



**Utilisation de la Télédétection active
dans l'estimation des surfaces
potentiellement ruisselantes.
Application à une région viticole méditerranéenne,
Bassin du Réart**

A. Company

**Août 1993
R 37763**

**BRGM
SERVICE GEOLOGIQUE NATIONAL
Département Télédétection
B.P. 6009 - 45060 ORLEANS CEDEX 02 - FRANCE - Tél. (55) 38 64 34 34**

REMERCIEMENTS

Ce rapport bibliographique s'inscrit dans le cadre du Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées "Espace Rural et Environnement" de l'Université de Bourgogne.

Il a été réalisé au BRGM d'Orléans, département Télédétection.

Je tiens à remercier l'ensemble du personnel de ce département pour le soutien moral qu'ils m'ont accordé.

Je remercie plus particulièrement :

M. COUDERT J.M. pour m'avoir accueillie au sein de son équipe ;
Mme KING C. et MM DELPONT G. et GIRAULT F., pour les conseils qu'ils m'ont formulés et pour les corrections qu'ils ont apportées à ce rapport ;

Melle IMBAULT M. pour ces explications concernant le système d'information Arc-INFO,
M. DESPRAT J.F. pour son aide lors des enquêtes de terrain et
M. ROUZEAU O. pour l'aide qu'il m'a accordé lors du traitement du MNT.

Mes remerciements vont également à M. BAZILE, du CNERTA de Dijon, pour l'offre de stage et l'accueil qu'il m'avait formulé lors de notre première rencontre

RESUME

En 1991, le BRGM analyse les possibilités techniques du satellite SPOT à haute résolution spatiale, appliquées à l'étude de l'érosion hydrique en milieu méditerranéen. Le Bassin versant du Réart est choisi comme unité représentative. Il résulte de cette étude une carte de sensibilité à l'érosion, à l'échelle régionale, proposant quatre classes de sensibilité des sols, cohérente avec l'érosion globale du bassin, mesurée à l'exutoire.

L'outil performant que constituent les capteurs opérant dans le domaine optique -tel SPOT-, possède pourtant des limites d'utilisation. Ils sont aptes à acquérir des paramètres d'occupation du sol, utiles à une compréhension de l'évolution de l'érosion, mais sont dans l'incapacité de déterminer parmi les paramètres d'états de surface, ceux favorisant le ruissellement.

En 1991, puis en 1992, les satellites européens ERS-1 et japonais J-ERS-1 sont placés en orbite. Les radars, qu'ils embarquent, sont entre autres choses, sensibles aux diverses rugosités du sol.

Une étude supplémentaire du bassin versant du Réart est alors mise en place par le BRGM. Elle constitue la base de ce rapport. L'analyse des relations existantes entre la rétrodiffusion radar et les états de surface répertoriés dans la base de données est entreprise. Son objectif est d'évaluer les potentialités des données radar satellitaires, pour caractériser une des composantes majeures des mécanismes mis en oeuvre lors des processus d'érosion: les surfaces potentiellement ruisselantes.

Ainsi, quatre scènes ERS-1 sont acquises entre avril 1992 et avril 1993 sur notre zone d'étude. Une scène de J-ERS-1 du mois d'août 1992 complète la série de données radar. Trois enquêtes menées sur le terrain, concernant les caractéristiques d'états de surface du site, essentiellement viticole, sont réalisées sur une année de manière à correspondre le mieux possible aux dates d'acquisition des images. Les résultats collectés sont inclus dans une base de données géoréférencées.

Après une série d'analyses statistiques concernant l'influence des facteurs de rugosité sur la rétrodiffusion du signal radar, nous avons établi qu'une utilisation de la télédétection active dans l'estimation des états de surface est possible. Néanmoins, des conditions particulières s'affranchissant des inconvénients spécifiques aux cultures de la vigne comme "l'effet de rangs" doivent être réalisées ; de même les dates d'acquisition et la qualité des données influencent fortement les possibilités de discrimination des rugosités.

Mots clés : Erosion des sols - Télédétection active - Hyperfréquences - ERS 1 - J ERS 1 - Rugosité - Surfaces ruisselantes - Vignobles.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	2
RESUME	3
INTRODUCTION	6
1. GENERALITES	7
1.1. Les enjeux de l'érosion	7
1.1.1. L'érosion des sols à travers le monde	7
1.1.2. Sensibilité à l'érosion du milieu méditerranéen	8
1.2. Contexte du projet	10
1.2.1. Programmes de recherche européens, cartes de sensibilité à l'érosion	10
1.2.2. Contexte de l'étude	11
2. OBJECTIFS, CHOIX DE LA METHODOLOGIE	13
2.1. Objectifs	13
2.2. Rappel sur les caractéristiques de la culture de la vigne	14
2.3. Justification du choix des données radar	18
2.3.1. Historique	18
2.3.2. Propriétés des radars	19
2.3.3. Caractéristiques des images radar	24
2.4. Conclusion	25
3. METHODOLOGIE	26
3.1. Données disponibles	26
3.1.1. Secteurs de références	26
3.1.2. Fichiers graphiques acquis par digitalisation des parcelles	28
3.1.3. Données radar : ERS1, J-ERS1	28
3.1.4. Images SPOT	29
3.1.5. MNT et carte de pente sur " En Ferran "	29
3.1.6. Base de données terrain	35
3.1.7. Base de données finale	36
3.2. Outils de traitement de données et d'analyse utilisés	36
3.3. Méthodologie	37
3.3.1. Mise à jour de la base de données	37
3.3.2. Pré-traitements des images	38
3.3.3. Calage des couvertures graphiques sur les images	39
3.3.4. Jonction des niveaux de rétro-diffusion des images et des données terrain	40
3.3.5. Schéma explicatif : démarche suivie	41

4. RESULTATS	42
4.1. Pouvoir de discrimination monodate	42
4.1.1. Influence de la pente	42
4.1.2. Influence de l'orientation des rangs de vigne	48
4.1.3. Influence de la rugosité du sol	52
4.2. Pouvoir de discrimination multodate	56
4.2.1. Répercussion de l'arrachage des pieds de vigne	56
4.2.2. Reconstitution de l'évolution temporelle de la rétro-diffusion selon les pratiques culturales	58
4.3. Conclusion	64
5. DISCUSSION	65
5.1. Qualité des données	65
5.1.1 Images radar	65
5.1.2. Enquêtes de terrain	66
5.2. Méthodologie : calage des fichiers graphiques	67
5.3. Populations statistiques	67
5.4. Conclusion : protocole envisageable pour d'éventuels relevés de terrain	68
5.4.1. Mesure de la direction de rang	68
5.4.2. Pratique culturale et rugosité du sol	68
6.CONCLUSION GENERALE	70
LISTE DES ACRONYMES ET DES SIGLES	72
LISTE DES FIGURES ET DES PLANCHES	73-74
BIBLIOGRAPHIE	75
ANNEXES	
Annexe A : Carte de sensibilité à l'érosion du Bassin du Réart	83
Annexe B : Pluviométrie du Bassin du Réart	84
Annexe C : Représentations des fichiers graphiques concernant les trois sites d'études	86
Annexe D : Base de données de terrain	90
Annexe E : Agencement ergonomique des logiciels et outils utilisés	93
Annexe F : Caractéristiques des satellites ERS-1 et J-ERS-1	95

INTRODUCTION

L'érosion des sols est, de nos jours, une préoccupation d'étendue mondiale. A la source de pertes de potentialité des sols cultivés, mais également d'inondations et de glissements de terrain, ce fléau naturel est trop souvent accentué par la main de l'homme. En région méditerranéenne, s'ajoute à la pression anthropique, une pression climatique préoccupante. Les écosystèmes, agressés par ces deux facteurs simultanément, présentent des conséquences érosives importantes.

A l'échelle régionale, comme à l'échelle mondiale, la nécessité de délimiter des zones plus ou moins touchées ou plus ou moins fragiles, est ressentie. La connaissance des causes et des phénomènes de l'érosion s'accompagne d'un besoin de connaissances géographiques sur les zones à protéger. Des modèles de prévision fournissent des cartes, à l'échelle régionale, établissant qualitativement des niveaux de fragilité ou de sensibilité aux phénomènes d'érosion. Ces cartes, ou plus exactement les modèles qui les établissent, nécessitent une évaluation de paramètres, caractérisant les facteurs érosifs ou au contraire les signes de protection du milieu.

L'apport de la télédétection à la détermination de ces paramètres d'entrée aux modèles d'érosion s'est, jusqu'à nos jours, essentiellement situé au niveau de la reconnaissance qualitative et/ou quantitative de la couverture végétale, des réseaux de drainage, ou de l'occupation du sol en général, ainsi que du relief grâce au développement des Modèles Numériques de Terrain. Néanmoins, à cette échelle, l'un des facteurs primordiaux, conditionnant le ruissellement de surface, reste encore à déterminer : la rugosité du sol.

Depuis 1991 et le lancement du satellite ERS-1, l'Europe possède en orbite autour de la Terre un radar SAR capable, théoriquement, de réagir aux variations de rugosité. Des études sur l'aptitude de ce type de capteur à détecter des états de surface plus ou moins ruisselants, devraient être, à long terme, capables de fournir des paramètres d'entrée aux modèles d'érosion.

1. GENERALITES

1.1. LES ENJEUX DE L'EROSION

1.1.1. L'érosion des sols à travers le monde

La table ronde organisée, en décembre 1991, par l'ORSTOM sur les problèmes d'érosion avait pour intitulé: "Sauvons nos sols". Ce cri d'alarme montre, tout comme l'importance du réseau EROSION de cette organisme, l'intérêt accordé aux terres érodées. Actuellement, environ 50 pays francophones disséminés sur toute la planète, sont regroupés dans ce réseau servant de coopérative de l'information.

D'après la FAO la perte annuelle en surface de sol serait, à l'heure actuelle, de 5 à 7 millions d'hectares par an, et 20 à 30 % des terres cultivables devraient disparaître d'ici à l'an 2000 (ROBERT M., 1992). Le phénomène est d'une telle intensité, qu'il mobilise depuis une vingtaine d'années de nombreux organismes: la FAO, la CEE, plus spécialement en France, le CNRS, l'INRA, le CEMAGREF, le BRGM, mais également des associations regroupant une partie des chercheurs de ces organismes, comme l'ESSC.

Des quatre continents les plus peuplés de notre planète, aucun n'est à l'abri de ce fléau. De nombreux exemples peuvent facilement être cités. En Asie, les problèmes de dégradation des terres arables, le comblement des barrages hydroélectriques, engendrés par le Fleuve Jaune, sur le plateau du Loess, entraînent de sérieux problèmes pour l'économie chinoise. Au nord-est des Etats-Unis (Corn Belt), la production intensive de maïs est à la base d'une érosion catastrophique, pour chaque kilogramme de maïs produit, la perte de sol est de 2 kilogrammes. En Afrique, l'érosion des sols, à la fois cause et conséquence d'une désertification toujours croissante, pose le problème à court terme, de l'établissement de cultures viables et, par là, de la survie des populations. Enfin, l'Europe n'échappe pas au phénomène, son agriculture intensive du nord-ouest et ses vignobles subissent une perte de rendement non négligeable.

Les dégâts considérables causés aux cultures dans ces diverses parties du monde, ne doivent pas faire oublier ceux occasionnés aux régions non cultivées, comme les régions de montagne.

En réalité, même si par certains côtés l'érosion (par le vent et surtout par l'eau) peut être considérée comme un phénomène naturel, il est évident que l'influence anthropique est à la base d'une recrudescence des phénomènes.

De toutes les manifestations de l'érosion, seules les plus spectaculaires alertent l'opinion publique. Ces événements ponctuels et catastrophiques (Nîmes, Vaison-la-Romaine.) sont plus médiatisés que ne le sont les dégradations parfois lentes et chroniques des terres cultivées.

Parmi les différentes formes de l'érosion, éolienne ou hydrique, catastrophique ou chronique, nous nous limiterons dans ce rapport à l'étude de la seconde sous sa forme chronique. Plus particulièrement nous nous attacherons à celle qui affecte les cultures viticoles en région méditerranéenne. En effet, cette région bioclimatique particulière constitue une des zones " à risque " ou de grande sensibilité envers ces processus.

1.1.2. Sensibilité à l'érosion du milieu méditerranéen

La région méditerranéenne peut être considérée comme l'une des régions les plus sensibles aux phénomènes d'érosion de la zone tempérée. Constituée d'écosystèmes fragiles, elle regroupe une grande diversité topographique, pédologique, et micro-climatique. Malheureusement, elle subit de nos jours, de plus en plus d'agressions répétées, qu'il s'agisse d'agressions naturelles dues essentiellement au climat, ou d'agressions anthropiques.

a) Le milieu naturel

Les deux principaux facteurs naturels, influant sur la sensibilité d'un milieu aux processus d'érosion, sont le climat et la végétation.

Le climat méditerranéen caractérisé par des alternances de périodes sèches et pluvieuses, par des précipitations soudaines et de forte intensité, accentue fortement les problèmes d'érosion. En France, la région limitée par un axe Bordeaux Strasbourg, correspondant à la zone méditerranéenne, est affectée par une très forte érosivité (PIHAN J.L., 1988). En d'autres termes, le potentiel de destruction du sol par les pluies est considérable. Plus localement, les valeurs maximales d'érosivité se situent des Cévennes à la Camargue, dans les régions Provence-Côte d'Azur et Languedoc-Roussillon, puis à un moindre degré en Aquitaine et au Pays Basque.

Si l'érosivité des pluies n'est pas toujours considérée comme le facteur dominant en ce qui concerne l'érosion des sols, elle paraît donc avoir, en climat méditerranéen, une importance primordiale.

La végétation de faible densité, basse de surcroît, de garrigue et de maquis, qui recouvre le sol méditerranéen pourrait constituer une protection suffisante contre ces agressions climatiques si sa répartition était homogène. Mais trop de sols restent nus et favorisent un ruissellement déjà important.

De plus, la végétation forestière est d'une fragilité préoccupante. Sa régénération, en cas de destruction, est, sur ces sols peu productifs, longue et difficile. L'impact est encore plus alarmant depuis que chaque été sévissent des incendies de forêts. Ces incendies même d'origine naturelle ne peuvent être dissociés d'une présence humaine de plus en plus envahissante.

b) Les facteurs d'aggravation de l'érosion

S'ajoutent aux propriétés climatiques et biologiques du milieu, que nous venons de citer succinctement, des facteurs extérieurs qui accentuent ou limitent l'érosion. Les principaux, essentiellement anthropiques, sont l'agriculture et le tourisme.

Au niveau agricole, la vigne, culture méditerranéenne depuis des milliers d'années, et les arbres fruitiers, plus récemment, sont les cultures les plus répandues. Elles constituent, par leur surface importante de sol nu, le type même des cultures à risques dans le domaine de l'érosion des sols et les sols subissent par voie de conséquence des dégâts considérables.

L'homme est, de nos jours plus que jamais, un aménageur et un consommateur. Si les enjeux économiques liés au tourisme sont considérables en région méditerranéenne, ils font malheureusement souvent oublier ceux des dégâts de l'érosion. Le problème n'est pas nouveau: dès l'ère romaine et plus tard au 11^{ème} siècle de fortes pressions anthropiques ont endommagé les forêts de montagne (DUPRE-OLLIVIER M., 1990). C'est à cette époque, coïncidant avec les premiers besoins en matières premières, que sont apparus les premiers dégâts de l'érosion hydrique.

Ainsi, les zones les plus touchées restent les terrains de montagnes déboisés. Lors d'averses orageuses, fréquentes dans ces régions, la végétation non homogène de maquis ou de garrigue ne freine pas suffisamment le ruissellement engendré par les fortes pentes. De plus, les montagnes en région tempérée voient, depuis quelques années, leurs aménagements fonciers croître sous l'influence d'une population toujours plus demandeuse d'urbanisation. Les reliefs méditerranéens sont aujourd'hui un lieu d'exploitation des ressources hydrauliques, forestières et touristiques. Ils ont dû dans cette optique se doter de routes et de constructions foncières, et le déplacement de milliers de mètres cubes de roches de sol et de végétation a été entrepris.

Dans ces conditions, sans des mesures minimales de luttes anti-érosives, le ruissellement peut subir de fortes accélérations et générer des transports importants de sédiments ou des mouvements de masse.

En conclusion, de multiples facteurs influencent l'érosion hydrique: sol, végétation, morphologie, climat et présence de l'homme. Néanmoins en milieu méditerranéen, le climat et l'homme ont une influence beaucoup plus marquée que les autres facteurs. Les connaissances climatologiques nous permettent aujourd'hui d'adapter le type de culture adéquat à la région. La pression exercée par l'homme depuis plus de deux mille ans, se manifeste notamment par des aménagements, souvent inadaptés à ce type de milieu, et entraîne un déséquilibre irréversible des écosystèmes. Ils sont alors, dans des régions déjà fragilisées par les agressions répétées du climat, le point de départ d'une dégradation progressive du sol et de la végétation.

La région méditerranéenne est donc une zone tout particulièrement exposée à l'érosion. Elle possède des sites de sensibilités diverses, qu'il convient de localiser. La télédétection est un outil fiable et pratique qui permet une cartographie régionale de ces sites.

1.2. CONTEXTE DU PROJET

1.2.1. Programmes de recherche européens, carte de sensibilité à l'érosion

Une lutte ciblée et adéquate ne saurait être mise en place sans une localisation précise des sites touchés ou sensibles à une érosion future. De ce fait, la recherche de ces sites revêt une importance toute particulière.

De nos jours, la télédétection est capable de fournir un éventail satisfaisant de paramètres caractérisant les divers facteurs de l'érosion (COMPANY A., 1993). L'utilisation conjointe de paramètres extraits d'images satellitaires et de modèles d'érosion devrait permettre, à terme, d'acquérir des cartes de sensibilité à ce phénomène. Ces cartes, n'ont pas pour finalité une quantification localisée de l'érosion, mais au contraire la délimitation régionale d'une érosion potentielle et qualitative.

De nombreuses études ont donc été menées, dans ce domaine, dans le but d'acquérir des paramètres régionaux à introduire dans les modèles d'érosion: couverture végétale, densité de drainage, occupation du sol. En région méditerranéenne, trois programmes européens tentent de définir ce type de modèles, plus ou moins complexes. Ils utilisent des mesures d'état de surface et d'occupation du sol: CORINE, MEDALUS, EUROSEM. La télédétection, quant à elle, tente d'acquérir certaines de ces mesures, dans le but de les intégrer à ces modèles.

A travers le programme CORINE (Coordination de l'information sur l'environnement) de la CEE (DG XI), une carte de sensibilité des sols à l'érosion, à petite échelle, a été élaborée. De précision médiocre, elle a tout de même l'avantage de fournir une vue globale des problèmes posés dans les régions méditerranéennes.

Depuis peu, de multiples recherches sont menées en commun par les différents centres de recherche européens. Elles visent à élaborer un modèle d'érosion, EUROSEM (European Soil Erosion Model), valide sur l'ensemble de l'Europe et plus particulièrement en région méditerranéenne. Dans le cadre de ce programme la possibilité d'acquérir certains paramètres par télédétection commence à être envisagée (LEEK R., 1992). Il s'agit d'extraire des paramètres d'état de surface, de végétation, de sol et de réseau de drainage à partir de données diverses telles que: photographies aériennes optiques ou infrarouge, images SPOT et LANDSAT/TM, ERS1.

Enfin, le programme MEDALUS (Mediterranean Desertification And Land Use) a pour principal objectif la compréhension et la modélisation des impacts des variations climatiques et anthropiques sur les écosystèmes méditerranéens. Il cherche également à développer des techniques capables d'étendre à de grandes régions les observations faites à l'échelle des parcelles. Parmi les cinq actions engagées dans ce programme, l'une d'entre elles concerne l'évaluation de la réponse spectrale des sites, et les problèmes d'extension spatiale de l'information à travers la télédétection. Cette dernière est utilisée pour caractériser de vastes unités et développer les approximations nécessaires à l'utilisation de modèles de prévisions hydrologiques (SHE: Système Hydrologique Européen) dans les conditions méditerranéennes (MEDALUS I, 1993).

1.2.2. Contexte de l'étude

a) Cartographie du bassin versant du Réart, Roussillon

En 1988, dans le cadre d'un contrat avec la CEE (DG XII, atelier "soil erosion") et la société espagnole IBERSAT, un projet d'étude sur les possibilités techniques de la télédétection appliquée à l'érosion en milieu méditerranéen a été établi. Il est en 1991 à la base d'une analyse, réalisée par le BRGM (DELPONT G, 1991), sur les apports du satellite SPOT à haute résolution. Les recherches ainsi entreprises ont abouti à une carte de "sensibilité à l'érosion" du bassin versant du Réart (Roussillon, France).

Trois critères sont pris en compte et extraits de l'image SPOT (figure n°4) : la densité de végétation, l'intensité de la pente, la densité de drainage. Ils sont respectivement transformés par seuillage, après calibration sur le terrain en : indice de protection, indice d'agressivité de l'eau et indice de fragilité des sols.

Les trois cartes correspondantes sont combinées, par l'intermédiaire d'un Système d'Information Géographique (SIG), pour établir une carte de "sensibilité" à l'érosion régionale, qui comporte quatre classes de fragilité à l'érosion.

Le résultat de cette combinaison validés par des mesures de terrain, témoignent d'une précision régionale suffisante. Néanmoins, les images SPOT ne peuvent accéder aux critères d'état de surface, et à celui de rugosité plus particulièrement, qui participent étroitement aux phénomènes de ruissellement. Une étude concernant les potentialités des images radar, très sensibles à ces facteurs, est envisagée. Elle constitue le propos du présent rapport.

b) Etudes parallèles

A la suite de cette première étude le BRGM développe un programme de recherche à plusieurs niveaux :

(1) Le site du bassin versant du Réart est sélectionné par le programme MEDALUS et une méthodologie de l'érosion in situ est installée à l'échelle de la parcelle, afin de fournir des estimations des pertes en terre.

(2) il est sélectionné pour le programme JERS-1 et pour un Programme National de Télédétection Spatiale.

Ainsi indépendamment de notre étude et dans le cadre du programme européen MEDALUS, le BRGM a entrepris des mesures de ruissellement et de charge en sédiments sur certaines parcelles de vignes d'un de nos secteurs d'étude. Parallèlement, un suivi de la recolonisation des sols par la végétation sur les mêmes parcelles est effectué. Le croisement des résultats de ces différentes mesures sur des parcelles communes pourrait donc être envisagée, notamment, une validation des résultats acquis par télédétection sur la détermination des potentiels de ruissellement par des mesures in situ.

En 1992, le bassin est découpé en trois zones d'études essentiellement viticoles - sites "d'En Ferran", de "Fourques" et de "Terrats-Trouillats" - , appartenant chacune à une classe de sensibilité différente. Ces secteurs ont fait l'objet de l'élaboration d'une base de données caractérisant leur état de surface, leurs propriétés intrinsèques (pente, direction de rang, etc).

Notre étude débute à ce stade, elle s'inscrit dans un ensemble de programmes de recherche diverses ayant pour but commun, la recherche des processus et des conséquences de l'érosion en milieu méditerranéen.

De plus, des mesures de rugosité et une estimation de l'influence de celle-ci sur le ruissellement sont menées par le CIRAD de Montpellier qui collabore avec le BRGM pour l'étude de plusieurs parcelles de vigne d'un des trois sites ("En Ferran"). Ces mesures précises demandent néanmoins des conditions d'état du sol particulier (sol plat, dégagé).

Enfin, un modèle hydrologique évaluant la réponse des écoulements à la morphologie du site, très contrastée dans ces régions, est en cours d'élaboration (utilisation du logiciel Arborescence, de J. Fairfield). Il utilise un Modèle Numérique de Terrain établi à partir d'un couple stéréoscopique de photographies aériennes.

2. OBJECTIFS, CHOIX DE LA METHODOLOGIE

Après un bref compte rendu de nos objectifs, nous présenterons dans ce chapitre, successivement, un rappel des principaux facteurs de différenciation d'états de surface dans les vignobles, puis une présentation des principales caractéristiques des capteurs radar et notre attente envers leur utilisation lors de la discrimination des états de surface.

2.1. OBJECTIFS

Les objectifs spécifiques de ce projet PNTS (Programme National de Télédétection Spatiale) peuvent se décomposer en deux étapes distinctes :

1° L'évaluation des performances radar pour identifier les surfaces potentiellement ruisselantes, en particulier en contexte de vignoble.

2° L'étude des possibilités d'intégration des paramètres de télédétection, optique ou micro-ondes, dans un ou plusieurs modèles d'érosion, existants ou en cours d'élaboration.

Notre étude propre correspond à la première étape, mais reste dans la perspective des modèles d'érosion que constitue le second.

Parmi les paramètres significatifs fournis par la télédétection et intégrés dans les modèles d'érosion, l'occupation du sol est le plus communément cité. En s'appuyant sur l'approche des surfaces potentiellement ruisselantes des pédologues et des agronomes (CAZENAVE A. et VALENTIN C., 1989; BOIFFIN J., 1984.) il semblerait que des informations plus pertinentes puissent être extraites des données satellitaires, tant dans le domaine visible et proche infrarouge que dans celui des hyperfréquences.

Par exemple, la rugosité du sol est l'un des facteurs prépondérants dans le domaine de l'érosion, du ruissellement, et de l'infiltration des eaux (BOIFFIN J., 1988; EDWARDS G.M. et al, 1992.). Sa prise en compte comme facteur d'érosion, mais surtout de ruissellement et d'infiltration, est primordiale. Néanmoins, ce paramètre n'est que rarement discernable de façon univoque à partir de capteur optique tel que ceux de SPOT.

Dans le cadre de ce rapport, notre but est d'utiliser des images satellitaires radar, et plus particulièrement ERS 1 et JERS1, pour reconnaître des états de surface. A plus long terme, une relation bijective entre états de surface inconnus et leur réponse radar pourrait être à la base d'une introduction de ces méthodes dans les modèles d'érosion régionaux prédictifs.

Le choix des paramètres étudiés a été effectué conformément aux objectifs fixés, mais également en fonction des caractéristiques des cultures de vigne et des potentialités des mesures radar satellitaires.

2.2. RAPPEL SUR LES CARACTERISTIQUES DE LA CULTURE DE LA VIGNE

Dès l'époque romaine, la région méditerranéenne fut réputée pour ses cultures viticoles. La maturation du raisin nécessitant beaucoup d'ensoleillement, on trouve dans le midi de la France et tout autour de la Méditerranée les conditions favorables à son développement.

La vigne est caractérisée par sa culture en rangs. Dans le Roussillon, région de notre étude les rangs de vigne ont une origine particulière. En effet, une première plantation des ceps en "maille carré" a laissé la place, pour des raisons de qualité de vin, à des rangs marqués par l'arrachement de pieds suivant une même direction. Si la cause diffère des autres régions, les effets sont semblables. Ces rangs, constitués par l'alignement des pieds de vigne, sont généralement, pour des raisons de facilité de travail mécanique, disposés dans le sens de la pente principale. Le résultat en est une direction favorisée du ruissellement, suivant la pente et les rangs.

En terme d'érosion, ce type de culture est fortement préjudiciable. En effet, la partie du sol comprise entre chaque rang de vigne (nommée inter-rang), lorsqu'elle est dépourvue de couverture végétale, joue le rôle de voie privilégiée et facilite le ruissellement. Ce ruissellement linéaire se concentre et creuse le sol pour former ce que l'on appelle des griffes puis des rigoles et des ravines (photo n° 1). Si par ailleurs la parcelle est fortement inclinée, suivant cette direction de rang, l'effet d'érosion n'en est qu'accentué et la dégradation accélérée.

A ce stade, les pratiques culturales constituent un facteur important. Malgré les capacités de l'herbe à faciliter l'infiltration de l'eau de pluies tout en retenant les particules de terre, peu de viticulteurs de nos jours, la conservent. L'enherbement des parcelles est d'abord perçue comme un compétiteur de la vigne, avant d'être un moyen de lutte anti-érosive.

Deux méthodes de culture sont donc principalement utilisées, pour limiter cette enherbement :

- soit le travail mécanique de la terre (photo n°2).
- soit le désherbage chimique.

La première est la mieux adaptée aux problèmes d'érosion du sol. En effet, après le labour, l'horizon de terre retourné voit sa perméabilité augmentée de manière significative (CHIQUET A., 1992). Même si le sol est en pente et la terre ameublie, la perte en terre est diminuée par une augmentation des circulations d'eau dans cet horizon, et le ruissellement est limité. Pourtant la mécanisation ne possède pas que des avantages. Elle entraîne également de nombreuses transformations (LITZLER C., 1988) telles que :

- une plantation dans le sens de la pente.
- la baisse de densité de pied de vigne.
- la suppression d'obstacles à l'écoulement ou de réseaux d'évacuation des eaux.
- l'apparition de traces continues dues aux passages répétés des tracteurs, favorisant la concentration du ruissellement.

La seconde méthode, basée sur l'utilisation d'un désherbant chimique, aboutit à la formation d'un sol tassé, limitant l'infiltration de l'eau. Une "remontée" des pierres apparaît. En d'autres termes, les fines particules de terre disparaissent de la surface du sol pour n'y laisser que des cailloux grossiers parfois même des pierres. Rapide et efficace contre l'enherbement, cette technique devient gênante lorsqu'il s'agit de stopper le moindre ruissellement (photo n°3).

Enfin, une pratique culturale supplémentaire consiste à allier travail du sol et désherbage chimique. Les parcelles ainsi entretenues possèdent régulièrement des inter-rangs larges retournés et des inter-rangs étroits désherbés.

L'influence de la rugosité des parcelles, entraînée par les pratiques culturales, est donc à prendre en compte sur le potentiel de ruissellement. Or, ce paramètre de surface n'a pas été, jusqu'alors, accessible par imagerie optique ou infrarouge. Il semble, en revanche que l'utilisation des micro-ondes puisse apporter une solution à ce problème.



photo 1-Dégât du sol engendré par l'érosion
Ravine recouverte de sarments de vigne



Photo 2-Parcelle de vigne labourée



Photo 3-Parcelle de vigne à pratique mixte, un inter-rang travaillé et un inter-rang desherbé.

2.3. JUSTIFICATION DU CHOIX DES DONNEES RADAR

2.3.1. Historique

On trouve à l'origine de la télédétection deux inventions spectaculaires du 18^{ème} et du 19^{ème} siècle : le premier vol en ballon en 1783 et l'invention de la plaque photographique en 1839. Les photographies aériennes sont effectivement les premiers outils de la télédétection. En 1956, Colwell les utilise en avant garde pour une classification et une reconnaissance de la végétation.

Les satellites des années 70 ouvrent de nouveaux horizons. Les capteurs qui y sont embarqués fournissent des images d'un nouveau genre dans les différentes bandes de fréquences de l'optique et de infrarouge .

Dans le domaine des micro-ondes, les recherches sont plus récentes et se sont d'abord orientées vers des applications militaires. Comme le montre Hertz.H en 1889, tous les objets solides réfléchissent les ondes "radio". La première application qui en sera faite constitue une arme tactique indispensable : la détection à distance de bateaux et d'avions ennemis.

De nos jours, les applications sont très diverses : observation de la surface de la Terre, des océans, des glaciers, cartographie de planètes de notre système solaire (Vénus, Lune et Titan -satellite de Saturne-). Elles utilisent les capteurs radar sous leurs diverses configurations: altimètre, scatteromètre et radar imageur.

De nombreux programmes de recherche à partir des radars aéroportés permettent, en premier lieu, d'établir, à une distance beaucoup moins importante que celle des satellites, des résultats qu'il convient ensuite d'adapter à une détection satellitaires.

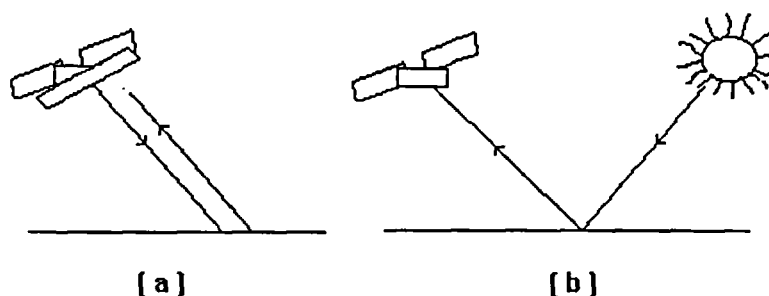
Avec SEASAT, satellite américain d'observation de la Terre, débutent en 1978 les premiers programmes "radars satellitaires". Ils sont suivis des missions SIR (Shuttle Imaging Radar), réalisées par les navettes américaines, en 1981 et 1984. En 1991, le premier satellite européen ERS1 (European Remote-sensing Satellite) puis en 1992 le satellite japonais JERS1 (Japanese Earth Resources Satellite) débutent une nouvelle ère. Ils permettent pour la première fois d'acquérir une couverture quasi complète de la surface de la Terre. La poursuite de ces nouveaux programmes devrait être assurée par les satellites canadien RADARSAT et européen ERS 2 prévus pour 1994. Nous nous attacherons plus particulièrement aux satellites européens et japonais (ERS 1 et JERS 1) à partir desquels ont été acquises les données nécessaires à cette étude.

2.3.2. Propriétés des radars

Les satellites ERS1 et JERS1 ont à leur bord ce que l'on appelle des SAR (Synthetic Aperture Radar) ou radar à ouverture d'antenne synthétique. Cette technique date des années 60 et permet de simuler une antenne fictive très longue, qu'il serait impossible d'adapter à l'extérieur du fuselage du satellite. La résolution spatiale de l'image (taille de l'image élémentaire ou pixel) dépendant de la taille de l'antenne, le système SAR fournit ainsi une meilleure résolution tout en gardant une taille d'antenne réduite.

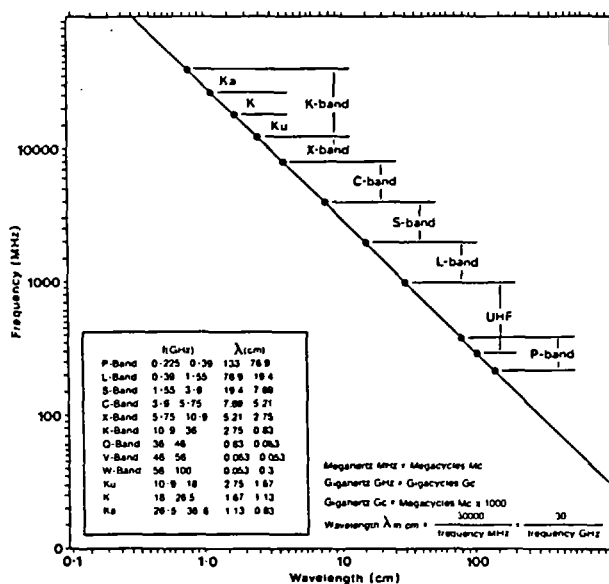
Les modes d'acquisition dit "actifs" de la majorité des capteurs radar de ces satellites leur apportent une complète autonomie de fonctionnement. Disposant de leur propre source d'éclairage, l'acquisition des données peut s'effectuer de jours comme de nuit (fig n°2.3.2.1). De plus, pour les longueurs d'onde utilisées par ERS 1 ($\lambda = 5.6$ cm, bande C) et JERS 1 ($\lambda = 25$ cm, bande L) les perturbations atmosphériques sont négligeables, les radars peuvent passer outre les conditions climatiques défavorables (nuages, pluie légère, brouillard) dont ne peuvent s'affranchir les capteurs optiques comme SPOT.

Figure n° 2.3.2.1. Fonctionnement des capteurs en mode actif (a), et en mode passif (b) :



Outre par leur mode de fonctionnement, les radars divergent des capteurs précédents (optique et infrarouge) par leur bande de fréquences. Ainsi, les hyperfréquences varient de 0,2 à 30 GHz (de $4 \cdot 10^7$ GHz à $7,5 \cdot 10^7$ GHz pour le visible), ceci correspondant à des longueurs d'onde comprises entre 0,8 cm et 0,1 m (de $7 \cdot 10^{-7}$ m à $4 \cdot 10^{-7}$ m pour le visible).

Figure n° 2.3.2.2. Spectre des hyperfréquences, longueur d'onde et bande associées. (in Trevett J.W, 1986.)



A ces fréquences, le signal rétrodiffusé et mesuré est fortement influencé par les propriétés géométriques et électriques de la surface visée.

Ceci s'explique simplement par la première loi de la rétrodiffusion d'une onde électromagnétique: la loi de Descartes (ULABY F.T. et al., 1986 ; ELACHI C., 1987.). Lorsqu'une onde électromagnétique rencontre une surface séparant deux milieux, elle se décompose pour donner deux ondes, l'une rétrodiffusée l'autre réfractée:

loi de Descartes:

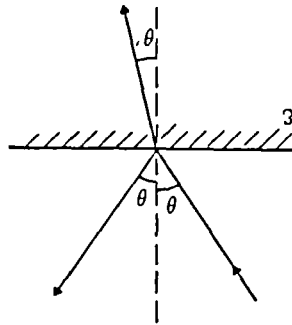
$$\sin \theta = \frac{\sin \theta'}{\epsilon}$$

ϵ : constante diélectrique du second milieu

θ : angle d'incidence

θ' : angle de l'onde réfractée

Figure n° 2.3.2.3. Réflexion et réfraction d'une onde électromagnétique (in Elachi C, 1987.)



ε étant lié à l'humidité du milieu, cette propriété influence la pénétration de l'onde et par conséquent l'intensité du signal rétro-diffusé.

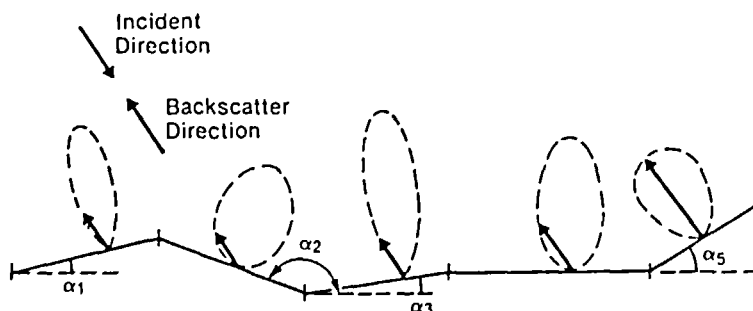
En résumé, plus le taux d'humidité est élevé, plus la rétro diffusion augmente. Néanmoins la rugosité a une influence nettement supérieure à celle de l'humidité des sols. Nous ne développerons pas plus ici les caractéristiques de l'humidité (ULABY F.T et al, 1986.) mais nous nous attacherons uniquement à détailler l'effet de rugosité de surface.

*** Effet de pente:**

En reprenant les lois de la réflexion d'une onde électromagnétique, la direction de rétrodiffusion du signal radar dépend:

- de l'angle d'incidence du signal émis θ
- de l'inclinaison de la surface visée.

Figure n° 2.3.2.4. Rétrodiffusion d'une onde radar, en fonction de l'inclinaison de la surface visée. (in Elachi C, 1987.)



Les instruments fonctionnant en mode actif, comme les radars, émettent et reçoivent le signal suivant une direction propre et identique, à la fois direction d'incidence et direction de rétrodiffusion. En conclusion, l'amplitude du signal rétrodiffusé augmente lorsque l'inclinaison de la surface augmente par rapport à la visée.

*** Effet de rugosité:**

Le principe de la rétrodiffusion des surfaces plus ou moins rugueuses suit les mêmes lois que celui des surfaces plus ou moins inclinées. Considérant une surface horizontale, une surface lisse réémet la majeure partie du faisceau incident dans une direction opposée ; au contraire, plus une surface est rugueuse, plus le signal rétrodiffusé en direction du capteur est intense (fig. n° 2.3.2.5.).

Figure n° 2.3.2.5. Réflexion d'une onde électromagnétique en fonction de la rugosité de la surface visée. (in Elachi C, 1987)



Néanmoins la notion de rugosité est relative dans le spectre électromagnétique. Le critère de Rayleigh évalue en fonction de la longueur d'onde le seuil de rugosité "détectable" par l'onde. Il précise qu'une surface est "douce" lorsque la hauteur quadratique moyenne ℓ de ses irrégularités est tel que :

$$\ell \leq \frac{\lambda}{8 \cos \theta}$$

λ : longueur d'onde
 θ : angle d'incidence

Le calcul de ce seuil pour les satellites ERS1 et JERS1 établit qu'une surface est lisse ou "douce" pour :

$$\begin{aligned} \ell &< 0,77 \text{ cm pour ERS1} \\ \ell &< 3,81 \text{ cm pour JERS1} \end{aligned}$$

Des études plus poussées, ont amenées Peake et Oliver à modifier cette inéquation afin d'obtenir trois classes de rugosité de surface selon la valeur de ℓ :

$$\begin{aligned} \text{la surface est douce si:} \quad & \ell \leq \frac{\lambda}{25 \cos \theta} \\ \text{la surface est rugueuse si:} \quad & \ell \geq \frac{\lambda}{4,4 \cos \theta} \\ \text{la surface est intermédiaire sinon.} \end{aligned}$$

2.3.3. Caractéristiques des images radar

Si les perturbations atmosphériques sont négligeables pour les radars, il existe deux autres types de perturbations qui leur sont propres. Il s'agit de l'effet de "speckle" et des fortes déformations géométriques.

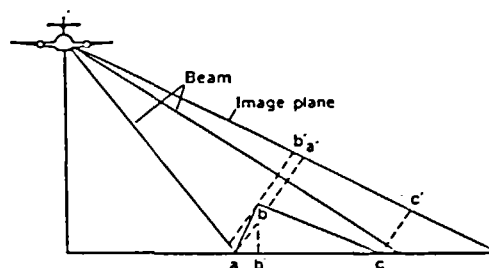
a) Effet de speckle

Le speckle est un bruit d'image caractéristique des images radar. Il est essentiellement dû à une variation de l'intensité du signal retour selon que les signaux des différents centres diffuseurs s'ajoutent en phase ou en opposition de phase. Le résultat en est une image perturbée possédant beaucoup de bruit et donc moins précise.

b) Déformations géométriques

Le système de prise de vue oblique des radars provoque de nombreux artefacts et induit des déformations géométriques fréquentes. En zone de montagnes, les reliefs accentués sont à l'origine d'images très contrastées et difficilement exploitables. En effet, selon l'orientation des versants par rapport au faisceau incident, les versants non éclairés apparaissent en "zone d'ombre" ; au contraire, ceux trop éclairés accumulent une énergie telle qu'elle masque les détails ; enfin, les structures parallèles au faisceau ne sont pas détectées. Un autre déformation géométrique appelée " Layover" est introduite par le fait suivant : l'enregistrement spatial du signal étant réalisé à partir du temps nécessaire pour que ce dernier fasse l'aller et retour, certains sommets plus proches du capteur se trouvent imagé avant le fond de la vallée qui le succède (figure n° 2.3.3.1.).

Figure n° 2.3.3.1. Effet de layover. (in Trevett J.W, 1986.)



2.4. CONCLUSION

Après cette approche, concernant l'influence de la rugosité et de la morphologie des parcelles sur l'érosion et le ruissellement, et leur rôle théorique sur la rétro-diffusion du signal radar, nous pouvons conclure qu'au niveau du ruissellement des parcelles de vigne, trois échelles de relief doivent être considérées.

Il s'agit :

- de la valeur de la pente de la parcelle, qui joue sur la vitesse de ruissellement et sur l'énergie de détachement des particules de terres pendant ce ruissellement.
- de l'orientation des rangs de vigne, qui influence le ruissellement de l'eau suivant une direction privilégiée.
- de la rugosité du sol liée au type de travail cultural, qui contrôle en partie l'infiltration des eaux de pluies.

La nature plus ou moins infiltrante des différents types de sol, selon leur texture, leur porosité, etc, ne sera pas prise en compte, ceci malgré son importance primordiale aux échelles de travail détaillées.

Pour ces trois paramètres, qui conditionnent le ruissellement, il convient d'évaluer leur influence sur la rétro diffusion du signal radar, son degré d'intensité et ses conditions d'existence. Ceci dans le but d'obtenir, à plus long terme, une reconnaissance des états de surface qu'ils caractérisent et d'évaluer un ruissellement et une érosion potentiels.

C'est ce que nous nous proposons d'analyser, à partir d'images acquises par les deux satellites ERS-1 et JERS1, sur les sites du Réart, dans le Roussillon.

3.METHODOLOGIE

Dans cette troisième partie, nous allons successivement passer en revue les données qui ont été nécessaires, les outils de traitement et d'analyse qu'il a fallu maîtriser, et la méthodologie suivie. Les résultats découlant de l'analyse décrite, seront regroupés dans la partie 4.

3.1. DONNEES DISPONIBLES

Les données réunies et utilisées lors de cette étude, sont de source très hétérogènes. Grâce à un paramétrage des facteurs sur le terrain, aux mesures effectuées par télédétection -qu'il s'agisse des radars satellitaires, ou des photographies aéroportées-, aux cartes de l'IGN et même aux indications orales de certains viticulteurs, une base de données complète a pu être établie. Elle regroupe de multiples informations sur le relief des sites choisis et les valeurs radiométriques qui s'y rattachent. Quatre séries de données, correspondant à quatre dates distinctes étalées sur trois saisons, permettent une étude de l'évolution des parcelles au cours du temps.

3.1.1. Secteurs de référence

Ils sont au nombre de trois et appartiennent chacun à une classe de "sensibilité à l'érosion" différent selon la carte établie en 1991 sur l'ensemble du bassin versant du Réart (voir 1.2.2 a)). Ils se situent au sud de Thuir (Roussillon, France.) à environ 20 km au sud-ouest de Perpignan. Proche des Pyrénées et des Aspres, on y retrouve un modelé de ravinement typiquement méditerranéen. Le régime climatique est lui aussi, de nature méditerranéen. Les quelques relevés de précipitation entrepris par le BRGM (annexe B) sur l'un des trois sites ("En Ferran") montrent les pluies diluviennes et ponctuelles qui s'y produisent.

Chaque secteur possède de 85 à 119 parcelles, dont 64 à 106 sont des parcelles de vigne. Au total, ils représentent près de 21 hectares de vigne réparties sur une zone totale de 8 km en est-ouest et 9 km en nord-sud.

La carte suivante représente une partie du bassin versant du Réart et délimite les secteurs en question. Leurs noms ont été choisis en fonction de la commune d'appartenance ou d'un proche lieu-dit. De manière à faciliter la discussion, nous les appellerons à partir de maintenant par leur nom : site d'"En Ferran", site de "Terrats-Trouillats" et site de "Fourques".

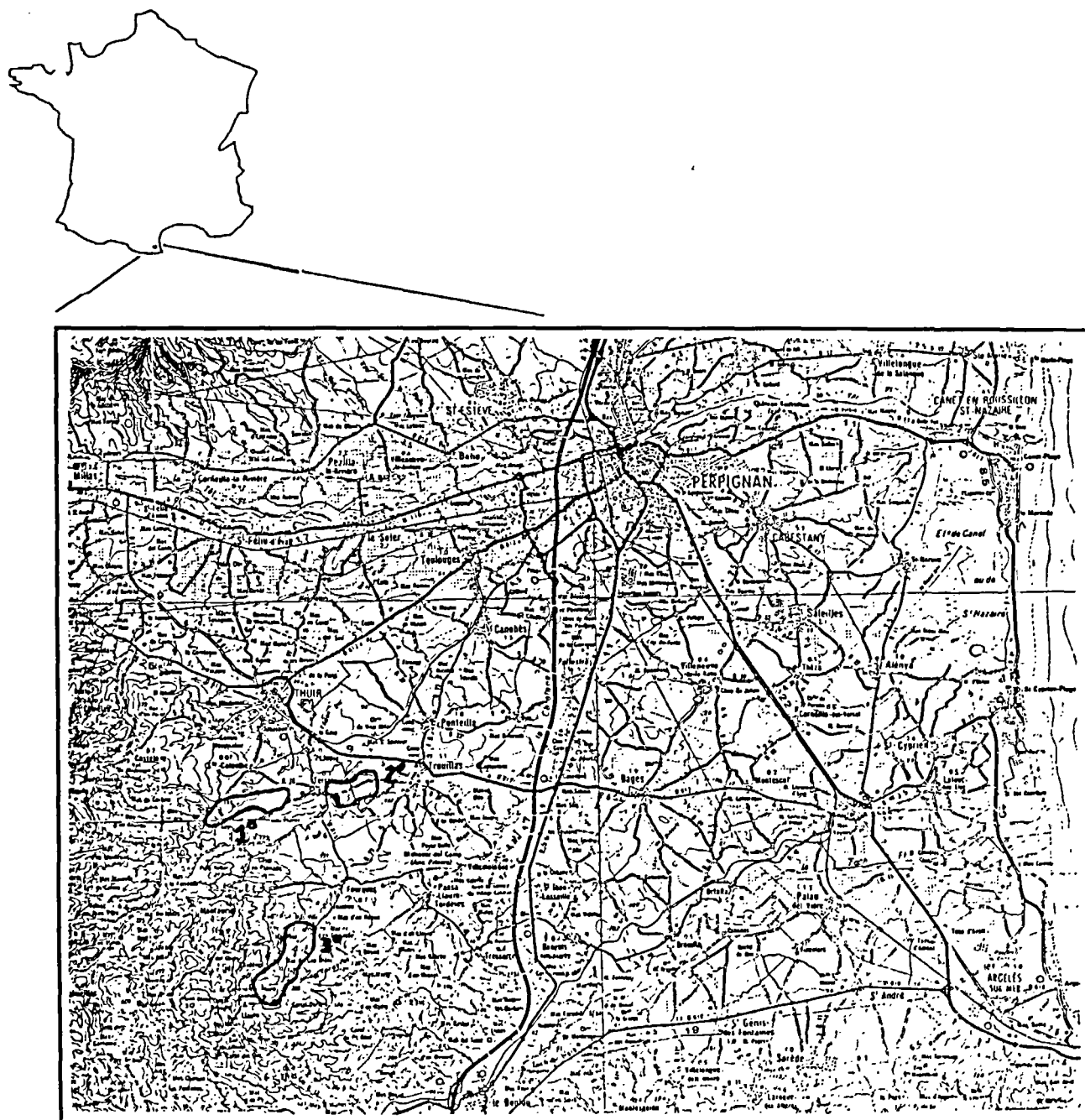


Figure 1-Localisation des trois sites d'études du bassin du Réart

- 1° Site d' "En Ferran"
- 2° Site de "Terrats-Trouillats"
- 3° Site de "Fourques"

3.1.2. Fichiers graphiques acquis par digitalisation des parcelles

Lors de la constitution de la base de données de terrain, une digitalisation des contours des parcelles, constituant les trois secteurs a été réalisée. Cette méthode aboutit à des fichiers graphiques contenant tous les renseignements géographiques nécessaires. Ces fichiers peuvent être considérés comme des cartes numérisées. Dans notre cas, par l'intermédiaire de ces derniers, un repérage des vignes dans leur ensemble a pu être effectué, à tout moment, sur n'importe quel support possédant les coordonnées adéquates (coordonnées Lambert II en l'occurrence).

Des représentations graphiques de ces fichiers à différentes échelles sont réalisables. Trois d'entre elles correspondant aux trois sites à une échelle de 1/ 100 000^{ème} sont représentées en annexe (annexe C).

3.1.3. Données radar : ERS1, JERS1

Il existe plusieurs types de données radar accessibles aux thématiciens. Les plus courantes, comme celles utilisées pour notre étude, sont des données acquises en mode image, fournissant une amplitude spatiale du signal. Acquisées en mode actif, elles s'affranchissent, pour la plupart, des conditions climatiques et atmosphériques. La distribution temporelle et spectrale de ces images offre la possibilité de mener simultanément des études multitemporelles et multispectrales.

ERS-1 :

Quatre images ERS-1 ont été acquises selon les dates, étalées sur une année, suivantes :

- 23 avril 1992.
- 08 juillet 1992.
- 28 janvier 1993.
- 08 avril 1993.

Un traitement avant réception au BRGM a été réalisé par l'ESA, les données recueillies sont des données ERS-1.SAR.PRI (SAR Precision Image). Leurs caractéristiques principales sont les suivantes :

- codage sur 16 bits (shortbyte).
- 8000 pixels par environ 8200.
- taille du pixel de 12.5 m sur 12.5 m.
- couverture géographique reproduite: 100 km sur 102.5 km.
- angle d'incidence: 23°.
- fréquence de 5.3 GHz, soit une longueur d'onde de 5.6 cm
- bande C

De plus, chacune d'entre elles ayant été acquise en mode descendant (directions de vol du satellite identiques : nord-est vers sud-ouest), une comparaison multitemporelle est envisageable, sans que les déformations géométriques soient trop importantes d'une date à l'autre.

JERS-1 :

L'acquisition de l'image JERS-1 de notre zone d'étude date du 21 août 1992.

Le SAR de JERS-1 possède un mode d'acquisition similaire à celui de ERS-1. Quelques différences apparaissent pourtant :

taille du pixel de 18 m sur 18 m.
couverture de l'image légèrement plus importante.
angle d'incidence 35.21°
fréquence d'émission de 1.2 GHz, soit une longueur d'onde de 25 cm
bande L

Malheureusement l'ouverture partielle de l'antenne du SAR après son lancement en 1992, limite la sensibilité du capteur. Les images sont bruitées, elles manquent de dynamique, c'est-à-dire de contraste. La précision des mesures est diminuée. Il est alors plus difficile de distinguer deux parcelles de rétrodiffusion différentes.

La comparaison des données ERS-1 du 08 juillet 1992 et des données JERS-1 du 21 août 1992, devait, par leur différence de fréquence, fournir des résultats complémentaires sur la possibilité de discrimination à attendre d'une étude multispectrale en bande radar. Néanmoins le problème de qualité cité ci-dessus a fortement gêné nos analyses statistiques.

3.1.4. Images SPOT

Les images SPOT, n'ont eu dans cette étude, qu'un rôle d'outil géographique. Aucune valeur radiométrique n'en a été extraite.

La première est une image SPOT en mode multispectrale de 1986 (figure n°4), à partir de laquelle la carte de sensibilité à l'érosion a été établie en 1991. La seconde plus récente, date de mai 1992.

Elles ont servi (voir méthodologie), pour la première, de référence aux corrections géométriques, car déjà géoréférencée dans l'archive du projet ; pour la seconde, d'intermédiaire lors de l'utilisation des couvertures graphiques.

3.1.5. MNT et carte de pente sur "En Ferran"

Sur le site d' "En Ferran", un modèle hydrologique est en cours de réalisation. Cette étude prévoit de tester le logiciel "Arborescence" (mis au point par M. Fairfield J.) qui permet à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT), de calculer une image du réseau hydrologique de surface, de simuler le réseau de talweg, les lignes de crête, les lignes privilégiées d'écoulement des eaux de pluies. Grâce au Modèle Numérique de Terrain, réalisé par la société ISTAR, une carte de pente (figure n°6) a été réalisée, et nous a fourni pour chaque parcelle du site une mesure moyenne de la pente. A ce MNT, s'ajoute une ortho-image (figure n°5) provenant d'un couple de photographies aériennes. Cette dernière nous a servi de support géoréférencé, lors de l'application du système de coordonnées.

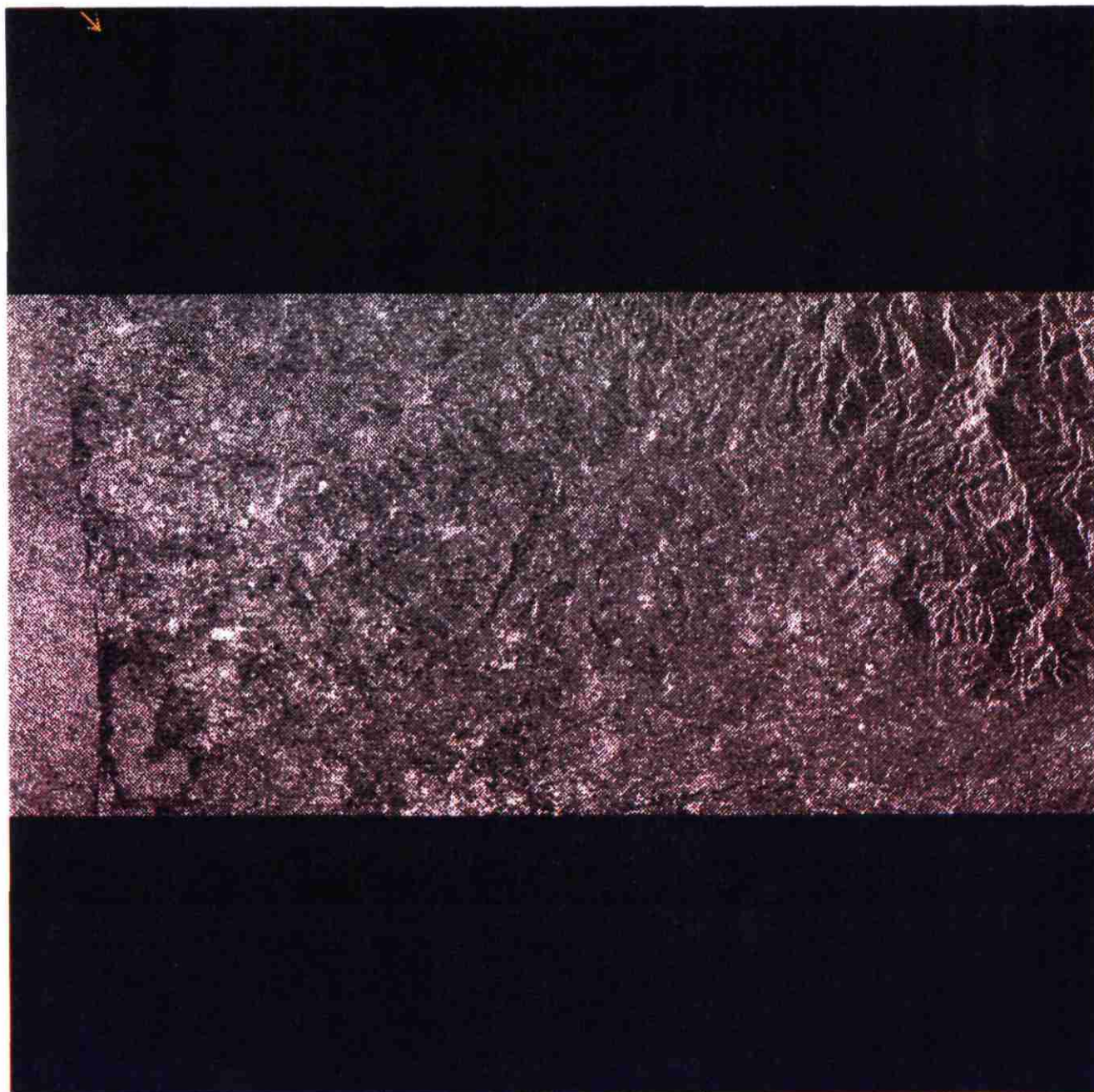


fig 2-Image complète J-ERS-1 du 21 août 1992

On distingue au Nord Ouest de l'image, l'étang de Canet et à la limite nord, la banlieue de Perpignan.

Echelle:

0 10 km

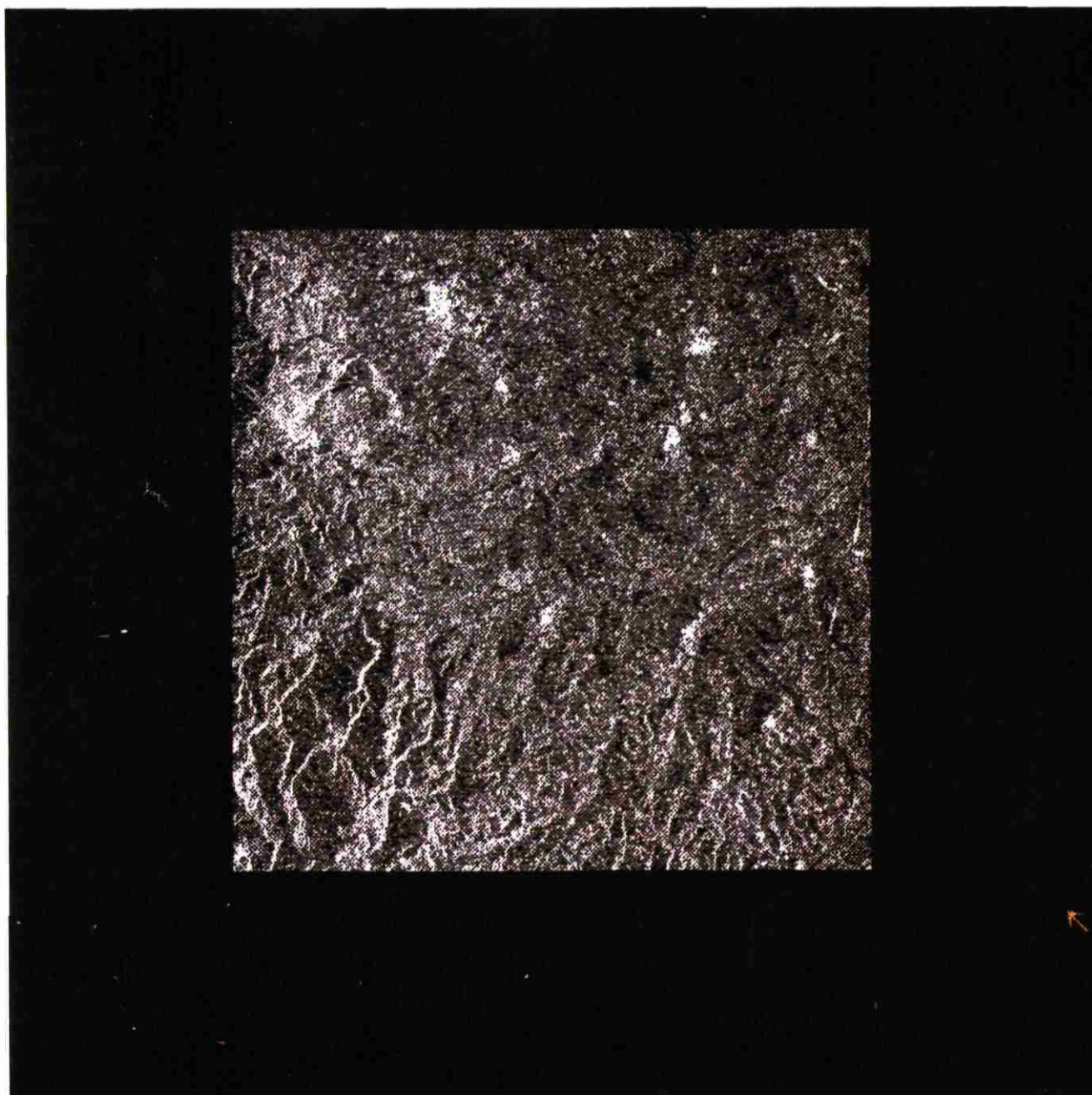


Fig 3-Image ERS-1 du 23 avril 1992, découpée sur la zone d'étude comprenant les trois sites

Echelle:

0 2 km

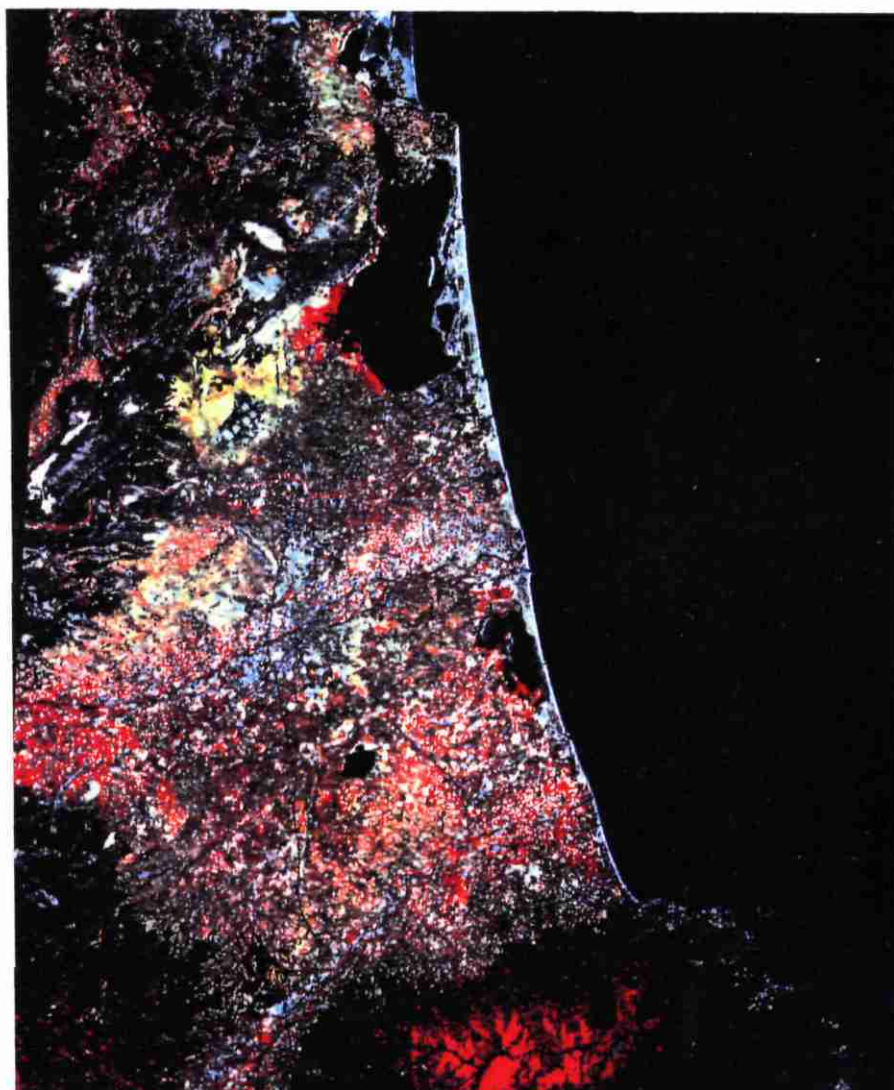


fig 4-Image SPOT multispectrale de 1986, sur la région du Roussillon

Echelle:





fig 5-Ortho-image du site d'En Ferran

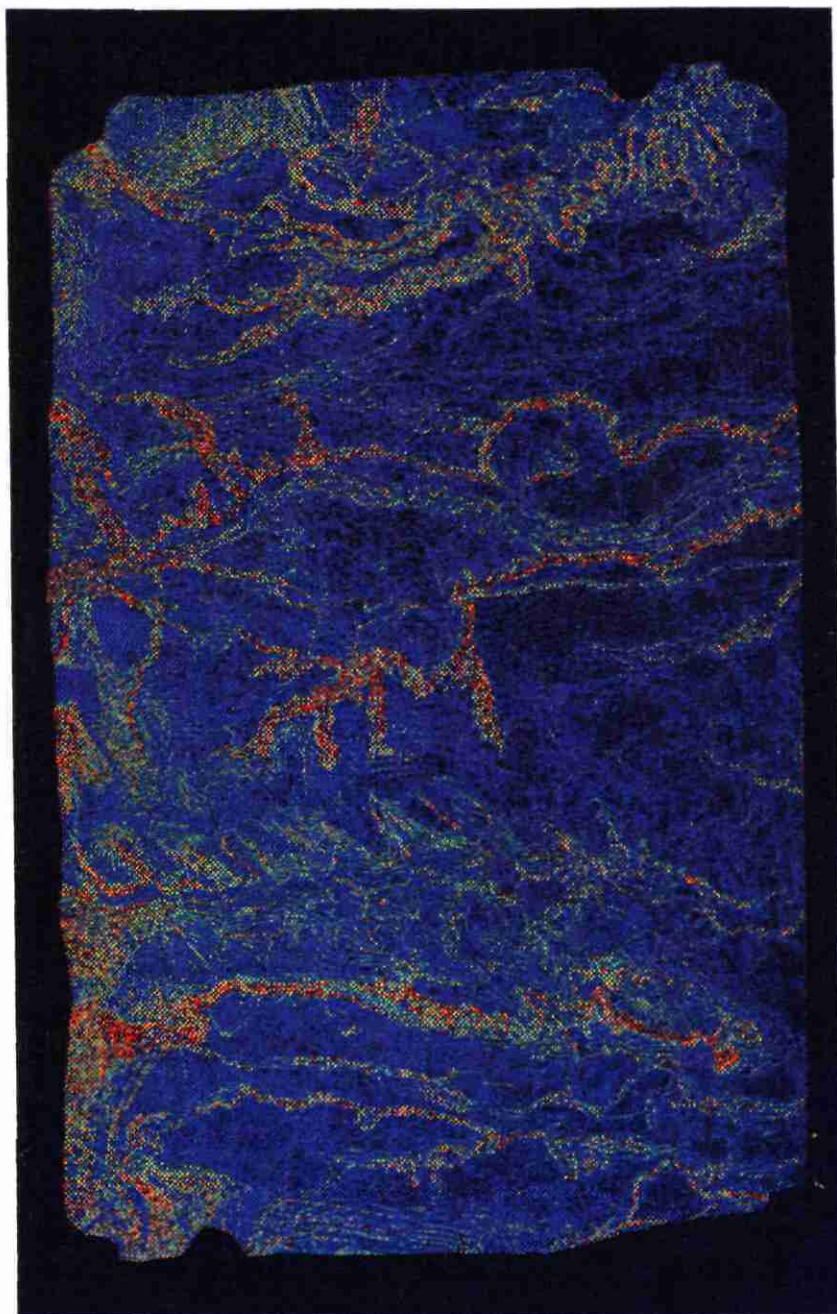


fig 6-Carte de pente du site d'En Ferran
pente croissante du bleu au rouge

3.1.6. Base de données terrain

a) Choix des périodes d'enquête

Depuis 1992, lors du choix des sites d'étude, des enquêtes de terrain répétées ont été entreprise par le BRGM, dans le but d'acquérir un nombre suffisant de paramètres représentatifs des états de surface. Les dates d'enquêtes étaient planifiées en même temps que les dates d'acquisition d'images radar de manière à pouvoir "retrouver" à travers les mesures radar des états de surface connus et paramétrés. Ainsi trois enquêtes se sont déroulées en 1992 et 1993, coïncidant à trois des quatre dates d'acquisition des images radar ERS-1, à savoir:

- du 18 au 22 mai 1992.
- du 9 au 11 décembre 1992.
- du 22 au 23 avril 1993.

Ces périodes se rattachant respectivement aux images ERS-1 des :

- 23 avril 1992.
- 28 janvier 1993.
- 08 avril 1993.

b) Paramètres relevés

- **La rugosité** a été le principal axe de relevé sur le terrain. Nous avons vu plus haut, l'intérêt que peuvent avoir les aspérités d'un sol nu sur l'infiltration des eaux de ruissellement.

Des évaluations de la taille des pierres et des mottes de terre ont été réalisées.

Une mesure approximative de la rugosité a également été entreprise, elle établit la réduction d'une chaînette à boule de 1 mètre de long, après dépôt sur le sol. Cette mesure facile et rapide à réaliser, comporte quelques inconvénients. Par exemple, le choix de la pose de la chaînette est très aléatoire et la valeur mesurée est très dépendante des artefacts locaux et de la façon de poser la chaînette.

- Dans le même ordre d'idée que la rugosité, une enquête sur **les pratiques culturales** des viticulteurs, nous a permis d'évaluer quelles étaient les parcelles à tendance rugueuse (travail mécanique du sol) et les parcelles les plus lisse (désherbage chimique).

- **La pente, la direction de pente et la direction des rangs de vigne** qui peuvent avoir une forte influence sur la rétro-diffusion du signal radar ont également fait l'objet de mesures systématiques.

c) Codification

Tous ces paramètres ont fait l'objet d'une codification ; leurs valeurs ont été intégrées dans une base de données (annexe D). La difficulté est, à ce stade, de ne perdre que le minimum d'information. Ainsi, les parcelles à pratique culturale mixte (travaillée et désherbée selon les rangs) sont d'une codification difficile : largeur des inter-rangs, pourcentage de rangs cultivés ou désherbés, etc. De même, aucune date de labour n'a pu être précisée pour chaque parcelle. Seule est connue, une période générale de labour. Quelques indications relatives existent parfois, à savoir reconnaissance d'un labour frais ou non à la date de l'enquête. Malheureusement trop peu de parcelles ont été renseignées de cette façon, ces observations n'ont donc pu être prises en compte comme paramètres. Ponctuellement, elles ont servi à comprendre la réponse particulière d'une parcelle donnée.

3.1.7. Base de donnée finale

Lorsque tous les renseignements et mesures de provenances diverses ont été réunis, une base de données finale les regroupant a été établie. L'apport du Système d'Information Géographique (SIG) "Arc-INFO" a été ici d'une très grande utilité. Il permet, en effet, la mise en commun d'informations de contenant (contours géographiques) et de contenu des parcelles (paramètres terrain, valeurs radar). C'est à partir de cette base de données, que nous qualifierons de finale, que des analyses statistiques ont été conduites.

3.2. OUTILS DE TRAITEMENTS DE DONNEES ET D'ANALYSE UTILISES

L'analyse statistique, qui est l'aboutissement de notre étude, nécessite un logiciel adapté. Mais avant cette analyse, de nombreux traitements et compilations de données ont dû être réalisés à l'aide d'autres outils (annexe F).

En résumé tous les traitements et transformations subis par les images radar, optiques, le MNT et la carte de pente, ont été réalisés sur le système de traitement d'image System 600 de "International Imaging System" (IIS).

La compilation des renseignements acquis lors des enquêtes de terrain a été établie à l'aide du système de gestion de base de données "dBase IV".

Le Système d'Information Géographique: (Arc-Info) apparaît ici comme un outil indispensable à la gestion de ces données hétérogènes. Il peut être défini comme "une base de données informatique dans laquelle les informations spatiales de type géographique sont traitées et analysées par l'intermédiaire de tables qui définissent les éléments graphiques et descriptifs; des manipulations de la même surface géographique créent de nouvelles cartes ou des informations statistiques".

Enfin les graphiques et calculs statistiques ont nécessité deux logiciels différents: "Statgraphics" et "Excel". Le premier est un logiciel de traitement statistique et mathématique très complet ; le second est un tableur permettant de réaliser de nombreuses représentations graphiques.

3.3. METHODOLOGIE

Avant d'entreprendre, la description de la méthodologie suivie, il est important de signaler le point suivant. L'examen des possibilités des données radar, dans une perspective d'évaluation d'états de surface, était prévue par le projet suivant une approche en deux niveaux successifs :

- Un premier niveau, aéroporté, les données radar E-SAR ont été acquises en décembre 1992, à différentes bandes de fréquences, différents axes de vol et différentes polarisations.

- Un second niveau, satellitaire, les données proviennent des satellites ERS-1 et au projet pilote JERS-1

Toutefois, cette ordre chronologique d'exploration des données n'a pas été respectée. En effet, les traitements préliminaires des données aéroportées, effectuées par le CNES, ont pris plus de temps que prévu (réception des données en août 1993). La démarche a dû être inversée, et les images satellitaires traitées et étudiées en premier.

3.3.1. Mise à jour de la base de données

La première étape de cette étude a été la mise à jour de la base de données existante. En effet, une étude préalable (PASTOR M., 1992) fournissait une base de données sur les trois secteurs de "En Ferran", "Fourques", et "Terrats-Trouillats", elle contenait les informations acquises lors de l'enquête terrain , à la seule date du 18 au 22 mai 1992.

Notre travail a consisté à :

- compléter cette base de données à partir des informations de l'enquête de décembre 1992
- préparer et exécuter l'enquête d'avril 1993
- réaliser une nouvelle mise à jour à partir de ces derniers relevés

Lors de la préparation de la dernière enquête, nous avons dû évaluer les facteurs primordiaux à prendre en compte. Notre choix s'est porté sur les facteurs variant avec les saisons, car dépendants des pratiques culturales. Ainsi, seules des mesures de rugosité, taille des mottes, taille des pierres, ainsi que l'évolution de la végétation, ont fait l'objet de relevé.

3.3.2. Pré-traitement des images

Des traitements supplémentaires à ceux réalisés par l'ESA (Agence Spatiale Européenne) doivent être appliquée aux données images avant leurs utilisations. Ces traitements sont de deux ordres ; les traitements géométriques et les traitements radiométriques.

a) Passage en 8 bits

Les images radar, caractérisées par de très grandes variations de la réponse rétro-diffusée, sont enregistrés numériquement sur 16 bits (soit 65 536 niveaux de gris). Une transformation en format 8 bits (256 niveaux de gris) est nécessaire, pour les traitements sur IIS , elle permet une gestion plus simple de l'image lors des traitements, et est indispensable à l'acquisition des valeurs radar moyennes de chaque parcelle. Malgré la perte d'information résultante, la qualité des coefficients de rétro-diffusion est nettement suffisante.

b) Corrections géométriques

Elles consistent à rectifier les images satellites de manière à les rendre géométriquement conformes à d'autres images ou à des documents cartographiques, ainsi qu'à les doter d'un système de référence géométrique.

La méthode traditionnelle, que nous avons utilisé, calcule un modèle de déformation à partir de points d'appui (points d'amers). Les coordonnées de ces points étant connues sur l'image à corriger (x,y) comme sur l'image de référence (x',y'), le calcul d'une fonction de transfert définit la transformation géographique à appliquer à l'image à rectifier.

Les données radar présentent de très fortes modifications géométriques (voir chap précédent). Une vingtaine de points d'amers ont été relevés sur l'image ERS-1 de juillet 1992, l'image SPOT de 1986 servant de référence.

Le même traitement a été appliqué à toutes les autres images ERS-1 et J-ERS-1. Cette fois-ci, l'image ERS-1 de juillet 1992 a servi de référence. En effet, il faut noter que la recherche de points d'amers sur des images de même type (SPOT - SPOT, ou radar - radar) est beaucoup plus aisée ; les caractéristiques de réponses spectrales n'étant pas semblables entre l'optique et le radar. Pour ces mêmes raisons l'image SPOT de mai 1992 a eu pour base de correction l'image SPOT de 1986.

Lors de chacune des corrections effectuées, la fonction de transfert géométrique a été une fonction polynomiale d'ordre 2:

$$\begin{aligned}x' &= a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2 \\y' &= b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy + b_4x^2 + b_5y^2\end{aligned}$$

Les erreurs quadratique moyenne (RMS) sont restées de l'ordre de 1.5 pixel (30 mètres) pour la première correction (ERS-1 juil.92 sur SPOT.86) de 0.5 (10 mètres) pour les suivantes (ERS-1 autres dates sur Juillet 1992)

L'assignation de la valeur de chaque nouveau pixel, dont la localisation ne coïncide pas exactement avec les pixels originels, constitue la seconde étape. Nous avons choisi d'estimer ces nouvelles valeurs par une méthode d'échantillonnage au plus proche voisin. Ainsi, la valeur du nouveau pixel est déterminée par la valeur du pixel initial le plus proche.

c) Corrections radiométriques

L'effet de speckle, ou bruit de scintillement, correspond à une perturbation de l'intensité du signal retour. Il existe actuellement sur le marché un système de filtre déjà performant capable de réduire ce "speckle". Le BRGM n'en disposant pas encore, l'application d'un filtre passe-bas a constitué la seule modification radiométrique. Il a été réalisé sur chacune des images 8 bits. Ce filtrage caractérise la plus simple et la première correction radiométrique à réaliser. Il permet d'atténuer, au minimum, le "bruit" des images. Il faut noter également qu'il s'accompagne de légères modifications des valeurs radiométriques. Néanmoins, notre étude ne tenant pas compte des valeurs absolues elles-mêmes, nous considérons ces modifications comme négligeables.

d) Application d'un système de référence géographique (UCS: User Coordinate System)

Afin de repérer les parcelles étudiées, un système de coordonnées unique a dû être appliqué à chaque image. Nous avons appliqué aux différentes images, le système de coordonnées *Lambert II*, dans lesquels les fichiers graphiques étaient déjà géoréférencés.

3.3.3. Calage des couvertures graphiques sur les images

L'extraction des valeurs radar moyennes, concernant chaque parcelle, suppose une délimitation précise de ces dernières sur les images. La démarche consiste à superposer aux images les couvertures graphiques délimitant les parcelles. Le système de coordonnées commun - *Lambert II* - est appliqué aux couvertures géographiques et à toutes les images ERS-1, SPOT et carte de pente.

Pourtant afin de tenir compte des erreurs géométriques locales résiduelles, un calage complémentaire des fichiers graphiques est localement nécessaire. Cet ajustement est réalisé de manière interactive sur écran. Il ne peut être réalisé sur les images ERS-1 celles-ci ne reproduisant pas assez nettement les limites des parcelles. C'est donc à partir de l'image SPOT de mai 1992 de même corrections géométriques, qu'un ajustement des coordonnées des fichiers a pu être réalisé.

En ce qui concerne le site d' "En Ferran", l'ortho-image réalisée par ISTAR, dont la résolution est de deux mètres et corrigée par définition de toutes les déformations dues aux conditions de prise de vue et au relief du terrain, nous a été d'un grand secours. Elle nous a permis d'acquérir une précision supérieure quand au repérage des parcelles du site sur les images radar, de manière à épouser les contours des parcelles. Le but de cette manipulation a été, non pas d'obtenir des images et des fichiers les mieux géoréférencés possible, mais d'acquérir la meilleure concordance géographique des unes avec les autres. Ainsi, le calcul de la rétrodiffusion moyenne d'une parcelle effectué à partir des limites des fichiers graphiques, correspond bien à celle des parcelles sur l'image.

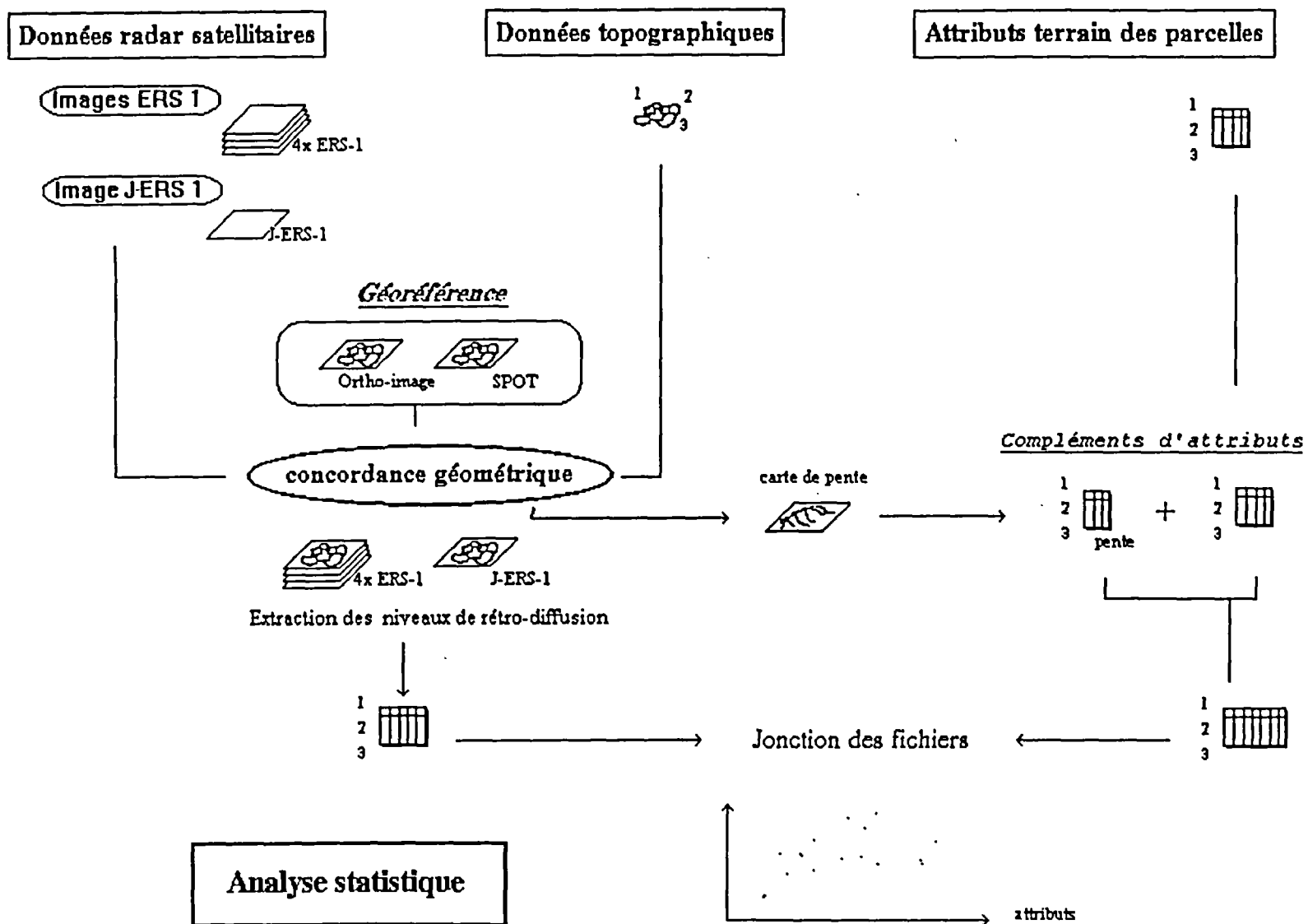
3.3.4. Jonction des niveaux de rétro-diffusion des images et des données terrain

Après ces divers traitements et jonction de données, la mesure de la rétro-diffusion radar devient possible pour chaque parcelle sur chacune des cinq images radar. De la même manière, une mesure de pente est accessible. Le programme réalisant ces mesures fournit un fichier comportant, pour chaque parcelle, la valeur moyenne de niveau de gris de l'image. En réalité, seule la notion de variation du signal rétro-diffusé a été prise en compte. Les valeurs portées en ordonnées sur les différentes représentations statistiques n'ont eu qu'un rôle relatif. L'image J-ERS-1, ayant dû être convertie différemment, ne peut être comparée, du moins en intensité de rétro diffusion, aux images ERS-1.

Une fois les valeurs radar acquises, une jonction du fichier de la base de données terrain, du fichier de valeur des pentes du site d' En Ferran, et des fichiers de rétro-diffusion radar est réalisée. Celle-ci est possible grâce à une indexation de chacun de ces fichiers. En effet, une numérotation des parcelles sur le terrain comme dans les fichiers graphiques permet de relier à chaque enquête de terrain les données d'images correspondantes.

La création d'un nouveau fichier associant, par exemple, rétro-diffusion radar et rugosité du sol, permet d'évaluer les relations existantes entre paramètres d'états de surface et réponse radar. C'est l'analyse de ces relations qui constitue la quatrième partie.

3.3.5. Schéma explicatif, démarche suivie



4. RESULTATS

Au cours de ce chapitre, divers graphiques représentent l'évolution de la rétrodiffusion radar en fonction de paramètres recueillis sur le terrain. Les mesures reportées en ordonnées des graphiques correspondent aux valeurs fournies par les images. Elles sont reliées aux coefficients de rétrodiffusion, mais dépendent également des traitements qui leur sont appliquées (recodage en 8 bits, entre autre). Aussi nous ne les considérerons que comme des valeurs relatives et aucune mesure quantitative ne pourra en être retirée.

De plus, tout au long de nos analyses, nous nous sommes souvent heurtés à un manque de données, plusieurs études ont été réalisées avec un nombre insuffisant de points statistiques. Nous sommes conscients de la validité des résultats alors obtenus et ne les citons que pour information.

4.1. POUVOIR DE DISCRIMINATION MONODATE

Comme nous l'avons vu plus haut (2.2.3), le signal rétrodiffusé est influencé à différentes échelles de la morphologie qui se manifeste par la pente, les rangs de vigne, la rugosité du sol. Nous avons successivement étudié ces échelles, afin de découvrir dans quelles conditions et dans quelles proportions ces aspects de surface jouent un rôle sur la rétrodiffusion du signal radar.

4.1.1. Influence de la pente

L'influence de l'inclinaison de la pente constitue notre première analyse. Pour évaluer son rôle sur la rétrodiffusion du signal, une sélection des parcelles a dû être réalisée de manière à ne conserver que celles dont l'orientation des pentes était identique. Le site d' "En Ferran", est le seul site renseigné convenablement sur le paramètre de pente. En effet, la carte de pente nous a fourni des valeurs moyennes de pente pour chaque parcelle. La majorité, répartie sur un versant sud, sont de même orientation: N 90° E (orientation du versant W-E). Elles sont conservées pour cette analyse.

a) Cas général

Indépendamment des autres facteurs, une première analyse des données (planche n° 1) tente d'établir pour chaque image, un lien entre la rétrodiffusion du signal et l'inclinaison de la pente (en %).

A première vue, aucune corrélation n'apparaît. La dispersion des points, suivant les dates de mesure, est très aléatoire. Seules des pentes extrêmes, supérieures à 20% ou inférieures à 5% montrent globalement une évolution croissante de la rétrodiffusion avec la pente.

Néanmoins, il faut souligner que les conditions pratiques ne nous permettent pas de nous placer dans les meilleures conditions d'observation. L'orientation des pentes par rapport au signal radar (75° entre le plan d'incidence du faisceau radar et la normale à la pente) n'étant pas idéale pour évaluer l'influence de celle-ci.

Il est clair qu'en théorie une pente orientée face au signal radar, à tout autre facteur constant, voit sa rétrodiffusion augmentée avec le degré de la pente. Dans notre cas, le signal n'est pas dirigé face au versant et ne "subit" pas complètement l'effet de pente. En réalité, l'angle de visée des SAR satellitaires restant fixe, les observations dépendent essentiellement des conditions du site.

En ce qui concerne nos sites d'études, il semble que nos conditions de pente soient telles que, pour des valeurs entre 5% et 20%, l'influence de la pente ne soit pas conséquente par rapport aux autres facteurs.

b) Direction de rangs de vigne identique

Malgré ce premier résultat, nous avons approfondi notre analyse, (planche n° 2) en nous plaçant dans ce domaine d'inclinaison, entre 5% et 20%. Une sélection des parcelles a été réalisée de manière à ne conserver, que celles dont l'orientation des rangs était égale à 150° N. Le choix de l'orientation n'a été, comme pour celle de la pente, dicté que par la population dominante du site.

Les points représentatifs sont encore très dispersés. Pourtant, on peut remarquer qu'en ce qui concerne l'image ERS-1 du 08 avril 1992 et l'image J-ERS-1 du 21 août 1992, les valeurs extrêmes de pente indiquent une nette évolution croissante de la rétrodiffusion avec la pente. Au contraire, les images ERS-1 des mois de juillet 1992 et janvier 1993 semblent très influencées par un ou plusieurs autres facteurs.

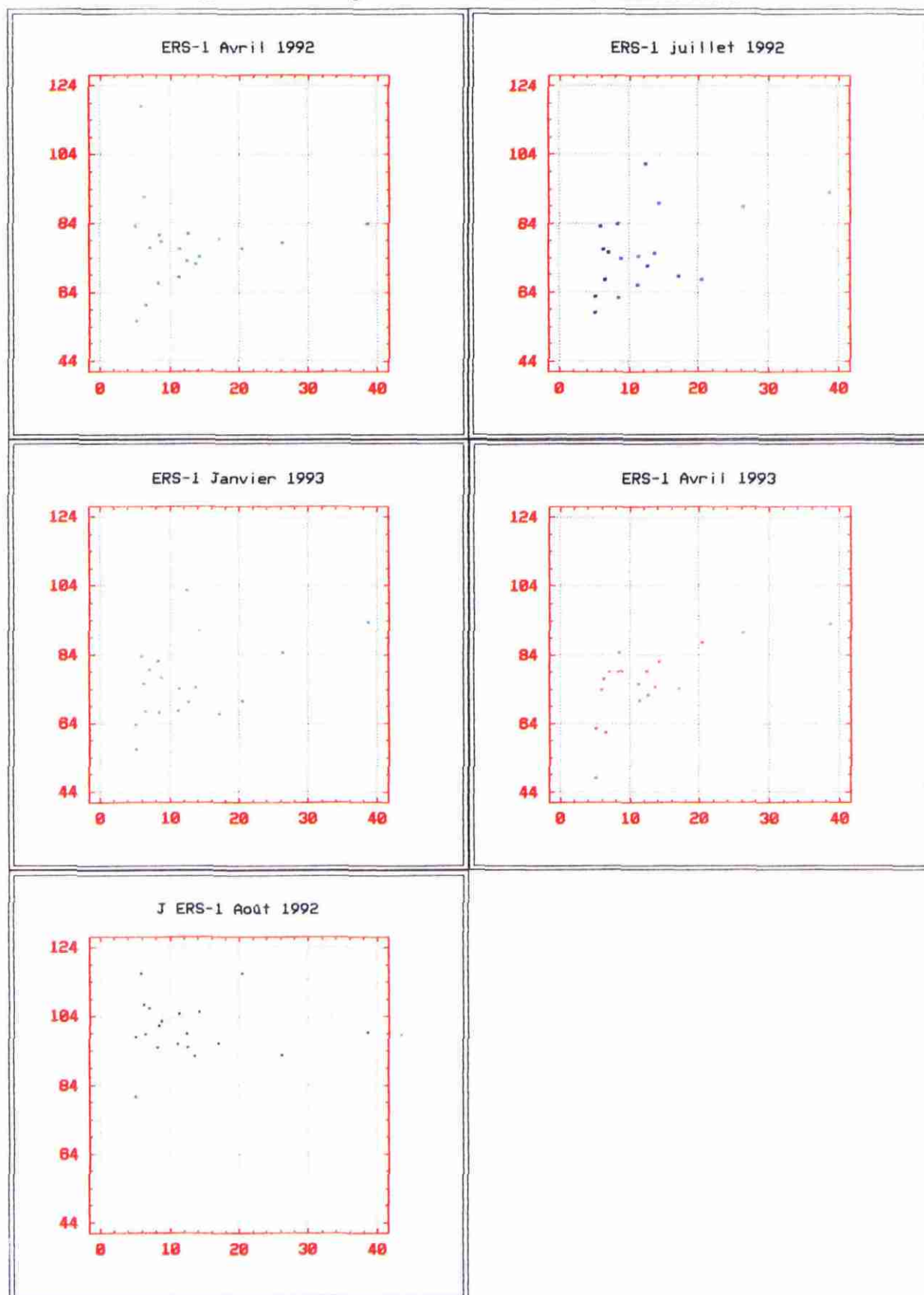


planche 1- Evolution de la rétrodiffusion en fonction de la pente.

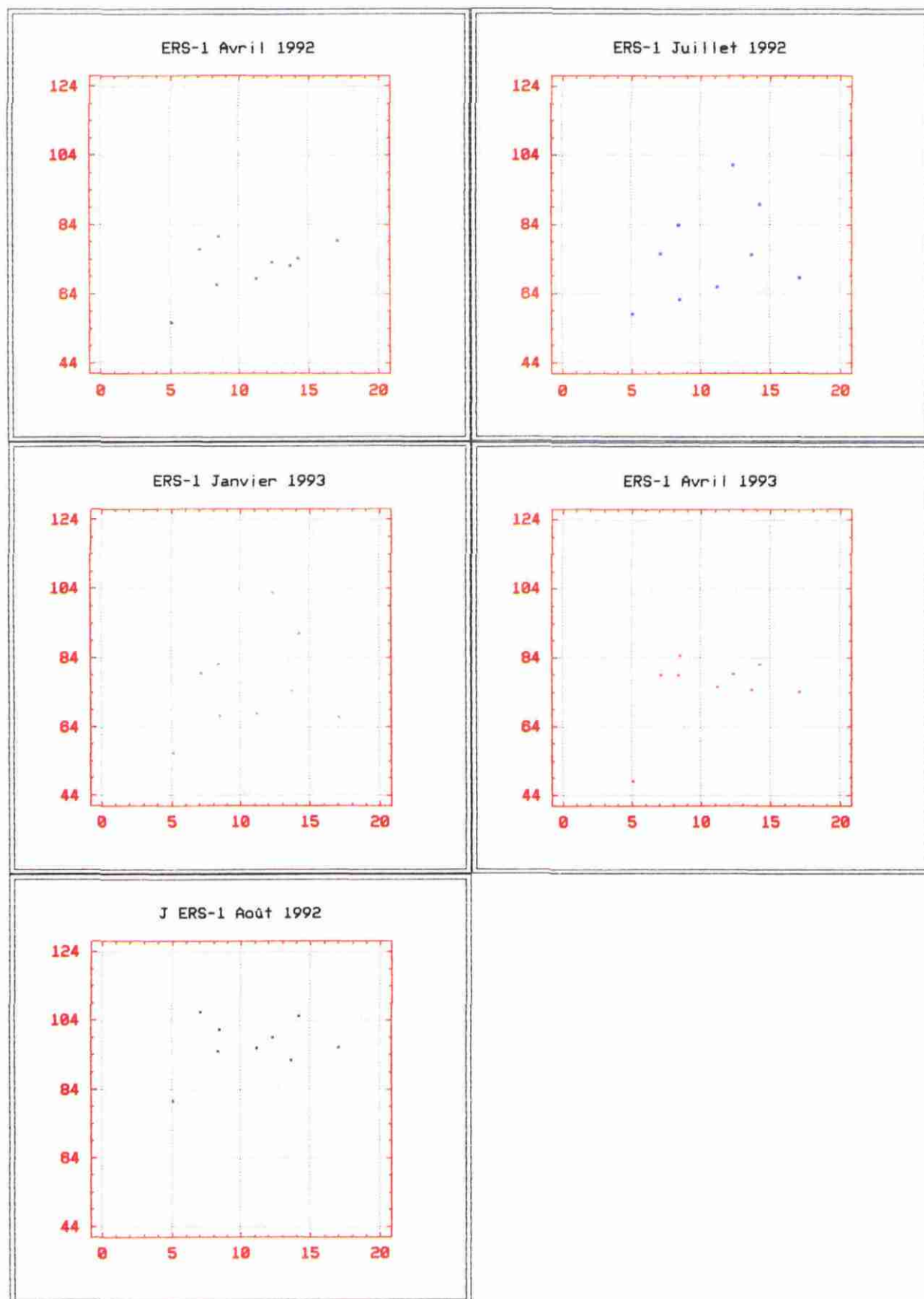


planche 2- Evolution de la rétrodiffusion en fonction de la pente,
à direction de rangs de vigne constant.

c) Mode de culture identique

L'image ERS-1 d'avril 1992, est la mieux corrélée à l'inclinaison ; aussi nous la conservons pour une troisième analyse (planche n°2 bis). Le site d'étude étant restreint, le nombre de points est limité, le poids statistique est donc relatif, ce dont nous tiendrons compte dans la suite de cette étude.

Deux sous-ensembles sont créés:

(i) : les parcelles ont un mode de culture mixte (une partie des rangs labourée, une autre désherbée chimiquement)

(ii) : les parcelles sont désherbées chimiquement .

Dans le premier cas (i), les valeurs des pixels sont très peu différentes lorsque la pente varie, aucune corrélation n'apparaît ; la rétrodiffusion est globalement stable.

Dans le second cas (ii), il est possible de tracer une courbe croissante avec l'inclinaison de la pente. Un point se situe pourtant en dehors de cette courbe. En recherchant, dans le supplément d'information de la base de données, les raisons possibles de cette exclusion, nous constatons que :

- En mai 1992, cette parcelle possédait une rugosité de pierres très faible alors que le même type de rugosité des autres parcelles est très forte.

- En décembre 1992, les tailles s'inversent sans que nous ne possédions d'explication, nous remarquons seulement que la parcelle en question ne possède toujours pas les caractéristiques de rugosité de pierres des autres parcelles. De plus, la mesure effectuée à la chaînette révèle une grande rugosité générale, due aux pierres mais également aux mottes de terre.

Si les cinq parcelles ont les mêmes caractéristiques d'état de surface, la sixième présente des caractéristiques inverses.

En conclusion, sur le site d' "En Ferran", la pente joue au niveau de la rétrodiffusion radar, un rôle négligeable au premier abord. Seules les parcelles très fortement inclinées (pente supérieure à 20 %, en minorité), subissent une influence non négligeable.

De plus, même si le cas n'est pas général, une influence de la pente apparaît lorsque d'autres paramètres (orientation des rangs ou pratique culturale) restent fixes.

Il convient donc pour les études suivantes de conserver des ensembles statistiques de parcelles soit horizontales (inférieur à 5%), soit de pente comprises entre 5% et 20%.

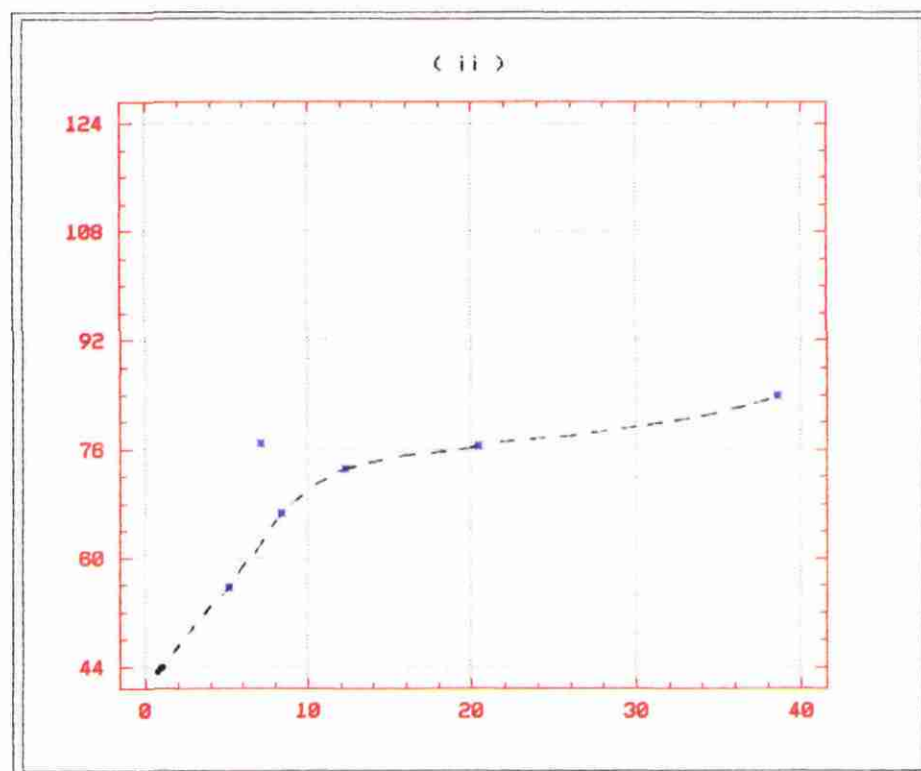
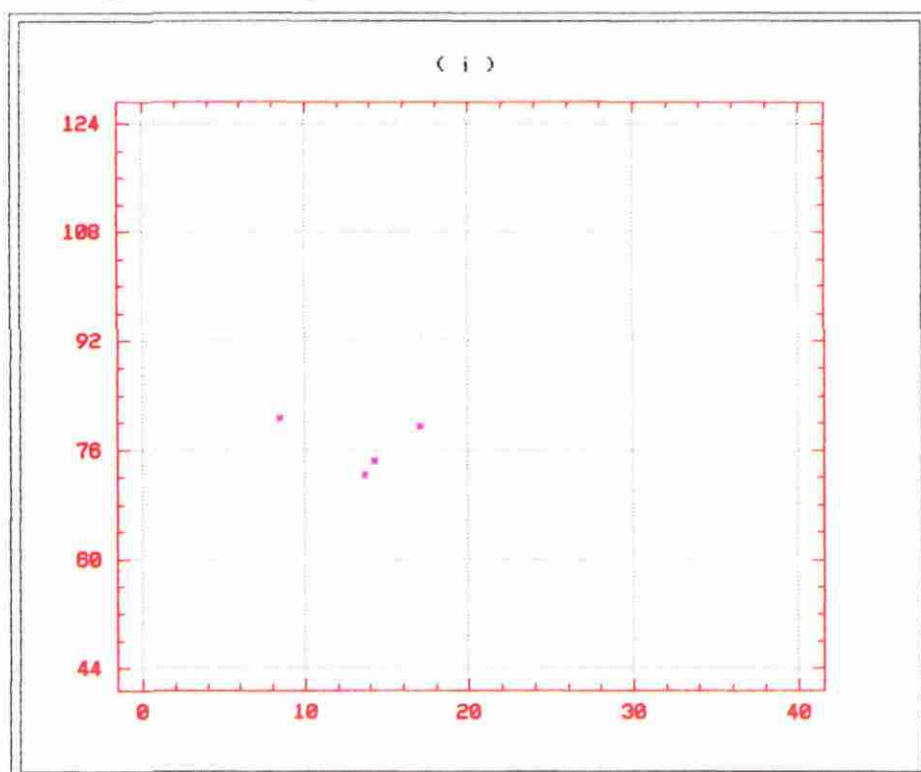


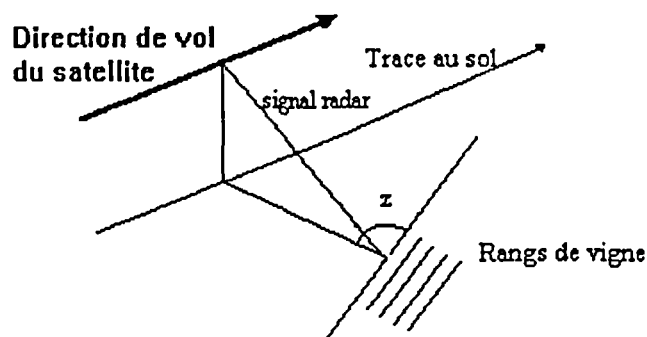
Planche 2bis-Evolution de la rétrodiffusion en fonction de l'inclinaison de la pente,
à direction de rangs de vigne constante et à pratique culturale identique

4.1.2. Influence de l'orientation des rangs de vigne

Une étude statistique sur l'influence de l'orientation des rangs de vigne par rapport à l'incidence du signal radar, est illustrée par les graphiques des planches n° 3 et n° 4. Afin d'obtenir une population statistique suffisante, tout en s'affranchissant d'un éventuel "effet de pente", les parcelles prises en compte sont uniquement des parcelles horizontales. Elles correspondent en majorité aux parcelles du site de " Terrats-Trouillats ".

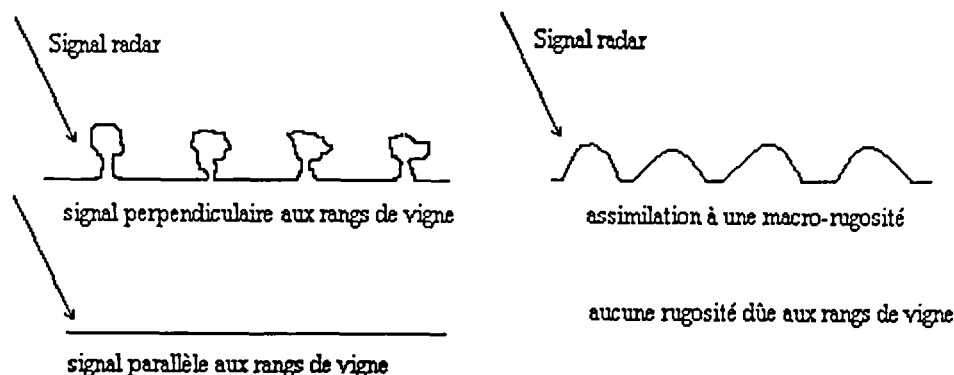
Nous avons porté, sur les graphiques suivant, les niveaux de rétro-diffusion des parcelles en fonction de l'angle z entre la direction des rangs de vigne et celle du plan incident du signal radar (figure n° 4.1.2.1.).

Figure n° 4.1.2.1. " Représentation de l'angle entre la direction des rangs de vigne et celle du plan incident du signal radar."



La population majoritaire, correspond à un angle z moyen situé entre 25° et 65° , elle est à l'origine d'un nuage de points dispersés. C'est pourquoi, nous reprenons (planche n° 4) les mêmes parcelles en ne conservant cette fois-ci, que les valeurs extrêmes de z ; c'est-à-dire comprises entre 0° et 25° et entre 65° et 90° . Un premier résultat apparaît plus nettement, la rétro-diffusion est supérieure lorsque les rangs de vigne tendent à être perpendiculaires au plan d'incidence du signal. Ce phénomène, expliqué par la théorie, pouvait être attendu. En effet, si l'on assimile la succession des rangs de vigne à une macro-rugosité régulière, il est possible d'appliquer les lois de la rétro-diffusion. Nous savons que cette dernière augmente avec la rugosité de la surface visée. Pour une orientation de rangs de vigne quasi-perpendiculaire au signal radar, la rugosité est sensiblement plus influençable que pour une orientation parallèle.

Figure n° 4.1.2.2. Assimilation des rangs de vigne à une macro-rugosité de surface



Quantitativement, nous pouvons établir dans notre cas, qu'il existe toujours pour les trois dates ERS-1 suivantes : avril 1992, juillet 1992 et Janvier 1993 , deux domaines tels que :

- l'un comprenant 66 % des points à z inférieur à 25° , est une faible rétrodiffusion
- l'autre comprenant 90% (voir 100%) des points à z supérieur à 65° , est une forte rétrodiffusion

Selon les images, la limite de ces domaines varie entre des niveaux de gris compris entre 65 et 70,.

En ce qui concerne l'image J-ERS-1 l'effet est beaucoup moins marqué. La zone commune, limitée par des valeurs comprises entre 85 et 100 (niveau de gris ou de rétro-diffusion) contient plus de 70% des points.

Ainsi, si les premières images du satellite ERS-1 semble offrir la possibilité d'une détermination partielle de la direction des rangs de vigne à partir du signal rétro-diffusé ; les images ERS-1 d'avril 1993 et J-ERS-1 ne fournissent aucun résultat.

En conclusion, il existe effectivement une influence de l'orientation des rangs de vigne sur le signal rétrodiffusé. Néanmoins, seuls les cas extrêmes démontrent le phénomène.

Nous retiendrons que l'effet de macro-rugosité, des rangs de vigne, est à l'origine d'une perturbation du signal.

De plus, il est aisément compréhensible que des rangs perpendiculaires à la visée du radar créent une zone d'ombre au sol et soustraient des informations sur les états de surface. Dans ces conditions, seuls des parcelles à inter-rangs larges ou parallèles au signal radar sont susceptibles d'être utilisées pour une étude sur la rugosité du sol.

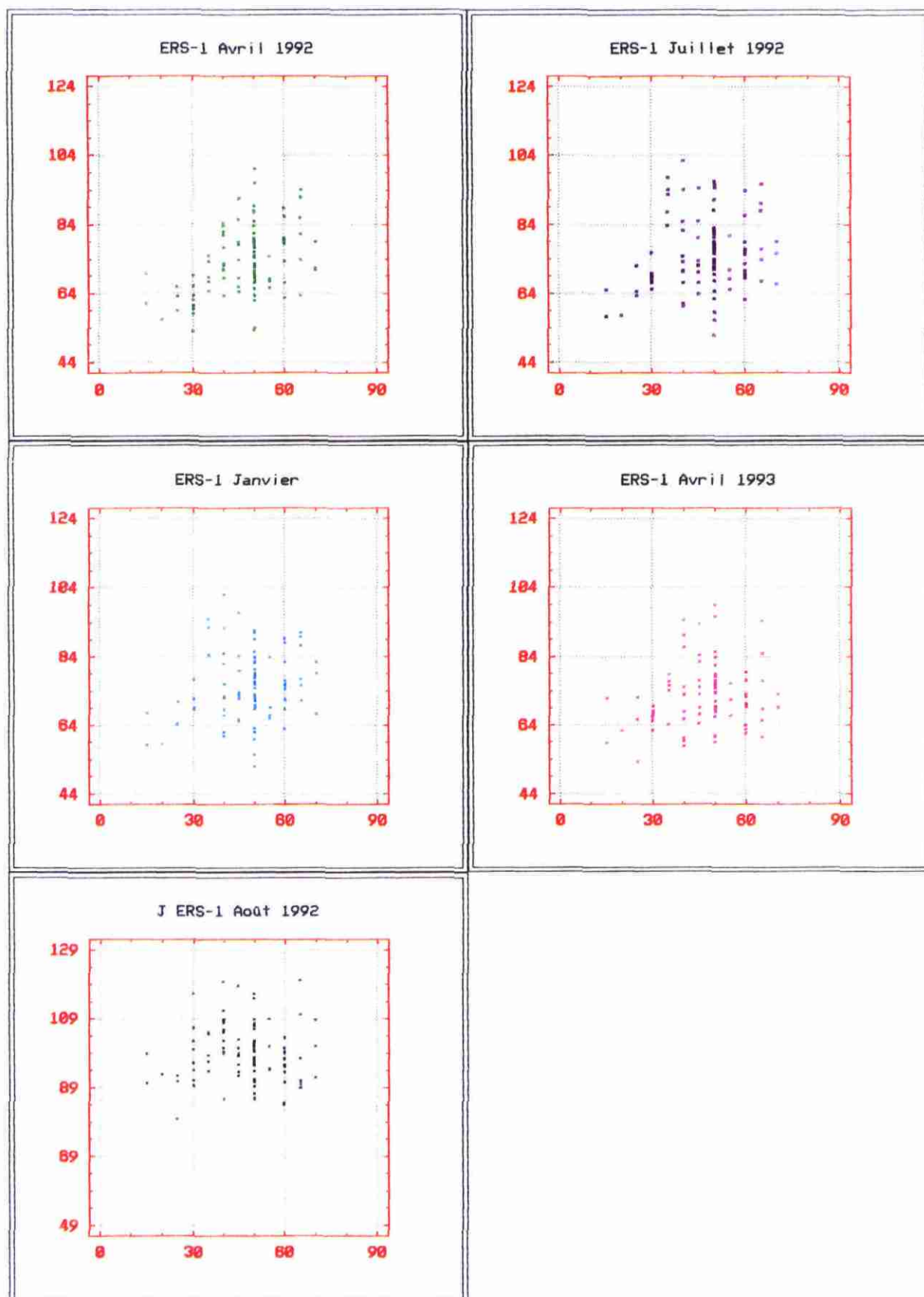


planche 3-Evolution de la rétrodiffusion en fonction de la direction des rangs de vigne par rapport à l'incidence du faisceau radar

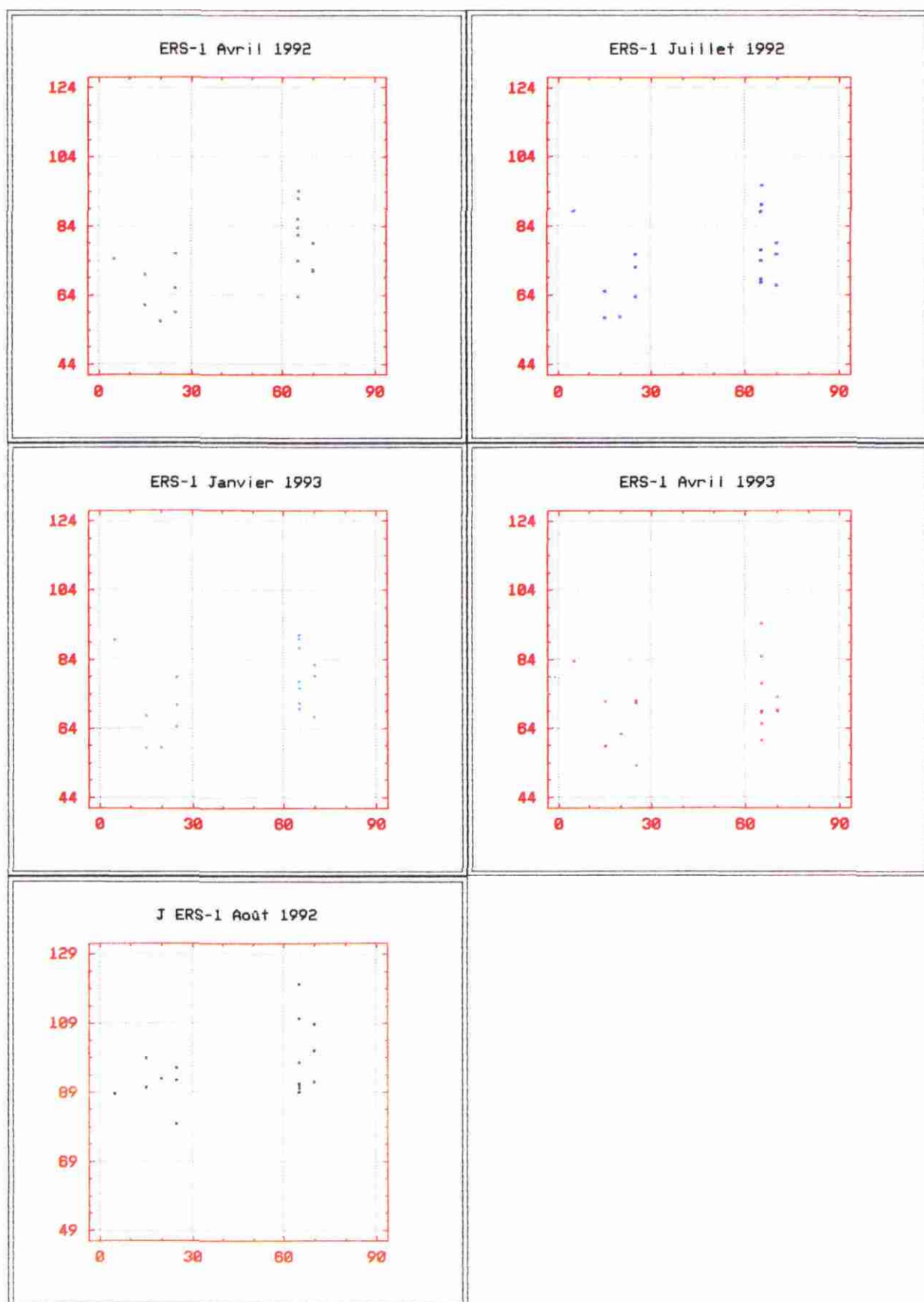


planche 4- Evolution de la rétrodiffusion en fonction de la direction des rangs de vigne par rapport à l'incidence du faisceau radar, pour des valeurs d'angle extrêmes

4.1.3. Influence de la rugosité du sol

La rugosité des sols viticoles, comme celle de n'importe quelle culture, est directement liée aux pratiques culturales qui leur sont imposées. En vignoble méditerranéen, et plus particulièrement dans le Roussillon, trois pratiques sont utilisées ; le travail mécanique, le désherbage chimique et une pratique, que nous qualifierons de mixte, qui selon les inter-rangs correspond à un travail mécanique ou chimique.

Nous allons voir successivement les évolutions de la rétrodiffusion radar avec les pratiques culturales et la rugosité effective mesurée sur le terrain lors de nos enquêtes. Dans chacun des cas, une sélection des parcelles a été réalisée, de façon à s'affranchir des effets éventuels de pente et de rangs de vigne, tout en gardant une population suffisante et homogène dans chaque catégorie.

a) Evolution de la rétrodiffusion avec les pratiques culturales (planche n°5)

Les parcelles sélectionnées ici correspondent à des terrains aux pentes comprises entre des valeurs de 5% à 20% (n'ayant pas d'effet dominant d'après 4.1.1.), et de direction de rangs identique de l'ordre de N 150° E (c'est-à-dire à 45° du faisceau incident).

A partir de l'ensemble des données des cinq images ERS-1et J-ERS-1, aucune relation entre la rétrodiffusion et les pratiques culturales n'est visible. On retrouve sur chaque graphique des variations assez importantes quelle que soit la pratique. Pourtant, nous pouvons signaler, que dans chacun des cas, les valeurs minimales de rétrodiffusion correspondent à des parcelles désherbées chimiquement et par conséquent plus lisses. Ceci coïncide bien avec la théorie de la rétrodiffusion, établissant qu'à tous autres facteurs égaux, une surface lisse rétrodiffuse moins (réflexion spéculaire) qu'une surface rugueuse.

Les travaux agricoles, qu'il s'agisse de traitements mécaniques ou chimiques, sont pratiqués généralement dans le courant du mois d'avril, un nouveau passage des tracteurs pouvant avoir lieu au mois de juillet. Or, une seule image radar ERS-1, sur les quatre disponibles, nous permet d'évaluer l'influence des pratiques culturales. En effet, nous pouvons supposer qu'à la date du 23 avril 1992, une partie des travaux était entreprise. Par contre l'analyse de l'image d'avril 1993 acquise trop tôt dans le mois (08 avril), n'apporte pas les mêmes résultats. Ne considérant que les données d'avril 1992, une tendance plus marquée vers une évolution de la rétrodiffusion avec les pratiques culturales apparaît. Mise à part une zone commune, où se situent les parcelles à culture mixte, la répartition des points des parcelles à culture opposée (mécanique ou chimique) évolue également dans le sens d'une réflexion connue :

- les parcelles travaillées correspondent aux rugosités et aux rétrodiffusion les plus fortes
- les parcelles désherbées correspondent aux rugosités et aux rétrodiffusion les plus faibles.

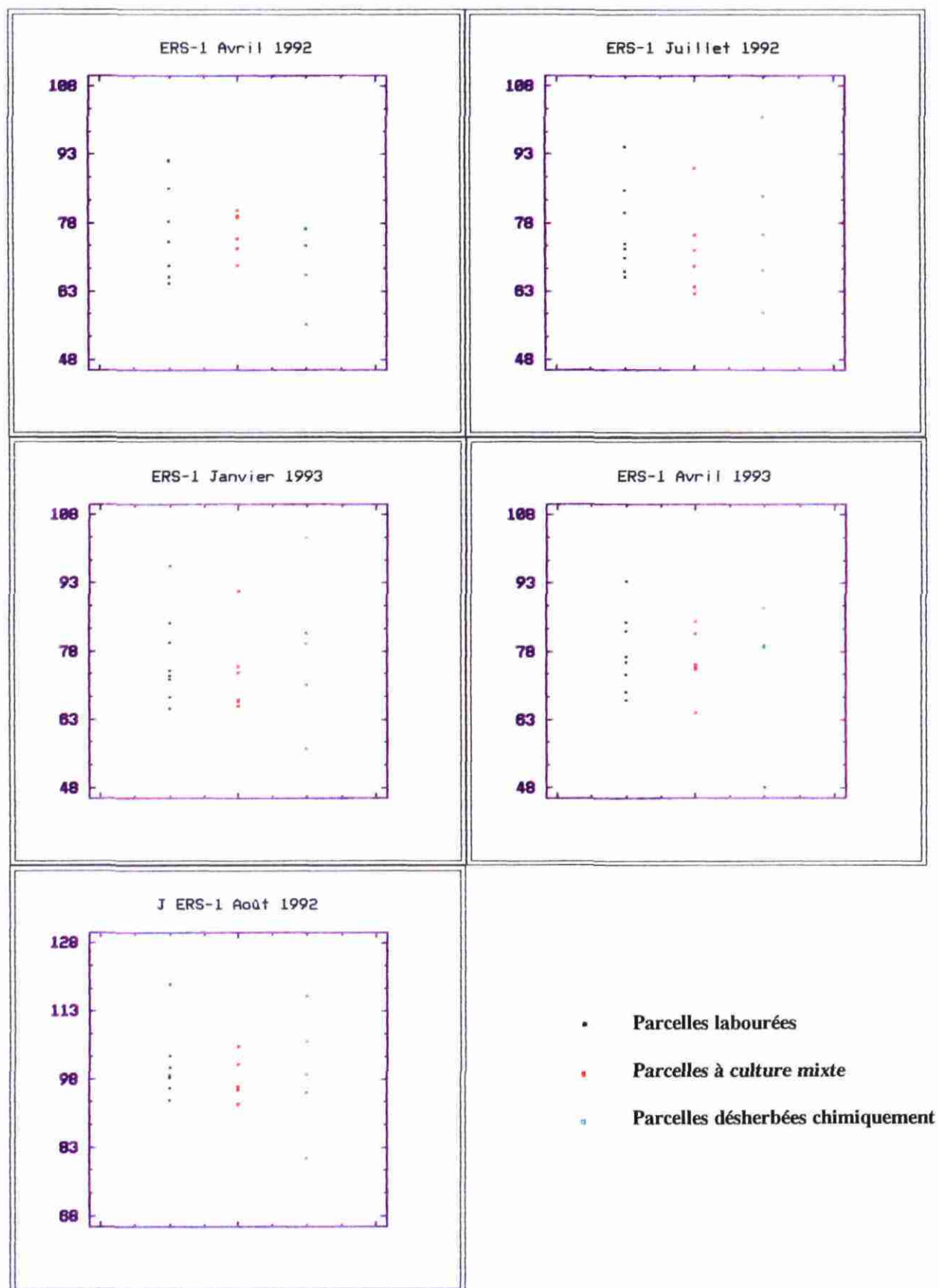


planche 5- Evolution de la rétrodiffusion en fonction des pratiques culturales

Pourtant, la totalité des travaux agricoles ne sont pas réalisés, systématiquement, avant la fin du mois d'avril, voire le début du mois de mai. Ainsi, une explication plausible aux valeurs communes de rétrodiffusion pour des parcelles à culture différente apparaît. Dans ces conditions une image supplémentaire ou de substitution datant du mois de mai pourrait lever l'incertitude et établir de meilleurs résultats. Nous remarquons également, qu'une fois encore, la faible représentation de parcelles de traitements différents limite nos recherches.

b) Evolution de la rétrodiffusion avec la rugosité du sol (planche n°6)

Nous analysons ici successivement, l'évolution de la rétrodiffusion avec la rugosité du sol sur :

- (i). des terrains horizontaux, dont les directions de rangs se situent à 60° du faisceau d'incidence du radar.
- (ii). des terrains en pente (entre 5% et 20%) dont les directions de rangs se situent à 45° du faisceau d'incidence du radar.

Nous utilisons pour cette étude les mesures de "rugosité à la chaînette" acquise sur le terrain en avril 1993. Ce choix est dicté, non pas par la qualité de l'image à cette date, mais par la quantité de mesures réalisées durant l'enquête correspondante. Des mesures de décembre 1992 existent également, mais la différence de date entre l'enquête (9-11 décembre) et l'acquisition de l'image (23 janvier) nous semble trop importante pour affirmer que la rugosité du sol n'ait pas subi de transformation. La réduction de la longueur de la chaînette, après sa pose au sol, correspondent à une augmentation de la rugosité et est reportée en abscisse (en cm) sur les graphiques.

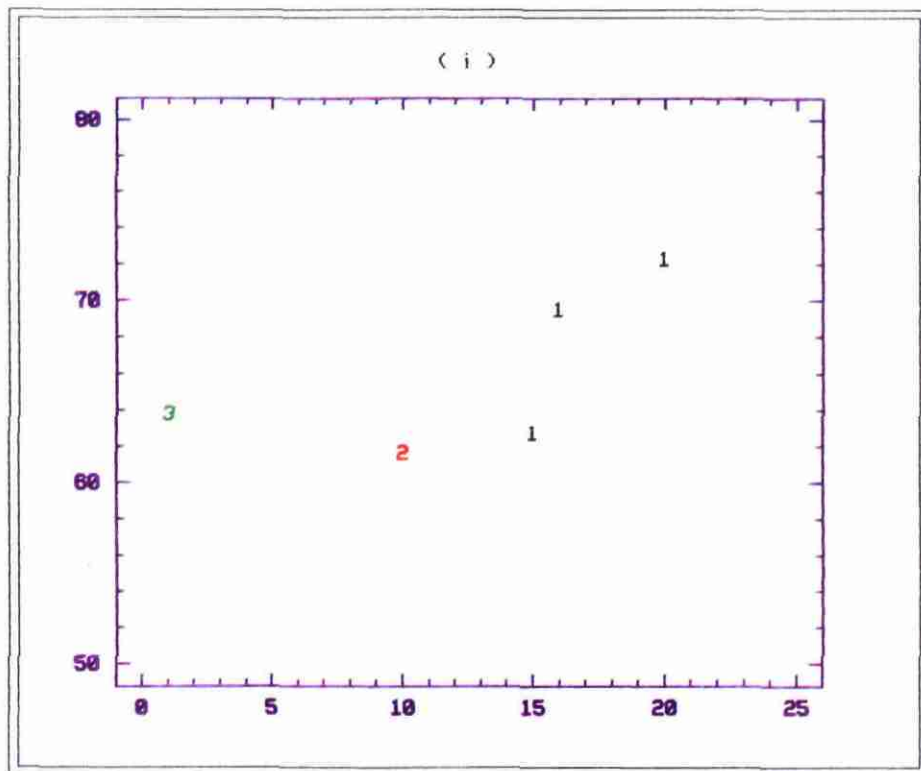
(i). Nous avons codé, sur le graphique correspondant, chaque point selon la *pratique culturale* qui s'y rattache :

- 1 : *Parcelles travaillées*
- 2 : *Parcelles à culture mixte*
- 3 : *Parcelles désherbées chimiquement*

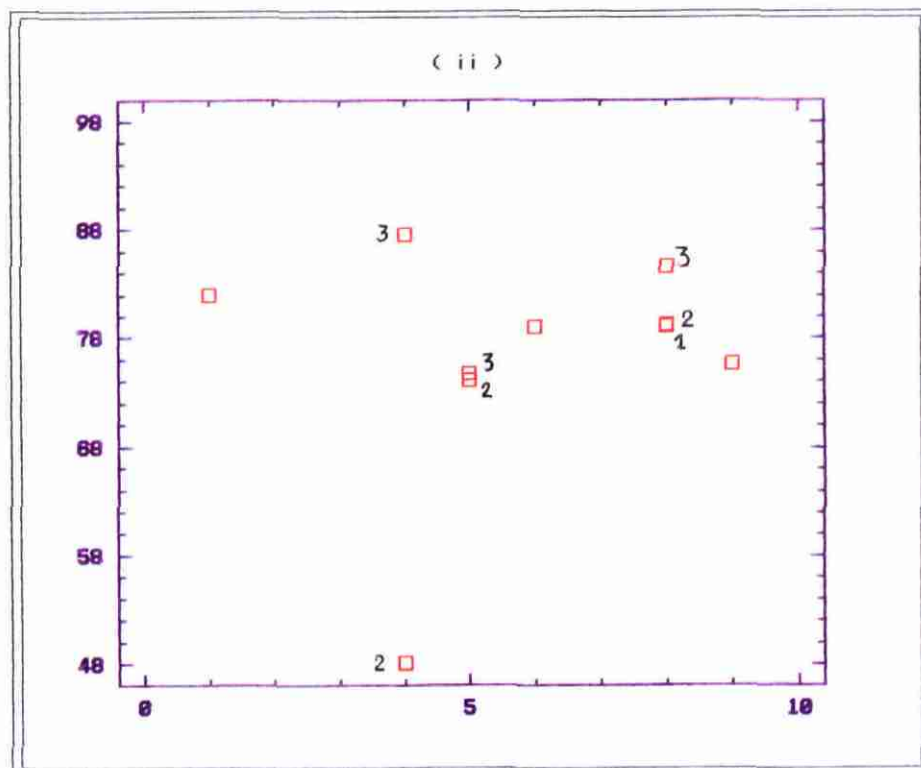
Une corrélation apparaît nettement entre les pratiques culturales et la rugosité mesurée pour chacune des enquêtes. Néanmoins une précision supplémentaire est apportée par la mesure de la "rugosité chaînette". Nous obtenons bien, pour une même pratique culturale (travail mécanique), une augmentation de la rétro-diffusion avec la rugosité du sol, avec peut-être une évolution par palier, que la faible quantité de points utilisés, ne nous permet pas d'estimer. Une relation satisfaisante existe également sur la totalité des points. Ainsi, les extrêmes confirment bien la théorie, seules deux parcelles révèlent des valeurs de niveau de gris (entre 60 et 63) un peu faibles. La question se pose, là encore, du nombre suffisant de points statistiques.

(ii). Nous avons codé, sur le graphique correspondant, chaque point selon la *taille des pierres* :

- 1 : *entre 2 et 8 cm*
- 2 : *entre 8 et 16 cm*
- 3 : *entre 16 et 32 cm*



Pratiques culturales : 1 : parcelles travaillées - 2 : parcelles à cultures mixtes
3 : parcelles desherbées chimiquement



Taille des pierres : 1 : de 2 à 8 cm - 2 : de 8 à 16 cm
3 : de 16 à 32 cm
planche 6- Evolution de la rétrodiffusion en fonction de la rugosité du sol

Nous avons pu remarquer, en comparant aux mesures de taille de mottes et de pierres, les mesures de rugosité, que ces dernières étaient plus fortement reliées à la taille des mottes. Pourtant, la présence de pierres sur le sol affecte aussi la réflexion du signal radar. Effectivement, si l'on regarde de plus près des valeurs des parcelles de rugosité identiques, ayant des coefficients de rétrodiffusion différents, on s'aperçoit que la taille des pierres apparaît comme un facteur supplémentaire de conditionnement de la rétrodiffusion. La rétrodiffusion augmente avec la rugosité "chaînette" (c'est-à-dire la taille des mottes essentiellement) et avec la taille des pierres. Cette notion de pierrosité, négligée lors de l'étude concernant les pratiques culturales, prend ici toute son importance. Il convient d'en tenir compte même si une "rugosité de pierre", ne correspond pas exactement, en terme d'érosion, à une "rugosité de motte".

4.2. POUVOIR DE DISCRIMINATION MULTIDATE

4.2.1. Répercussion de l'arrachage de pieds de vigne (planche n° 7)

Au cours d'une sortie sur le terrain, le 19 juillet 1993, il a été constaté que certaines parcelles décrites par les enquêtes précédentes comme des parcelles de vigne, ne possèdent plus aucun pied de vigne. Après enquête auprès des propriétaires sur la date d'arrachage de ces pieds, il apparaît que nous possédons sur les 4 images ERS-1, trois dates antérieures et une date postérieure à cet arrachage. Ces parcelles correspondent à des terrains de pentes identiques (8,7%), nous pouvons donc supposer comme identique pour chaque parcelle l'influence de la pente. De plus, la direction des rangs de vigne était rigoureusement identique pour chaque parcelle et de 65° par rapport au signal incident. Le rôle de ces derniers devaient donc être important.

L'arrachage des pieds de vigne qui provoque une disparition de l'effet de rangs, doit entraîner, sur notre dernière image, une chute de la rétrodiffusion. Effectivement, en représentant l'évolution des niveaux de gris de ces trois parcelles au cours du temps, une baisse simultanée de chacune des parcelles (parcelles n° 4, 5 et 7) entre les dates antérieures (Avril 1992, Juillet 1992 et Janvier 1993) et postérieures (Avril 1993) à l'arrachage apparaît (planche n°7).

Afin de s'assurer qu'aucun autre phénomène n'est à l'origine de cette variation, deux autres parcelles (parcelles n° 13 et 69) de conditions de pente et de direction de rangs similaires, mais n'ayant pas été arrachées sont jointes aux trois premières sur le graphique. Nous pouvons constater qu'il n'existe, concernant ces deux dernières parcelles, aucune variation identique aux précédentes.

En conclusion, cette étude multodate confirme que les rangs de vigne, notamment lorsqu'ils sont perpendiculaires au faisceau incident du radar, ont un effet important sur la rétrodiffusion du signal. Ils ont un rôle d'écran vis-à-vis du radar, qui masque une partie du sol et altèrent fortement la mesure de la rugosité. Il est évident qu'un signal radar dont le faisceau serait orienté parallèlement au direction de rangs de vigne, faciliterait énormément l'étude. Lors d'études satellitaires, cette condition ne peut, en aucun cas, être maîtrisée ; seules des mesures aéroportées permettent de modifier la visée du radar et d'obtenir les conditions idéales.

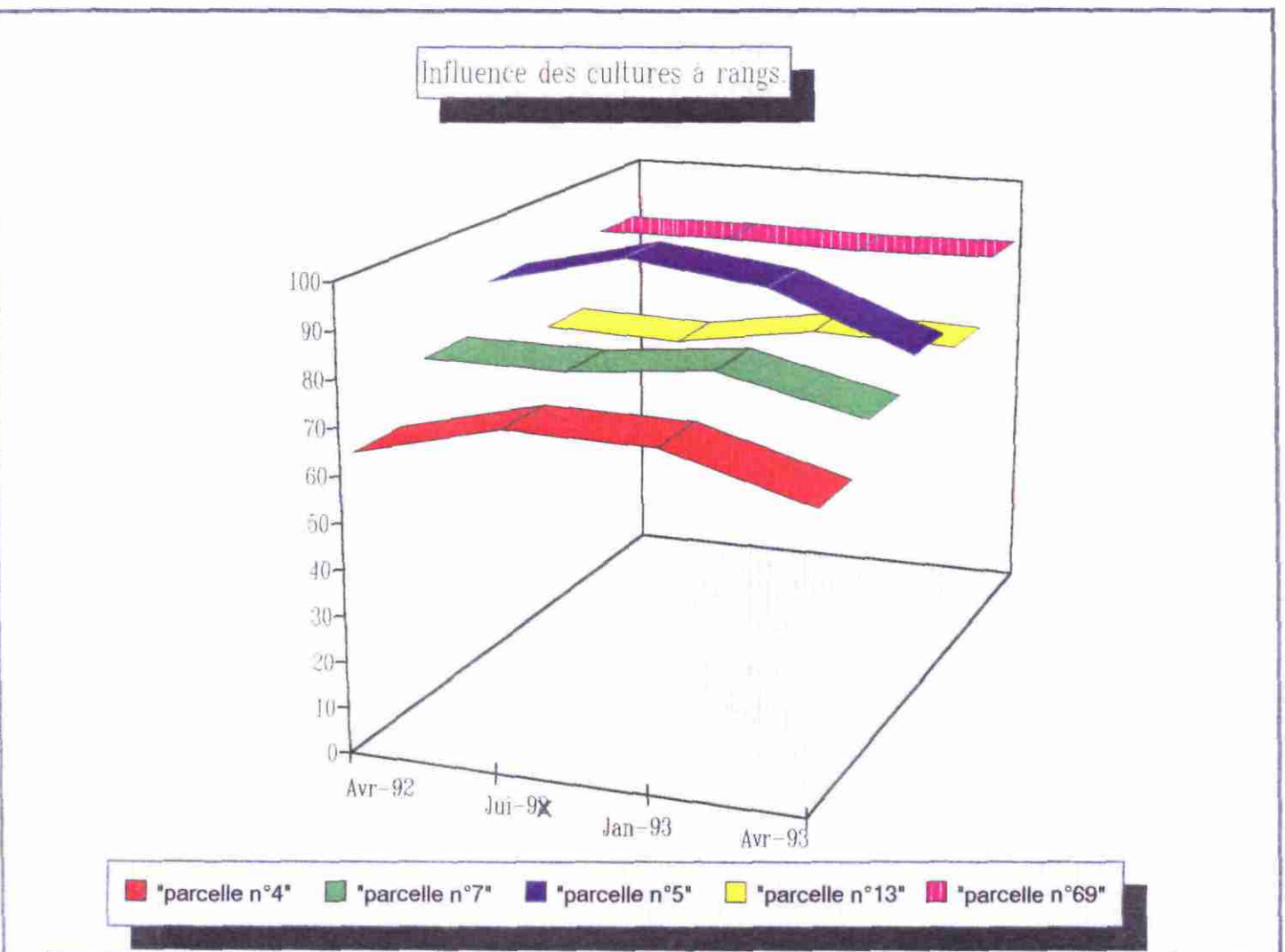


planche 7-Effet des cultures à rangs : disparition des pieds de vigne entre janvier 1993 et avril 1993 pour les parcelles n° 4, 5 et 7.

4.2.2. Reconstitution de l'évolution temporelle de la rétrodiffusion selon les pratiques culturales (planches n°8 , 8 bis , 8 ter)

Après avoir établi l'existence d'une réponse variable avec la rugosité du sol et par conséquent avec les pratiques culturales (4.1.3), l'utilisation conjointe de deux images acquises à des dates et saisons différentes permet d'estimer l'évolution du sol. La faisabilité de ces études tient au fait que la totalité des scènes ont été acquises en mode identique descendant, ce qui rend les images comparables.

Le but de ces graphiques paramétrés, où chaque parcelle est représentée par un point dont les coordonnées sont proportionnelles aux coefficients de rétrodiffusion de chacune des deux dates, est de délimiter des ensembles de parcelles réagissant de la même manière au cours du temps. Nous avons donc codé chaque point représentatif d'une parcelle par son type de pratique culturale (travaillé, mixte, chimique). En considérant que des parcelles subissant le même type de travaux ont une rugosité du sol identique, et une évolution de leur état de surface similaire, on peut s'attendre à ce que les points des graphiques bidates soient regroupés suivant leur pratique culturale.

Nous avons travaillé sur des parcelles horizontales dont l'orientation des rangs est de N 165° E (soit 60° du faisceau incident). Seule cette série de parcelles offrait une population suffisante pour ce type d'étude. Malheureusement, deux inconvénients majeurs apparaissent : (1) la quasi-totale absence de désherbage ; (2) la direction de rangs à 60° du signal radar qui signifie qu'une grande partie de la surface du sol est masquée au capteur par les rangs.

Trois couples d'images ERS-1 ont retenu notre attention ; ils caractérisent ce phénomène de regroupement:

Images d'avril 1992 et avril 1993
Images d'avril 1992 et juillet 1992
Images de janvier 1993 et juillet 1992.

Les codages réalisés sur les graphiques sont les suivants :

- 1 : Parcelles travaillées*
- 2 : Parcelles à culture mixte*
- 3 : Parcelles désherbées chimiquement*

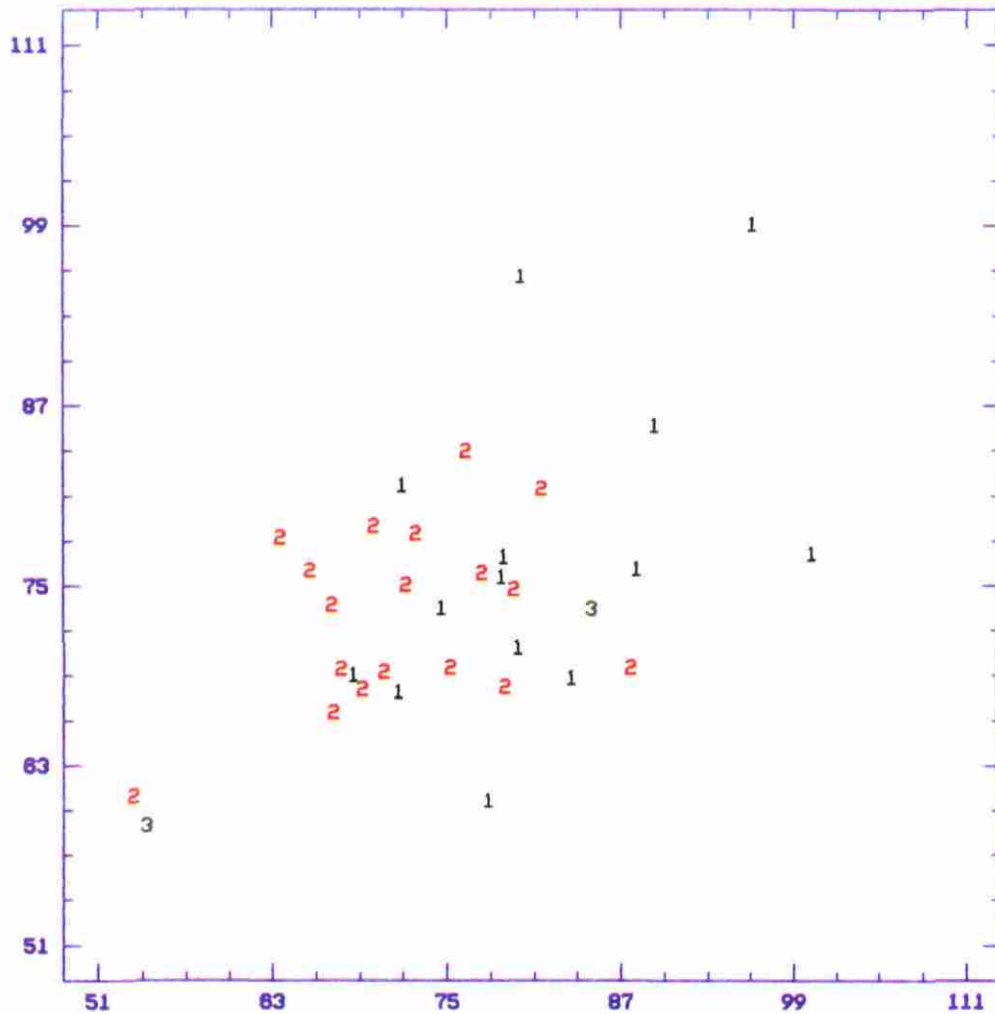
a) Images du 23 avril 1992 et du 08 avril 1993 (planche n°8)

Ces deux dates, correspondant à la même saison, possèdent toutefois de grandes différences de rétrodiffusion. Au 23 avril 1992 une grande partie des travaux (chimique et mécanique) est déjà réalisée, même si quelques parcelles restent encore à traiter, la majorité des coefficients de rétrodiffusion sont liés au type de pratique culturale. Au 08 avril 1993, les travaux sont à peine commencés, et ici les parcelles non travaillées depuis des mois sont les plus nombreuses.

Le graphique ci-joint est caractérisée par les points suivant:

- Une forte dispersion des points pour les parcelles travaillées, compréhensible par la présence de parcelles, traitées à des dates différentes.
- Des valeurs maximales (pour les deux dates, ou l'une des deux au moins) concernant les parcelles travaillées mécaniquement, possédant une forte rugosité
- Un regroupement des points des parcelles à culture mixte, autour des valeurs moyennes. Celui-ci peut s'expliquer par une régulation des valeurs radar par deux types d'inter-rangs: 1 travaillé, 1 désherbé. La date des travaux agricoles joue ici un rôle important, mais également la proportion et la taille des inter-rangs travaillés, par rapport aux désherbés.
- Deux parcelles strictement chimiques ne permettent pas une étude statistique sur leur comportement. Néanmoins, on peut remarquer que le minimum des valeurs de rétrodiffusion est représenté aux deux dates par une parcelle désherbée. Nous n'accordons toutefois qu'une valeur relative à cette information, puisqu'une seule parcelle illustre ce cas.

Les résultats sont donc en accord avec une théorie du signal qui montre qu'à tous autres facteurs égaux, un sol rugueux rétrodiffuse plus. L'importance de la date d'acquisition de l'image est encore une fois d'une importance primordiale. Le problème majeur rencontré, vient du fait, qu'aux dates considérées, toutes les parcelles ne représentent pas une situation homogène, c'est-à-dire labour et traitements chimiques réalisées ou à réaliser.



b) Images du 23 avril 1992 et du 08 juillet 1992 (planche n°8 bis)

Nous savons que les premières dates de labour et de désherbage des parcelles correspondent au printemps, et plus exactement à la fin du mois d'avril ou début du mois de mai. Toutefois sur les vignes du Roussillon qui constituent nos sites d'études, un second labour, non systématique, peut être réalisé au cours du mois de juillet. Le croisement de ces deux dates nous fournit un résultat similaire au précédent mais plus accentué.

- Il y a plus de parcelles travaillées correspondant à des maxima de rétrodiffusion en avril et en juillet. Elles font partie des parcelles ayant été labourées avant les deux prises d'images.

- Les points représentant des pratiques mixtes sont mieux groupés. La zone commune aux points des cultures "mixtes" et aux points des cultures "travaillées" est plus restreinte. Un supplément d'information concernant la date réelle de labour de chaque parcelle, apporterait une possibilité de délimitation de plusieurs degrés de rugosité.

En conclusion, ce couple d'image offre la possibilité d'une éventuelle reconnaissance des surfaces plus ou moins ruisselantes. Le regroupement des parcelles confirme que les travaux étant entrepris ou terminé, les parcelles réagissent conformément à leur catégorie de rugosité.

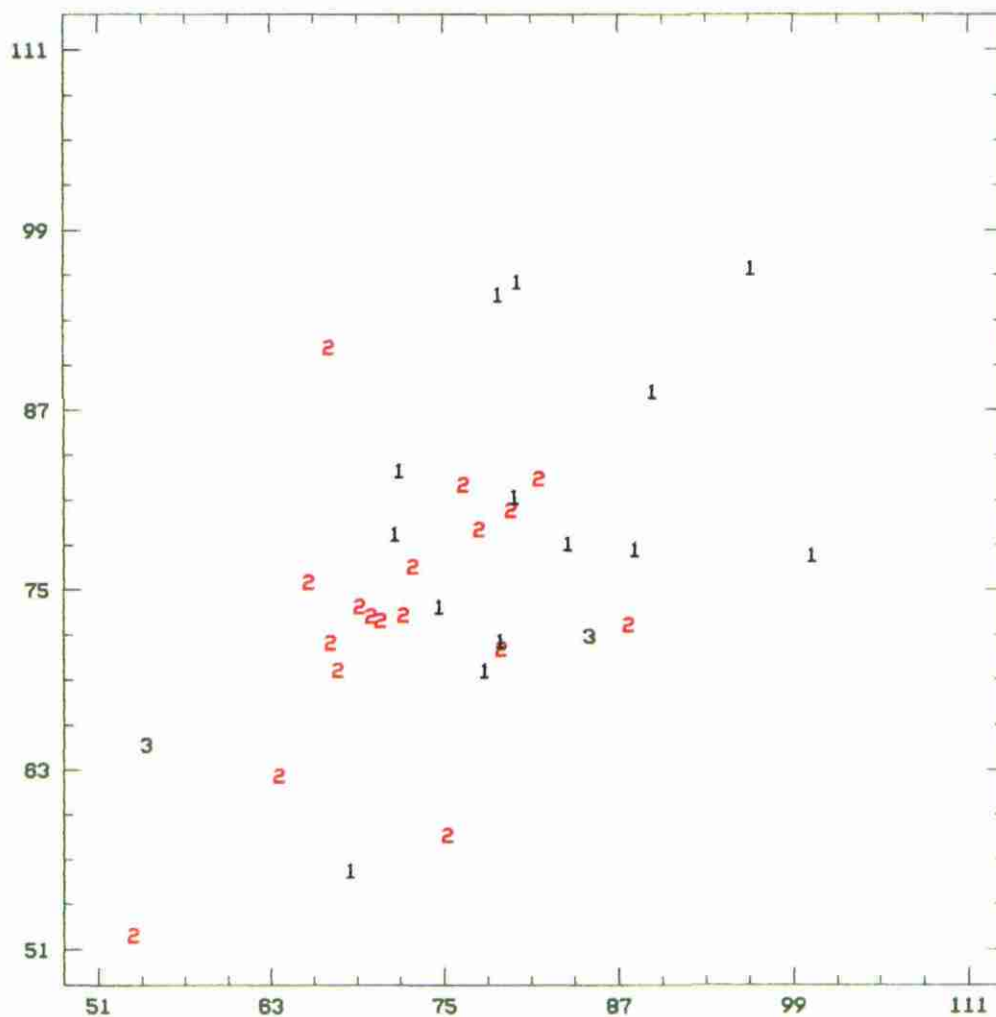
c) Images du 28 janvier 1993 et du 07 juillet 1992 (planche n° 8 ter)

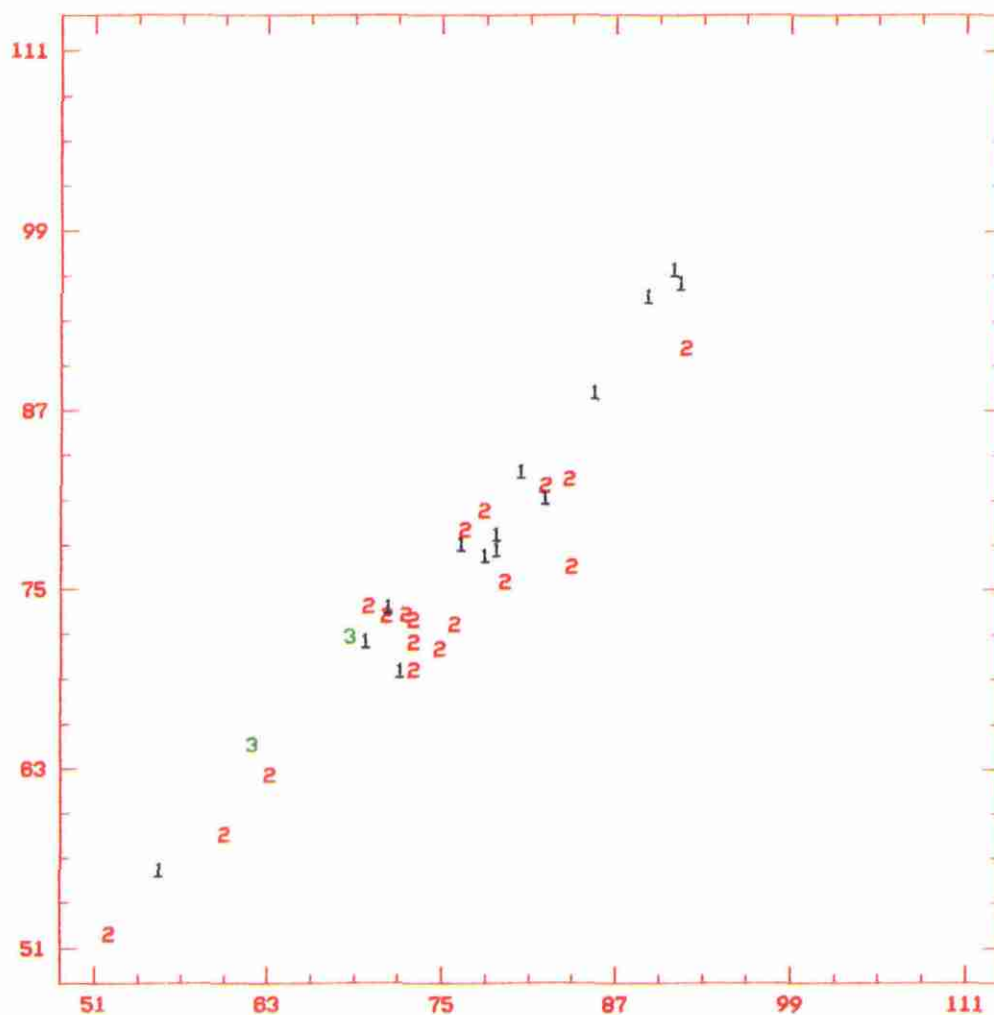
Il existe entre ces deux dates une corrélation évidente des coefficients de rétrodiffusion. Les points représentatifs sont regroupés autour de la première bissectrice du diagramme. Malgré, l'opposition de la saison, et donc de la végétation et des états de surface, les parcelles semblent réagir de la même manière, sans que nous ne possédions d'explication.

- Bien que ne possédant que deux points de parcelles désherbées, une séparation des points peut être établie délimitant, ces deux dernières (pour des valeurs de rétrodiffusion faibles) des treize autres parcelles labourées dans leur entier (pour des valeurs de rétrodiffusion fortes). Seule une parcelle travaillée ne s'applique pas à cette zonation.

- En ce qui concerne les parcelles à culture mixte, l'étalement des points de valeurs minimales à des valeurs maximales montre la diversité de ce type de culture qu'il conviendrait de subdiviser selon la taille des inter-rangs et la répétition de leur travaux agricoles (ex : deux inter-rangs travaillés pour un inter-rangs désherbé).

L'utilisation de ces deux dates, mieux encore que les précédents semble pouvoir réaliser une discrimination entre parcelles labourées et rugueuses et parcelles désherbées et lisses. Néanmoins, notre étude par manque de données (deux parcelles désherbées uniquement) ne permet pas cette détermination.





Pratiques culturales : 1 : parcelles labourées ~ 2 : parcelles à cultures mixtes
3 : parcelles desherbées chimiquement

planche 8ter- Reconstitution de l'évolution temporelle de la rétrodiffusion selon les pratiques culturales

4.3. CONCLUSION

Nous avons dans cette étude recherché quels étaient les diverses rugosités, aux échelles pédologiques, parcellaires et régionales, qui influencent la rétrodiffusion du signal radar. Le but était d'évaluer si une éventuelle reconnaissance des états de surface, et notamment des surfaces potentiellement ruisselantes, était envisageable.

Les deux premiers facteurs sont en réalité des facteurs limitant cette discrimination, il s'agit du relief et des rangs de vigne qui perturbent le signal.

Ainsi, la pente ne semble influencer fortement la rétrodiffusion que dans des conditions particulières. C'est-à-dire lorsque son inclinaison dépasse 20 %, ou lorsque la recherche est approfondie pour des parcelles semblables sur tout autre paramètre. Dans le cas d'étude de vignoble, même les parcelles très inclinées que nous avons rencontrées semblent appartenir au domaine de pente où ce dernier n'est pas le facteur essentiel.

Au contraire, les pratiques particulières que constituent les rangs de vigne, qu'elles soient de n'importe quelle origine, ont une influence non négligeable. En effet, au moins pour des cas extrêmes d'orientation par rapport au faisceau du radar, une nette différence apparaît entre les parcelles dont les rangs sont parallèles et ceux dont les rangs sont perpendiculaires au plan incident du signal.

Enfin, si une évaluation des pentes et de certaines direction de rangs est possible, celle de la rugosité du sol nous intéresse beaucoup plus. Dans des conditions particulières, limitant l'influence des facteurs précédents, une relation entre rétrodiffusion et pratiques culturales existe. Il est alors probable qu'une extraction de classe de rugosité, et donc de surface ruisselantes à plusieurs degré, soit accessible.

5. DISCUSSION

Au cours de cette étude de multiples obstacles sont apparus. Tout en rendant les recherches plus difficile et les résultats moins précis, ils nous ont permis de mettre en évidence les inconvénients liés à notre démarche, ainsi que les contre-temps inévitables. Ce dernier chapitre tente d'établir sommairement la liste de ces obstacles et d'évaluer les réponses à certains problèmes.

5.1. QUALITE DES DONNEES

5.1.1. Images radar

Les techniques évoluant, les images satellitaires nous offrent des données de plus en plus précises, spatialement (SPOT 5 et 6) et spectralement (multiplicité des longueurs d'onde utilisées). Les perturbations ne sont pourtant pas toutes écartées. Atmosphériques pour les longueurs d'onde de l'optique, elles sont plutôt géométriques ou d'origine plus complexe comme le "speckle", pour les radars.

Les déformations géométriques apparaissent lors de survol de relief très accidenté ; ainsi les Pyrénées et les Alpes en France sont d'étude difficile. Au cours de notre étude, les régions des Pyrénées très accidentées, couverte par nos images n'ont pas été étudiées. Néanmoins, elles influencent fortement l'image lors de la correction géométrique. La prise de points d'amers dans ces zones de montagne, engendre une conservation, voire une accentuation, des déformations vers les régions de plaine. Ainsi, une image déformée même d'un ou deux pixels (surface élémentaire de 20m x 20m) correspond au niveau de la parcelle à un décalage parfois suffisant à perturber les résultats. De plus, l'acquisition d'images radar en visée oblique apporte des déformations géométriques supplémentaires "de bord". Ainsi, les pixels, même s'ils sont redressés par la suite, ne correspondent pas initialement à des surfaces carrées.

L'effet de "speckle" est un tout autre phénomène, caractéristique des images radar ; il apporte aux images un "bruit" d'intensité qui trouble l'image et affaiblit sa précision. Nos images ERS-1 et J-ERS-1 possèdent toutes un speckle important qui nous a fortement gêné lors de l'acquisition des coefficients de rétrodiffusion. L'image ERS-1 du 23 avril 1993 semble, déjà à l'écran, être l'image la moins touchée par ce phénomène, c'est elle qui nous a fourni le plus de résultats convaincants. L'ampleur des écarts-type de ces coefficients, mesurés simultanément, montre la nécessité d'améliorer la précision des mesures. Un filtre capable d'éliminer l'effet de speckle vient d'apparaître sur le marché. En cours d'acquisition par le BRGM, il permettra certainement d'améliorer la qualité des images radar.

En plus des problèmes intrinsèques aux images radar, il arrive parfois des événements imprévisibles, à l'origine de nouveaux problèmes. En 1992, après le lancement du satellite JERS-1 et au cours du déploiement de l'antenne SAR, un de ces problèmes apparaît. Depuis, malgré les efforts des techniciens de la NASDA, l'antenne, ouverte partiellement, ne peut être utilisée au maximum de ses capacités. Le résultat est, au niveau des images, une perte d'information caractérisée par des images peu contrastées et fortement bruitées. Le phénomène a été ressenti sur notre image, tout d'abord au cours du traitement, lors du recodage de l'image en 8 bits, puis au cours de l'extraction des coefficients de rétrodiffusion. Une perte d'information et l'acquisition d'une image unique ne nous a pas permis d'entreprendre une étude multifréquence, à partir de l'image ERS 1 de juillet 1992 et l'image J-ERS-1 d'août 1992.

5.1.2. Enquêtes de terrain

Nous avons vu apparaître, au cours de nos analyses statistiques, de grandes difficultés à connaître l'état de surface de chaque parcelle. Les périodes de traitement au désherbant chimique ou mécanique du sol, que nous connaissons, n'estiment qu'une probabilité d'avoir des parcelles déjà cultivées ou déjà désherbées. Malgré la proximité des dates d'acquisition des images avec celles des travaux agricoles, nous ne pouvons pas établir que l'ensemble des parcelles d'une même catégorie aient la même rugosité et réagissent, vis-à-vis du signal radar, également. Si nous voulons estimer plus exactement les possibilités des radars à la discrimination des états de surface, la connaissance exacte de ces derniers doit être acquise. Ainsi, les enquêtes de terrain doivent, dans la mesure du possible, coïncider avec les dates d'acquisition des images, et fournir des mesures précises de rugosité du sol.

Ainsi, les mesures réalisées sur place, telle que la mesure de la rugosité utilisant la "technique de la chaînette" ne sont pas d'une précision spatiale suffisante. Ce n'est pas tant, la mesure ponctuelle des aspérités du sol qui nous intéresse dans ce type d'étude régionale, que la représentation homogène de la parcelle de vigne ou de ces inter-rangs. Les mesures réalisées par le CIRAD de Montpellier, par un rugosimètre laser, pourrait nous apporter une mesure exploitable à notre échelle. A la fois précise (précision de la mesure d'un millimètre) et homogène (mesure d'un mètre carré), ce système possède toutes les qualités. Néanmoins, sa manipulation complexe et ces conditions d'utilisation limitantes (sol plat par exemple) freine son utilisation systématique. Enfin, nous avons pu remarquer que la pierrosité, pourtant facteur de rugosité, est négligé par nos mesures "chaînette", là encore, le rugosimètre laser pallierait ce problème.

5.2. METHODOLOGIE : CALAGE DES FICHIERS GRAPHIQUES

La détermination des coefficients de rétrodiffusion pour chaque parcelle constitue à la fois le corps de la méthodologie et la partie la plus sensible. La superposition de fichiers graphiques sur des images optiques sur lesquelles les contours des parcelles sont visibles pose beaucoup moins de problèmes que sur les images radar. De plus, le taux d'erreur sur la valeur de la rétro-diffusion est d'autant plus fort que les parcelles sont petites et que le relief est plus fort. Dans les vignobles du Roussillon, les conditions sont réunies.

Notre approche, bien qu'indispensable, révèle quelques inconvénients. La digitalisation des parcelles, c'est-à-dire la numérisation de leurs coordonnées, aurait dû nous permettre de superposer directement des fichiers et des images possédant le même système de coordonnées géographiques. Toutefois la précision de digitalisation puis celle d'application des coordonnées aux images entraînent des erreurs de calage importantes. L'étape que constitue le recalage des fichiers sur une image SPOT de même échelle que les images radar est indispensable.

Enfin, l'apparition d'une autre imprécision nous est apparue lors de l'utilisation des photographies aériennes. Si au niveau satellitaire l'erreur est invisible, au niveau aéroporté la contribution des chemins des bords de parcelles et des limites entre vignes et ravins prend une toute autre importance. Ainsi, la proximité de ravin autour des parcelles pourrait être à l'origine d'erreur non négligeable, ceux-ci à pente très forte rétro-diffusant beaucoup plus que la parcelle et contribuant néanmoins au coefficient total mesuré.

5.3. POPULATIONS STATISTIQUES

Lors des analyses statistiques que nous avons entreprises, nous nous sommes souvent heurtés au problème d'insuffisance de population statistique. Le manque de points représentatifs ne nous a pas permis d'établir des résultats précis. La base de données acquise tout au long des enquêtes de terrain devrait nous permettre d'établir une liste de population à faible représentant, ainsi nous savons déjà que les parcelles désherbées sont sur nos sites en minorité. De plus certains types de culture peu répandus comme l'enherbement total, n'offrent pas assez de parcelles à étudier et pourraient être délaissés au profit d'autre plus étendus.

5.4. CONCLUSION : PROTOCOLE ENVISAGEABLE, POUR D'EVENTUELS RELEVES DE TERRAIN ET TRAITEMENT DE LA BASE DE DONNEES

5.4.1. Mesure de la direction de rang

Nous avons pu remarquer que l'influence de l'orientation des rangs de vigne sur le signal rétro-diffusé était assez conséquente pour que sa prise en compte soit systématique. Sa connaissance est indispensable à une évaluation de la surface de sol effectivement active dans la rétro-diffusion. Elle doit s'accompagner d'une mesure de la dimension de l'inter-rang. Une loi simple de géométrie permet alors, connaissant l'inclinaison du faisceau radar et la hauteur des rangs de vigne, de calculer la surface au sol dite dans l'ombre du radar et non prise en compte par celui-ci. Si d'autres parcelles venaient à être rajoutées aux précédentes déjà renseignées, deux mesures systématiques devraient alors être réalisées : l'orientation des rangs de vigne et leurs écartements.

5.4.2. Pratique culturale et rugosité du sol

Bien que la rugosité du sol soit fortement reliée au type de pratique culturale, sa connaissance fournit une information temporelle instantanée et beaucoup plus précise. La période correspondant aux travaux agricoles s'étale dans le temps de 15 jours à 3 semaines. Selon la date d'acquisition des images différents cas se présentent:

- l'image est acquise juste avant les travaux agricoles, aucun résultat n'est accessible sur la détermination des surfaces potentiellement ruissellantes ;

- l'image est acquise juste après la fin des travaux, le cas est idéal pour une reconnaissance des pratiques culturales de chaque parcelle, l'information "pratiques culturales" peut être utilisée ;

- l'image est acquise pendant, ou totalement en dehors de la période concernée, une détermination des relations entre signal rétro-diffusé et rugosité du sol doit être entreprise, la notion de pratique culturale n'a plus d'intérêt.

Dans ce dernier cas, une mesure précise de cette rugosité doit être envisagée. L'utilisation d'une chaînette, comme outil de mesure, semble intéressante pour une première approche ; surtout lorsque l'état de surface est homogène. Dans le cas contraire (culture mixte), l'évaluation des inter-rangs dominant du point de vue de l'occupation du sol et de la contribution à l'infiltration de l'eau doit être entreprise. Mieux encore, les mesures de rugosité établies par le CIRAD de Montpellier par l'intermédiaire d'un rugosimètre laser, semblent pour l'instant constituer la méthode idéale.

Dans tous les cas, pour une analyse approfondie, les dates d'acquisition des données de terrain doivent être les plus proches possible de celles des données satellitaires radar.

Enfin, si le paramètre de pratique culturale est à la base de l'étude, un complément d'information est nécessaire en ce qui concerne les cultures mixtes. Pour celles-ci en effet, divers cas se présentent. La proportion des inter-rangs labourés par rapport aux inter-rangs désherbés chimiquement peut varier d'une parcelle à l'autre ; les parcelles se rapprochent alors plus ou moins des situations extrêmes. De même, la largeur des inter-rangs diverge, selon le nombre de pieds qui ont été arrachés par exemple. Ces deux compléments d'information permettraient une subdivision des parcelles à culture mixte très nombreuses, en sous ensembles plus homogènes et peut-être reconnaissables à partir d'analyses bidates.

6. CONCLUSION GENERALE

Le bassin viticole du Réart a constitué, pour notre étude, un site représentatif du milieu méditerranéen, très fragile et exposé aux phénomènes d'érosion et de ruissellement.

Les nombreux modèles d'érosion, en cours de développement, représentent une forte demande en paramètres d'états de surface que la télédétection pourrait apporter. Les paramètres de surface, telle que la rugosité du sol, interviennent, pour une forte part, sur le potentiel de ruissellement et sur les incisions qui en résultent.

De nombreuses recherches utilisent, de nos jours, la télédétection passive, comme outil d'acquisition de divers paramètres, ceux d'occupation du sol, de drainage, etc. Pourtant, aucun paramètre de rugosité de surface n'a encore été acquis de cette manière. La mise en orbite, depuis quelques mois, de capteurs radars, sensibles à ce type de facteurs pourrait pallier à l'incapacité des données SPOT (et optique en général) à les acquérir.

Lors de cette étude, nous avons tenté de connaître un peu mieux la rétro-diffusion des signaux radar et l'influence des facteurs morphologiques sur celui-ci. Notre but était d'évaluer dans quelles conditions les radars satellitaires réagissent aux différentes échelles de rugosité.

Une série d'images radar, acquises à différentes saisons entre les mois d'avril 1992 et d'avril 1993, a été analysée par référence à des relevés de terrain décrivant le vignoble, sa structure et ses états de surface.

Il s'est avéré que malgré des conditions d'études contraignantes, dûes entre autre à l'orientation des parcelles d'étude par rapport à la visée du satellite, une influence des divers facteurs géométriques est apparue. Nous avons pu constater que les différentes pratiques culturales utilisées en viticulture correspondent à des facteurs de rugosité et sont reconnaissables sous conditions d'images de bonne qualité et d'orientation particulière du milieu par rapport au satellite. L'emploi de couple d'images acquises à des dates différentes, pour une étude multitime semble fournir une possibilité de discrimination des pratiques culturales utilisées.

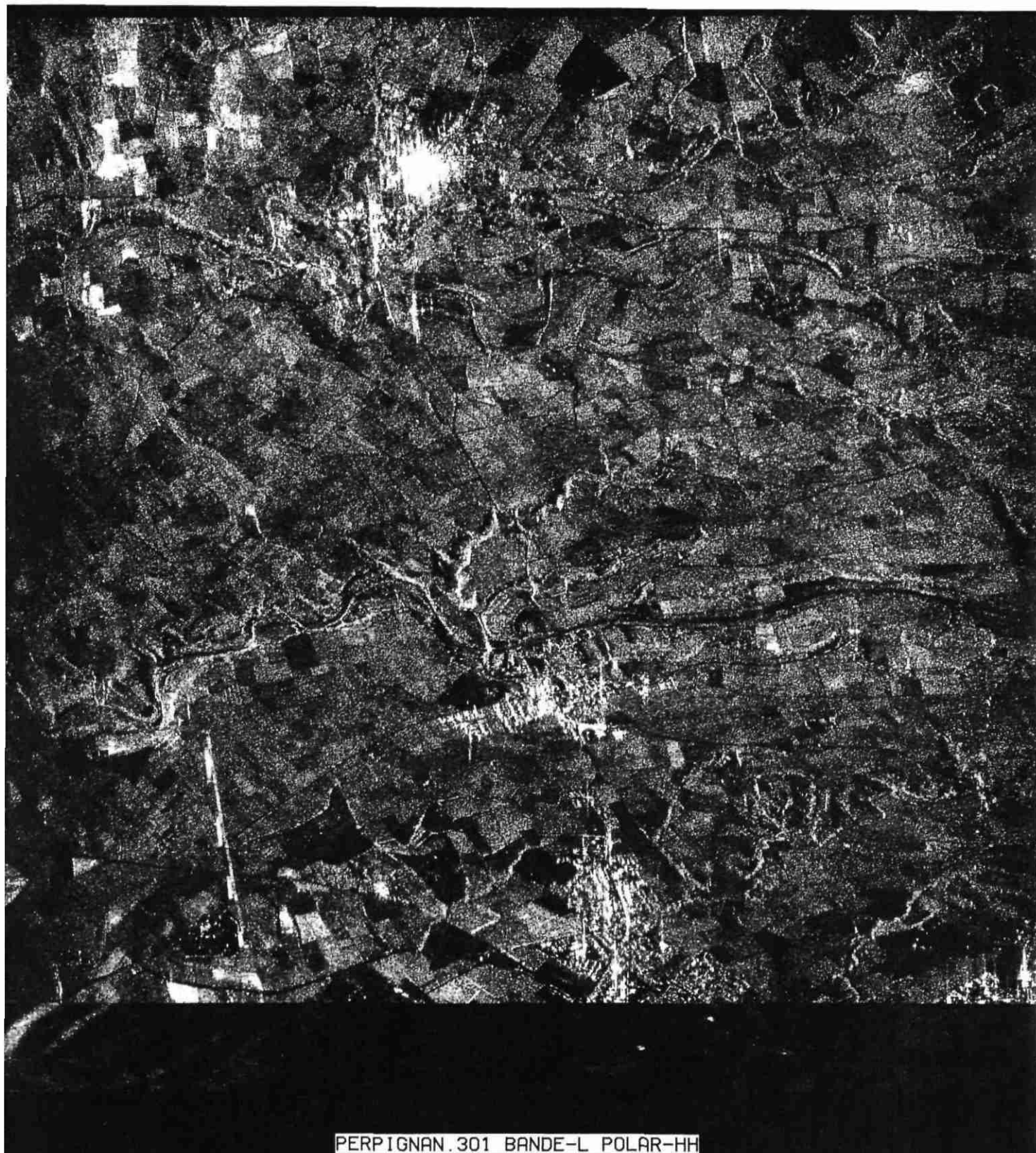
Les données ERS-1 et les données J-ERS-1 ne nous ont pas permis de conclure sur un éventuel bénéfice d'une approche multibande (bande L pour J ERS 1 et bande C pour ERS 1) ; ceci est essentiellement dû à une image J-ERS-1 de qualité médiocre.

Bien que nos résultats soient encourageants, des études plus approfondies doivent les compléter. Avant de rechercher une relation bijective, capable de fournir des classes de rugosité du sol et donc de parcelles plus ou moins ruissellantes, une étude statistique plus poussée doit être réalisée. En incluant un nombre supérieur de parcelles, elle permettrait de savoir, quel type de relation existe entre les coefficients de rétro-diffusion et les niveaux de rugosité (relation linéaire, par palier etc.). Elle pourrait se décomposer en deux étapes,

- d'une part l'analyse des relations entre rugosité du sol et signal rétro-diffusé, à partir de données aéroportées E-SAR* maintenant disponibles, ce qui permettrait de disposer d'une population de "pixels" plus représentatifs des états de surface (taille de 4 m x 4 m);

- d'autre part, l'évaluation de la dégradation de l'information entre les données aéroportées et les données satellitaires. Nous pourrions alors estimer, à la fois le potentiel des radars à détecter des surfaces potentiellement ruissellantes, et la marge d'erreur associée à l'utilisation des satellites.

* Extrait des données radar aéroportées E-SAR , sur le site de Terrats-Trouillats, page suivante.



PERPIGNAN.301 BANDE-L POLAR-HH

LISTE DES SIGLES ET DES ACRONYMES

CEE	Communauté Economique Européen
CEMAGREF	CEntre national du Machinisme Agricola, du Génie Rural, des Eaux et Forêts
CIRAD	CEntre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CNRS	CEntre Nationale de Recherche Scientifique
CNES	CEntre National d'Etudes Spatiales
CORINE	COoRdination de l'INformation sur l'Environnement
EUROSEM	EUROpean Soil Erosion Model
ERS-1	European Remote sensing Satellite 1
ESA	European Space Agency
ESSC	European Society of Soil Conservation
FAO	Food and Agricultural Organisation
IIS	International Imaging System
INRA	Institut National de Recherche Agronomique
ISTAR	Imagerie STéréoscopique Appiquée au Relief
J ERS-1	Japan Earth Resources Satellite 1
LANDSAT	LAND SATellite
MEDALUS	MEditerranean Desertification And Land USe
MNT	Modèle Numérique de Terrain
NASDA	NAtional Space Development Agency of Japan
ORSTOM	Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopérative
PNTS	Programme National de Télédétection Spatiale
RADAR	RADio Detection And Ranging
RMS	Root Mean Scare
SAR	Synthetic Aperture Radar
SHE	Système Hydrologique Européen
SIG	Système d'Information Géographique
SIR	Shuttle Imaging Radar
SPOT	Satellite Pour l'Observation de la Terre

LISTE DES FIGURES

- Figure n° 1** Localisation des trois sites d'études di bassin du Réart
Figure n° 2 Images complète J ERS-1 du 21 août 1992
Figure n° 3 Images ERS-1 du 23 avril 1992, découpée sur la zone d'étude comprenant les trois sites
Figure n° 4 Image SPOT multispectrale de 1986
Figure n° 5 Ortho-image du site d' En Ferran
Figure n° 6 Carte de pente du site d' En Ferran
- Figure n° 2.3.2.1.** Fonctionnement des capteurs en mode actif et en mode passif
Figure n° 2.3.2.2. Spectre des hyperfréquences, longueur d'onde et bande associées
Figure n° 2.3.2.3. Réflexion et réfraction d'une onde électromagnétique
Figure n° 2.3.2.4. Rétro-diffusion d'une onde radar, en fonction de l'inclinaison de la surface visée
Figure n° 2.3.2.5. Réflexion d'une onde électromagnétique en fonction de la rugosité de la surface visée
Figure n° 2.3.3.1. Effet de Layover
Figure n° 4.1.2.1. Représentation de l'angle entre la direction des rangs de vigne et celle du plan incident du signal radar
Figure n° 4.1.2.2. Assimilation des rangs de vigne à une macro-rugosité de surface

LISTE DES PLANCHES GRAPHIQUES

- Planche n° 1** Evolution de la rétrodiffusion en fonction de la pente.
- Planche n° 2** Evolution de la rétrodiffusion en fonction de l'inclinaison de la pente à direction de rangs de vigne constante.
- Planche n° 2 bis** Evolution de la rétrodiffusion en fonction de l'inclinaison de la pente. à direction de rangs de vigne constante et à pratique culturale identique.
- Planche n° 3** Evolution de la rétrodiffusion en fonction de la direction des rangs de vigne par rapport à l'incidence du faisceau radar.
- Planche n° 4** Evolution de la rétrodiffusion en fonction de la direction des rangs de vigne par rapport à l'incidence du faisceau radar pour des valeurs d'angle extrêmes.
- Planche n° 5** Evolution de la rétrodiffusion en fonction des pratiques culturales.
- Planche n° 6** Evolution de la rétrodiffusion en fonction de la rugosité du sol.
- Planche n° 7** Effet des cultures à rangs.
- Planche n° 8** Reconstitution temporelle de la rétrodiffusion selon les pratiques culturales.

BIBLIOGRAPHIE

SOL ET EROSION

AUZET A.V., 1987 "L'érosion des sols par l'eau dans les régions de grandes cultures: aspects agronomiques". Minis. of Environ. Minis. of Agri. CEREC, CNRS. 60 p.

Auzet A.V., 1987 "Rapport français sur l'état des connaissances actuelles en matière de protection des sols contre l'érosion par la pluie". Programme des Nations Unis pour l'environnement.

Auzet A.V., Boiffin J., Ludwig B., 1992 "Concentrated flow erosion in cultivated catchments as influenced by soil surface state". 1st inter. ESSC congress, Silsoe college, April 1992.

Auzet A.V., Ludwig B., Boiffin J., Maucorps J., Papy F., 1992 "Influence des caractéristiques morphologiques, pédologiques et agraires sur la variabilité de l'érosion de bassins versants cultivés". Symp. inter., St Cloud, mai 1992.

Boiffin J., Papy F. and Eimberck M., 1988 "Influence des systèmes de culture et risques d'érosion dans le Pays de Caux". Agronomie 8(8), 663-673.

Cazenave A. et Valentin C., 1989 "Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration". ed. ORSTOM 227p.

Chiquet A., 1993 "Gestion et protection de l'eau des sols. Etude de l'érosion pluviale, applications aux sols de Pays de Caux". Rapport MST Spécialité Géotechnologie Environnementale. Université Poitiers.

CEMAGREF PARIS, 1990 "Protection rapprochée des cours d'eau contre les effets de l'érosion des terres agricoles". Groupe d'ANTONY, Minist. de l'env. et de la prévent. des risq. techno. et nat. maj. Délég. à la qualit. de la vie, 1990.

Cosandey C., 1992 "L'origine des écoulements de crue". CNRS INFO n°251.

De Ploey J., 1990 "La conservation des sols". Suppl. La Recherche n°227, p38-41, 1990.

Dumitriu I., 1992 "Quelques aspects écopédologiques du vignoble Stefanesti Arges". Symp. inter., St Cloud, mai 1992.

Edwards G.M., Taylor N., Godwin R.J., 1992 "The influence of soil surface configuration on depression storage, runoff and soil loss". Symp. inter. ESSC congress, Silsoe college, april 1992.

Foret M., 1990 "Erosion des sols et catastrophes naturelles : En pays de vignobles, exemple de la Saône et Loire". Chambre d'agriculture de Saône et Loire, avril 1990.

Frielinghaus M., 1992 "Erosion des terres agricoles en Allemagne orientales, et risques associés". Symp. inter., St Cloud, mai 1992.

Gaiffe M., 1992 "Cas particulier d'érosion des sols à forte stabilité structurale en climat tempéré de plaine". Symp. inter., St Cloud, mai 1992

Henin S., 1976 "Cours de physique du sol" . ORSTOM edition . PARIS

Henin S., Gras R., Monnier G., 1969 "Le profil cultural". 2^o édition Masson , p332.

Le Bissonnais Y., Singer M.J., Bradford J.M., 1992 "Evolution de l'érodibilité du sol : relations entre propriétés du sol et susceptibilité à l'érosion" . Symp. inter., St Cloud, mai 1992.

Litzler C., 1988 "Maitrise de l'érosion en vignobles de coteaux, aspects agronomiques". Minist. de l'env., minist. de l'agriculture, Inst. techn. de la vigne et du vin, ch. d'agriculture de la Saône et Loire . brochure technique.

Papy F., Souchere V., 1992 "Maitrise du ruissellement et de l'érosion: Principes d'aménagement de l'espace". Symp.inter., St Cloud, mai 1992.

Per Schonning, 1992 "Soil erodibility in relation to soil physical properties" .1st Inter. ESSC congress, Silsoe college, avril 1992.

Pihan J.L., 1988 "L'érosivité des pluies en France". Rennes. PUR 2, coll AURAU, 201p.

Revel J.C., 1992 "Erosion hydrique et entrainement mécanique des terres par les outils dans les côteaux du Sud-ouest de la France. La nécessité d'établir un bilan avant toute mesure antiérosives" . Symp. inter. , ST Cloud, mai 1992.

Riquier J., 1982 "Evaluation globale de la dégradation des sols. Nature et ressources" ,vol XVIII,n°2, avril-juin 1982.

Robert M., 1992 "Le sol, ressource naturelle à préserver pour la production et l'environnement." Cahiers agriculture, n°1, 1992, p20-34.

Roose E., 1985 "Causes et facteurs de l'érosion hydrique sous climat tropical, conséquences sur les méthodes anti-érosives". Conférence ORSTOM IRENA. Managua.

Roose E., 1992 "L'érosion! Est-ce encore un problème aujourd'hui? La G-CES: une nouvelle stratégie pour résoudre ce problème de société". Symp. inter., St Cloud, mai 1992.

Sallenave F., 1987 "Le prix de la terre. Approche économique de l'érosion dans le vignoble champenois". Génie rural n°5-6, mai-juin 1987.

Sardo V., Vella P., Zimbone S.M., 1992 "Preliminary results of fields investigations to assess runoff/rainfall ratio by means of a rainfall simulator". 1st inter. ESSC congress, Silsoe college, april 1992.

ETUDE SUR LE BASSIN DU REART

Delpont G., 1991 "Evaluacion de los fenomenos de erosion por teledeteccion en medio mediterraneo, Region de Roussillon (Sur de Francia)", Informe CEE-IBERSAT, rapport BRGM.

Chabart M., 1992 "Etat de surface du sol de quelques parcelles de vignes sur le bassin versant du Réart, les 24 et 25 Août 1992". Communication de M.Chabart pour G.Delpont.

Keime M.P., 1992 "Programme EPOCH-MEDALUS (1991- 1992) Etude des sols et de la végétation .Sites du Roussillon." Rapport BRGM R 35784, Sept 1992

Pastor M., 1992 "Constitution d'une base de données." Programme Erosion, Bassin du Réart. Rapport de maîtrise de sciences et techniques. Stage de 1ère année. Rapport BRGM 92 SGN/TED 06, 1992.

EROSION ET CULTURE MEDITERRANEENNE

Commission of the European Communities., 1992 "Strategies to combat desertification in mediterranean Europe. Report EUR 11175 EN/ES.

Garg P.K., Harisson A.R., 1992 " Land degradation and erosion risk analysis in S.E Spain: a geographic information system approach". CATENA, vol.19, p411-425, Cremlingen, 1992.

Garrido Valero M.S., Almorox A.J., Diaz Alvarez M.C., Requero S.A., 1992 "Erosion des sols affectant les champs de céréales dans la province de Madrid: effets de différents types de labour". Symp. inter., St cloud, mai 1992.

Lucci S., Della Lena S., 1992 "Runoff and erosion caused by different site preparation techniques in plantation forestry in a mediterranean site (SARDINIA)". 1st inter. ESSC congress, Silsoe college, april 1992.

Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest, 1984 "La mobilité des paysages méditerranéens" Hommage à Pierre Birot. ISSN 0035-3221

Sala m., Rubio J.L., Garcia-Ruiz J.M. Edrs, 1991 "Soil erosion studies in Spain" Geoforma Ediciones.Logrono,1991.

TELEDETECTION - MODELES D'EROSION - CARTOGRAPHIE

Bocco G. and Valenzuela C.R., 1991 "Integration of GIS and remote sensing in land use and erosion studies". ECSC, EEC, EAEC, 1991, p477-490.

Cihlar J., 1987 "A methodology for mapping and monitoring cropland soil erosion". Can. Journal Soil Sci. n°67, p433-444, august 1987.

Company A., 1993 "Apport de la télédétection à la modélisation des phénomènes d'érosion hydrique" Rapport bibliographique de DESS "Espace Rural et Environnement", rapport BRGM R 37592, juin 1993.

Courault D., 1989 "Etude de la dégradation des états de surface du sol par télédétection. Analyse spectrales, spatiales et diacroniques". PhD thesis INA-PG. 221 pp.

Cyr L., Bonn F., Pesant A., 1992 "Utilisation de la télédétection et du système d'information géographique pour modéliser l'érosion hydrique". Symp.inter., St Cloud, mai 1992.

David J., Mitchell., 1992 "The use of soil parameters in predicting catchment sediment yields". 1st inter. ESSC congress, Silsoe college, april 1992;

De Jong S. and Riezebos H.Th., 1992 "The potential of imaging spectroscopy for soil erosion modelling. 1st Int.Coll of ESSC "Conserving our soil resources" Silsoe C. UK April.

De Roo A.P.J., 1992 "Modelling surface runoff and soil erosion in catchments using geographical information systems: Validity and applicability of "ANSWERS" model in two catchments in the loess area of south Limburg (THE NETHERLANDS) and one in Devon (UK)". Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen Universiteit Utrecht, Netherlands, 1993.

DGXI CEE, 1991 "Programme CORINE. Evaluation du risque d'érosion du sol et de l'importance des ressources en terre". Rapport Final.

Dubucq M., 1986 "Télédétection spatiale et érosion des sols. Etude bibliographique". Cahiers ORSTOM-Pédologie. Vol XXII, n°2, 247-258.

Dubucq M., Darteyre J.P., Revel J.C., 1991 "Identification et cartographie de surface érosion et battance des sols du Lauragais à partir de croisement de données SPOT et d'un MNT". ITC Journal, 2, 70-76.

Hill J., Lacaze B., Maracci G., Negendank J.F.W., Reichert L., Riezebos H.Th., De Jong S., 1992 "Imaging spectrometry in mediterranean land degradation and soil erosion hazard monitoring". 1st inter. ESSC congress, Silsoe college, april 1992.

IFEN, 1993 "Le projet CORINE-land cover : l'environnement à la carte". Lettre d'information de l'Institut Français de l'ENvironnement. n°0, fév. 1993.

Imeson A.C., 1992 "Appui de la télédétection pour l'évaluation spatiale de la sensibilité à l'érosion hydrique des terres agricoles de la région Nord-Pas-de Calais". Résultats scientifiques et techniques d'une intégration en SIG. Rapport INRA-BRGMn 32278.

Jaeger S., 1992 "Modelling regional soil erosion susceptibility in BadenWürttemberg, G, using the Universal Soil Losses Equation and GIS tools". 1st Int. Coll of ESSC "Conserving our soil resources" Silsoe C. UK April.

Kainz M., Averswald K., Flacke W., 1992 " High resolution maps for environmental planning with the help of the USLE". 1st Int. Coll of ESSC "Conserving our soil resources" Silsoe C. UK April.

Keech M.A., 1990 "Remote sensing applied to ecological degradation". Chemistry and Industry, P 296-298, 7 may 1990.

King C., Delpont G. (à paraître) "Spatial Assessment of erosion :contribution of remote sensing, a review". Remote Sensin review

King C, Le Bissonnais, Y, Daroussin, J, Malon J.F., 1991 "Appui de la télédétection pour l'évaluation spatiale de la sensibilité à l'érosion hydrique des terres agricoles de la région Nord-Pas-de Calais. Résultats scientifiques et techniques d'une intégration en SIG. Rapport INRA-BRGMn 32278.

King D., Le Bissonnais Y., Hardy R., Eimberck M., Maucorps J., King C., 1992 "Spatialisation régionale de l'évaluation des risques de ruissellement - exemple du Nord- Ps de Calais. Revue des Sciences de l'information géographique et de l'analyse spatiale . Vol.2 n°2/1992, 229-246.

Leek R., 1992 "Processing remote sensing data for erosion modelling". 1st inter. ESSC congress, Silsoe college, april 1992.

Leek R., 1992 "Using remote sensing for terrestrial monitoring and prediction of sediment yield to rivers". Thesis for doctor scientiarum. Departement of geography, University of Oslo.

Mathieu R., 1992 "Contribution of multispectral SPOT data to soil erosion risk assessment. PNTS 92-93, rapport BRGM R 36331, Sept 1992.

Morgan R.P.C., Quinton J.N., Rickson R.J., 1990 "Structure of the soil erosion prediction model for the european community". Int. Symp. Water Erosion, Sediment and Res. Cons., Dehra Dun , India, 1990.

Morgan R.P.C., 1992 "The european soil erosion model : an up-date on its structure and research base. 1st inter. ESSC congress, Silsoe college, april 1992.

Pielesjo P., 1992 "GIS and remote sensing for soil erosion studies in semi-arid environments: estimation of soil erosion parameters at differents scales". Swedish National Research Council. , 1992.

Rickson R.J., 1992 "Potential applications of the european soil erosion (EUROSEM) for evaluating soil conservation measures". 1st inter. ESSC congress, Silsoe college, april 1992.

Scanvic J.Y., Laville P., Rouzeau O., Delpont G., King C., Cunje J., Gautier M., 1992 "Rôle de la télédétection et de la modélisation dans le développement d'un Système d'Information Géographique orienté vers le contrôle de l'érosion et l'aménagement d'un bassin". Rapport BRGM R34 482.

TELEDETECTION : THEORIE ET APPLICATIONS

Beaudoin A., Thuy Le Toan., Gwyn Q.H.J., 1990 "SAR observations and modelling of the C-band backscatter variability due to multiscale geometry and soil moisture". IEEE Trans. on geoscience and remote sensing, 1990, vol 28, n°5.

Bernard R., Martin Ph., Tony J.L., Vauclin M., Vidal-Madjar D., 1982 "C.Band radar for determining surface soil moisture". Remote Sensing of environment 12, p 189-200.

Bonn F., Rochon G., 1992 "Précis de télédétection : Principes et méthodes".vol 1,UREF, 1992.

Bruckler L. and Witono H., 1987 "Signification des mesures hyperfréquences sur les sols nus"

Carnec C., 1993 " Interférométrie radar différentielle. Application à la détection des mouvements de terrain". Synthèse bibliographique. Rapport BRGM n° R 37 331.

Cassanet J., 1988 " Satellites et capteurs". Caen : Paradigme, 141p.

Elachi C., 1982 "Radar images of the Earth from space", Scientific-American, 247, (6), pp.46-53.

Elachi C., 1987 "Introduction to the physics and techniques of remote sensing". New York: Wiley, c 1987.

Elachi C., 1988 "Spaceborne radar remote sensing : Applications and techniques", IEEE Press, copyright 1988.

ESA SP -1146 " ERS 1 System " ESA, 1992.

ESA SP -1149 " ESA ERS 1 Product specification " ESA, 1992.

Evans D.L., 1991 "Current status and future developments in RADAR remote sensing", Proceedings of the 5th international colloquium-Physical measurements and signatures in remote sensing, Courchevel, France, 14-18 January 1991 (ESA SP-319,May 1991).

Evans D.L., Farr T.G., Ford J.P., Thompson T.W., Werner C.L., 1986 "Multipolarisation RADAR images for geologic mapping and vegetation discrimination", I.E.E.E. Transactions on geoscience and remote sensing, vol. GE-24, no. 2, March 1986.

Evans D.L., Farr T.G., Van Zyl J.J., 1992 "Estimates of surface roughness derived from synthetic aperture RADAR (SAR) data", I.E.E.E. Transactions on geoscience and remote sensing, vol. 30, n°2, March 1992.

Evans D.L., 1992 "Current status and future developments in radar remote sensing". ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing, n°47, p79-99, 1992.

Girard M.C. et Girard C.M., 1989 "Télédétection appliquée. Zones tempérées et intertropicales". Masson, Paris, 260 p.

Guyot G., 1992 "Signatures spectrales des surfaces naturelles". Caen: Paradigme, 1989.

Huneycutt B.L., 1990 "Innovative operating modes and techniques for the spaceborne imaging RADAR-C instrument", I.E.E.E. Transactions on geoscience and remote sensing, vol. 28, no. 4, July 1990.

Laur H., 1989 "Analyse d'images radar en télédétection : discriminateurs radiométriques et texturaux" -Thèse de doctorat spécialité traitement d'image -Centre national d'étude spatiale et des rayonnements/Université Paul Sabatier, Toulouse, France.

Malon J.F., 1986 "Corrections géométriques d'images." , 86 SGN 159 GEO.

Normand M., Galle S., Benallegue M., Dechambre O., Taconet D., Vidal-Madjar D., 1991 "Télédétection en hyperfréquences actives et état hydrique superficiel du sol, campagne aéroportée AGRISCATT'88 sur le bassin de l'Orgeval". ISPRS, 5° colloque inter., Courchevel (F) , 14/18 janv. 1991.

Paloscia S., Pampaloni P., Chiarantini L., Coppo P., Gagliani S., Luzi G., 1993 "Multifrequency passive microwave remote sensing of soil moisture and roughness". INT.J. Remote Sensing, vol. 14, n°3, p467-483, 1993.

Posner F.L., 1993 "Texture and speckle in high resolution synthetic aperture radar clutter"., IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 31, n°1, January 1993.

Rees W.G., 1990 "Physical principles of remote sensing", Cambridge University Press, 1990.

Singhroy V.H., 1992 "RADAR geology : Techniques and results", Episodes, vol. 15, no. 1, March 1992.

Trevett J.W., 1986 "Imaging RADAR for resources surveys", Chapman and Hall, London New-York.

Ulaby F.T., Moore R.K., & Fung A.K. "Microwave Remote Sensing Active and Passive", vol.I, II, III, Artech house.Inc.

Ulaby F.T., Batlivala P.P., Dobson M.C., 1978 "Microwave backscatter dependence on surface roughness, soil moisture, and soil texture: part I- bare soil .IEEE transactions on geoscience electronics, 1978, vol GE-16, n°4.

Wang J.R., Choudhury B.J., 1981 "Remote Sensing of soil moisture content over bare field at 1.4 GHz frequency. J. Geophys. Res. 86:5277-5282.

LOGICIEL DE TRAVAIL:

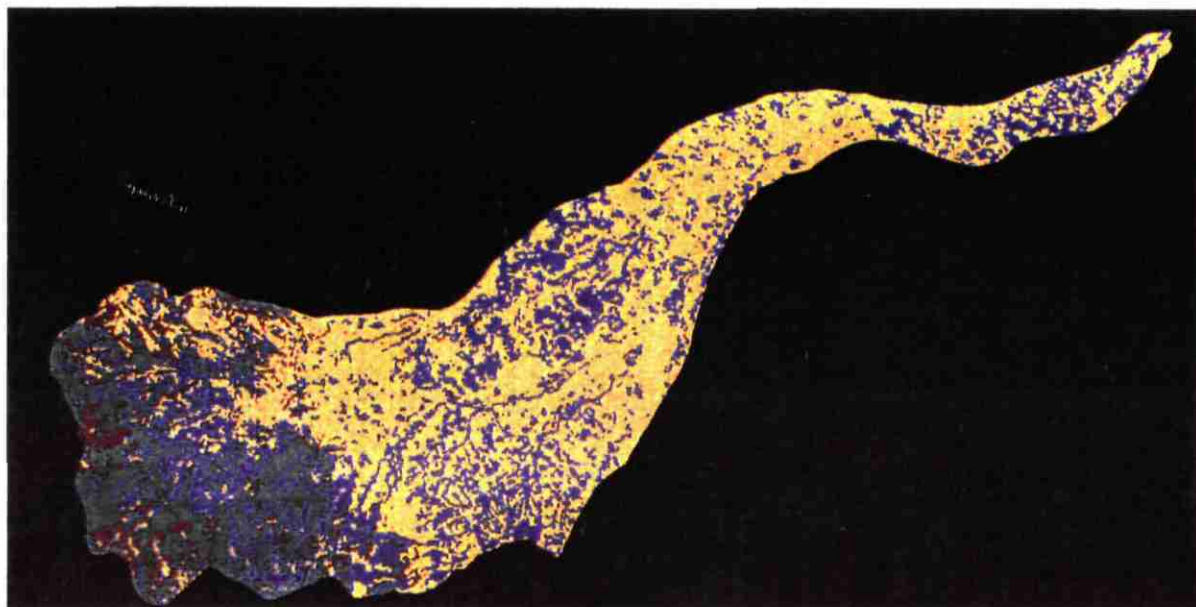
ASHTON-TATE: "Prise en main de dBase IV.", la commande électronique Ashton-Tate, 1998.

ASHTON-TATE: "Initiation à dBase IV.", la commande électronique Ashton-Tate, 1998.

ASHTON-TATE: "Utilisation des menus.", la commande électronique Ashton-Tate, 1998.

Statgraphics: Statistical graphics systems by statistical Graphics Corporation. "Guide du démarrage rapide" Version 5. STSC, Inc, 1991.

ANNEXE A : CARTE DE SENSIBILITE A L'EROSION DU BASSIN DU REART.



Echelle: 0 4km

ANNEXE B : PLUVIOMETRIE DU BASSIN DU REART.

Relevés des hauteurs de précipitation de mai 1992 à décembre 1992.

- d'après la station BRGM de St Colombe : Site d' En Ferran.

STATION	: STE COLOMBE
TYPE	: SAB600
NOM FICHIER	: SC2A92.XLS

ANNEE 1992

TOTAL (mm) 873.2

UNITE:1/10mm

JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

1					252	70			2	138		1
2					38				16			2
3					18				12	6	2	3
4					82	26			80	12		4
5					60	4			20			5

6					8	4			8			6
7					190						16	7
8					30			100	8			8
9					314		620	194	418		10	9
10					92	238			152			10

11					6				10			11
12									10			12
13					4				72	30		13
14									296			14
15										2		15

16											36	16
17									14	168	158	17
18					DEB		8			24	2	18
19					20				86			19
20							20					20

21					118		30	26				21
22					232	314	4		2			22
23					2	6			8		16	23
24					684	12			6		142	24
25									2		364	25

26								2018			200	26
27					2			114				27
28								12			2	28
29							14		24			29
30					48							30
31					42				58			31

- d'après le service météorologique national : Perpignan-Rivesaltes.

STATION	: PERPIGNAN-RIVESALTES (MN)
TYPE	: d'après relevés 3615 METEO données journalières
NOM FICHIER	: PR3A92.XLS

ANNEE 1992

TOTAL (mm) 1009.1

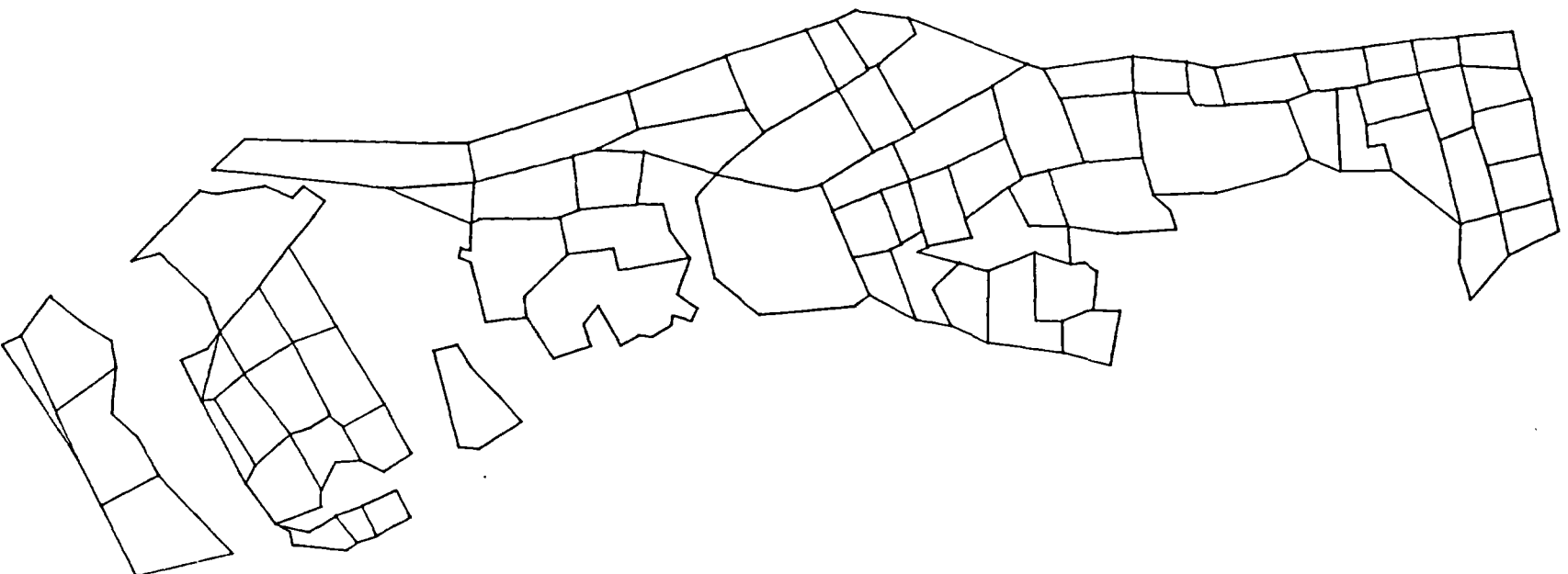
UNITE: 1/10mm

	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC	
1	.	.	.	28	138	190	68	.	.	.	.	.	1
2	.	.	.	.	8	2	.	.	.	34	2	.	2
3	.	.	.	.	.	2	.	.	.	10	.	2	3
4	.	.	.	466	.	22	18	.	.	74	.	12	4
5	.	.	.	48	.	30	.	.	.	6	.	.	5
6	.	.	.	.	.	118	.	.	.	2	.	.	6
7	.	.	.	.	.	20	.	.	4	.	.	22	7
8	.	.	.	36	.	.	.	.	308	406	.	.	8
9	.	.	.	.	.	82	.	608	6	2	.	.	9
10	.	.	.	.	.	28	62	.	.	114	.	.	10
11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	11
12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	12
13	.	.	.	.	.	.	.	.	.	442	14	.	13
14	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	14
15	.	.	.	6	.	.	.	.	.	.	.	.	15
16	.	.	.	22	.	.	.	.	.	.	.	356	16
17	.	.	.	.	.	.	.	2	.	2	134	62	17
18	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6	.	.	18
19	.	.	.	.	.	.	.	.	.	116	.	.	19
20	.	.	.	.	86	.	.	.	.	.	.	.	20
21	.	.	.	.	152	24	22	2	.	.	.	.	21
22	.	.	DEB	.	198	356	.	204	.	.	.	10	22
23	.	.	2	.	62	.	.	.	.	.	.	184	23
24	.	.	4	.	46	.	.	.	.	4	.	132	24
25	.	.	.	.	.	.	.	.	42	.	.	114	25
26	.	.	52	.	.	.	.	.	1246	.	.	14	26
27	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	27
28	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	28
29	.	.	.	.	.	.	.	4	.	34	.	.	29
30	.	.	.	.	64	14	.	.	.	2	.	.	30
31	.	.	.	.	32	.	.	.	.	104	.	.	31

**ANNEXE C: REPRESENTATIONS DES FICHIERS GRAPHIQUES CONCERNANT
LES TROIS SITES D'ETUDES.**

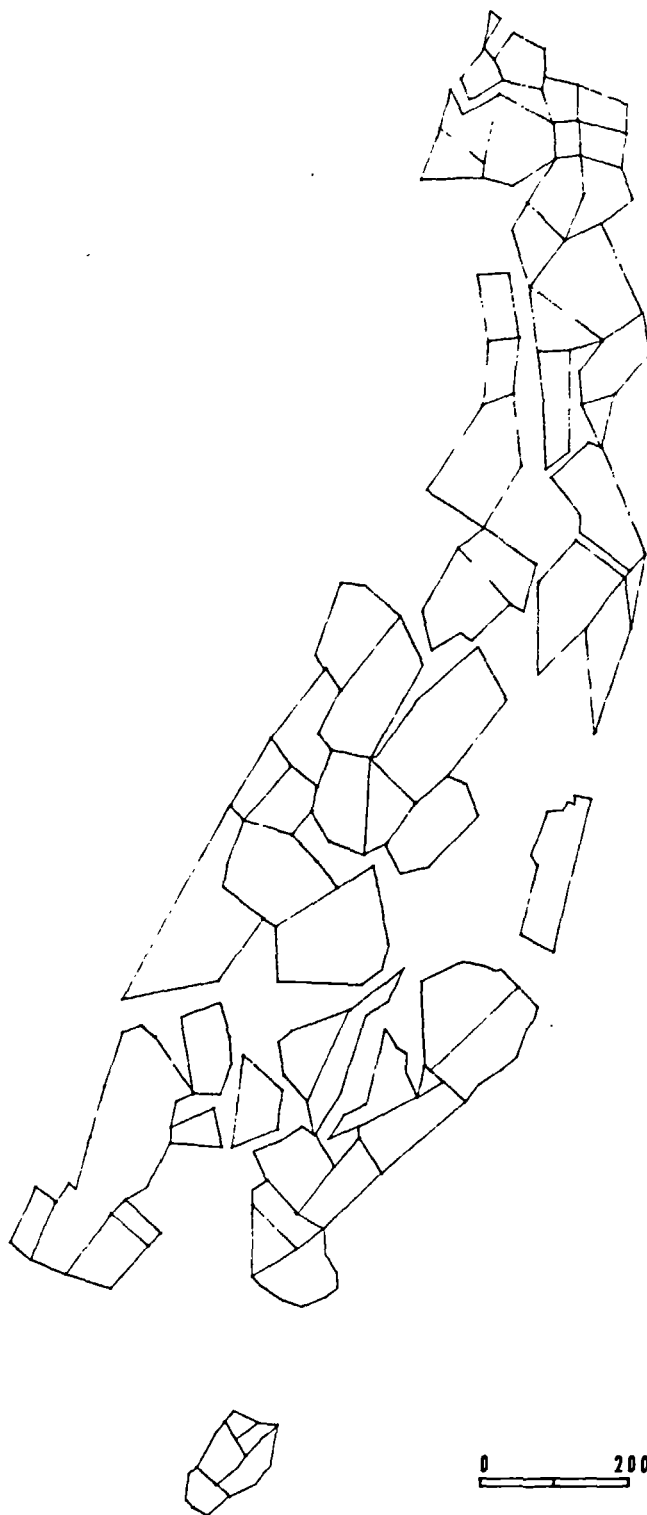
- Site d' En Ferran.
- Site de Fourques.
- Site de Terrats-Trouillats.

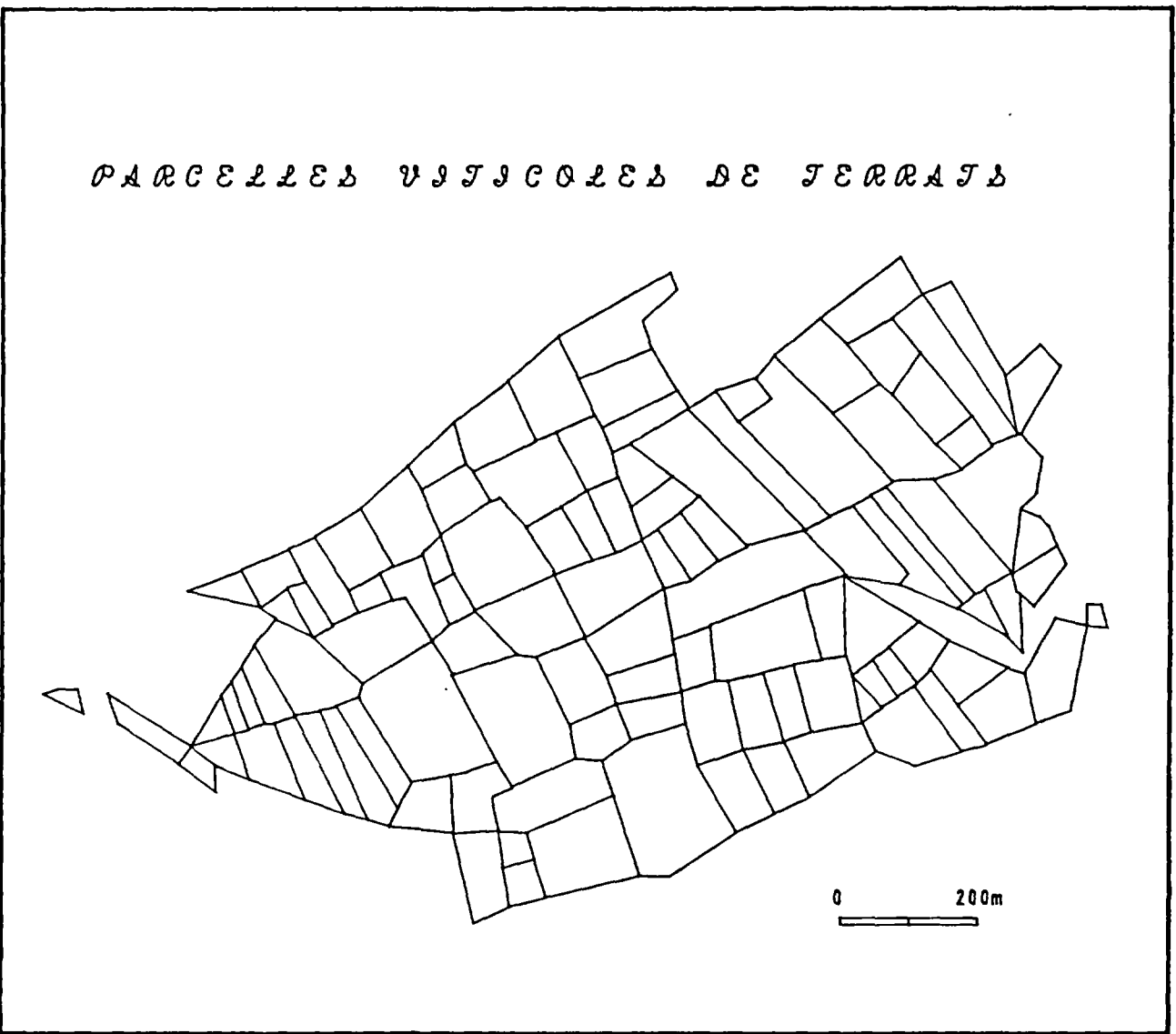
PARCELLES VITICOLES D'EN FERRAN



0 200m

PARCELLES VITICOLES DE FOURZUES





ANNEXE D : BASE DE DONNEES TERRAIN.

**RESULTATS DES ENQUETES TERRAINS DES 18/22 MAI 1992, 9/11 DECEMBRE
1992 ET 22/23 AVRIL 1993, SUR LES 3 SECTEURS DU BASSIN DU REART :
En Ferran, Fourques, Terrats/Trouillas.**

PARCEL	n° des parcelles: 1,2,3...
OCC	occupation: V vignes F verger N non cultivé
PRATCUL	pratique culturale : A abandon C chimique T mécanique X mécanique et chimique Y mécanique et enherbement E enherbement Z enherbement et chimique
%	proportion des travaux du sol entre les rangs d'une même parcelle: 0: aucune donnée 20: 1/1/5 50: 1/2/1/2 66: 1/3/1/3
VEGNAT	végétation naturelle des parcelles non occupées: 0: aucune donnée 1: présence d'herbe 2: absence d'herbe
HERBE	importance de l'enherbement des parcelles de vigne: 0: aucune donnée 1: - de 10% de la surface totale 2: de 10% à 60% de la surface totale 3: + de 60% de la surface totale
PIERR MOTT	taille des pierres taille des mottes de terre 0: aucune donnée 1: de 2 à 8 cm 2: de 8 à 16 cm 3: de 16 à 32 cm 4: de 32 à 64 cm

RUGO	mesure de la rugosité à l'aide d'une chainette à boule de 1m: 0: aucune donnée x: mesure en cm de la longueur de la chainette résultante de la rugosité
HOMOG	homogénéité de la parcelle: 0: aucune donnée 1: faible 2: moyenne 3: forte
AGE	âge de la culture: 0: aucune donnée 1: jeune 2: vieille
GREFFE	déchaussement mesuré à partir de la greffe, lors de l'enquête du 18.22/05/92 0: aucun déchaussement 1: déchaussement inférieur à 10cm 2: déchaussement supérieur à 10cm
INCIS	incision due à l'érosion 0: absence 1: présence
LONG	longueur de l'incision en cm
LARG	largeur de l'incision en cm
PROF	profondeur de l'incision en cm
INCISPENT	valeur de la pente au niveau de l'incision en % mesurée lors de l'enquête du 18.22/05/92
PARCELPENT	valeur de la pente de la parcelle en % mesurée lors de l'enquête du 9.11/12/92
DIRECTPENT	direction de la pente en N° E mesurée lors de l'enquête du 9.11/12/92
DIRECT1	direction des rangs de vigne en N° E mesurée à l'aide de photographie aérienne
DIRECTRANG	direction des rangs de vigne mesurée sur la parcelle lors de l'enquête du 9.11/12/92

Certaines variables sont suivies des mois et années correspondants à la date de l'enquête de terrain: ex RUGO0493: rugosité mesurée lors de l'enquête du 22.23/04/93.

Extrait de la base de données concernant le site d' En Ferran.

PARCEL	OCC	FRATCUL	PIERR0592	MOTT0592	DIRECT1	DIRECT2	AGE
0			0	0	0	0	0
63	V	T	3	1	150	0	2
64	V	C	3	1	150	0	2
62	V	T	1	1	150	0	2
34	V	T	0	0	150	0	2
65	V	T	1	3	165	0	2
76	V	T	1	1	165	0	2
77	V	C	1	0	165	0	2
78	V	T	1	1	160	0	2
41	V	E	1	1	165	0	2
85	N		0	0	0	0	0
4	V	X	3	3	150	0	1
31	V	C	3	0	0	0	2
40	V	T	1	1	165	0	2
20	N		0	0	0	0	0
43	V	X	3	1	185	0	2
44	V	C	3	1	180	0	2
42	V	C	3	1	185	0	2
47	N		0	0	0	0	0
23	N		0	0	0	0	0
17	V	C	3	0	150	0	2
8	V	T	3	1	165	0	2
12	N		0	0	0	0	0
82	V	T	3	1	155	0	1
18	V	C	3	0	150	0	2
7	F	T	3	1	150	0	1
19	V	C	3	0	150	0	2
10	V	X	3	1	150	0	2
16	V	C	3	0	150	0	2
15	V	C	3	0	150	0	2
83	V	C	3	0	155	0	2
11	V	X	3	1	155	0	2
13	V	C	3	0	155	0	2
14	V	T	3	1	95	0	1
1264			67	22	4215	0	52