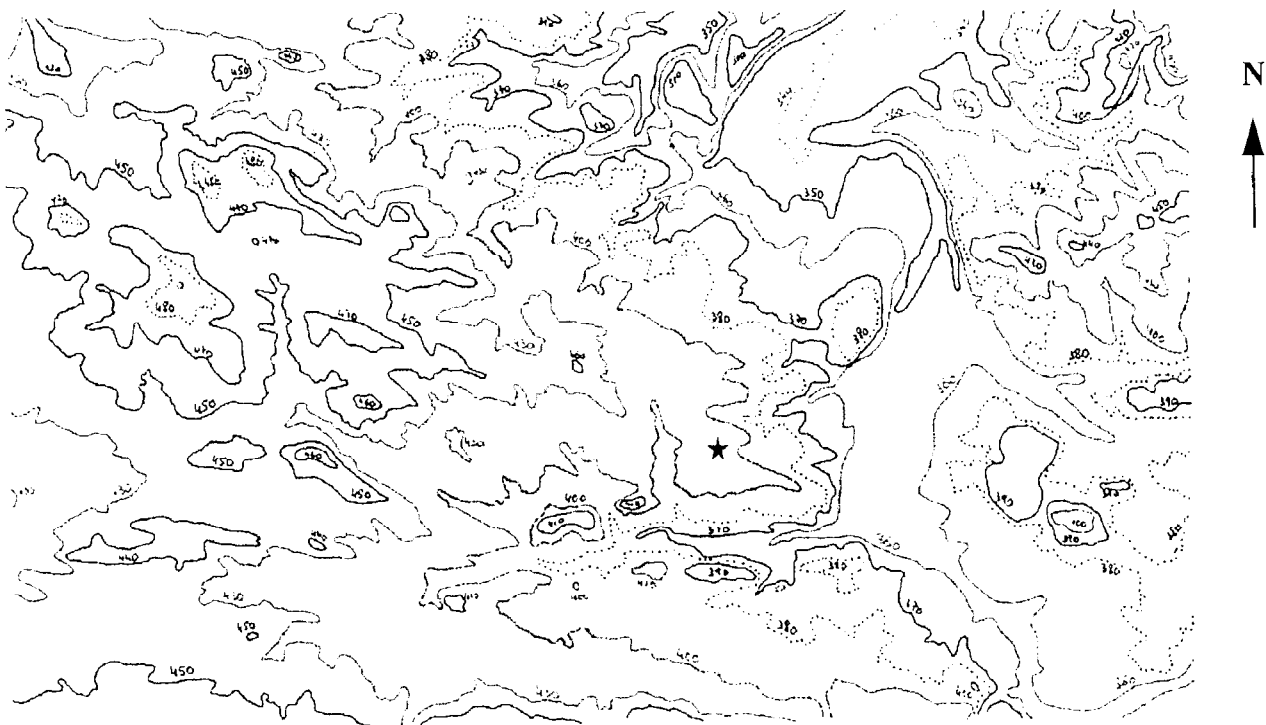
La carte des pentes générée à partir du MNT au pas de 20m (figure n°16) reproduit les mêmes artefacts que sur ce dernier et en fait apparaît d'autres tels que la trace des courbes de niveau du document de base, qui sont recensées comme pente forte (en noir).

Deux types de difficultés techniques nuisent à son exploitation : la question du recalage et celle de l'amélioration de la dynamique de visualisation. Modifier la dynamique, c'est modifier la correspondance entre les comptes numériques et l'échelle de couleur choisie de façon à augmenter le contraste global de la visualisation.

Cependant, si la représentation spatiale des classes de pentes reste difficile à observer, l'histogramme de répartition des pixels donne une indication sur la proportion des classes de surfaces (cf. tableau page suivante), et par déduction, sur l'importance relative des classes considérées à risque d'érosion.

Figure n°13

RELEVÉ ALTITUDINAL DE LA ZONE TEST
Support de base pour la réalisation du modèle numérique de terrain



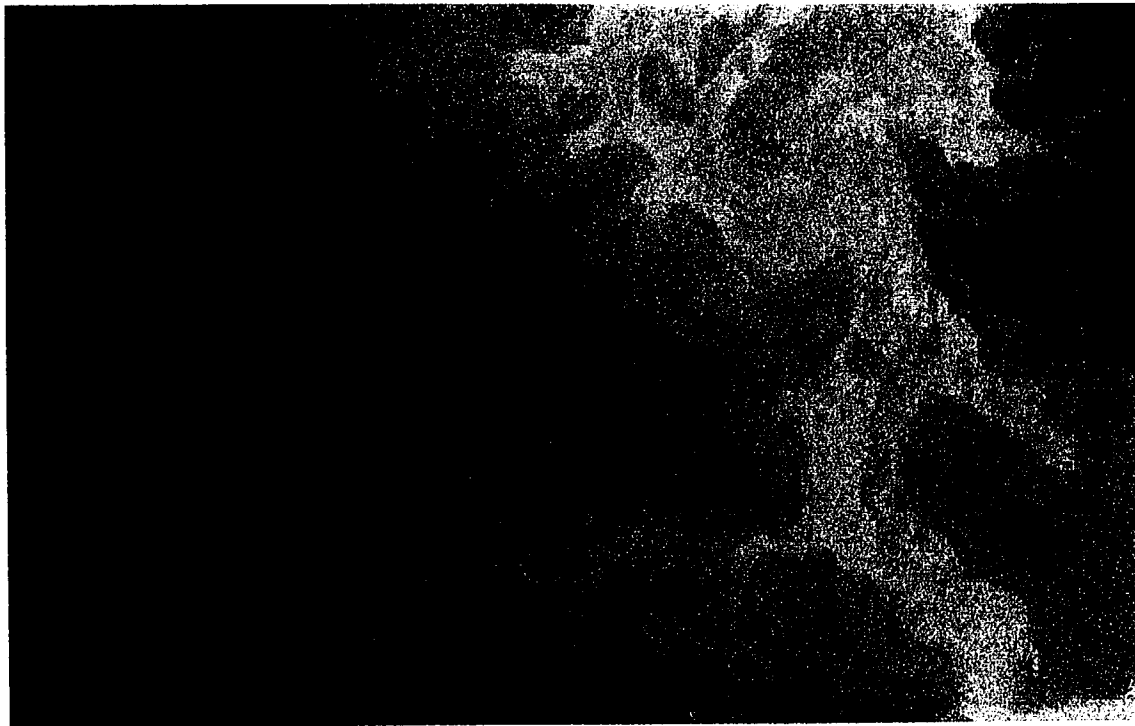
Source : Carte topographique IGN au 1/25000



★ Verrières

Figure n°14

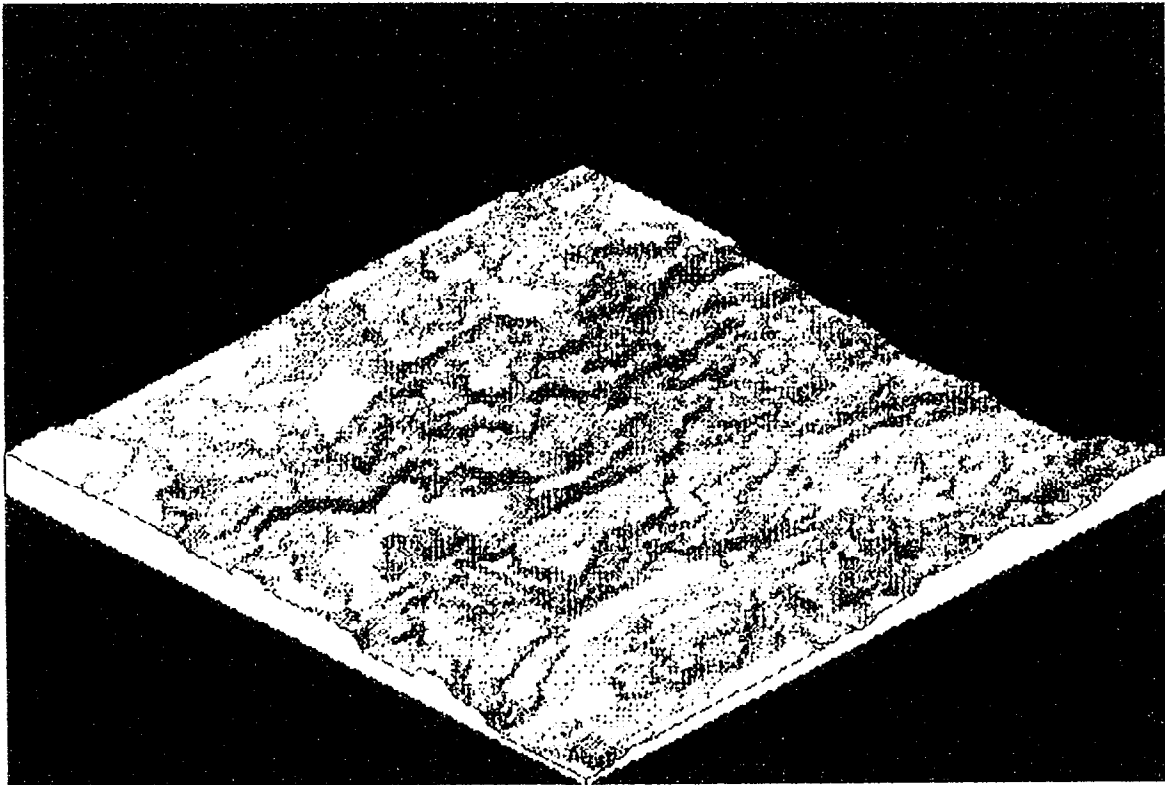
**MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN
au pas de 20 mètres**



★ Verrières

Figure n°15

**VISUALISATION EN TROIS DIMENSIONS
DU MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN
au pas de 50 mètres**



Accentuation du relief de 1500 %

Figure n°16

CARTE DES PENTES
réalisée à partir du MNT au pas de 20 mètres



- Légende:**
- ★ Verrières
 - moins de 10 % de pente
 - 10 à 20 %
 - 20 à 30 %
 - plus de 30 %

Pente	Proportion de pixels correspondants
0 - 10 %	78,5 %
11 - 15 %	8 %
16 - 20 %	5 %
21 - 30 %	5 %
> 30 %	3,5%

Il convient d'émettre les réserves d'usage quant à la validité de ces résultats puisqu'ils intègrent une certaine part d'erreur d'origine. Ainsi on peut dire que la proportion de la classe « > 30% » n'a pas de valeur significative compte tenu des artefacts précédemment identifiés.

9. Un outil d'aide à la gestion des terres : l'arbre de définition des zones à risque

Bien que la cartographie des risques d'érosion soit remise en question à cause des problèmes de recalage et d'interprétation de la carte des pentes, un arbre de décision a été mis au point pour aider à définir le niveau de risque (voir figure n°17). Il est fonction de trois paramètres :

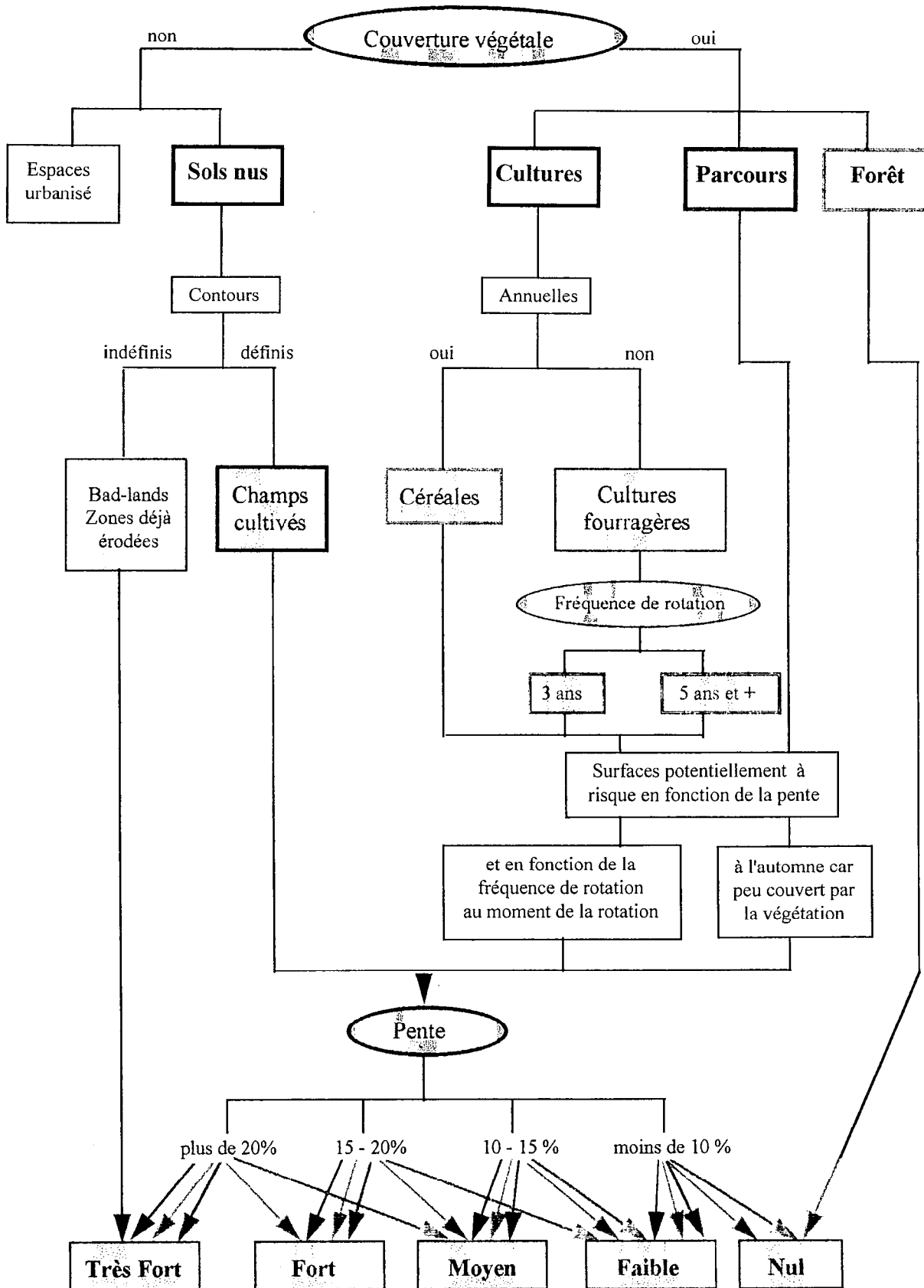
- la nature du couvert végétal,
- la fréquence de rotation des cultures,
- et la pente.

La lecture de cet organigramme se fait du haut vers le bas et de gauche à droite selon l'alternative observée sur l'image et selon sa relation avec le facteur pente (théoriquement observée à partir du MNT). La couleur des flèches fait référence au type de couvert végétal encadré d'un trait de même couleur (ex. rouge = champs récemment travaillés ou sols nus, violet = céréales, etc.).

Cet arbre de décision constitue les prémices d'un système d'information géographique qui pourrait être développé pour aider à la gestion et l'aménagement des espaces agricoles, en vue de leur protection contre l'érosion.

Figure n°17

Arbre de décision pour définir le niveau de risque



CONCLUSION

Pour pouvoir distinguer correctement un milieu dégradé, il faut que celui-ci couvre plusieurs pixels. Si la superficie de ces milieux est inférieure à un ou deux hectares, comme c'est souvent le cas en ce qui concerne les phénomènes d'érosion en régions tempérées, ceux-ci seront en général invisibles sur les images Spot. De plus, la probabilité de confusion et d'erreur augmente avec la diminution de taille du phénomène observé. Il est donc illusoire de vouloir répertorier toutes les empreintes de l'érosion.

Une approche par indicateurs indirects (taux de couverture végétale, couleur des sols, etc.) se justifie donc, mais n'est bien valorisable qu'à deux conditions.

La première concerne la disponibilité des informations de référence, c'est-à-dire de terrain. En effet, des observations au sol, judicieusement réparties sur les surfaces à cartographier, sont indispensables à la description des états de surface et à la caractérisation des risques d'érosion (Lamachère et Guillet, 1996). Ces observations permettent un suivi de la réponse spectrale des surfaces pour en déduire des changements de leur composition à une échelle plus globale.

Le choix de la date de prise de vue intervient au niveau de la seconde condition pour l'utilisation de critères indirects d'identification des traces d'érosion. Les résultats obtenus ici sont limités du fait d'un couvert végétal important au moment de l'acquisition des données satellitales en 87 et 95. Aussi il conviendrait de réaliser la prise de vue à la saison où l'on observe le plus de sols nus, à savoir entre la fin de l'été et la fin de l'hiver.

Ces conditions étant réunies, il est important de préciser que la télédétection spatiale présente des avantages pour l'observation d'un phénomène à petite échelle c'est-à-dire sur une entité territoriale importante. Cela concerne notamment :

- le caractère homogène des observations sur des superficies importantes. Un satellite couvre plusieurs milliers de kilomètres carrés (360.000 hectares par image Spot) ;
- le caractère global et synthétique des informations recueillies ;
- la répétitivité, c'est-à-dire la possibilité d'obtenir périodiquement, à courts intervalles, sous réserve de conditions météorologiques favorables, le même type de données, sur une même zone, pour en suivre l'évolution.

Enfin, la télédétection appliquée aux sols est un outil d'identification, de diagnostic et de modélisation quand elle est combinée avec les systèmes d'information géographique. Pour résumer, elle permet de définir un certain nombre d'indicateurs de la nature et de l'état de dégradation des sols dans un contexte géographique donné. Elle ne remplace pas une bonne connaissance du terrain, mais donne les moyens de la compléter et de l'interpoler entre les points d'observation détaillés. La combinaison facile entre les données de télédétection et les systèmes d'information permet de concevoir des scénarios d'évolution en fonction d'aménagement proposés. Elle devient donc une composante importante d'un système informatisé d'aide à la décision en gestion et en aménagement du milieu.

Dans notre cas d'étude, elle pourrait contribuer à repérer et évaluer les surfaces sur lesquelles des aménagements sont nécessaires ; notamment dans le cadre d'un programme de lutte contre l'érosion ou de restauration de la fertilité, comme celui que prévoit le programme agri-environnemental de Midi-Pyrénées ou des actions plus spécifiques du Fonds de Gestion de l'Espace Rural.

GLOSSAIRE

Bande spectrale¹ : Intervalle du spectre des longueurs d'onde (ou de fréquences) du rayonnement électromagnétique.

Bruit* : En théorie de l'information, perturbation parasite aléatoire qui, se superposant au signal, altère celui-ci de façon intermittente et statistiquement erratique. En photographie, perturbation parasite qui entraîne une diminution de la qualité de l'image.

Ces perturbations proviennent soit :

- du système de mesure, de transmission ou de support des données. Font partie de cette catégorie le bruit électronique du capteur, le temps de réponse imparfait du détecteur, le bruit de transmission, etc.

- de sources externes à l'objet observé, comme l'atmosphère, le relief ou l'antenne pour les micro-ondes, etc.

Canal² : Partie de la voie de transmission descendante qui transfère à une station de réception les données acquises par le satellite.

Capteur* : Instrument qui recueille de l'énergie radiative provenant de la scène visée et délivre un signal électrique correspondant et mesurable.

Infrarouge* : Partie du spectre électromagnétique s'étendant de 0,7 μm à 1 mm de longueur d'onde. En télédétection, on le subdivise généralement en infrarouge proche, moyen et thermique.

Multibande* : Se dit d'un capteur opérant dans plus d'une bande spectrale à la fois et par extension des images obtenues à l'aide de ce type de capteur. Ce terme est préférable à celui de multispectral car il y a plusieurs bandes mais un seul spectre électromagnétique.

Numérisation* : Opération qui consiste à mettre une information analogique ou graphique sous la forme d'un ensemble de valeurs numériques.

Numérisation d'image* : Technique de conversion des données contenues dans une image en données numériques.

Pédopaysage³ : Le pédopaysage regroupe l'ensemble des sols répartis au sein d'un paysage homogène sur le plan de la morphologie, de la géologie, de la lithologie, de la végétation et des systèmes de cultures pratiqués.

Une unité pédopaysagère couvre en général au moins plusieurs centaines d'hectares. Elle constitue une entité territoriale, bien caractérisée par les facteurs définis plus haut et par les sols qui s'y distribuent de façon non aléatoire.

¹ d'après Bonn F. et Rochon G., 1993. Précis de télédétection ; volume 1 : Principes et méthodes. Les termes suivis d'une * sont définis à partir de la même référence bibliographique.

² d'après ANDES, 1993. Dictionnaire de termes normalisés des sciences et techniques.

³ d'après Leconte V., 1996. Cartographie au 1/250000 des pédopaysages du Sud-Aveyron.

Photo-interprétation* : Discipline qui consiste à examiner des images photographiques dans l'intention de reconnaître des objets, d'analyser les structures et d'apprécier leur signification thématique. Elle s'appuie en grande partie sur la vision stéréoscopique du relief car l'exagération verticale que celle-ci procure permet de repérer des subtilités de relief qui sont souvent indicatrices de phénomènes géologiques ou géomorphologiques sous-jacents.

Pixel* : Plus petite surface homogène constitutive d'une image enregistrée, définie par les dimensions de la maille d'échantillonnage. Dans le cas de la numérisation d'une bande magnétique analogique, par exemple, le pixel est le résultat de l'intégration, selon un pas donné, du signal enregistré sur la bande.

Radiométrie* : Technique dont le sujet d'étude est la mesure de l'intensité du *rayonnement électromagnétique*.

Réflectance* : Rapport du flux réfléchi par un milieu matériel au flux incident. Aussi appelé coefficient de réflexion.

Résolution* : Dans le cas d'une image, l'aptitude à rendre distincts deux points voisins.

Signature spectrale* : Mesure quantitative des propriétés spectrales d'un objet dans une ou plusieurs bandes spectrales.

Spectre* : Résultat de la décomposition d'un rayonnement électromagnétique en ses fréquences constituantes.

Spectre électromagnétique* : Répartition des fréquences du rayonnement électromagnétique depuis les rayons gamma jusqu'aux ondes hertziennes.

L'Orstom est l'**Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération**. Il s'agit d'un établissement public à caractère scientifique et technologique qui est placé sous la double tutelle des ministères chargés de la recherche et de la coopération. Il conduit des activités de recherche finalisée vers le développement dans un trentaine de pays des régions chaudes de la planète : en Afrique, en Amérique latine, dans le Pacifique et, plus récemment, en Asie tropicale, ainsi que dans les Dom-Tom.

Cinq départements scientifiques sont représentés à l'Orstom de Montpellier :
principalement : départements Eaux continentales, Milieux et activités agricoles, Santé,
moyennement : départements Terre, Océan, Atmosphère, et Sociétés, Urbanisation,
Développement

Leurs thèmes de recherche organisés en laboratoires recouvrent les domaines suivants :

- * **Sciences de la terre** : climatologie, hydrologie, pédologie
- * **Sciences de la vie - milieu aquatique** : systèmes biologiques aquatiques, halieutique, aquaculture
- * **Sciences de la vie - agronomie-environnement** :
 - génétique et amélioration des plantes,
 - phytopathologie (dont virologie)
 - biotechnologie (dont microbiologie)
 - pédologie, sols cultivés
 - agronomie, système de production
- * **Sciences de la vie - santé humaine** :
 - épidémiologie des maladies à vecteurs,
 - entomologie médicale,
 - rétrovirus (Sida),
 - génétique moléculaire des parasites et des vecteurs,
 - nutrition.
- * **Sciences de l'homme et de la société - milieu rural** : économie rurale, anthropologie, géographie.

Un certain nombre de laboratoires, hors centre, travaillent en collaboration et en cohabitation avec d'autres organismes de recherche (CEMAGREF, CIRAD, ENSA, INRA, CNRS, IGN,...).

Le **Laboratoire d'étude du Comportement des Sols Cultivés** fait partie du département « Milieux et activités agricoles ». Sa mission se définit dans la recherche d'indicateurs édaphiques de gestion durable des terres (voir organigramme page suivante)

Il est divisé en trois unités internes :

- Matière organique des sols,
- Propriétés physiques et physico-chimique des sols,
- Spatialisation des risques de dégradation des sols.

C'est au sein de cette dernière unité que s'intègre le programme de régénération et de conservation des sols dans les Rougiers de Camarès.

LCSC : 9 chercheurs + 8 ITA + stagiaires et thésards

Laboratoire d'étude du Comportement des Sols Cultivés

DÉTERMINANTS ET SPATIALISATION DES RISQUES DE DÉGRADATION DES SOLS TROPICAUX CULTIVÉS

opérations de recherche

Statut organique

Comportement physique

Système d'échange ionique

Spatialisation

Caractérisation de la MO par :

- dosages du carbone et de l'azote totaux,
- fractionnement granulo.,
- dosages des sucres et du carbone soluble.

Tests sur la dégradation physique :

- stabilité structurale,
- sensibilité à la compaction,
- érodibilité et ruissellement.

- Caractérisation physico-chimique du complexe d'échange.

- Dynamique d'échange des éléments minéraux et disponibilité des nutriments pour les plantes

- Interprétation de données terrain et images satellites

- Essai de constitution de sols

AFRIQUE :

- Bénin (thèse + DEA),
- Congo (thèse),
- Cameroun (thèse)

AMERIQUE DU SUD :

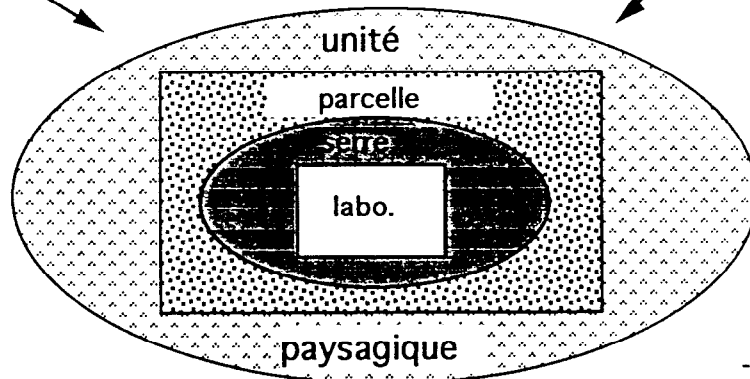
- Brésil (thèse, stage),
- Equateur (stage, DEES),
- Mexique ?

ASIE :

- Chine (stage),
- Vietnam ?

FRANCE :

- Antilles (thèse),
- Milieu méditerranéen (DESS, Stage),
- Nlle Calédonie



Recherche d'indicateurs édaphiques de gestion durable des terres

Légende simplifiée des 17 unités pédopaysagères identifiées dans le bassin des Rougiers

Ancien bassin sédimentaire entouré à l'Est par les Causses, au Sud/Ouest par les schistes des Monts de Lacagne et au Nord par la vallée du Tarn. Les Rougiers sont constitués d'une zone dépressionnaire, traversée par le Dourdou, et des collines et montagnettes qui l'entourent. Cette région est largement cultivée en céréales et fourrages, de façon plus intensive dans la zone dépressionnaire que sur les reliefs alentours. Les roches permienes sont des grès, pélites et argilites très friables. Les sols sont plutôt peu évolués et érodés dans la zone dépressionnaire, plus évolués et plus profonds sur les reliefs alentours.

UC	MORPHOLOGIE/RELIEF	LITHOLOGIE	OCCUPATION DU SOL	PEDOLOGIE
Zone dépressionnaire et les collines qui l'entourent.				
	zone dépressionnaire. Succession de petites cuestas et de mamelons. Marques d'érosion.	alternance de bancs de pélites et de grès du saxo-thurongien	cultures intensives en céréales et fourrages	sols superficiels sur pélites et plus argileux sur grès
	vallons des ruisseaux intermittents de la zone dépressionnaire	alluvions et colluvions récentes déposées sur argilites permienes	berges cultivées (colza, fourrage, prairie de fauche) ou reboisées	alluvio-colluviosols peu évolués mais profonds
	anciennes terrasses fertiles du Dourdou	alluvions (galets de quartz, schistes et grès dans un limon sableux ocre)	cultures intensives (céréales et fourrages). Reliques de vignes	sols bruns caillouteux (galets de quartz, de schistes et de grès) colluviosols
	vallée du Dourdou	alluvions déposées sur grès et schistes permienes largement érodés	quelques zones de cultures (céréales, prairies de fauche et maraichère)	sols minéraux ou peu évolués et sols bruns à bruns lessivés
	zones de forte érosion ou bad-lands		aucunes activités humaines prairie pelouse très discontinue, par taches.	affleurements et lithosols
Bordure Est de la zone dépressionnaire.				
	collines d'altitude 350 à 500m avec pentes moyennes à fortes	pélites et grès permien avec colluvionnement de galets des conglomérats triasiques situés au-dessus	cultures (surtout prairie) bois (30%) bad-lands	sols peu évolués (lithosols, colluviosols)
Bordure Ouest de la zone dépressionnaire.				
	pentcs faibles à moyennes entrecoupées de replats surplombant la zone dépressionnaire à l'Ouest	grès permien à débit en dalles	cultures 75% bois sur les pentes les plus fortes	sols brunifiés peu profonds
Bordure Sud de la zone dépressionnaire.				
	pentcs des monts et collines bordant la zone dépressionnaire au Sud et à l'Ouest	grès permien grossier avec quelques bancs fins minoritaires de pélites	bois de chênes 80%	sols bruns assez profonds sous forêt
	replats sommitaux des monts et collines bordant la zone dépressionnaire au Sud et à l'Ouest	grès permien grossier majoritaire avec quelques bancs fins minoritaires de pélites	cultures (céréales, fourrages, prairies de fauche) sur parcellaire moyen à grand	sols bruns peu profonds cultivés
Monts et montagnettes (altitude 400 à 600m).				
	succession de vallées asymétriques orientées Est/Ouest. Zones de solifluxion formant des replats sur les versants Nord	grès permien et quelques bancs de pélites	versants Nord cultivés versants Sud boisés	sols bruns peu évolués et sols bruns calciques
	succession de 2 dorsales orientées NO/SE et longeant le Dourdou	grès permien et pélites	peu de cultures bois 80% friches et landes	rankers et lithosols
	paysage régulier vallonné (altitude 400 à 600m)	grès permien et pélites	cultures 60% bois 40%	rankers et sols bruns
	vallées étroites et profondes orientées Nord/Sud	grès permien et quelques bancs de pélites	quelques cultures sur les alluvions en fond de vallées bois sur les pentes	rankers et sols bruns peu profonds
	crêtes entre les vallées étroites orientées Nord/Sud	grès permien et pélites	cultures 30% bois (chênes+résineux)	sols bruns et rankers
	paysage en creux et bosses sans réseau hydrographique marqué	grès permien dominant	cultures >80% sur parcellaire petit à moyen bois et haies 15% quelques mouillères	rankers et sols bruns
	paysage en creux de Sylvanès	grès et pélites du Cambrien (r1)	bois 50% sur les croupes cultures entourées de haies larges	rankers, lithosols et sols bruns
	paysage en bosses de Montagnol	grès et pélites du Permien (r1 et r11)	bois 40% dans les combes et les creux cultures sur les croupes	sols peu évolués (rendzines et lithosols)

Source : Leconte V., 1996. Cartographie au 1/250.000 des pédopaysages du Sud Aveyron.

Annexe 3

RELEVÉ PLUVIOMETRIQUE (en mm)
des 4 premiers mois de l'année de prise de vue

Année	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Total des 3 mois avant le mois de la prise de vue
1987	53,8	60,5	73,5	46,9	39,6	180,9
1995	56,7	98,1	52,0	55,2	74,0	206,8

Source : Météo-France, station de Montlaur (350 mètres)

BIBLIOGRAPHIE

ARTIS S., 1995. La lutte contre l'érosion dans les Rougiers de Camarès : gestion des eaux de ruissellement. Mémoire de Maîtrise de Gestion de l'Environnement. Université de Paris 7 - IUP Gestion de l'Environnement, Chambre d'Agriculture de l'Aveyron, DDAF Aveyron. 58 pages + annexes.

Association Nationale des Docteurs Es Sciences, 1993. Dictionnaire de termes normalisés des sciences et techniques. Journal Officiel de la République Française. 410 pages.

ASSOGBA F., 1995. Influence de la matière organique sur l'érodabilité des sols des Rougiers de Camarès. Mémoire pour l'obtention du DAT. ESAT - CNEARC, ORSTOM, Montpellier. 47 pages + annexes.

BARTHES B., DE NONI G., GUILHERM C., ROOSE E., 1997. Agriculture et érosion dans les Rougiers de Camarès (Aveyron, France) : une démarche itérative entre une Chambre d'Agriculture et une équipe de recherche. Communication au séminaire « Agriculture et développement durable en Méditerranée », Montpellier, mars 1997, 6 pages.

BONN F. et ESCADAFAL R., 1996. La télédétection appliquée aux sols. In : Précis de télédétection, vol 2 : Applications thématiques. Universités francophones - UREF. Presse de l'Université du Québec/AUPELF, pp. 91-136.

BONN F. et ROCHON G., 1993. Précis de télédétection, vol 1 : Principes et Méthodes. Universités francophones - UREF. Presse de l'Université du Québec/AUPELF, 485 pages.

Commission Ministérielle de la terminologie de la télédétection aérospatiale (COMITAS), 1988. Glossaire des termes officiels de la télédétection aérospatiale. Bulletin de la SFPT, n°112, 63 pages.

DEVINEAU J.-L. et ZOMBRE P.N., 1996. Utilisation de l'indice de rougeur de Madeira pour la reconnaissance des sols. In : Surveillance des sols dans l'environnement par télédétection et systèmes d'information géographique; Actes du symposium international AISS, Ouagadougou 6-10 février 1995. Colloques et séminaires, Editions ORSTOM, Paris. pp 121-134.

DUBUCQ M., 1986. Télédétection spatiale et érosion des sols. Etude bibliographique. In : Cahiers ORSTOM, sér. Pédol. XXII (2) : 247-258.

ESCADAFAL R., GIRARD M.C. et COURAULT D., 1988. La couleur des sols : appréciation, mesure et relations avec les propriétés spectrales. Agronomie 8(2) : 147-154.

GALIBERT A., 1996. Effets des pratiques culturales et du fumier sur les propriétés des sols et l'érosion des coteaux profonds dans les Rougiers de Camarès (Aveyron). Mémoire DESS Environnement en milieu rural. ENSA Toulouse, ORSTOM, Chambre d'Agriculture de l'Aveyron, 56 pages + annexes.

Groupement pour le Développement de la Télédétection Aérospatiale (GDTA), 1992. Les cahiers pédagogiques du GDTA, Outils et Méthodes : Visualisation d'image numérique - Cahier M1, version n°1.2. Editions du GDTA, Toulouse, 77 pages.

GDTA, 1993. Les cahiers pédagogiques du GDTA, Applications thématiques : Les spatio-cartes, méthodes et exemples de réalisation - Cahier A1, version n°1.0. Editions du GDTA, Toulouse, 111 pages + annexes.

GUILLERM C., 1994. Diagnostic de l'érosion pluviale dans les Rougiers de Camarès - Propositions de pratiques anti-érosives. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur de l'ITIA. APCA, CNAM, INA-PG, Institut des Techniques de l'Ingénieur pour l'Agriculture, Chambre d'Agriculture de l'Aveyron, 51 pages + annexes.

GUYOT G., 1996. Agriculture et statistiques agricoles. In : Précis de télédétection, vol 2 : Applications thématiques. Universités francophones - UREF. Presse de l'Université du Québec/AUPELF, pp 267-322.

LAMACHERE J-M. et GUILLET F., 1996. Télédétection, états de surface et cartographie des risques d'érosion en zone soudano-sahélienne. In : Etats de surface du sol et risques de ruissellement et d'érosion; Bull Réseau érosion 16 : 375-390.

LECONTE V., 1996. Cartographie au 1/250.000 des pédopaysages du Sud Aveyron. Mémoire pour l'obtention du DAA Mise en valeur du milieu naturel, mention génie agronomique. ENSA Montpellier, INRA Montpellier, 97 pages et 93 pages pour la carte au 1/250.000 et les légendes simplifiée et détaillée.

MATHIEU R., KING C., et LE BISSONNAIS Y., 1993. Contribution des données multitemporelles Spot à l'identification des risques d'érosion. L'exemple des sols limoneux du nord de la France. Cahiers ORSTOM, sér. Pédol. XXVIII (1) : 81-94.

MOUGENOT B. et CAILLEAU D. 1996. Identification par télédétection des sols dégradés d'un domaine sahélien au Niger. In : Surveillance des sols dans l'environnement par télédétection et systèmes d'information géographique; Actes du symposium international AISS, Ouagadougou 6-10 février 1995. Colloques et séminaires, Editions ORSTOM, Paris, pp. 169-179.

MOUSSA M., 1994. Influence des techniques culturales sur le ruissellement et l'érosion dans les Rougiers de Camarès (Aveyron). Mémoire pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur des Techniques Agricoles des Régions Chaudes. EITARC - CNEARC, ORSTOM, Montpellier, 56 pages + annexes.

Références des images et de la carte :

Images satellite SPOT : - CD XS références KJ : 045-262 , niveau de prétraitement 1B,
du 12-04-1995

- références KJ : 045-262 du 21-05-1987

IGN 2442 Est - série bleue. Carte réalisée et éditée en 1973, révisée en 1982