



FLOODGEN

2nd progress report

ENV4 CT96 0368

juin 1998

BRGM report R 40088

Auteurs

C.King, JF Desprats, A.Remond,
A.Bourguignon, N.Lenotre, T.Souadi
BRGM, France
Y.Le Bissonnais, C.Monnier,
INRA, France
J.Hill, T.Udelhoven, M.Vohland
Univ. Trier, Allemagne
P.Clément, A.Boffet, J.Majérowicz
Univ. Lyon 2, France
R.Caloz, J.Pouliot, C.Blumer,
EPFL, Suisse
R.Rasio, S.Brenna A.Ajmar,
ERSAL, Italie
F.Bonn, J.Smyth
CARTEL, Canada
P.Vincent
Viasat, Canada

Utilisateurs finaux

DRAF Normandie F
ERSAL Lombardie I
DGVII/ CCR

Coordonnateur

BRGM France
C.King



Mots clés : programme CEO/CEE, télédétection, SIG, ruissellement, inondation, bassins versants radar, systèmes optiques, MNT

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

King C., Ajmar A., Boffet A., Bonn F., Bourguignon A., Brenna S., Caloz R., Blumer C., Clément P., Desprats J.F., Hill J., Le Bissonnais Y., Majerowicz J., Montier C., Lenôtre N., Pouliot J., Rémond A., Rasio R., Udelhoven T., Vohland M., (1997) Floodgen - Spaceborne recognition of indicators of excess runoff generating areas, 2nd Interim report to the CEO/CEE programme. 24 p, 14 tableaux, 11 annexes

© BRGM 1997, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM

Table des matières

1. CONTEXTE et SYNTHESE	5
1.1. Implication des utilisateurs finaux	5
1.2. Statut des partenaires canadiens : CARTEL-VIASAT	6
1.3. Comité consultatif (advisory board)	6
1.4. avancement et résumé du degré de satisfaction des clients.....	6
1.5. conclusions préliminaires.....	7
2 REVUE GENERALE DU PROJET	8
2.1 Structure du projet.....	8
2.2 Etat d'avancement général.....	8
2.3 Volume de données satellitaires.....	9
2.4 Sites d'étude : stratégie des actions à conduire	9
3 . AVANCEMENT PAR MODULES.....	11
3.1 Module A	11
3.2 Module B : How ?.....	12
3.3 Module B : télédétection au niveau régional (B220)	13
3.3.1 Rappel des choix méthodologiques.....	13
3.3.2 Premiers résultats cartographiques.....	15
3.4 Module B : télédétection au niveau des études locales	19
3.3.3 Echelle européenne	20
3.4 Module C : le potentiel des nouveaux capteurs	21
4. CONTRIBUTION AUX OBJECTIFS DU CEO	22
5. CONDUITE DE PROJET.....	22
5.1 ressources utilisées.....	22
5.2 Retards constatés par rapport aux prévisions	23
Annexes	24

1. CONTEXTE et SYNTHÈSE

Le Centre d'Observation de la Terre de la DGXII a mis en place un programme incitatif pour développer les applications opérationnelles de la télédétection. Ce programme soutient en particulier le projet FLOODGEN (détection par satellite d'indicateurs des surfaces sensibles à la genèse du ruissellement). Il a pour but de fournir aux gestionnaires du territoire agricole des outils d'observation et de simulation des effets hydrologiques induits par diverses pratiques agricoles, en s'appuyant sur les outils satellitaires d'Observation de la Terre, les systèmes d'informations géographiques, et les modèles spatialisés de ruissellement.

Ce projet associe des équipes européennes, suisse et canadiennes. Il s'appuie sur des organismes régionaux en charge de l'aménagement du territoire pour 2 objectifs : évaluer l'efficacité des résultats vis à vis des politiques d'aménagement régional et envisager les possibilités d'insertion opérationnelle de ces méthodes. Ces organismes sont en Italie la société ERSAL, en Lombardie, et en France la DRAF de Haute Normandie (Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt), enfin en Suisse le SRVA (Service Roman de Valorisation Agricole).

1.1. Implication des utilisateurs finaux

Les deux instances régionales DRAF et ERSAL jouant le rôle d'utilisateurs finaux s'appuient fortement sur la concertation entre les acteurs régionaux : peu avant l'élaboration du projet Floodgen, la DRAF a constitué *un pôle de compétences "SOLS-EAU"* sur lequel elle s'appuie pour évaluer les résultats de FLOODGEN. Elle produit un bulletin de liaison régulier, dont le dernier intègre la mise à jour des informations sur les coulées boueuses, rassemblées par le projet FLOODGEN (annexe 2).

A l'instar de l'équipe normande et dans la dynamique de FLOODGEN, ERSAL a aussi initié un *comité des utilisateurs* dont la première réunion a eu lieu ce printemps.

Durant ce semestre, l'équipe suisse a aussi mis en place un partenariat avec un utilisateur potentiel des résultats de FLOODGEN : le SRVA (Service Roman de Valorisation Agricole), qui fournit des données de validation et sera associé aux évaluations des résultats.

En première étape, les utilisateurs finaux avaient défini leurs besoins (rapport Floodgen besoins des utilisateurs O-2) et été informés de l'organisation des bases de données à constituer, (1er rapport d'avancement). Au cours de cette deuxième phase, les premières cartographies régionales par télédétection sont actuellement soumises pour examen et validation aux deux comités réunis à cet effet. Les évaluations sont en cours.

Au-delà du projet lui-même, des manifestations régionales sur le thème ruissellement excessif et protection des sols vont être organisées à l'initiative de nos utilisateurs finaux : en septembre 98 à Rouen à l'initiative de la DRAF Hte Normandie, en mai 99 à Milan à l'initiative de ERSAL. A chaque fois, il est prévu des ateliers avec les partenaires de FLOODGEN et des réflexions avec d'autres partenaires intervenant sur des projets européens INTERREG.

Cette structuration du tissu des décideurs régionaux bénéficie donc par le programme CEO d'une mise en contact entre instances de régions différentes. Nous espérons renforcer cette synergie au cours de l'avancement du projet.

1.2. Statut des partenaires canadiens : CARTEL-VIASAT

Ce semestre connaît la fin heureuse des négociations entre le consortium CARTEL/viasat et le PPUR (programme de valorisation de la recherche au Canada): leur contribution au projet FLOODGEN a été acceptée sans modification du budget requis. Le contrat avec le PPUR devrait se signer (enfin) à la fin du mois de juin.

Il appartient maintenant au consortium de finaliser le contrat d'association européen tel qu'il a été proposé depuis juin 1997, qui prévoit de prendre effet rétroactivement et clarifie les échanges de données et les règles de valorisation des travaux communs.

Les campagnes d'acquisition ont commencé et sur certains sites des mesures de terrain ont été faites soit par les équipes françaises (humidité, rugosité) soit par les équipes canadiennes (GPS, humidité, rugosité).

1.3. Comité consultatif (advisory board)

Ces actions pilotes entre l'Europe et les régions doivent aussi être une source d'informations pour les instances nationales des Etats Membres. C'est pourquoi, en tant que directeur du programme CEO à la DGXII, M.Sharman a vivement souhaité la création d'un comité consultatif composé de représentants de Ministères en charge de l'aménagement des Sols et des Eaux. La mission de ce comité sera principalement de contribuer à évaluer la pertinence et l'efficacité de telles actions face aux besoins nationaux ou inter-régionaux en matière de réduction des risques de ruissellement.

A l'invitation de M. Sharman, plusieurs personnalités ont accepté de faire partie du comité consultatif et seront présents à la réunion de moyen parcours du projet à Lausanne :

- représentant allemand: Dr. H.G.Mendel
Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz
- représentant français : Mr. Deheeger
Directeur de l'IFEN
Président de la Commission de Télédétection du Ministère de l'Agriculture
- représentant italien : Mr Dr. Francesco NOLLA (sous réserve de confirmation)
Direzione Generale per la Difesa del Suolo,
Ministero dei Lavori Pubblici, Rome

1.4. *avancement et résumé du degré de satisfaction des clients*

Le site serveur du projet FLOODGEN s'est structuré et facilite échange et mise en forme des données.

Quelle que soit la méthodologie envisagée les équipes des sites pilotes (Allemagne, Normandie, Lombardie) viennent de produire les premières cartes régionales des régions susceptibles de produire des ruissellements excessifs.

Pour les deux instances régionales DRAF et ERSAL, c'est une nouvelle étape importante: la présentation de ces premières résultats cartographiques, pour examen et validation. Les clés d'évaluation des résultats du projet, vont se fonder sur les règles initialement établies en commun.

En parallèle le module d'évaluation du modèle de ruissellement STREAM a fortement progressé: formation des équipes de tests, création des bases de données requises, amélioration de la convivialité du logiciel et mise à disposition par les équipes de test (ERSAL et U-Lyon2).

Les études de télédétection au niveau local sont dans leur phase d'exploitation intensive

Enfin les approches des nouveaux capteurs ont progressé , mais moins vite que prévu. La synergie avec les autres modules du projet est à renforcer.

1.5. *conclusions préliminaires*

La concertation avec les instances régionales (DRAF et ERSAL) est très fructueuse et leur implication dans le projet reflète bien la pression des problèmes auxquels elles sont soumises. L'insertion de l'instance suisses SRVA vient compléter ce souci d'impliquer les utilisateurs aval.

L'implication de la DG VI est à réenvisager lorsque les premiers résultats seront validés, car les enjeux restent forts au niveau des politiques agro-environnementales.

Du point de vue technique, les premiers produits B220 (cartes régionales) et B320 (accès au logiciel STREAM) sont délivrés dans les temps, mais il manque encore les rapports d'avaluation des utilisateurs. Tout aussi importantes, la structure des bases de données et les règles de procédure sont encore incomplètement décrites dans le site web très performant qui a été bâti par l'EPFL. Les partenaires doivent faire un effort .

Par contre des retards sont manifestes pour la partie nouveaux capteurs, mais ce retard peut se combler prochainement.

2 REVUE GENERALE DU PROJET

2.1 Structure du projet

Le projet est organisé en trois modules, de façon à fournir à l'utilisateur final toute la palette des informations requises ou actuellement disponibles pour une aide à la décision : quelles sont les possibilités de réduire ou de mieux contrôler les zones agricoles génératrices de ruissellement ?

A base de connaissances	B action centrale			C nouveaux capteurs
	B1 why?	B2 where?	B3 how?	
	pourquoi y a-t-il problème?	où y-a-t-il problème?	comment y remédier?	
⇓	synthèse des expérimentations sur BV	produits cartographiques: régionaux, locaux, test généralisation	guide des mesures possibles & outil de simulation sous SIG	⇓
	⇓	⇓	⇓	
site internet	base de données	base de données et algorithmes	guide et algorithme	rapports et démonstrations

Tableau 1 : structure du projet

2.2 Etat d'avancement général

Les trois modules du projet sont conduits en parallèle: ci-après l'état d'avancement des diverses parties qui est détaillée au chapitre 5 et dans les annexes correspondantes:

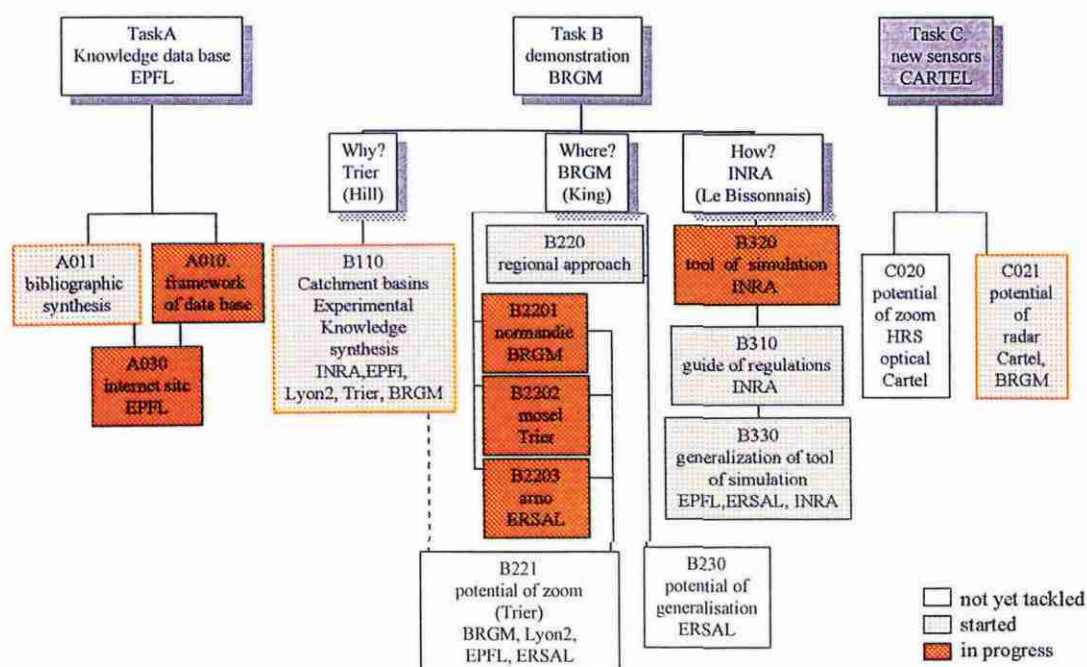


Tableau 2 : état d'avancement des modules

2.3 Volume de données satellitaires

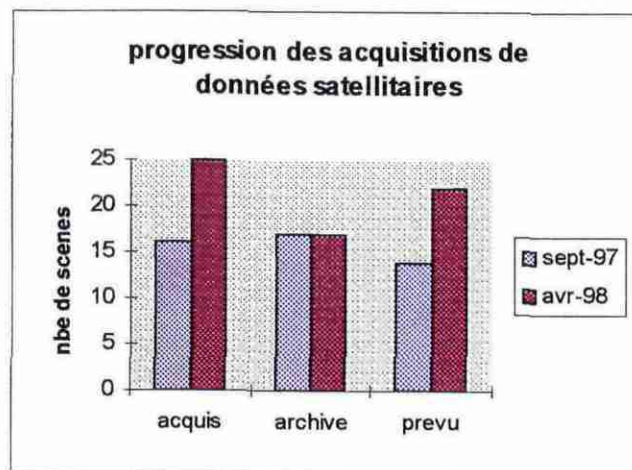


tableau 3 : acquisition des données satellitaires

Les équipes utilisent un fond significatif d'images existantes en archive et en ont acquis autant : principalement de type SPOT, Landsat TM, et un début de série ERS et Radarsat.

Les acquisitions de données satellitaires ont globalement augmenté de façon supérieure aux prévisions (tab.3), ce qui traduit la poussée des équipes vers des couvertures multi-temporelles les mieux adaptées possible à la problématique du projet. Enfin l'essentiel des données encore prévues sont essentiellement des données radar, dont l'acquisition n'a pu être lancée plus tôt compte-tenu de la situation canadienne.(voir annexe 1)

2.4 Sites d'étude : stratégie des actions à conduire

Pour mener à bien ces différents modules, chaque équipe développe ses contributions sur un ou plusieurs sites tests dont voici le rappel. (tab.4) :

Site	module A biblio, métadata, produits	module B where échelle régionale	module B where échelle locale	module B How test du modèle STREAM	module C test nouveaux capteurs
Pays de Caux (F)	x	600 km ² en 300 sous bassins	2km ² à 170 km ²	référence	SAR
Arno (I)	x	200 km ² en 36 sous bassins	10 km ²	test d'extension	SAR
Kyll river (D)	x	800 km ² en 32 sous bassins	2 à 10 km ²		SAR, radiométrie spectrale en optique
Ruwer river (D)	x	240km ²	2 km ² à 40 km ²		
Cuarnens, Sullens & Jorat (CH)	x		140 à 260 hectares		radiométrie spectrale
Solnan- River (F)	x		170 km ²	test d'extension	SAR, optique MIR
Ste Angèle (Ca)	x		10 km ²		SAR, optique : MIR, haute résol. spatiale
esquisse européenne	x	millions de km ²	hors sujet	hors sujet	hors sujet

Tableau 4: Etat des réalisations sur chaque site

A l'exception des données de nouveaux capteurs, toutes les données requises sont acquises sur l'ensemble des sites.

3 . AVANCEMENT PAR MODULES

3.1 Module A

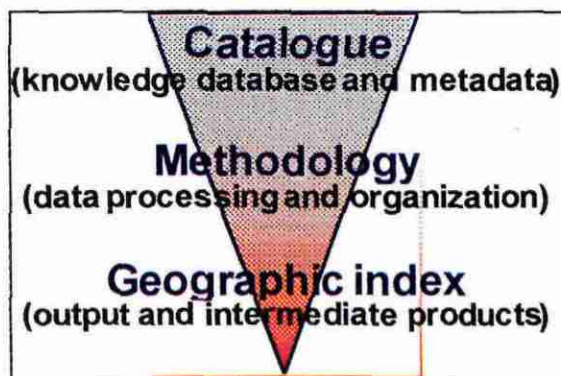
Ce module est sous la responsabilité de l'EPFL (rapport spécifique en annexe 3).

L'étape prioritaire de ce module est la constitution de l'architecture de la base de données et les règles de normalisation à respecter par chaque équipe, les relations avec le CEO pour les méta-données, puis les démonstrations sélectionnées, enfin la mise en place du site internet :

- Après les enquêtes de l'EPFL auprès de tous les partenaires, le bilan des données requises et les règles de constitution de ces bases de données ont été établis, de façon à ouvrir une base à « nourrir » par les équipes. 60% des données de base ont été collectées par les différents partenaires, envoyés à EPFL et mise en forme structurées. Le logiciel Excel est utilisé pour la collecte des données (bibliographie et métadonnées) et le logiciel Access pour compiler et diffuser les informations sur le site Web.
- Dans cette seconde phase c'est surtout l'aménagement du site internet qui a bénéficié d'améliorations afin que les équipes puissent travailler entre elles : ainsi tous les échanges pour les travaux STREAM se font par cette plate-forme.
- Le Modèle Organisationnel de traitements des données (MOT) nécessite encore des mises à jour.
- Le site Web est ouvert depuis juillet 1997 :

<http://dgrwww.epfl.ch/SIRS/projets/floodgen>

Il est organisé en 3 niveaux :



- le niveau catalogue contient les connaissances de base et les métadonnées
- le niveau méthodologie contient la description du traitement des données et celle de leur organisation.
- le niveau géographique contiendra les exemples de produits finis établis sur les différents bassins d'expérimentation, et mis à disposition par les équipes. Leur accès sera sous forme statique (en pages html avec animation) ce qui permet de protéger les données numériques sources des différents partenaires et facilite la mise à jour sur le site web.

3.2 Module B : How ?

L'INRA a en charge (1) de proposer en test un outil de simulation de l'influence des pratiques agricoles et de l'occupation du sol sur les conditions de ruissellement, déjà présenté au rapport précédent, de guider les possibilités de tester l'extension de cet outil à d'autres contextes pédologiques et (3) de réaliser un guide méthodologique sur les mesures réalistes pour réduire les risques de ruissellement.

Intégration dans un réseau d'écoulement

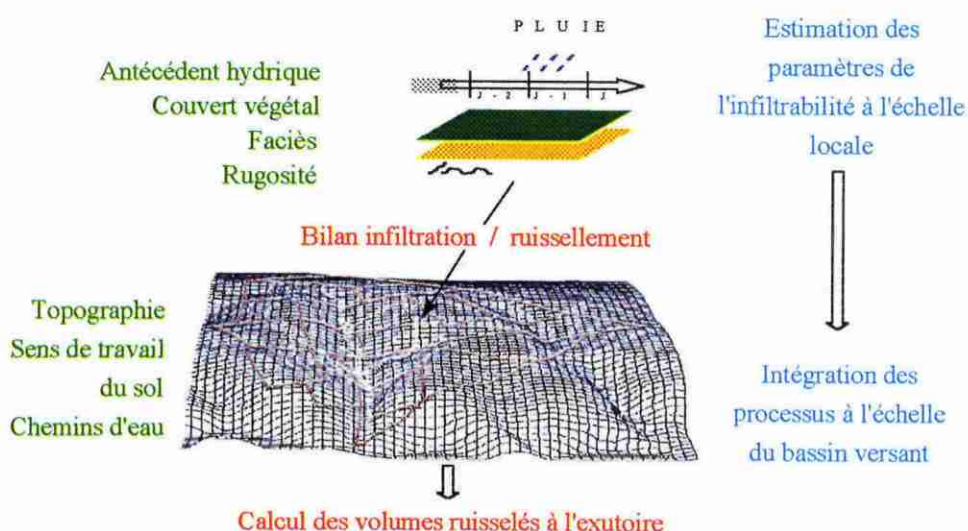


tableau 5 Principe de STREAM, (modélisation INRA)

Ce module est dans sa phase d'expansion : en effet le logiciel de simulation du ruissellement STREAM (tab.5) développé par l'INRA a été amélioré pour devenir convivial pour d'autres utilisateurs, un dictionnaire descriptif des variables à créer et/ou utiliser a été fourni aux équipes souhaitant tester le logiciel sur les sites : il s'agit des équipes de l'Université de Lyon 2 et de ERSAL, qui se sont engagées à créer des jeux de données spécifiques d'ici la session de formation prévue en mai 98. Enfin le manuel d'utilisation mis au point par l'INRA a été testé avec succès lors de cette session de formation organisée à Orléans et les équipes sont reparties avec le logiciel pour poursuivre les tests. (annexe 4.1)

Le livrable décrit au code B320 est donc produit. Les équipes partenaires abordent maintenant la phase d'évaluation du potentiel de généralisation du logiciel STREAM (B330), dont les résultats sont prévus pour février 99.

En parallèle, l'INRA a présenté le sommaire du contenu de guide méthodologique sur les mesures agro-environnementales qui constitue l'autre partie de sa contribution et n'est abordé qu'en troisième phase. (annexe 4.2)

3.3 Module B : télédétection au niveau régional (B220)

Le but est d'établir des **cartes régionales (1/200 000 or 1/250 000) des bassins versants pouvant produire des ruissellement excessifs** sur les zones pilotes de 3 régions (Normandie, Moselle, Lombardie, soit des cartes décrivant le potentiel d'occurrence d'un aléa. On peut y adjoindre le site Suisse qui est également abordé selon une approche régionale.

Les équipes de U.Trier, ERSAL et BRGM ont acquis la majorité des données requises, en télédétection, météorologie, cartographie, relief et cas d'inondations; le bilan de cette acquisition et la stratification régionale sont présentés dans les rapports intermédiaires (annexes 5,6,7).

3.3.1 Rappel des choix méthodologiques

Les méthodes d'approche utilisées pour estimer les risques de ruissellement excessif des surfaces agricoles sont en fait de trois types :

- sur les sites italiens et français: les unités fonctionnelles sont des bassins versants définis à partir du relief. Les sols dominants du territoire sont limoneux et très favorables à des écoulements selon un processus hortonien. L'état des surfaces joue donc un rôle prépondérant dans le mécanisme de ruissellement. L'approche proposée est de faire une inter-comparaison de bassins versants selon leurs surfaces contributives au ruissellement à une saison donnée. Ces bilans sont pondérés par les propriétés des sols quant à l'encroûtement, qui peuvent être homogène (Normandie) ou variables (Lombardie).
Un nombre important de bassin versants sont étudiés simultanément (50 en Lombardie, 300 en Normandie). L'évolution de situations en 7 ou 8 ans est abordée.

Cette approche a l'avantage d'être le plus objective possible, donc aisément confrontable à des informations indépendantes sur les cas d'inondations ou de dégâts de ruissellement, mais reste très empirique.

- sur le site allemand, les inondations sont sous la dépendance majeure de paramètres hydrologiques : l'approche choisie est d'utiliser un modèle hydrologique PRMS pour produire des simulations de comportement hydrologique. Ce modèle a l'avantage d'utiliser des variables distribuées. (tableau 6) Il impose la définition d'unités spatiales de fonctionnement hydrologiques, définis sur des critères d'agropayages. La télédétection fournit l'occupation du sol dans la description de 32 unités hydrologiques naturelles.

Cette approche présente l'originalité de connecter les données satellitaires à un modèle déterministe des écoulements : ceci n'est pas très répandu actuellement et pourrait pousser à une évolution de ces modèles vers des échelles spatiales et temporelles plus adaptées aux études régionales. Par contre cette approche va produire des cartes prédictives. Des

itérations successives doivent permettre d'ajuster les simulations à des situations réellement produites puisque une réelle validation n'est pas envisageable.

- enfin sur le site suisse, l'approche est essentiellement statistique avec un bilan comparatif des données d'occupation du sol et d'états de surface fournis par la télédétection et des données de constats d'érosion, phénomène considéré comme la résultante effective de ruissellements excessifs.

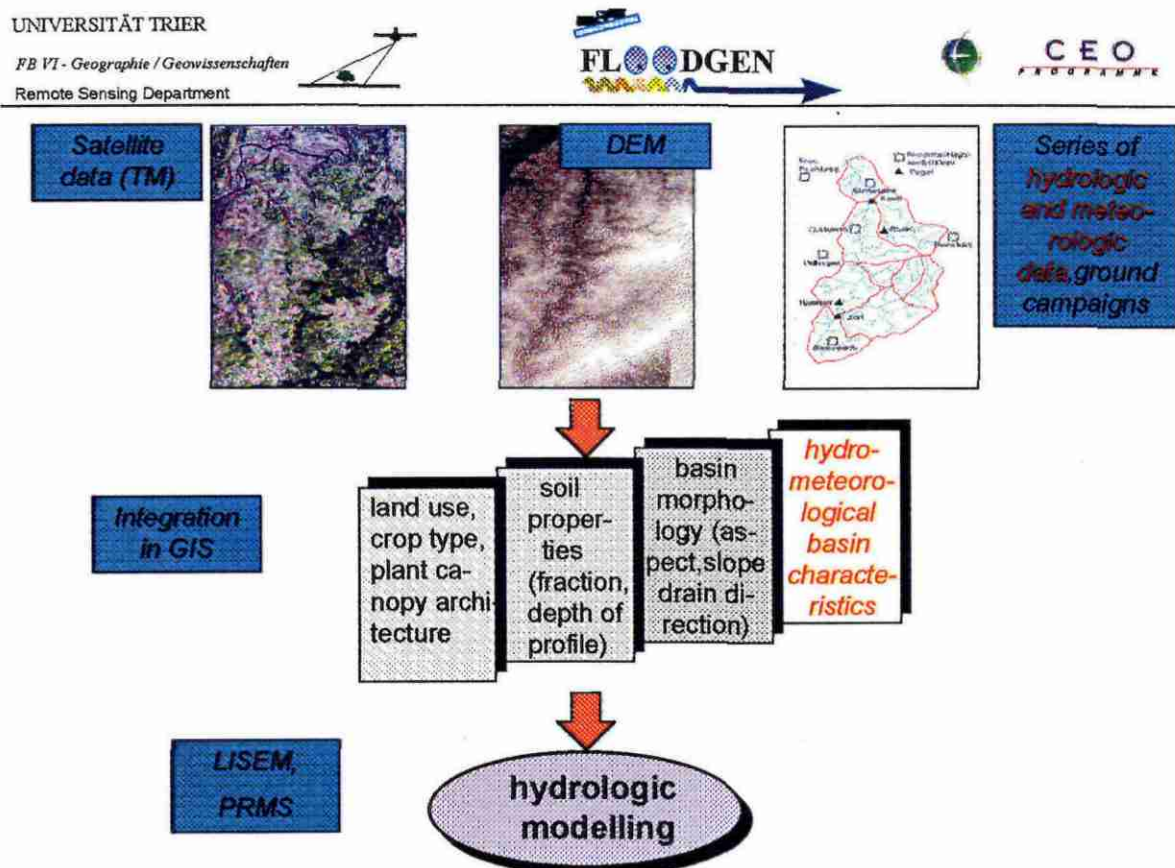


Tableau 6 : approche proposée par l'Univ-Trier

B2	sub/module Where?	Sous module Where ?	BRGM (F)	U-Trier (D)	ERSAL (I)	EPFL (CH)
B2201	gathering of the data	constitution des bases de données	réalisé	réalisé	réalisé	réalisé
B2202	stratification of the regions	stratification des espaces	réalisé	réalisé	réalisé	réalisé
B2203	intermediate report4	rapport intermédiaire	réalisé	réalisé	réalisé	
B2204	classification at different periods	claaassification à différentes dates	réalisé	réalisé	réalisé	
B2205	statistic and compared maps	résultats stat. Et comparaison des cartes	réalisé			
B2206	statistics and chronic results	confrontation aux données de validation	réalisé			
B220	regional mapping	premiers supports cartographiques	réalisé	réalisé	réalisé	
B2207	intermediate reports 5F,5I,5D	rapports individuels des équipes pilotes	réalisé	réalisé	réalisé	
B2208	synthetic report6	rapport de synthèse	à faire			
B2209	transfer to the regional authorities	transfert aux utilisateurs	en cours			
B2210	assessment of the cost-effectiveness	évaluation du rapport coût/efficacité	à faire			
B22091	assessment by the end user/report6u	évaluation par les utilisateurs				

Tableau 7 : réalisation des étapes

3.3.2 Premiers résultats cartographiques

L'avancement des travaux est résumé au tableau 7. Les premières cartes produites représentent soit des constats réguliers de la situation (Italie, France) soit une prédiction selon un type d'évènements climatologique (Allemagne). Ces cartes visent à aider les décideurs régionaux à orienter les priorités d'aménagement concertés pour la réduction des risques de ruissellement :

- Sur le site de Lombardie (annexe 6) :

La carte des sols digitalisée a permis de définir 3 classes de sensibilité à l'encroûtement et de hiérarchiser chaque bassin versant en fonction de cette sensibilité des sols : cette carte a été soumise au comité des Utilisateurs

Par ailleurs les comparaisons d'images Landsat TM de 1990/91 et 1996/97 montrent une importante régression des prairies sur certains bassins, et des forêts sur tous les bassins versants. Ceci se fait au profit des cultures annuelles, dont surtout des cultures de printemps.

Sur la carte régionale, les bassins versants qui présentent le plus de risque de ruissellement lié à la nature des sols connaissent aussi la plus grande régression des prairies et des forêts entre 90 et 97. La carte synthétique des évolutions montre que 20% des bassins présentaient déjà des situations à risques en 1990 et que 20% de plus ont évolué vers ce stade en 97 : soit 40% des bassins en situation d'engendrer des ruissellements excessifs. (tableau 8.1)

Ces cartes sont en cours de validation avec le Comité des Utilisateurs .

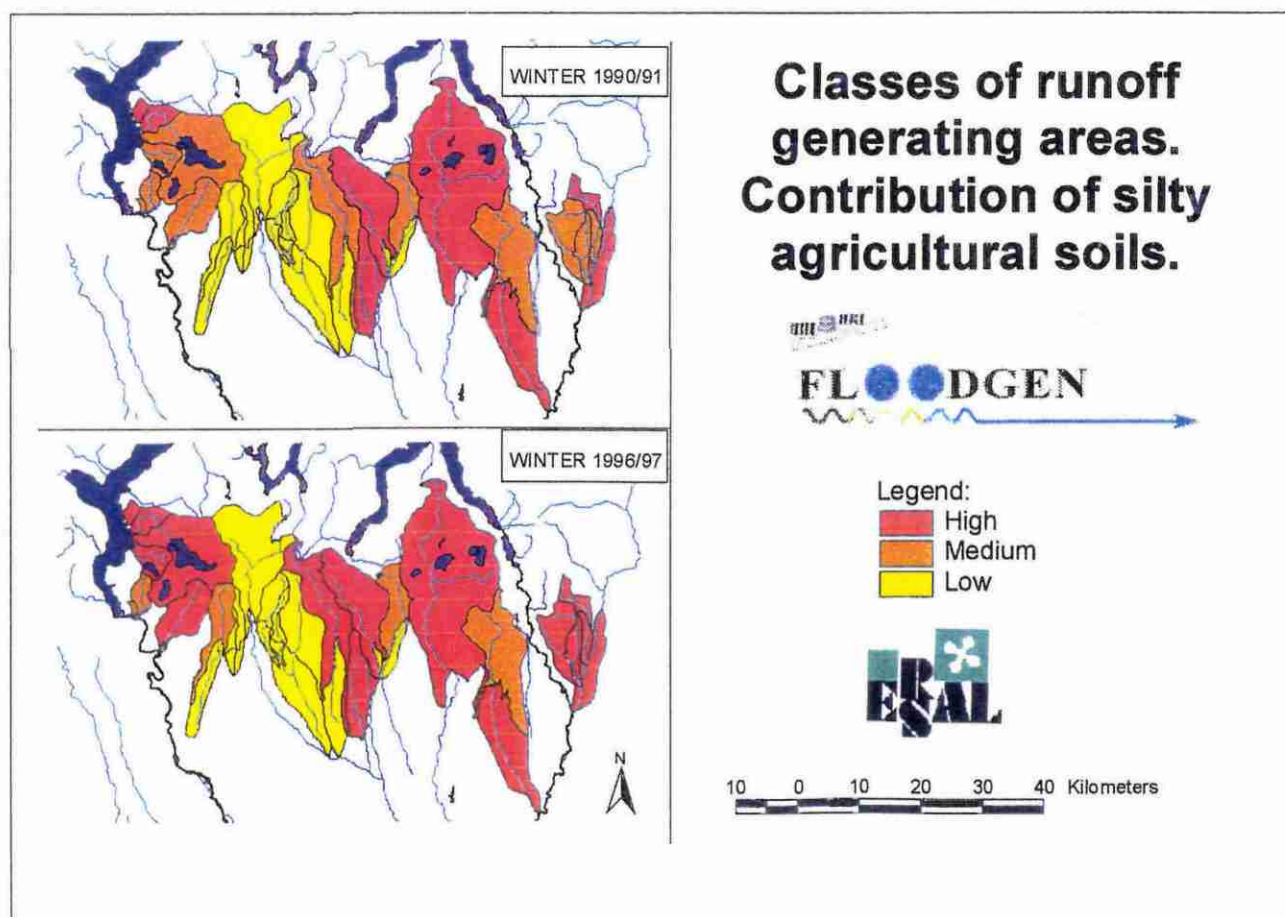
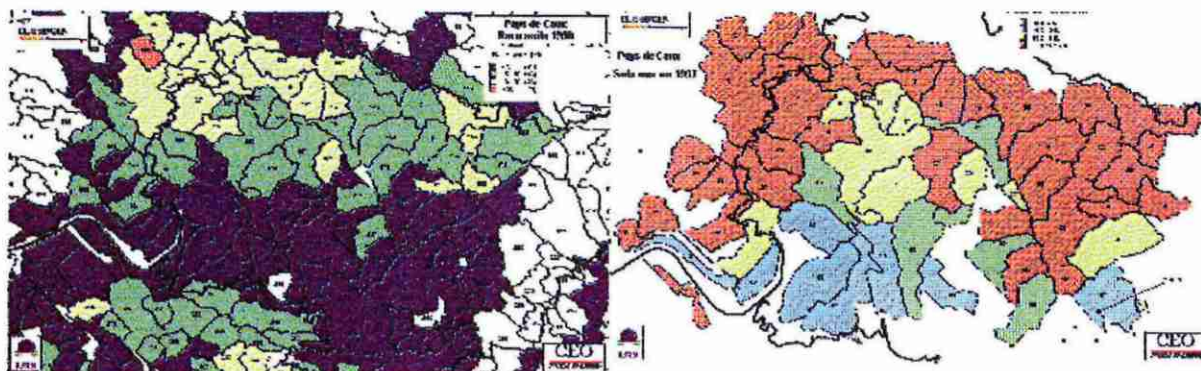


tableau 8.1 Etude régionale : produit B220 de ERSAL
exemple de Lombardie, les bassin versants à deux périodes hiver 90/91 et 96/97

- Sur le site de Normandie (annexe 7)

Toutes les cartes sont maintenant réalisées, en hiver et printemps 1990 et en hiver et printemps 1997.(exemple tab.8.2 et 8.3) Elles font apparaître la diversité des conditions favorables au ruissellement, depuis les bassins les moins préoccupantes (en bleu) aux bassins les plus favorables à la genèse de ruissellements excessifs (en orange).



Pays de Caux - extrait Rouen (F)
distribution des bassins versants selon l'importance
des surfaces contributives du ruissellement (SCR)
en hiver 1990
tableau 8.2 : étude régionale, produit B220, BRGM

Pays de Caux - extrait Rouen (F)
distribution des bassins versants selon l'importance des
surfaces contributives du ruissellement (SCR)
en hiver 1997
Pays de Caux : les bassins versants à deux périodes

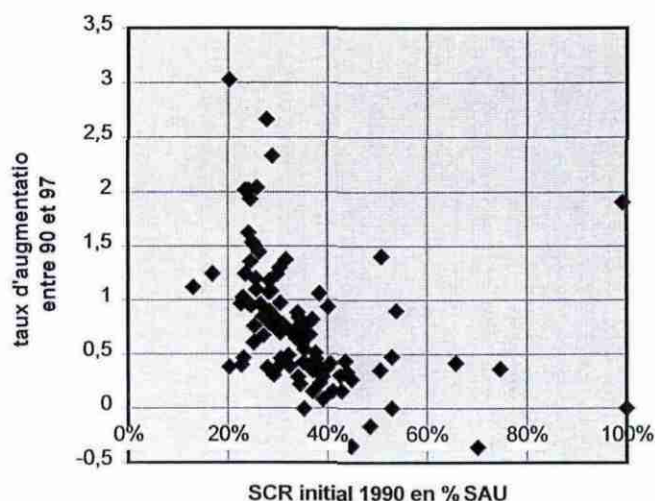


Tableau 9 : évolution des surfaces contributives en 7 ans d'écart (site Pays de Caux)
Entre 1990 et 1997, les images SPOT montrent une évolution importante des paysages : sur la zone test, plus de la moitié des bassins versants voient au moins doubler leurs surfaces contributives (tab.9). Ces résultats s'accompagnent symétriquement d'une régression des prairies permanentes d'environ 10%, cohérente avec les quelques données régionales de statistiques agricoles conventionnelles.
Des confirmations plus localisées sont envisagées et en cours d'évaluation avec les utilisateurs finaux.

Site of 'Pays de Caux'
Sensibility to soils runoff
in WINTER 1997
 (in percentage of area used by
 agriculture in watershed)

FLOODGEN

Fecamp

Dieppe

Alluvial deposits

- ☐ Low terraces
- ☐ Medium and high terraces

Bare soils in winter

- ☐ 10 - 20 % (2)
- ☐ 20 - 30 % (20)
- ☐ 30 - 40 % (42)
- ☐ 40 - 50 % (60)
- ☐ 50 - 60 % (125)
- ☐ 60 - 70 % (78)
- ☐ > 70 % (33)

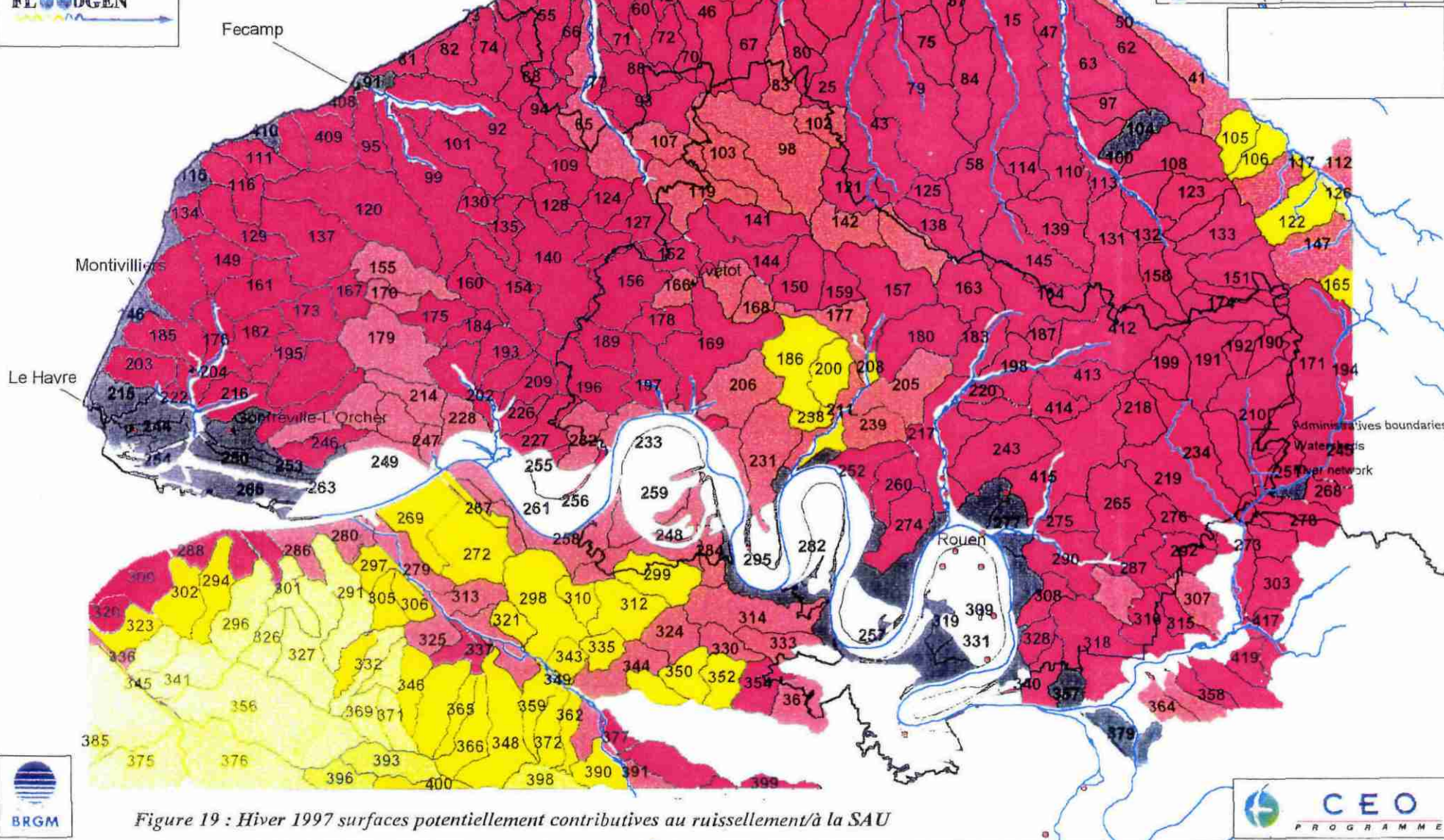
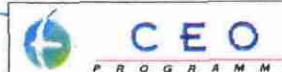


Figure 19 : Hiver 1997 surfaces potentiellement contributives au ruissellement/à la SAU



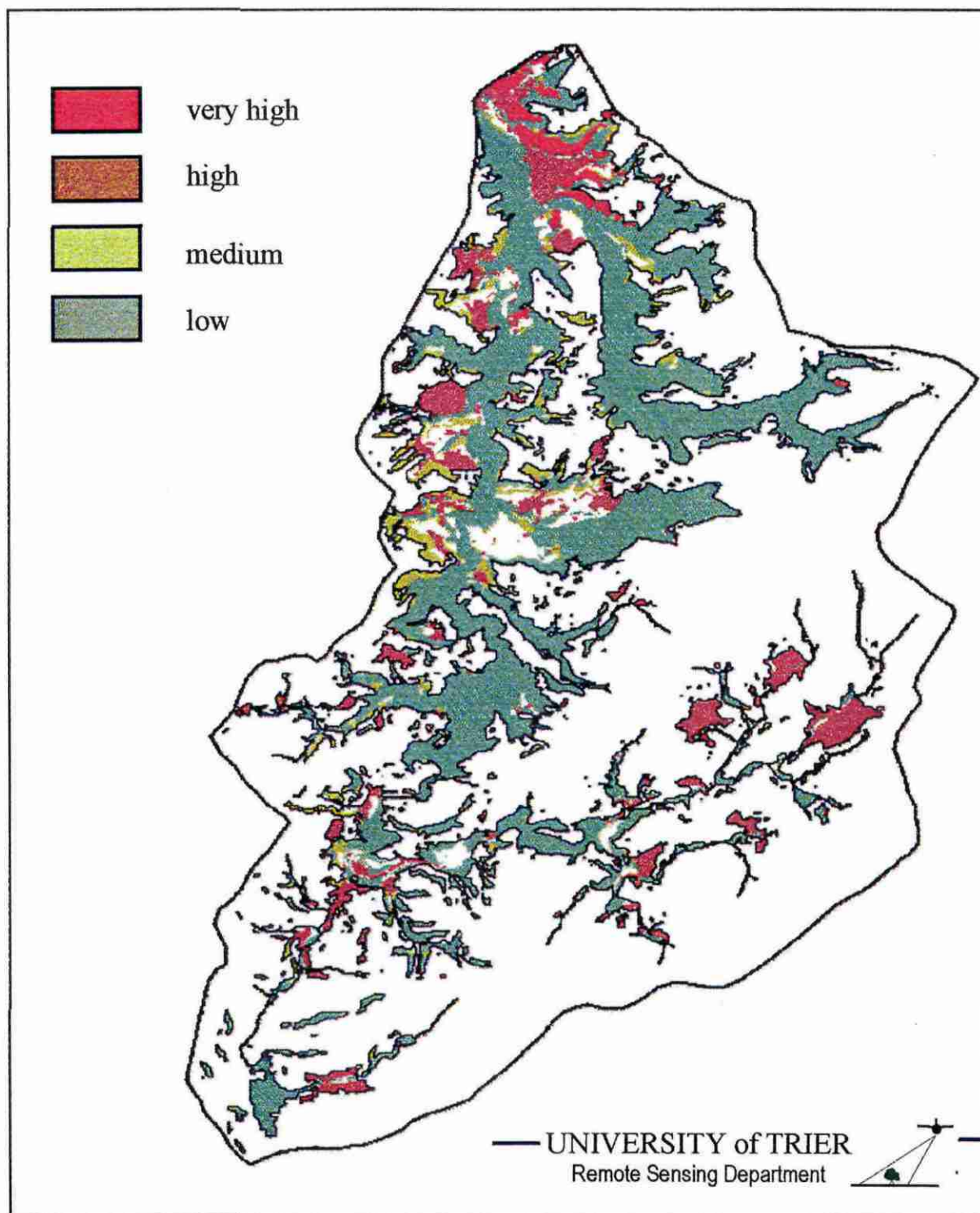


tableau 10 : carte des unités hydrologiques pouvant produire des ruissellements excessifs (Ruwer Basin U.Trier).

Conclusion : Autant en Italie qu'en France, ces tendances poussent à confirmer que l'effet de la PAC est bien de modifier des choix d'assolements et donc la sensibilité des surfaces au ruissellement saisonnier. En France, cette évolution converge avec l'augmentation des déclarations de catastrophes naturelles de la région (coulées de boue et inondations récurrentes dans de nombreuses communes). Cela incite à une analyse détaillée de l'influence potentielle de cette évolution sur le fonctionnement global des bassins versants.

- Sur le site Allemagne (annexe 7):

Les 32 unités spatiales naturelles de réponse hydrologique sont caractérisés par des sols à forte variabilité et des occupations du sol variées (vallées, pénéplaines, chaîne de quartzite,...). Ces unités contrôlent l'application spatiale du modèle hydrologique PRMS. Les premières paramétrisations de PRMS sont décrites en détail. (simulation d'hydrogrammes simulation du comportement hydrologique selon les entités naturelles).

Ces paramétrisations permettent de produire une première carte des catégories de paysages pouvant engendrer des ruissellements excessifs sur la vallée de la Ruwer. (tableau 10)

Ces premiers résultats sont communiqués pour publication dans la prochaine newsletter du CEO (annexe 11).

3.4 Module B : télédétection au niveau des études locales

Ces études visent à pousser à son maximum le potentiel de la télédétection pour caractériser des bassins versants et leur hétérogénéité interne : quels sont les indicateurs pertinents d'une surveillance effective de la mise en oeuvre de mesures agro-environnementales ? Le but est de fournir à la DGVI des informations sur l'appui potentiel de ces données dans une approche intégrée d'aide à la réduction des risques de ruissellement.

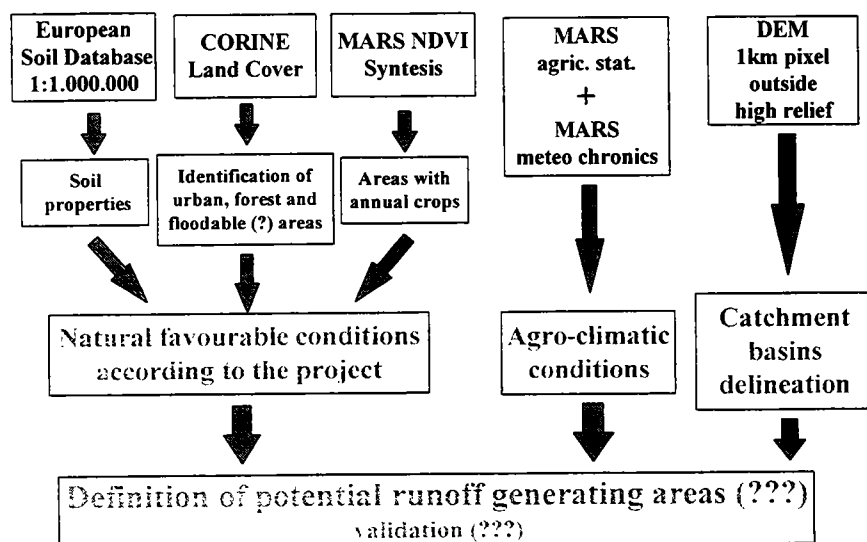
Les méthodes d'approche diffèrent selon les contextes agro-morphologiques et seront comparées.

B1	sub/module Why?	U.Trier	BRGM/INRA	ERSAL	EPFL	Lyon2
B1101	synthesis of experiments on CB	in progress	?	transmitted to U.Trier	transmitted to U.Trier	transmitted to U.Trier
B1102	physical data bases (DEM, land use, hydrology, climatology, images...)	acquired	acquired	acquired	acquired	acquired
B110	synthetic report3	delayed				
B2211	selection of demonstrative local CB	done	done	done	done	done
B2212	test of zoom and monitoring ■ description of procedures ■ processing of data ■ results and comments	in progress -done	in progress -done	in progress	in progress -done	in progress
B221	synthetic report					
B2213	assessment by the end users/ report					

Tableau 11 : avancement des études localisées

3.3.3 Echelle européenne

L'esquisse des risques de ruissellement à l'échelle européenne va s'appuyer sur les travaux conduits à l'échelle nationale par l'INRA et suivre la méthodologie suivante. Ces travaux n'ont pas encore débuté. Des questions se posent sur les méthodes de validation à mettre en place.



FLOODGEN project

Tableau 12 : module Europe coordonné par ERSAL

Le bilan des données disponibles au JRC a été dressé (Annexe 6.3)

3.4 Module C : le potentiel des nouveaux capteurs

Ce module est en place pour tenir compte des possibilités des nouveaux capteurs et préparer l'évolution des produits et services qui peuvent compléter les informations délivrées par le module B. Plusieurs caractéristiques des radars ou des capteurs optiques sont déjà suffisamment bien identifiées pour évaluer efficacement leur potentiel d'insertion dans les procédures des sous-modules where? et how?.

Conformément au programme, un rapport bibliographique des possibilités du radar pour ces problèmes de rugosité et ruissellement a été remis par A.Rémond (BRGM) (annexe 9).

L'équipe canadienne doit produire prochainement l'équivalent pour les capteurs optiques (bande MIR, haute résolution spatiale).

Des sites test sont mis en place pour les différents paramètres étudiés: (i) bande MIR et protection par un couvert végétal sec ou vert, (ii) hyperfréquences, rugosité des sols nus et effets directionnels, (iii) haute résolution spatiale pour la détection de présence ou absence de pratiques anti-érosives.

site	études	capteurs prévus	acquisitions réalisées	réalisation
Pays de Caux (F)	pilote	SAR	Radarsat 1 date, humidité, rugosité GPS	BRGM BRGM Viasat
Arno (I)	pilote	SAR	GPS	Viasat
Kyll river (D)	pilote		?	
Ruwer river (D)	pilote		?	
Suisse (CH)	subsidaire	SAR	GPS	Viasat
Solnan- River (F)	subsidaire	SAR, GER	Radarsat GPS	Cartel Viasat
Ste Angèle (Ca)	pilote radar	SAR, GER	Radarsat 3 ou 4 humidité, rugosité radiométrie GPS	Cartel Cartel, BRGM Cartel Viasat

Tableau 13 Acquisitions sur les Sites exploratoires pour les nouveaux capteurs

Les campagnes d'acquisition les plus complètes sont déjà réalisées sur le site canadien de Ste Angèle (Canada) (printemps 97, automne 97, printemps 98)

Une campagne complète a pu être réalisée sur le Pays de Caux en février 98.

Sur les autres sites, le programme d'acquisition de Radarsat International a commencé mais aucun bilan ne peut encore être établi. (annexe 10).

4. CONTRIBUTION AUX OBJECTIFS DU CEO

Deux objectifs du CEO se trouvent déjà clairement en passe d'être atteints : la dynamique d'interaction entre les utilisateurs potentiels de télédétection et les fournisseurs de services et le passage progressif des informations vers une structure ouverte :

Les réunions régionales prévues vont permettre de faire connaître le projet FLOODGEN au sein du réseau d'interlocuteurs régionaux et nationaux invités à ces manifestations. Les premiers produits de FLOODGEN sont prévus pour un versement dans les bases de données utilisateurs à l'automne.

La structure de la base de données du projet FLOODGEN a été construite de manière à être compatible avec les recommandations du programme CEO pour les métadonnées (Recommandations sur les Metadata, User Guide, CEO Programme, May 1997). Ceci permet d'introduire directement l'ensemble du contenu de la base de métadonnées acquises dans le projet dans la base de métadonnées du CEO. Cette base de métadonnées sera une source d'information très riche pour toutes les questions relatives aux inondations et au ruissellement de surface.

L'élargissement des capacités du site Web et le maintien de celui-ci rejoint également un des objectifs du CEO visant à promouvoir l'utilisation des images satellitaires dans la gestion de ressources naturelles. Les différents processus de traitement établis aux diverses échelles spatiales (locale, régionale et européenne) fournira au CEO une base méthodologique pour l'exploitation effective des images satellitaires et données complémentaires dans le contexte spécifique des SIG.

5. CONDUITE DE PROJET

5.1 ressources utilisées

Le matériel utilisé est inchangé par rapport au rapport précédent.

équipe	chercheur ingénieur	temps investi	post-doc, diplôme	temps investi	ingénieur ss-traitance	temps investi	temps sur 6 mois
BRGM	1	30%	1	50%			10 mois
	1	30%					
	1	30%					
	1	20%					
INRA	1	50%					3 mois
ERSAL	1	100%			2	50%	12 mois
EPFL	1	50%					9 mois
	1	100%					
Lyon 2			1	100%	1	100%	12 mois
Trier			1	100%	1	100% ?	12 mois
Sherbrooke			2	100%	1	?	12 mois
total							70

Tableau 14 : Personnel et temps investi sur le projet pour ces 6 premiers mois

5.2 Retards constatés par rapport aux prévisions

- Coordination :

Le document de synthèse des travaux de deuxième semestre devrait être disponible pour la réunion de Lausanne qui marque la mi-parcours du projet.

L'intervention du comité consultatif va être une possibilité d'élargir le devenir de telles applications de la télédétection au niveau national .

Par contre l'interface avec la DGVI n'est pas bien avancé et demandera un effort notable durant la troisième phase.

- Module A :

Aucun retard de la part d'EPFL mais des retards sont constatés dans l'acquisition des références bibliographiques et des premiers produits que chaque équipe doit mettre en forme.

- Module B :

- Bwhere sites pilotes : homogénéisation des équipes sur l'avancement, retard des équipes allemandes, françaises(BRGM) et italiennes dans l'évaluation des premiers produits cartographiques

- Bwhy sites auxiliaires : retard de presque toutes les équipes dans le versement à l'équipe de U-Trier des documents de synthèse sur les processus de ruissellement déjà connus sur les sites expérimentaux, avancement normal des études détaillées de télédétection.

- Bhow : modèle de simulation : aucun retard de l'équipe INRA pour mettre à disposition l'outil de simulation STREAM aux partenaires. Aucun retard des partenaires pressentis pour constituer des jeux de données adéquats pour tester STREAM

- Module C :

- module radar : on note un retard notable dans la mise en place des acquisitions d'images radar liées à la partie Floodgen/Canada : il faut prévoir une poursuite de ces travaux durant l'hiver 98-99. Il est vivement souhaitable qu'une partie des acquisitions de données soit exploitée dans un délai compatible avec une présentation de résultats au sein de FLOODGEN.

- module optique : ce module est très difficile à cerner pour l'instant sans plus d'informations de la part des canadiens. Des travaux d'intercalibration de radiomètre ont été abordés entre U.Trier et le Cartel, des travaux préparatoires à l'utilisation de la bande MIR ont commencé au CARTEL.

Annexes

Annexe 1 : Images satellitaires : détail des acquisitions

Annexe 2 : Utilisateurs finaux Bulletin de liaison du Pôle Sol-Eau/ DRAF Hte Normandie

Annexe 3 : Rapport intermédiaire de l'EPFL

Annexe 4 : Rapport intermédiaire de l'INRA

4.1 accessibilité de STREAM,

4.2 préparation du guide des mesures agro-environnementales

Annexe 5 : Rapport intermédiaire du BRGM

Annexe 6 : Rapport intermédiaire de ERSAL

Annexe 7 : Rapport intermédiaire de U-Trier

Annexe 8. Rapport intermédiaire de U-Lyon2

Annexe 9 : Rapport bibliographique sur les radars BRGM

Annexe 10 : Programmation des campagnes radar : CARTEL

Annexe 11 : Elements pour le CEO newsletter

Annexe 1 : Images satellitaires : détail des acquisitions



de Christine King à Nathalie Couvreur
état des acquisitions réalisées ou prévues sur FLOODGEN

FL  **DGEN**

équipe	■acquises pour le projet			□disponibles / archive			prévision acquisition complémentaire	
	nombre	KJ	date	nombre	KJ	date		
BRGM	10 SPOT	35/250	12/03/97	4 SPOT	34/250	23/04/87	2 SPOT	hiver 98
		36/250	"		35/250	07/01/94		
		35/249	"		36/251			
		36/249	"		200/25	07/09/88		
		36/249	2/05/90		200/26			
		36/250	3/05/90					
		36/250	22/02/90					
		35/250	17/09/97					
		35/249	17/09/97					
		36/250	17/09/97					
	1 ERS		xx/06/97				4 ERS	hiver 98
	2 RAdarsat		02/98					
Trier	3 TM	196/25	6/03/89	11	196/25	18/04/87	2 ?	hiver 98
		196/25	17/11/89		197/25	14/07/87		
		197/25	16/03/90		197/2519	16/09/87		
					7/25197/	16/05/89		
					25197/25	17/06/89		
					197/2519	20/08/89		
					7/25196/	21/09/89		
					25197/25	3/05/90		
					196/25	15/07/90		
						25/07/92		
						25/06/95		
ERSAL*	2 SPOT						xx ?	
EPFL	2TM						xx ?	
Lyon2	3 SPOT	47-256	19/02/92				1	été 97
		48-256	14/05/92				1	hiver 98
		47-256	10/02/97					
Sherbrooke	2 Radarsat		06/97				12	
			10/97				Radarsat	
TOTAL	25			17			22	

Tableau : acquisitions satellitaires réalisées ou prévues

Annexe 2 : Utilisateurs finaux

Bulletin de liaison du Pôle Sol-Eau/ DRAF Hte Normandie



Bulletin de liaison

Numéro 3 - Juin 1998

Sommaire

PRESENTATION D'UN PARTENAIRE

L'unité "Systèmes agraires et développement" (INRA-SAD Ile de France) étudie le ruissellement érosif dans le Pays de Caux depuis 1984, en collaboration avec d'autres unités de l'INRA et du CNRS.

P.2

LA PAROLE AUX PARTENAIRES

Dans le cadre du Pôle de Compétence, l'unité S.A.D. Ile de France, s'implique dorénavant plus particulièrement dans l'organisation spatiale des systèmes techniques autour de deux thèmes (maîtrise des flux polluants et production du paysage).

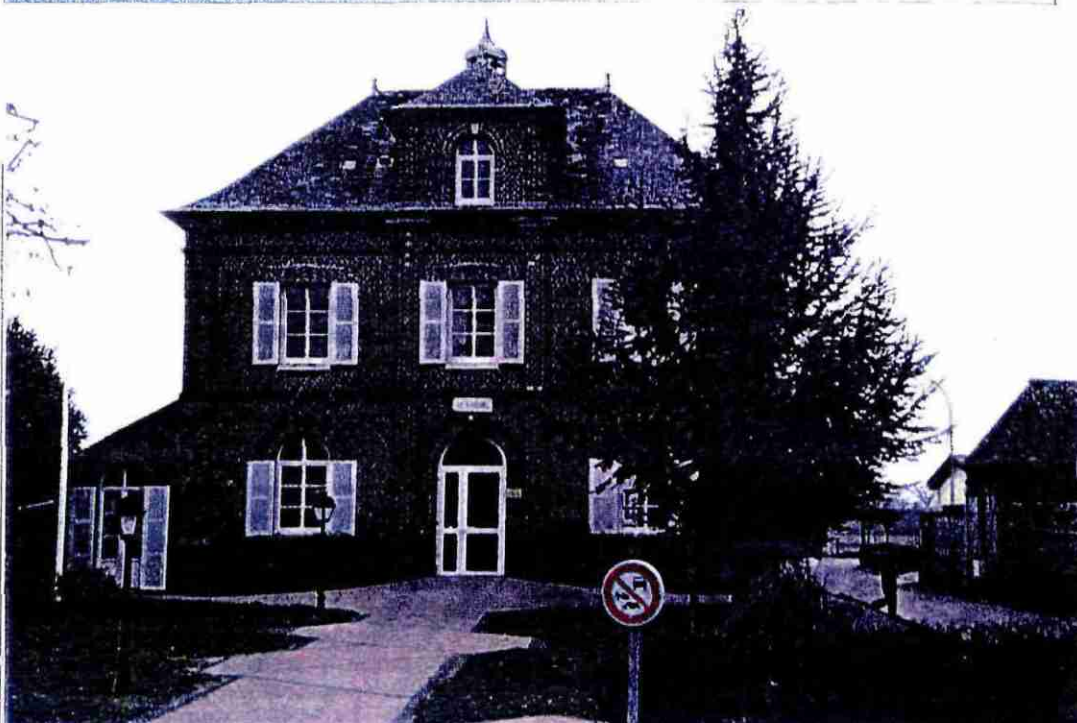
P.3

ACTUALITE DU PÔLE

❖ FLOODGEN - bilan régional.

❖ La recherche et ses productions sur l'aide à la gestion collective.

P.4



Une Mairie

EDITORIAL

De l'amont à l'aval, développer la solidarité intercommunale

L'eau est un des domaines privilégiés de l'environnement et concerne de nombreux acteurs.

La maîtrise du ruissellement, de l'érosion et de la turbidité est un terrain de prédilection pour que chacun joue son rôle (commune, département, région, services déconcentrés, organismes de recherche) pour traiter ces problèmes.

Il est maintenant admis par tous que le bassin versant doit être traité d'amont en aval. Des études globales et intégrées confirment ce concept.

Mais pour des actions concrètes, la citoyenneté, la solidarité, doivent s'exercer dans le cadre de l'intercommunalité ou toute forme d'organisation réunissant le plus grand nombre d'acteurs locaux.

Pragmatisme et réalisme sont les clés du succès pour que régressent les atteintes au sol et à l'eau.

B. BOURGET



L'Unité de recherche "Systèmes Agraires et Développement" (INRA, INA PARIS GRIGNON)

*Partenaire du
Pôle de Compétence "Sol et Eau" de Haute-Normandie*

L'unité "Systèmes Agraires et Développement" au sein de l'Institut National de la Recherche agronomique

Depuis le 1er janvier 1998, deux unités du Département "Systèmes agraires-Développement" de l'INRA, situées en région parisienne ont fusionné en une seule, appelée "SAD Ile de France". Cette unité de recherche comprend actuellement 17 scientifiques et ingénieurs, 5 enseignants-chercheurs, 7 techniciens et 4 thésards. Son objectif principal d'étude porte sur la façon dont les organisations socio-économiques gèrent les systèmes techniques.

Deux équipes abordent ce sujet de deux points de vue différents : par des produits, les signes de qualité de ces produits et les procédures qui les garantissent, par l'organisation spatiale des systèmes techniques autour de deux thèmes (maîtrise des flux polluants et production de paysage).

L'implication de l'unité SAD Ile de France dans le Pôle de Compétence, relève du deuxième point de vue. Les recherches engagées en Pays de Caux, depuis 1984, par l'unité SAD Paris-Grignon seront poursuivies dans cette nouvelle configuration.

LES HOMMES :

Personnel de l'unité SAD Ile de France engagé dans les activités de recherche du Pôle Ile de France.

- Stéphane CARTIER, thésard (Grignon);
- Claude DOUYER, technicien de recherche (mis à disposition de la DRAF Haute-Normandie);
- Philippe MARTIN, maître de conférence (Paris);
- François PAPY, directeur de recherche (Grignon);
- Véronique SOUCHERE, ingénieur de recherche (Versailles).

Adresse :

Centre de Paris :

16, rue Claude Bernard - Paris Cedex 05
Tél : 01.44.08.16.81 - Télécopie : 01.44.08.16.57.

Centre de Versailles :

Route de Saint-Cyr - 78026 Versailles cedex
Tél : 01.03.83.33.71 - Télécopie : 01.03.83.33.93.

Centre de Grignon :

78850 Thiverval-Grignon
Tél : 01.30.81.54.20 - Télécopie : 01.30.81.54.25.

DE L'ETUDE DES PROCESSUS PHYSIQUES A LA GESTION COLLECTIVE DU TERRITOIRE AGRICOLE

UN ENGAGEMENT DE L'UNITE DEPUIS 1984

Depuis 1984, l'unité INRA-SAD, INA-PG étudie le ruissellement érosif dans le Pays de Caux. La collaboration avec l'unité d'agronomie de Laon (INRA) et le CEREG-URA 95 (CNRS) de Strasbourg a permis d'analyser les processus de ruissellement et de déclenchement de l'érosion à l'échelon des parcelles et des petits bassins versants, puis les conditions qui provoquent les inondations catastrophiques à l'échelon du Pays de Caux.

De l'étude des processus physiques à la modélisation

L'avancement de nos recherches et la complexité des problèmes nous ont conduits à orienter notre travail sur la modélisation :

➤ Dans le cadre du rapprochement avec le laboratoire de Science du Sol (INRA Orléans) sur l'effet des systèmes de culture sur la concentration du ruissellement et l'identification des zones sensibles à l'érosion linéaire;

➤ Sur l'analyse des effets de différentes modalités de conduite des intercultures sur le ruissellement et l'érosion.

De la parcelle à la gestion collective

Le niveau de la parcelle (siège des modifications de l'état du sol et de la formation du ruissellement) a été le premier étudié. C'est ainsi, qu'une typologie des états de surface créés par les systèmes de culture pratiqués et leur évolution sous l'action des pluies fut élaborée.

Le centre de décision des interventions culturales se situant au niveau de l'exploitation, il nous est apparu indispensable de repérer les éléments de l'organisation des exploitations (une grande diversité existant dans le Pays de Caux) susceptibles d'avoir des répercussions sur une mise en oeuvre des techniques qui ont un effet sur les risques d'érosion. Des enquêtes portant sur le fonctionnement des exploitations nous ont permis d'en réaliser le diagnostic et de proposer l'introduction de pratiques anti-érosives dans leurs systèmes de culture.

Des différentes études, trois points importants ressortent pour faire bref :

➤ L'impossibilité au moyen des techniques culturales, de réduire entièrement le ruissellement (celui-ci étant inéluctable, aussi des aménagements spécifiques sont nécessaires).

➤ L'agriculture n'est pas la seule en cause dans l'aggravation des problèmes (les différents acteurs d'un bassin versant ont chacun une part de responsabilité et doivent se montrer solidaires);

➤ La nécessité de mettre en oeuvre une stratégie collective et coordonnée pour gérer et prévenir le risque au niveau du bassin versant (les outils de gestion technique font encore défaut).

Un travail conduit avec des acteurs locaux

Depuis la première opération pilote régionale destinée à mettre au point et diffuser des mesures de production des sols, l'unité SAD a travaillé en étroite collaboration avec le service régional d'aménagement des eaux (devenu SEMA-DIREN), l'AREAS et la Chambre d'Agriculture de la Seine-Maritime.

L'unité participe depuis sa création au pôle de compétence "Sol et Eau" qui coordonne, autour du DRAF, les actions de recherche et de sensibilisation sur le thème de la gestion collective. Nous souhaitons élaborer des principes et des outils d'action pour aider à la mise en oeuvre de cette démarche au niveau du bassin versant.

F. PAPY.

INONDATIONS ET COULEES DE BOUE en HAUTE-NORMANDIE (de 1983 au 31 octobre 1997)

Pour la Haute-Normandie 1378 arrêtés pour 737 communes (en ~ 14 ans)

Répartition :

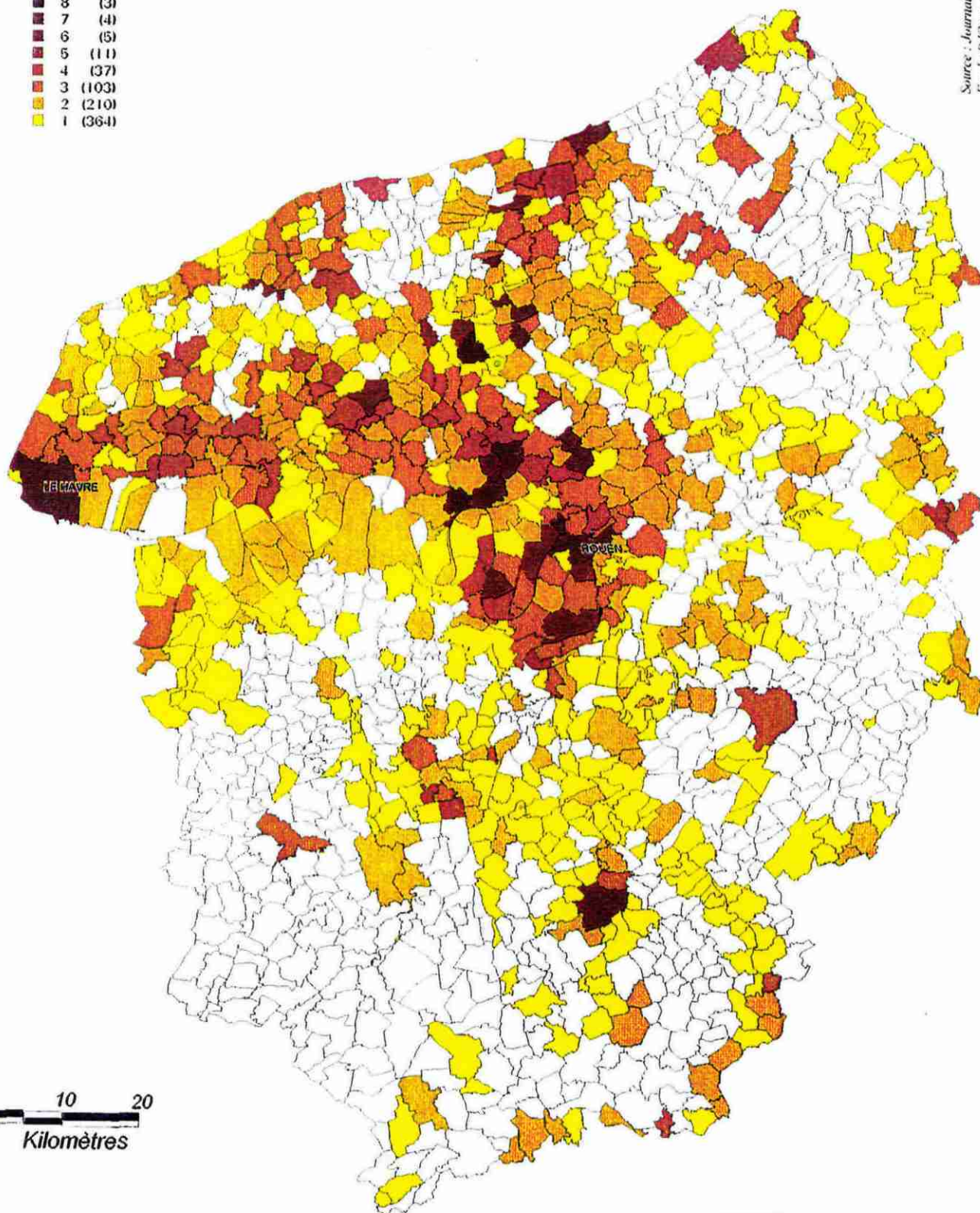
Seine-Maritime : 1030 pour 484 communes

Eure : 348 pour 253 communes

NOMBRE D'ARRETES PAR COMMUNE

avec (total communes par classe)

8	(3)
7	(4)
6	(5)
5	(11)
4	(37)
3	(103)
2	(210)
1	(364)



0 10 20
Kilomètres

Source : Journal Officiel
Fond : Ed. carto IGN

L'INRA-SAD et l'INA - PG

Dans le Pôle de Compétence "Sol et Eau Haute-Normandie"

Actions dans le cadre du groupe "RECHERCHE APPLIQUEE"

Groupe 6 - Action 1 : "L'innovation dans la gestion du territoire agricole pour réduire le ruissellement et l'érosion"

L'action 1 se décompose en deux types de travaux :

 **Maîtrise des inondations boueuses par la modification des pratiques culturales et l'aménagement hydraulique dans le pays de Caux. Application à travers l'exemple de deux bassins versants.**

(Rapport de stage, Y. PIVAIN, DESS "Environnement en milieu rural", ENSA TOULOUSE, 22/09/97, 60 pages) (Convention INRA-DRAF).

Partenaires : INRA-SAD PG, INA-PG, chambre d'agriculture 76, AREAS, DRAF.

L'auteur part de deux constats :

Les connaissances actuelles sont suffisantes pour préconiser des modalités de lutte contre le ruissellement et l'érosion dès l'origine de ces phénomènes (amont du bassin versant) ;

La gestion durable du ruissellement et de l'érosion passe par une modification des pratiques culturales et par un aménagement du territoire au sein du bassin versant, deux catégories de solutions complémentaires et indissociables.

A travers deux bassins versants (St Martin du Manoir, Gonzeville), une combinaison cohérente des solutions disponibles a été appliquée afin de réduire le ruissellement et l'érosion en tenant compte des particularités propres à chaque bassin.

La conclusion du mémoire aboutit à la nécessité d'une action volontaire des agriculteurs, des organismes techniques, des représentants des administrations regroupés au sein d'une association de bassin permettant d'organiser, de programmer les actions à mettre en oeuvre et de dégager les moyens financiers nécessaires.

 **Lutte contre l'érosion et la pollution des eaux**
(Convention INRA-DRAF)

Partenaires : INRA-SAD PG, INA - PG

Des outils personnalisés permettant de raisonner l'aménagement du bassin versant ainsi que les possibilités de modification des pratiques culturales existent.

Par contre, l'aspect collectif des outils de gestion technique fait encore défaut et le recours à des experts reste nécessaire (thèse de sociologie de S. CARTIER en cours, recrutement au département AGER d'un maître de conférences compétent en systèmes experts).

Dans le cadre de ce travail, pour un sociologue, la question posée est celle de la solidarité face au risque : comment collectivement les acteurs sociaux perçoivent et traitent ce problème par une gestion concertée du ruissellement pluvial sur les bassins versants de la parcelle agricole à l'ensemble du bassin de rivière.

Il ressort des premiers travaux que les phénomènes en jeu se manifestent sur des espaces emboîtés et avec de nombreux acteurs sociaux dans une région à forte densité rurale. Mais chaque acteur pris individuellement a des possibilités d'action limitées. Les agriculteurs ne peuvent supprimer totalement le ruissellement sur leurs parcelles. Les maires n'ont pas toujours l'autorité nécessaire sur le territoire privé de leur commune pour prendre des mesures ad hoc. En particulier, dans la plupart des petites communes rurales menacées par les inondations ils ne disposent pas de plans d'occupation des sols (POS) permettant de limiter les constructions dans les zones à risques.

Le ruissellement érosif place donc les différents acteurs sociaux concernés dans un système d'interdépendance dans lequel les responsabilités des uns et des autres sont diffuses. Les types de communes ont été identifiés pour comprendre les relations entre agriculteurs et population citadine.

En conclusion, les principes qui président à l'établissement d'une gestion concertée du ruissellement doivent donc faire apparaître une réciprocité dans la solidarité, particulièrement dans une politique intercommunale face au risque.

La gestion collective d'un territoire agricole s'appuie sur une volonté et un apprentissage.

ACTUALITE DU POLE

Le Pôle de Compétence et l'Europe

FLOODGEN. - Approche régionale du site pilote du Pays de Caux
DRAF - ROUEN - 08/04/98"

- 1 - Présentation des résultats régionaux de télédétection - définition des bassins versants, estimation des surfaces à potentiel de ruissellement...
- 2 - Méthodes d'évaluation des résultats

- 3 - Programmation des étapes suivantes : sélection des bassins versants prioritaires
- 4 - Définition des critères d'efficacité des produits
- 5 - Détermination des critères d'opérationnalisation

Prochaine réunion : Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse) le 09-10/07/98

La Recherche et ses Productions

Aider à la gestion collective d'un territoire agricole : La maîtrise du ruissellement érosif en Pays de Caux
Pour en savoir plus :

1 - **CARTIER S., 1997.** Le ruissellement, cheval de Troie d'un aménagement rural conçu pour la ville. *Cahiers Agricultures*, 6, 55-61.

2 - **LE BISSONNAIS Y., PAPY F.** (à paraître). Les effets du ruissellement et de l'érosion sur les matières en suspension dans l'eau. In **RIOU C., BONHOMME R., CHASSIN P., NEVEU A., PAPY F.** (Eds). *L'eau dans l'espace rural*. INRA.

3 - **LUDWIG B., AUZET A. V., BOIFFIN J., PAPY F., KING D., CHADOEUF J., 1996.** Etats de surface, structure hydrographique et érosion en rigole de bassins versants cultivés du Nord de la France. *Etude et gestion des sols*, 3, 1, 53-70.

4 - **MARTIN P., MEYNARD J.M.,** (à paraître) Systèmes de culture, érosion et pollution par l'ion nitrate. In **RIOU C., BONHOMME R., CHASSIN P., NEVEU A., PAPY F.,** (Eds). *L'eau dans l'espace rural*. INRA.

5 - **MARTIN P., PAPY F., SOUCHÈRE V., CAPILLON A.** (à paraître). Maîtrise du ruissellement : intérêt d'une modélisation des pratiques de production. *Cahiers Agricultures*.

6 - **PAPY F., BOIFFIN J.** (Coll. **DOUYER C.**), 1988. Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré. II. Evaluation des possibilités de maîtrise du phénomène dans les exploitations agricoles. *Agronomie*, 8 (9), 745-756.

7 - **PAPY F., DOUYER C., 1991.** Influence des états de surface du territoire agricole sur le déclenchement des inondations catastrophiques. *Agronomie*, 11(3), 201-215.

8 - **PAPY F., POUJADE Claudine, SOUCHÈRE Véronique, 1992.** Maîtrise du ruissellement et de l'érosion sur un territoire agricole (le double découpage de l'espace) In **BUCHÉ P., KING D., LARDON S.** (Eds). *Gestion de l'espace rural et système d'information géographique*. INRA, 167-176.

9 - **SOUCHÈRE V., KING D., DAROUSSIN J., PAPY F., CAPILLON A.** (à paraître). Effect of tillage on Runoff. Directions : Conséquences on Runoff Contributing Area within Agricultural Catchments. *Journal of Hydrology*.

Communication

Le Pôle de Compétence participe au festival régional de l'Agriculture (VIEUX MANOIR les 5,6 et 7 Juin 1998).

Trois posters présentant les ruissellements et leurs conséquences, les solutions possibles ainsi que l'affiche du Pôle sont sur le stand de la D.R.D.A.F

Vos Articles et Suggestions

sont à envoyer à :
DRAF/DDAF

"Pôle de Compétence" Sol et Eau de Haute-Normandie
Cité Administrative - 2, rue Saint-Sever - 76032 ROUEN CEDEX

Directeur de Publication : **Renaud BOURGET** - Comité de Rédaction : **Rémy CLATOT** - **Charles DOUYER** - **Alexandre MICHOU** - **Déborah VASSEUR** - **Esther**

A vos répertoires

Plusieurs changements étant parvenus, un nouvel annuaire des partenaires du Pôle sera réalisé.

Et à vos agendas

Le Pôle de Compétence se présentera au grand public en Septembre 1998.

Chacun des partenaires peut déjà réfléchir à sa participation (exposé, poster...).

Annexe 3 : Rapport intermédiaire de l'EPFL



FLOODGEN project

**FLOOD risk reduction by spaceborne recognition
of indicators of excess runoff GENerating areas**

Second interim report

Module A - Knowledge data base

Module B – Test site B

Partners:

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

DGR, Institut de Géomatique, Unité SIRS, Gr Ecublens
CH-1015, Lausanne, Suisse

March 1998



FLOODGEN project - Second interim report

Reporting period: October 1997 - March 1998
Partner: Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
Scientific staff: Régis Caloz
Jacynthe Pouliot
Christian Blumer
Address: DGR, Institut de Géomatique, Unité SIRS, Gr Ecublens
CH-1015, Lausanne, Suisse
+41-21-693-5785
+41-21-693-5790

Table of content:

<i>Summary</i>	<i>3</i>
<i>1. Introduction</i>	<i>4</i>
<i>2. Work to date - Module A</i>	<i>4</i>
<i>2.1 knowledge data</i>	<i>4</i>
<i>2.2 Metadata</i>	<i>5</i>
<i>2.3 Organizational Model of Data Processing (MOT)</i>	<i>7</i>
<i>2.4 Web site</i>	<i>7</i>
<i>3. Work do date: Module B</i>	<i>10</i>
<i>3.1 SRVA (Regional Agricultural Vulgarisation Service for Romandie)</i>	<i>10</i>
<i>3.2 Erosion problems in the region of plateau de Vaud</i>	<i>12</i>
<i>3.3 Test site definition:</i>	<i>13</i>
<i>3.4 Preliminary analysis procedure:</i>	<i>14</i>
<i>3.5 Data inventory:</i>	<i>14</i>
<i>4. Technical information</i>	<i>15</i>
<i>4.1 Milestones reached</i>	<i>15</i>
<i>4.3 Resources employed</i>	<i>15</i>
<i>5. Preliminary conclusions</i>	<i>15</i>
<i>6. Objectives for next reporting period</i>	<i>16</i>

Annexe 1 - Example of the metadata database

Annexe 2- Relevant URL

Summary

This reporting period concern two main objectives: the implementation and the development of the databases (knowledge database and metadata) and local studies of remote sensing as a mean to identify surfaces contributing to erosion and runoff . At the last meeting in November, the person responsible for the module A has presented some directions to give for the development and the diffusion of the FLOODGEN databases. Since that time, both databases are ready to use but have not been placed on the Web-site for two principal reasons: technical problems and the modification of the diffusion strategy. In the next period, FLOODGEN partners will have to decide officially the development and diffusion strategy for spatial and non-spatial information circulation on the Web-site.

As to module B, we propose to test a slightly different approach by using a series of data of erosion risks already acquired by a regional authorities. Several sites in the plateau de Vaud were finally defined and investigations about data acquisition and processing started. We are now ready to define more precisely the data to use and the structure of data analysis procedures.

1. Introduction

The main work done at the EPFL is organized around two different modules in the FLOODGEN structure. **Module A** concerns the database organization and **Module B** concerns the definition of the test sites B.

For this reason, the progress report will present separately, for each module, objectives, work to date, progress and preliminary results.

2. Work to date - Module A

As mentioned, Module A deal with the database organization and management (the definition of the data base format & framework, gathering of bibliographic data and consensus knowledge and opening of the net-site). Database format and framework have already been established in agreement with all the partners. Gathering of the bibliographic data and the metadata have started in July and is still in progress. Since now, we can say that 60% of these databases have been collected by the partners, send to EPFL and organized in a formal structure. Reminding us that Excel software was chosen for the collecting of the data (bibliographic and metadata) and Access software will be used to compile and diffuse information on the Web-site (see report November 1997 from EPFL). The last task of the module A concern the Web-site. A first prototype was opened in July and propositions have been made in November for development and diffusion strategy about spatial and non-spatial information circulation on the Web-site. The strategy presented was mainly oriented toward the implementation of a dynamic link between users and the spatial and the non-spatial information. This mean that users, from any browser, would be able to visualize and update the information of the database.

Next sections will present advancement made for each of the fourth main objectives of the module A (knowledge data, metadata, methodology of the data processing and Web site).

2.1 knowledge data

In November 1997, a large part of the knowledge database was collected from bibliographic information and compiled. Since that time no more bibliographic data were received. Table 1 show the status of knowledge database acquisition.

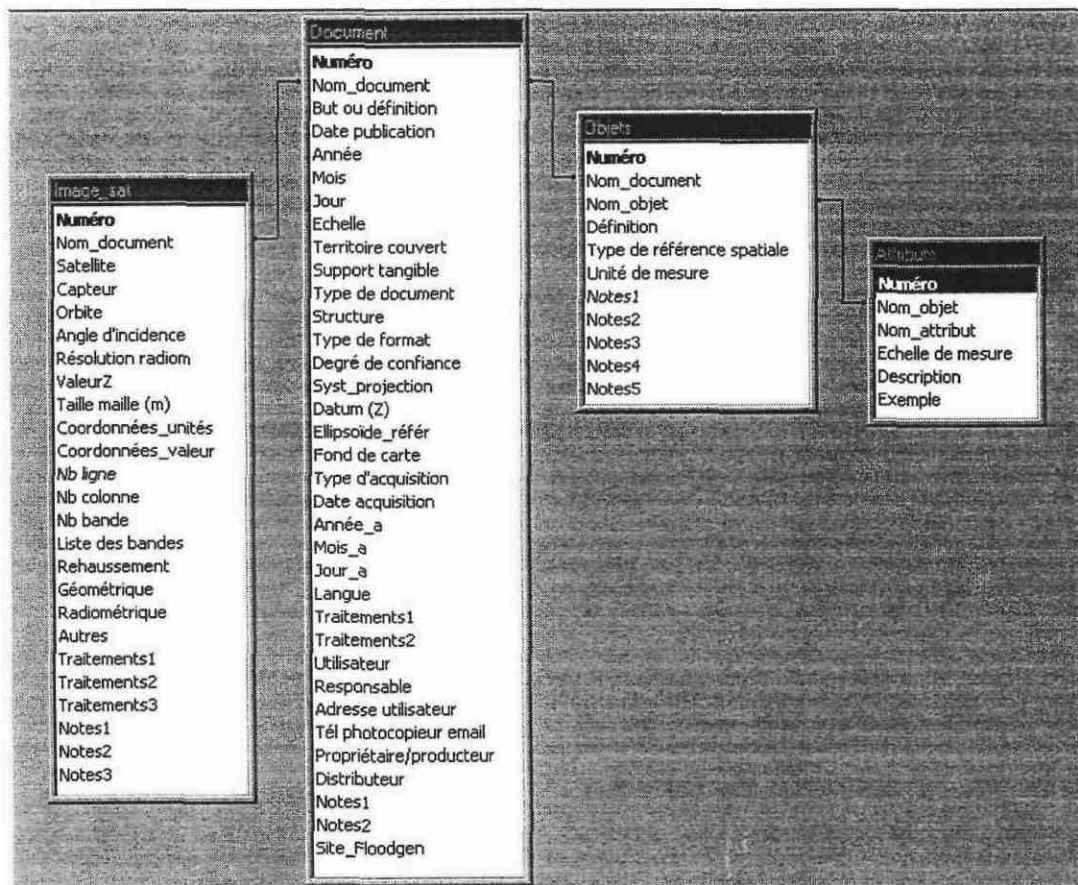
Table 1 - Status of the knowledge database

Themes_Floodgen	Frequency
Agriculture / Soil science	196
Autres	11
Climatology and Hydrology	129
Geomorphology	7
Modelling of Runoff	70

2.2 Metadata

The metadata database concerns descriptive information about all the spatial data used in the project (image, map, statistics,...). Almost all the partners have sent the metadata forms for each data acquired but some teams have not yet sent their data acquisition forms. The metadata forms received from partners are already compiled in an Access database and ready to use. Figure 1 show the structure of the database organization and relations (figure 1):

Figure 1 - Metadata database organization



The next table show the status of this database (see table 2). An example of the metadata inventory is presented in the annexe 1.

Table 2 - Status of the Metadata acquisition

Site Floodgen	Document type	Frequency
Allemagne	Thematic map	3
Allemagne	DEM	1
Allemagne	image satellite	10
Allemagne	statistics	3
France	Thematic map	2
France	image satellite	4
France	DEM	1
Italie	Thematic map	4
Suisse	image satellite	7

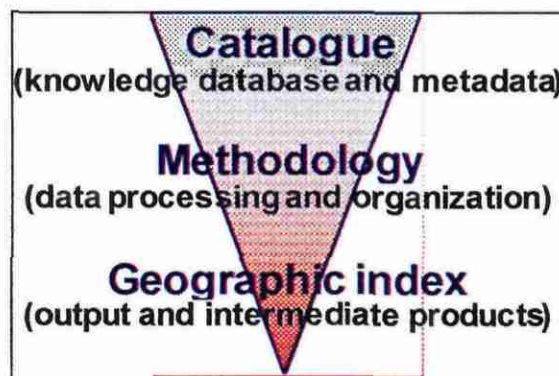
2.3 Organizational Model of Data Processing (MOT)

The Organizational Model of Data Processing (MOT) is a flow chart constructed under some rules and used to represent the methodology of the data processing. The MOT have been presented in November but it needs to be verified, updated and more formalized. The second version of the MOT will be presented at the next meeting.

2.4 Web site

As presented earlier, a first prototype of the Web site was opened in July (URL: <http://dgrwww.epfl.ch/SIRS/projets/floodgen>). The general Web site organization is based on three different organization levels (see figure 2; catalogue, methodology and geographic index).

Figure 2 - Organization levels of the Web site



The level Catalogue assembles basic and general information (knowledge and metadata) concerning the FLOODGEN problematic. The level Methodology represent the organizational model of data processing used to settle the FLOODGEN problematic. This level will be subdivided in local, regional and european scales. Finally, the level Geographic index regroupes output and intermediate FLOODGEN product on each site. The level Catalogue is available for any users without username and password. The methodology and the geographic index levels will be protected and only FLOODGEN partners will have access.

In November, some propositions were made for the general structure and data diffusion. We proposed to establish dynamic link (read-write), via net browser between users and :

- 1-the level Catalogue with the Active Server Pages (ASP) of Microsoft

2-the level Geographic index with the Internet Map Server (IMS) of ESRI.

This mean that FLOODGEN partners could be able to view and update these databases directly from a browser like Netscape.

Since that time, knowledge and metadata databases are ready to use but have not been placed on the Web-site and nothing have been done concerning the diffusion of FLOODGEN geographical products. Three principal reasons are at the origin of this delay, technical problems, missing FLOODGEN products, and the modification of the development strategic. The technical problem has involved the server at the EPFL and is now fixed and ready to use. The modification of the development strategy is mainly due to priorities given to the long term maintenance facilities and to the data protection from miss-interpretation of outside users. For the long-term maintenance of the Web site, the internet site need to be flexible and outstanding but not to much complex. For theses reasons, this is the new **Web site development strategy** proposed by EPFL team:

A- Concerning knowledge and metadata database (Catalogue)

There is no doubt of the advantage of using **dynamic link database** for the project objectives. Nevertheless the use of dynamic link database emphasize the need of a robust internet server infrastructure and also human qualify resources. For that reason, we propose to have a dynamic link with the databases but only with read access. With this approach, the presentation of **updated information** on the net will be insured, furthermore it will has less chance to have manipulation error on the database.

B- Concerning the methodology

The methodology will be presented on the Web site with the MOT structure. Users will be able to see flow data processing. The interrogation will be static. It means that the Web pages will be constructed as **static HTML pages, GIF files** and some **animation** without any link to the original MOT.

C- Concerning the product's diffusion (Geographic index)

The diffusion of the intermediate and final products (geographical information) of FLOODGEN will also be presented in a static form. **Static HTML pages**, with some **animation**, will be constructed with **TIFF files** converted from the application's product send by the partners for each FLOODGEN site. This solution, instead of the one presented in November (Internet Map Server), presents less interaction with the data but will be more

appropriate in the context of a research agenda as FLOODGEN project is. This solution protects, in a better way, data from user's miss interpretation and will be much more easier to keep the Web site updated and functional at the end of the project.

We also have to notice that the EPFL team would have a next version of the Web site more imaged. But to realize it, EPFL team needs to receive, from partners, more products and TIFF images showing applications results on different sites.

3. Work do date: Module B

Since the beginning of the year, we have started to work on the Module B. Besides time passed to get accustomed to the project, the main challenge was to get in touch with the regional authorities (SRVA) in charge of agricultural consulting in the region of west Switzerland. It was essential for us to define the kind of terrain data we could obtain from the SRVA and evaluate their compatibility with the aim of the project. Further contacts will be established with other regional authorities: Bern and Bâle.

Briefly, work can be summarized into these points:

- Bibliographic study on the context of Floodgen and publications relating to erosion in Switzerland
- Evaluation of the data provided by the SRVA
- Acquisition of terrain data in GIS (current)
- Inventory of available and needed satellite imagery
- Inventory of other data
- Overview of the analysis procedure

3.1 SRVA (*Regional Agricultural Vulgarisation Service for Romandie*)

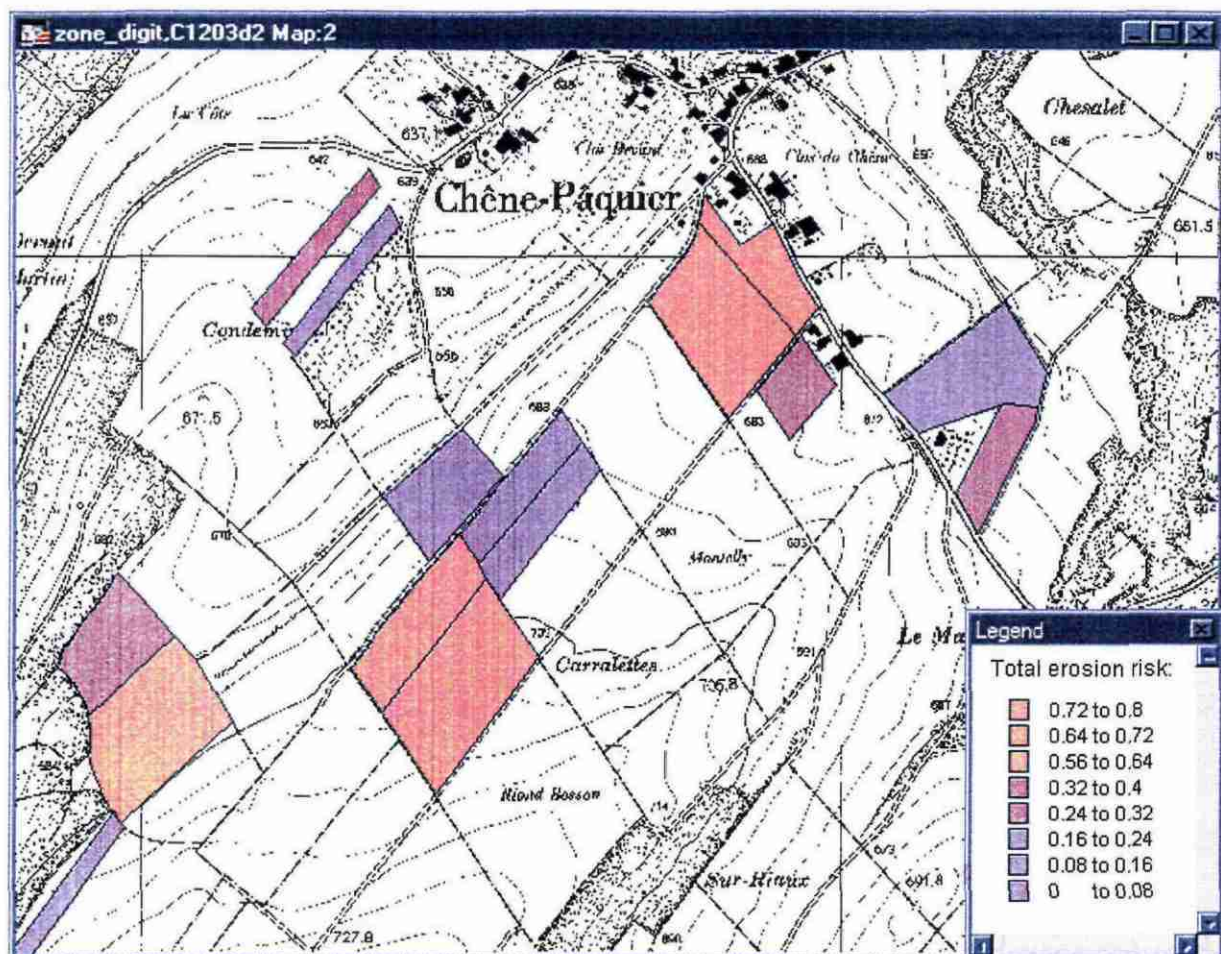
The SRVA plays a consulting role in the matter of agriculture at the regional level. The SRVA is engaged in several fields of activities with farmers: information, experience sharing, continuous education, technical, economic and even social consulting.

For a long time the SRVA has been involved in matters concerning erosion and runoff in agricultural soil. In collaboration with another regional office, he recently established a key to evaluate erosion risks based on several parameters easily assessed on the field, with the help of farmers or on a regional basis. This method basically takes into account separately the contribution of sheet and gully erosion to the total average annual soil loss. This amount of soil loss is mainly due to excess runoff on the given field.

This method was applied in 1997 on 18 trial farms accounting for a total of 275 parcels (471 ha) and spread over the region of plateau de Vaud. In the end, this method provides two kinds

of information: first the **total erosion risk** (average loss per year in mm), and secondly the **risk to fertility loss**, which mainly depends on the soil depth. The former is categorized into four classes and three intermediate. The two following pictures are an example of the erosion map produced.

Picture 3: Total erosion risk (soil loss in mm per year)



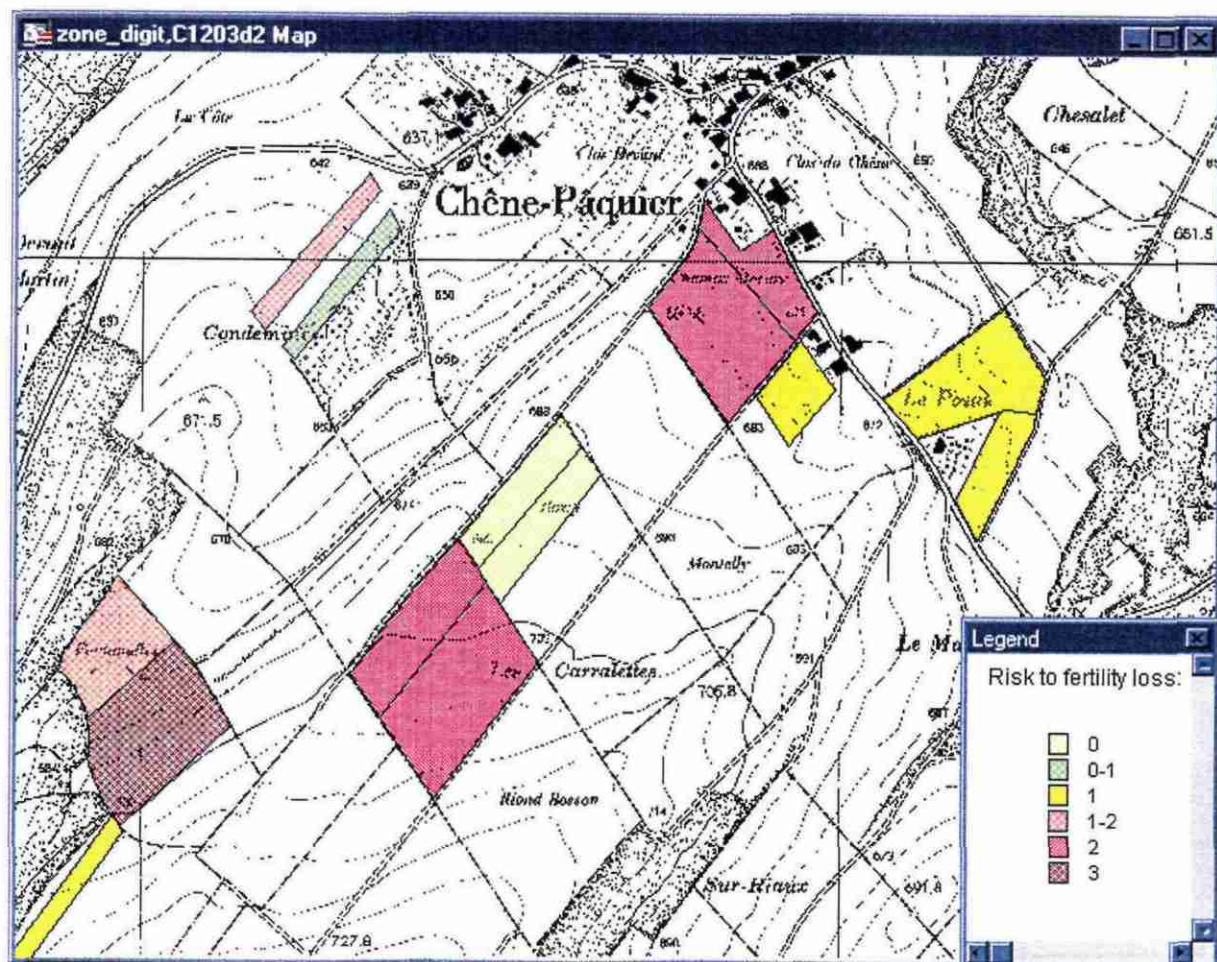
The SRVA is quite interested in the activities of Floodgen and in the results that will bring our approach. A possibility to generalize the data over the entire region of Plateau de Vaud can be very valuable for their activities.

3.2 Erosion problems in the region of plateau de Vaud

Erosion and runoff events are not a major problems throughout the region. They are only specific to certain landforms or to the location of the cropping fields in the topography. In addition they are subject to a wide spatial and also temporal variability.

On the swiss plateau, studies showed that in average 10 to 20 percent of agricultural fields are affected by sheet and rill erosion. It accounts yearly for a loss of about 2,7 tons per hectares.

Picture 4: Risk to fertility loss



3.3 Test site definition:

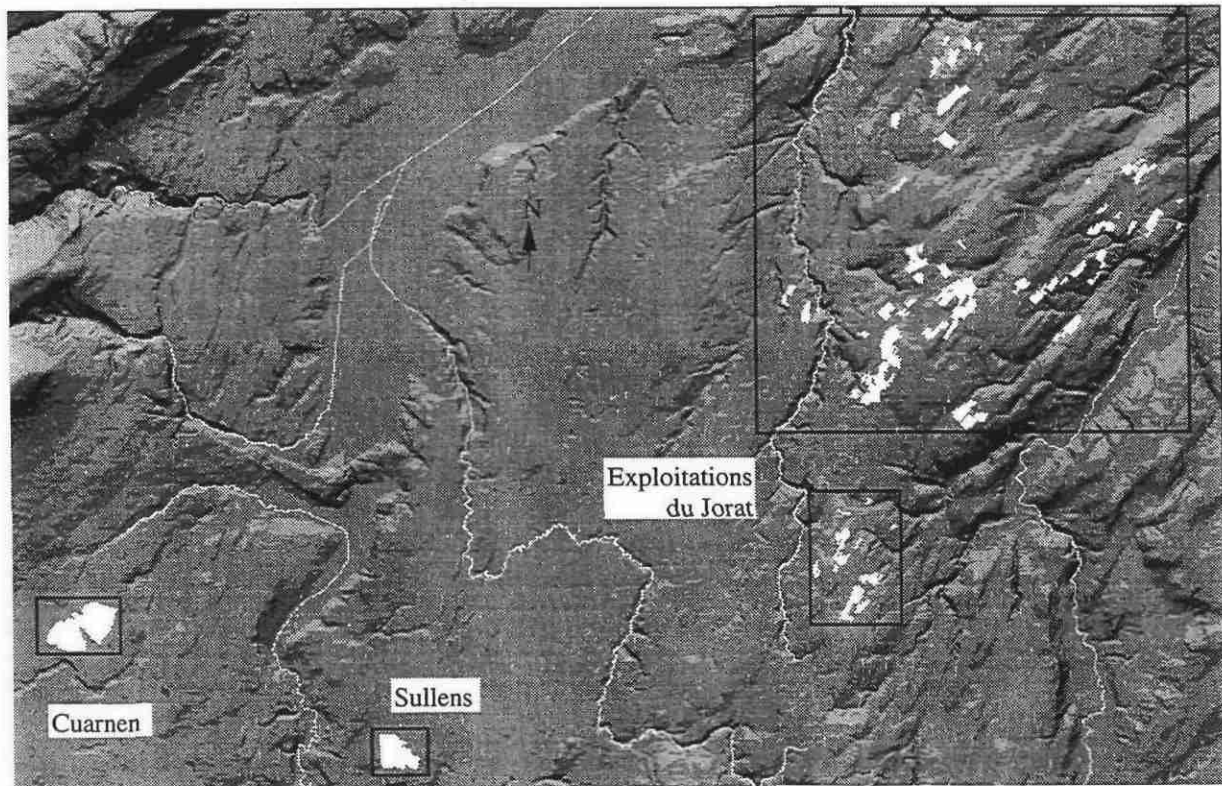
According to the erosion risk maps provided by the SRVA, it's been possible to locate our test sites. These sites are defined on the basis of cropping area and are clustered into three mini-regions (see table 3). On picture 5, the test sites are displayed throughout the region of Plateau de Vaud on a relief image.

It is important to notice that they are not located in a particular watershed., although four main watersheds cover the Plateau de Vaud.

Table 3: characteristics of test sites

Sites	mean elevation	total area	nb fields
Cuarnens	610 m	141 ha	34
Sullens	550 m	73 ha	27
Exploitations du Jorat	600-800 m	257 ha	214
Total:		471 ha	275

Picture 5: Relief image of Plateau de Vaud with test sites (white zones):



Scale: 1:200'000

3.4 Preliminary analysis procedure:

As mentioned earlier, we will follow a different approach by using data from SRAV as the main reality terrain data relating erosion and runoff risks. The analysis procedure can be divided into two main steps:

In the first step, we will try to establish correlation link between information contained in satellite image and ground reality data (MNA, erosion risk).

Once this correlation analysis provides sufficient confidence interval, the next step will be to generalize SRVA data by a classification procedure over the entire region. The final product will be then evaluated by using the SRVA data.

This is the main frame of our work, but several questions are still to be investigated:

- what kind of information contained in satellite image will be used?
- what kind of classification procedure will be set?

3.5 Data inventory:

The following table (table 4) gives an overview of the data already available for the study area.

Table 4: Data type and characteristics:

Type	Characteristics
Satellite image	mss - 22.09.77 TM - 26.7.85 - 12.9.85 - 7.7.84 - 4.8.94 Spot - 23.6.86, HRV pan 10m
MNA	25 m, Office Fédéral de la Topographie Slope Aspect Concavity
SRVA data	1996-7, 1:10'000-1:5'000 total erosion risk in mm risk to fertility loss by classes
Pixel maps	

national maps 1:50'000, 1:25'000
(ensemble maps 1:5'000)

Soil cover
Forests, rivers... in vector form

All the available satellite data are not temporally compatible with SRVA data. New images will be certainly acquired in the time range of 1995-1996 .

4. Technical information

4.1 Milestones reached

Until now, the module A follow the preview schedule for the database organization and management and for the net-site. Some delay can be noticed in the realization of the Organizational Model of Data Processing.

Concerning module B, the information gathered until now is helping us to progress more quickly in our work. The region of interest being defined, we will be able to get more practical results of our investigations.

4.3 Resources employed

In January, the EPFL team has welcome a new staff for FLOODGEN project, Christian Blumer. He will be employed at 100% on the module B EPFL participation. Jacynthe Pouliot will work at 50% and only on the tasks of the module A. From November to March, the EPFL has then employed 1.5 human resources for this period.

5. Preliminary conclusions

The participation of the EPFL follow the schedule work program and progress are mainly satisfactory. Some elements have to be pointed out. Concerning the data satellite processing, the formalization of the MOT is now a priority and has to be completed, clarify and diffused to each partners to insure a real common implementation approach. EPFL team would also encourage FLOODGEN partners to accentuate their participation in the building of the knowledge and metadata databases. Partners has to realized that these databases are constructed mainly for their uses even if they are concentrated at EPFL. EPFL team proposes

to emphasize the exchange of these information. Processes have to be discussed. A strategy has to take shape concerning the diffusion of the intermediate and final products (copyright and protection).

6. Objectives for next reporting period

The objectives for the next period are:

Module A:

- Formalization of the Organizational Model of Data Processing mainly with BRGM and INRA.
- Updating the Web site with the placement and the diffusion of the knowledge and metadata databases (Catalogue level) and the beginning of the presentation of some intermediate results (Geographic index level).
- Accentuate exchange information between partners

Module B:

- Definition of analysis procedures and formalization of the MOT
- Acquisition of new images (landsat TM, Radarsat)
- Satellite image and MNA processing (rectification, analysis)
- Start of correlation study between erosion risk, topography and remote sensing data

Annexe 1

1- Example of the metadata database

2. Relevant URL

Annexe 4 : Rapport intermédiaire de l'INRA

4.1 accessibilité de STREAM,

4.2 préparation du guide des mesures agro-environnementales

RAPPORT D'AVANCEMENT POUR L'EQUIPE DE L'INRA

le 24/06/1998

I - AVANCEMENT DE LA MISE A DISPOSITION DE STREAM

1.1 - Objectif

L'objectif de cette deuxième étape du projet était de délivrer le modèle STREAM, outil de simulation de l'influence des pratiques agricoles sur les conditions de ruissellement, aux équipes du projet Floodgen qui souhaitent le tester sur leurs bassins versants expérimentaux. Pour cela, le modèle tel qu'il était conçu a dû être adapté afin de simplifier son utilisation.

1.2 - Avancement de la mise à disposition du modèle STREAM

La première partie du travail a consisté à rendre l'utilisation de cet outil plus conviviale et à modifier une partie des programmes informatiques de base du modèle. Cette modification a notamment porté sur la simplification des données d'entrées et des procédures de corrections manuelles, ainsi que sur le développement des programmes de détection automatique des erreurs.

En parallèle, un dictionnaire des données de base a été établi puis distribué à chaque équipe désireuse d'utiliser le modèle, pour aider les utilisateurs à préparer rigoureusement leurs données de base.

Par la suite, chaque équipe recevra un outil de vérification du format des données (en cours d'élaboration) pour vérifier que la base de données ne contient pas d'erreurs aptes à bloquer les calculs du modèle.

Enfin, l'INRA organise un stage de formation à l'utilisation de l'outil STREAM la semaine du 25 au 29 mai 1998, où les utilisateurs pourront venir avec leurs données ainsi préparées, tester les résultats de la simulation.

Pour l'instant, 2 équipes ont d'ores et déjà donné leur accord pour l'utilisation de STREAM, à savoir l'équipe de l'Université de Lyon et l'équipe d'ERSAL (Italie).

II - AVANCEMENT DU GUIDE METHODOLOGIQUE SUR LES MESURES DE LUTTE CONTRE LE RUISSellement.

2.1 - Objectif

Réaliser un guide méthodologique à l'usage des utilisateurs finaux, sur les mesures existantes pour réduire les risques de ruissellement. Ce document est une synthèse bibliographique et juridique des différentes mesures existantes. Dans son état actuel d'avancement, il comporte plusieurs volets :

- Les mesures de protection rapprochée :

Liste les aménagements possibles pour protéger les zones urbanisées, et démontre l'insuffisance de ces mesures,

- Les outils juridiques pour contrôler l'urbanisation :

Description des différents documents d'urbanisme (POS, PPR...)

- Les aménagements collectifs à l'amont :

Liste les différents types d'aménagements, de mesures agronomiques ou d'ouvrages d'évacuation des eaux, situés à l'amont des bassins versants.

Présentation des organismes aptes à réaliser de tels aménagements.

Présentation des financements possibles pour réaliser les aménagements.

- Les mesures individuelles

Liste les petits aménagements ou les mesures agronomiques en régions de grandes cultures ou de vignobles, ainsi que les aides publiques aux mesures individuelles.

- La maîtrise de l'érosion et la réforme de la PAC.

Description du programme agri-environnemental, de l'aide au reboisement des terres agricoles, du gel PAC fixe, des plans de développement durables, des mesures de protection de l'environnement, et présentation de quelques exemples d'initiatives dans différents pays d'Europe.

DICTIONNAIRE DE LA BASE DE DONNEES DES DONNEES DE BASE POUR L'UTILISATION DU MODELE STREAM.

Auteur : Véronique Souchère - Joël Daroussin 1993 - 1994

Mise à jour : Olivier Cerdan - 1997, Alain Couturier et Cécile Montier - mars 98

Ce document a pour objet de recenser les données de base nécessaires pour faire tourner le modèle "S.T.R.E.A.M.". Les couvertures et les grilles sont rangées dans des répertoire bien précis. Les noms de ces répertoires, de ces couvertures et de ces grilles doivent être respectés "à la lettre", pour que les procédures automatiques puissent fonctionner correctement. De même la structure des tables encore appelées "fichiers Info", doit être respectée avec la même rigueur. Dans ce document, chaque table est décrite, le nom des attributs, le type de chacun d'entre eux et les valeurs qu'ils peuvent prendre sont signifiés et doivent être respectés.

Enfin, avant de commencer à établir la base de donnée, vérifiez que votre ordinateur dispose d'une mémoire suffisante d'au moins 64 MO.

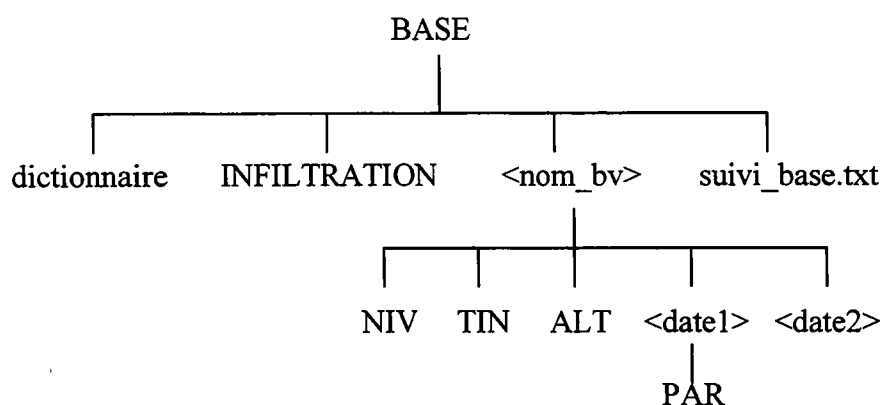
1 - STRUCTURATION DE LA BASE DE DONNEES :

Le répertoire de travail doit comporter les sous-répertoires suivants :

- un sous-répertoire "analyse" dans lequel seront effectués les traitements,
- un sous-répertoire "base" dans lequel seront stockées toutes les données de base du travail,
- un sous-répertoire "outils" dans lequel seront stockées toutes les aml et programmes pouvant être utiles au cours de ce travail.

Dans ce document ne sera présenté que le sous-répertoire "base".

Ci-dessous un organigramme présentant la structuration du sous-répertoire "base" :



2 - DESCRIPTION DES ESPACES DE TRAVAIL

2.1 - ESPACE DE TRAVAIL <nom bv>

Espace de travail pour un bassin versant donné (ex : pav).

Dans ce répertoire sont regroupées toutes les informations de base nécessaires au traitement d'un secteur d'étude donné. On doit y mettre des informations stables dans le temps, comme par exemple les données altimétriques ou les données de base sur l'état du parcellaire à une date donnée.

Le bassin peut avoir une taille variable, mais au-delà de 250 ha, les temps de calculs deviennent rédhibitoires.

2.1.1 - Couvertures et grilles "niv", "tin", "alt"

En ce qui concerne les données altimétriques, seule la grille des altitudes (MNA) "alt" doit être pressente dans ce répertoire. Les couches "niv" et "tin" ne sont que des données intermédiaires qui peuvent éventuellement servir pour la construction du MNA.

Différentes sources de données peuvent être utilisées pour la création du Modèle Numérique des Altitudes, ainsi que différentes méthodes d'interpolation :

- . une base de données de points cotés (semis de points connus en X, Y et Z),
- . une base de données de courbes de niveaux (lignes brisées connues en X, Y et Z),
- . une combinaison de ces deux bases de données.

Si vous disposez de courbes de niveau avec la précision d'une carte au 1/25 000, il existe l'outil "creation_mnt" qui permet de générer la grille des altitudes de façon automatique, en ne gardant que les points significatifs sur les courbes de niveaux. L'utilisation de cet outils n'est bien évidemment pas obligatoire.

2.1.1.1 - Description de la couverture "niv" :

Topologie d'arcs (donnée de base a saisir).

Courbes de niveaux d'altitudes saisies a partir d'une carte au 1 / 25 000 ème.

Fichier info niv.pat :

COLUMN	ITEM NAME	WIDTH	OUTPUT	TYPE	N.DEC	ALTERNATE NAME	INDEXED?
1	FNODE#	4	5	B	-	-	
5	TNODE#	4	5	B	-	-	
9	LPOLY#	4	5	B	-	-	
13	RPOLY#	4	5	B	-	-	
17	LENGTH	4	12	F	3	-	
21	NIV#	4	5	B	-	-	
25	NIV-ID	4	5	B	-	-	
29	ALTI	6	6	N	2	-	

ALTI : Altitude en mètres de la courbe.

2.1.1.2 - Description de la grille "tin" :

Tin peut être générée avec l'outil "creation_mnt", à partir de la couverture "niv". C'est un modèle numérique d'altitude en facettes triangulaires irrégulières, modèle intermédiaire entre les courbes de niveaux et le modèle maillé.

2.1.1.3 - Description de la grille "alt" :

La grille alt, peut être générée avec l'outil "creation_mnt", ou par une autre méthode. C'est une grille raster de type réelle. Les altitudes sont exprimées en mètres. La taille des mailles doit obligatoirement être de 10 m x 10 m.

La grille doit couvrir un espace plus large d'au moins 5 mailles que le périmètre de la zone d'étude. Ceci est nécessaire pour éviter les problèmes de bords lors des traitements.

2.1.2 - Espace de travail <date>

Espace de travail pour une date d'étude (ex: 010393).

<date> = date de l'événement pluvieux étudié.

Il s'agit d'un sous-repertoire du répertoire "<nom bv>", ou se trouvent les données valables à une date précise du parcellaire, de l'occupation du sol et des états de surface.

2.1.2.1 - Couverture "par" : éléments du parcellaire

Topologie de polygones et d'arcs (données de base à saisir).

Pour chaque parcelle de culture, une série d'informations doit être rentrée, ainsi que des informations linéaires telles que la présence de routes, fourrières ou dérayures.

FICHER INFO par.pat :

COLUMN	ITEM NAME	WIDTH	OUTPUT	TYPE	N.DEC	ALTERNATE NAME	INDEXED?
1	AREA	4	12	F	3	-	
5	PERIMETER	4	12	F	3	-	
9	PAR#	4	5	B	-	-	
13	PAR-ID	4	5	B	-	-	
17	NUMUC	3	3	I	-	-	
20	OCCUP	3	3	I	-	-	
23	TRAVAIL	3	3	I	-	-	
26	FACIES	2	2	I	-	-	
28	RUGOT	2	2	I	-	-	
30	RUGOPT	2	2	I	-	-	
47	CV	2	2	I	-	-	

NUMUC : Numéro identifiant la parcelle.

OCCUP : Code d'occupation de la parcelle.

TRAVAIL : Azimut (en degrés) du sens de travail du sol.

FACIES : Stade de fermeture de la surface du sol.

RUGOT : Rugosité moyenne de la surface du sol dans le sens du travail du sol (en cm).

RUGOPT : Rugosité moyenne de la surface du sol dans le sens perpendiculaire au sens du travail du sol (dénivelé en cm).

CV : Couvert végétal.

2.1.2.2 - Codage des attributs de la couverture "par"

Codage de NUMUC :

nombres entiers de 3 chiffres maximum, désignant une parcelle.

Codage de l'attribut OCCUP :

- 1 Non relevé
- 0 Polygone universel
- 1 Maïs
- 2 Choux fourrager
- 3 Lin
- 4 Betterave sucrière
- 5 Betterave fourragère
- 6 Pois
- 7 Blé
- 8 Escourgeon
- 9 Colza
- 10 Avoine
- 11 Ray grass a ensiler
- 12 Prairie permanente
- 13 Trèfle
- 14 Friche
- 15 Mare
- 16 Ferme
- 17 Espace forestier
- 18 Gel
- 19 Verger
- 20 Fumier
- 21 Pommes de terre
- 22 Moutarde
- 23 Seigle
- 24 Labour
- 25 Déchaumage
- 26 Chantier récolte

Codage de l'attribut TRAVAIL :

- 99 Polygone universel.
- 1 Indéterminé (ou pas de travail du sol).
- 0 à 359 : Angle en degrés.

Codage de l'attribut FACIES :

- 9 Polygone universel.
- 1 Non applicable.
- 0 Stade fragmentaire.
- 1 1er stade de dégradation.
- 12 2eme stade de dégradation.
- 2 Stade sédimentaire.

Codage de l'attribut RUGOT :

- 9 Polygone universel.
- 1 Non applicable.
- 0 0 à 1 cm.
- 1 1 à 2 cm.
- 2 2 à 5 cm.
- 3 5 à 10 cm.
- 4 10 à 15 cm.

5 > 15 cm.

Codage de l'attribut RUGOPT :

- 9 Polygone universel.
- 1 Non applicable.
- 0 0 à 1 cm.
- 1 1 à 2 cm.
- 2 2 à 5 cm.
- 3 5 à 10 cm.
- 4 10 à 15 cm.
- 5 > 15 cm.

Codage de l'attribut CV :

- 9 Polygone universel.
- 1 Non applicable.
- 1 0 à 20%
- 2 21 à 60%
- 3 61 à 100%

2.1.2.1 - Couverture "par" : éléments linéaires

Dans le cas où il existe des éléments linéaires dans le paysage qui forcent un cheminement particulier de l'eau vis à vis du ruissellement (ex: fossés de drainage), ceux-ci peuvent être pris en compte. C'est l'objet de la topologie d'arcs de la couverture "par".

Les parcelles sont les seules entités à avoir une surface, ceci signifie que les chemins et les routes qui traversent la zone d'étude doivent être saisiés en tant que limites de parcelles. Ces routes ou chemins auront une épaisseur égale à une maille, après pastérisation de la couverture du parcellaire, c'est-à-dire une largeur de 10 m, taille par défaut des mailles dans notre modèle.

FICHER INFO par.aat

COLUMN	ITEM NAME	WIDTH	OUTPUT	TYPE	N.DEC	ALTERNATE NAME	INDEXED?
1	FNODE#	4	5	B	-	-	
5	TNODE#	4	5	B	-	-	
9	LPOLY#	4	5	B	-	-	
13	RPOLY#	4	5	B	-	-	
17	LENGTH	4	12	F	3	-	
21	PAR#	4	5	B	-	-	
25	PAR-ID	4	5	B	-	-	
29	CHEMIN_EAU	1	1	C	-	-	

CHEMIN_EAU : Type de chemin d'eau en limite de parcelle.

Codage de l'attribut CHEMIN_EAU (obligatoirement en majuscules) :

F : Fourrière : comportement des écoulements identique à celui d'une parcelle travaillée, mais direction donnée par l'azimut de la limite de parcelle.

R : Route : comportement des écoulements identique à celui d'une surface lisse et imperméable. Direction donnée par l'orientation de la pente.

D : Dérayures : limite conductrice de l'eau. Direction donnée par l'azimut de la limite de parcelle.

Cette base de données fournit le trace de ces éléments en mode vecteur. Le logiciel se charge de les convertir en mode maille en assurant la continuité hydraulique, selon la pente,

des mailles connectées. Une correction manuelle pourra intervenir pour résoudre certains problèmes d'artefact. (voir le fichier "suivi_analyse.txt").

En fait l'attribut CHEMIN_EAU permet de définir le comportement vis-à-vis du ruissellement de l'élément en question, plutôt que sa nature. De cette façon, une route très encaissée va se conduire comme une gouttière vis-à-vis de l'écoulement de l'eau, elle sera par conséquent codée en "D" le code propre à la dérayure, afin d'imposer la direction de l'eau.

Annexe 5 : Rapport intermédiaire du BRGM



PROJET FLOODGEN - HAUTE NORMANDIE

Analyse régionale des surfaces sensibles au ruissellement par télédétection sur l'ensemble des bassins versants

J.F. Desprats, A. Bourguignon, C. King, N.Lenôtre, T.Souadi

contrat ENV4 CT 0368
rapport d'étape B220

BRGM R 40087

Version expurgée

Avril 1998

Sommaire

Sommaire	3
Figures	4
Synthèse	5
1. Secteur d'étude	7
2. Données utilisées	7
2.1 Données pour identifier les saisons critiques	7
2.1.1 Données météorologiques	7
2.1.2 Données de catastrophes naturelles	9
2.2 Données pour segmenter l'espace à étudier	9
2.2.1 Données CORINE LAND COVER :	9
2.2.2 Données géologiques	9
2.2.3 Limites de bassins versants	9
2.3. Données satellitaires	11
2.4 Données de contrôle	12
2.4.1. Recensement Général de l'Agriculture (RGA)	12
2.4.2 Contrôle terrain	12
3. Méthodologie	13
3.1 Périodes critiques	13
3.2 Classification des données satellitaires et validation	13
3.2 Intégration par bassin versant	15
3.3 Bilan des surfaces contributives	16
3.4 Indicateurs d'évolution entre 1990 et 1997	16
4. Résultats	17
4.1 Périodes critiques et choix des scénarios d'analyse des données satellitaires	17
4.2 Classifications	18
4.2.1 Classification de l'occupation en 1990	18
4.2.2 Classification 1997	21
5. Validation des classifications	26
5.1. Validation de la classification 1990.	26
5.2. Validation de la classification 1997.	27
6. Intégration par bassins et exploitation statistique des classifications	29
6.1. Cartographie des surfaces potentiellement ruissellantes en 1990	29
6.1.1 application des scénarios	29
6.1.2 Distribution des surfaces non protégées	30
6.1.3 Distribution spatiale des bassins versants	31
6.2. Cartographie des surfaces potentiellement ruissellantes en 1997	35
6.2.1 application des scénarios	35
6.2.2 Distribution des surfaces non protégées	36
6.2.3 Distribution spatiale des bassins versants	41
6.3 Evolution des SCR en hiver entre 1990 et 1997	41
6.4 Analyse par rapport aux résultats de la DRAF	42
6.4.1 Calcul de la SAU	42
6.4.2 Comparaisons FLOODGEN/ Statistiques DDAF76	46
7. Evolution des surfaces en prairies	49
7.1 Données utilisables	49
7.2 Scénarios d'estimation de l'évolution des prairies	49
7.3 Résultats sur la région Yvetot-Rouen	52
7.4 Résultats sur l'ensemble de la région	55
8. Conclusion et propositions à la DRAF de Hte Normandie,	58
8.1 Synthèse des principaux résultats et figures	58
8.2 Propositions	59
8.2.1 évaluation des résultats régionaux obtenus	59
8.2.2 proposition de sélection de bassins versants types :	59

Figures

Figure 1 : Localisation du secteur d'étude.....	7
Figure 2 : Déclarations communales des coulées boueuses entre 1983 et 1997.....	8
Figure 3 : Base de données et bassins versants.....	10
Figure 4 : étapes de décisions pour créer une stratification de l'espace en bassins versants ou versants homogènes en terme hydrologique.....	11
Figure 5 : Localisation des Stations météorologiques et affectation des polygones d'influence.....	14
Figure 6 : Schéma simplifié d'intégration des données.....	16
Figure 7 : Bilan global des dates de déclarations des dégâts par rapport aux cumul pluviométrique.....	17
Figure 8 : Classification de l'occupation du sol à partir de deux images SPOT de février et mai 1990.....	20
Figure 9 : Extraits d'images SPOT aux deux dates mars 1997 et septembre 1997.....	22
Figure 10 : Classification de l'occupation du sol issue de 2 images SPOT - mars & septembre 1997.....	25
Figure 11 : Distribution des surfaces potentiellement ruisselantes en hiver 1990.....	30
Figure 12 : Evolution des proportions de SCR aux deux périodes critiques de 1990.....	31
Figure 13 : Hiver 1990 surfaces potentiellement contributives au ruissellement / à la Surface du BV.....	32
Figure 14 : Hiver 1990 surfaces potentiellement contributives au ruissellement / à la SAU.....	33
Figure 15 : Surfaces potentiellement contributives au ruissellement SCR au printemps 1990.....	34
Figure 16 a : 1997 Distribution des surfaces potentiellement ruisselantes en hiver.....	36
Figure 16 b : 1997 Histogramme de la distribution des bassins en fonction du % de SCR en hiver 1997.....	37
Figure 17 : Evolution des proportions de SCR aux deux périodes critiques hiver et printemps 1997.....	37
Figure 18 : Hiver 1997 surfaces potentiellement contributives au ruissellement / à la Surface du BV.....	38
Figure 19 : Hiver 1997 surfaces potentiellement contributives au ruissellement / à la SAU.....	39
Figure 20 : Surfaces potentiellement contributives au ruissellement au printemps 1990 / à la surface du BV....	40
Figure 21 : Progression des SCR entre 1990 et 1997- en hiver, en proportion des BV.	42
Figure 21 b : Evolution des surfaces contributives au ruissellement entre l'hiver 1990 et l'hiver 1997.....	43
Figure 22 : Surfaces dédiées à l'agriculture en pourcentage de l'aire des bassin versants	44
Figure 23 : Estimation des surfaces contributives au ruissellement à partir des données DDAF 1997 sur les 3 sous-systèmes Caux Maritime, Caux intérieur, région de Yvetot-Rouen.....	45
Figure 24 : Comparaisons des estimations DDAF en 97 et des résultats des scénarios SPOT en hiver 97 ramenées aux SAU des bassins versants.....	46
Figure 25 : site exemple de classification des prairies à partir de données SPOT bidate.....	48
Figure 26 : Scénarios d'identification des prairies stables et des prairies retournées solution minimale et solution maximale (même secteur test que la figure 25).....	51
Figure 27 : Estimations minimale et maximale du retournement des prairies entre 1990 et 1997 , en % des BV	52
Figure 28 : Evolution des prairies entre 1990 et 1997 selon le scénario minimal.....	53
Figure 29 : Evolution des prairies entre 1990 et 1997 selon le scénario maximal.....	54
Figure 30 : Comparaison du scénario simpliste au scénario minimal établi sur la région Yvetot-Rouen.....	55
Figure 31 : Comparaison du scénario simpliste et du scénario maximal établis sur la région Yvetot-Rouen.....	56
Figure 32 : Carte de la distribution des bassins selon leur protection par des prairies identifiées sur SPOT 1997.....	57

Synthèse

Le souci de ne pas aggraver les risques d'inondations et de coulées boueuses impose de se focaliser sur les territoires où une prévention doit être mise en place: les zones de genèse du ruissellement, situées en amont des grands systèmes de bassins versants.

Réduire les risques de ruissellement impose de connaître les caractéristiques physiques des bassins influant sur leur comportement hydrologique mais aussi les effets des actions anthropiques sur ce comportement. Dans les approches conduites par le Pôle de compétences SOL-EAU, l'objectif est de favoriser toutes les actions anthropiques visant à ralentir la dynamique des écoulements de surface : ce qui touche aux choix de pratiques agricoles dans les secteurs amont des zones inondables.

Le premier but du projet FLOODGEN est de démontrer l'intérêt d'utiliser la télédétection pour aider à cartographier les zones potentiellement contributives du ruissellement. À terme ce projet vise à fournir aux gestionnaires du territoire agricole des outils d'observation et de simulation des effets hydrologiques de diverses pratiques sur la genèse du ruissellement, en s'appuyant sur les outils satellitaires d'Observation de la Terre, les systèmes d'informations géographiques et les modèles spatialisés de ruissellement.

Ce rapport présente une démonstration des possibilités de la télédétection sur une des trois régions pilotes du projet - le Pays de Caux en Haute Normandie -. Il répond au premier objectif du projet : proposer une approche régionale des bassins versants et établir des catégories de risques de ruissellement liées aux états de surface saisonniers induits par les choix d'assolement.

La méthode présentée s'appuie sur l'apport essentiel de la télédétection pour caractériser les surfaces potentiellement ruisselantes. Les résultats concernent la distribution géographique des bassins versants de la région pilote et leur hiérarchisation en terme de surfaces susceptibles d'engendrer des ruissellements excessifs selon les périodes critiques identifiées (courant/fin d'hiver et fin de printemps). La figure la plus démonstrative en est la figure 19.

Ces résultats permettent aussi d'aborder l'évolution des pratiques culturales en l'espace de 7 ans et l'évolution des surfaces consacrées aux prairies, une des clés du frein au ruissellement. Une comparaison avec les données de statistiques agricoles disponibles à l'échelle régionale montre la cohérence des résultats.

Deux propositions sont adressées aux partenaires du projet représentant les utilisateurs finaux : la Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt de Haute Normandie.

- une grille d'évaluation des résultats régionaux obtenus.
- une proposition de sélection de bassins versants types, à étudier de façon plus approfondie pour identifier les apports de la télédétection à des échelles plus locales.

Introduction

En région haute Normandie, de nombreuses études ont été conduites ces 10 dernières années pour comprendre et maîtriser les processus de ruissellement et d'érosion. Pour simplifier, deux des facteurs prépondérants pour l'étude du ruissellement sont la pluviométrie et les états de surface des sols aux saisons les plus agressives : la protection des sols par un couvert végétal est particulièrement importante dans ces régions de sols limoneux, qui laissés à nus sont très sensibles à l'effet de croûte de battance, phénomène imperméabilisant qui accélère le ruissellement, voire l'érosion des sols.

Aux échelles régionales, les épisodes pluviométriques ne peuvent être étudiés que statistiquement, ils permettent d'isoler les saisons les plus défavorables au vu des dégâts constatés. De leur côté, les données de statistiques agricoles soit ponctuelles (TERUTI) soit localisées (PAC) peuvent seules permettre de faire des estimations grossières sur les surfaces probablement laissées nues en tenant compte des assolements. Mais les unes ne sont pas des données localisées et les autres sont actuellement des informations non disponibles sous forme spatialisées.

Par contre la télédétection spatiale permet d'aborder l'occupation du sol à une saison donnée et d'envisager des bilans saisonniers de l'importance des sols laissés sans couverture végétale, favorisant ainsi le ruissellement superficiel.

L'unité spatiale définie pour cette approche est le bassin versant, dont la cartographie des bassins est obtenue à partir d'un modèle numérique de terrain.

Deux séries satellitaires d'images SPOT(1990 et 1997) ont été constituées pour élaborer (1) une cartographie régionale exhaustive sur 1997 et (2) une base de comparaison de caractéristiques de plusieurs bassins versants entre 1990 et 1997.

L'objectif est de fournir à la DRAF le maximum d'informations sur la variabilité spatiale des conditions favorables au ruissellement et la variabilité temporelle de deux indicateurs : l'importance des sols laissés nus à une saison donnée et la présence effective de prairies de chaque bassin versant.

1. Secteur d'étude

La région d'intérêt est rappelée sur la figure ci-après :

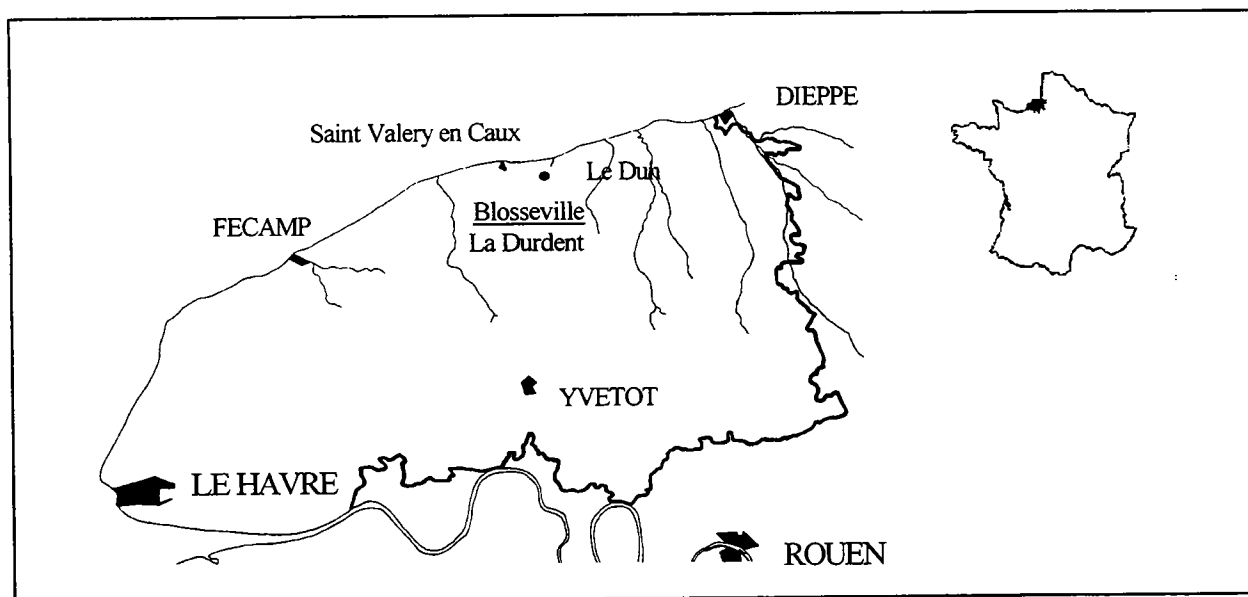


Figure 1 : Localisation du secteur d'étude

2. Données utilisées

Les données utilisées visent à répondre à plusieurs objectifs et sont de plusieurs ordres :

1. les données permettant d'identifier les saisons critiques vis à vis des processus agressifs : données météorologiques et déclarations communales de catastrophes naturelles (coulées boueuses).
2. les données permettant de segmenter l'espace de la région pilote pour se concentrer sur les surfaces d'intérêt (données CORINE Land Cover, données géologiques, données de MNT pour construire les Bassins versants).
3. les données satellitaires permettant d'observer les états de surface et l'occupation du sol à diverses saisons (séries SPOT).
4. les données permettant des vérifications et contrôle de la qualité ou de la cohérence des résultats (données du RGA, données de CORINE Land Cover, données de statistiques agricoles.)

2.1 Données pour identifier les saisons critiques

2.1.1 Données météorologiques

Ces données concernent

- répartition des hauteurs moyennes de précipitations pour des événements de 6 minutes, station de Rouen Boos, (sur période 87-96).
- hauteurs moyennes (sur période 87-96) des précipitations par décade sur l'ensemble des 39 stations du département
- données AURELHY (valeurs moyennes de pluviométrie mensuelle sur 30 ans (61-90), ramenée à la maille 5 km et corrigée des effets du relief)

2.1.2 Données de catastrophes naturelles

Il s'agit des relevés des déclarations communales de catastrophe naturelle (inondations, coulées de boue) et des dates de ces événements tels qu'enregistrés au Journal Officiel. (figure 2)

Les déclarations de dégâts ont augmenté très sensiblement entre 1983 et 1998. Certaines communes allant jusqu'à avoir connu 8 événements catastrophiques dans cet intervalle. Il faut noter que la typologie des événements n'est pas faite et il n'est donc pas possible d'indiquer un gradient dans la gravité ou la nature exacte des dégâts.

2.2 Données pour segmenter l'espace à étudier

L'espace à étudier est délibérément choisi selon les critères suivants : zones agricoles des bassins versants en amont des zones inondables : ceci exclut les zones urbanisées, les forêts, les zones inondables dans chaque bassin versant.

2.2.1 Données CORINE LAND COVER :

Les inventaires de l'occupation du sol (34 rubriques) sont disponibles par l'IFEN. Ils ont été réalisés à partir de documents antérieurs à 1990, dont la date n'est pas connue.

Ces données CORINE permettent d'extraire les forêts et les zones urbanisées : cette dernière information permet de pallier la difficulté des données SPOT à discriminer spectralement zones urbanisées et sols nus. Ces extraits seront appliqués en masque dans les classifications de l'occupation du sol.

La précision des localisations de plages cartographiques ne permet pas de plages inférieures à 25 hectares, il peut donc y avoir des effets d'aggrégation de diverses composantes de l'occupation du sol : cette limitation a pour inconvénient de faire abstraction de certaines occupations du sol (chemins, habitations isolées, cours de ferme) qui, dans les classifications supervisées de SPOT seront une source de surestimation des sols nus agricoles.

2.2.2 Données géologiques

Ces données numériques le Service Géologique Régional du BRGM fournissent les limites des zones de dépôts alluvionnaires, qui sont considérées comme les plus immédiatement assimilables à des zones inondables (figure 3). Ce fichier constitue un masque des zones alluvionnaires mises ainsi hors étude.

2.2.3 Limites de bassins versants

L'unité spatiale définie pour cette approche est le bassin versant. Une réflexion en concertation avec l'INRA, la DRAF HNO et le BRGM HNO a été menée sur l'unité élémentaire de diagnostic qui doit fixer les conditions d'exploitation des données satellitaires et représenter une unité spatiale adaptée à deux objectifs :

- une hiérarchisation régionale des risques de ruissellement
- une aide à la mise en place d'actions concertées à toutes les échelles d'investigation, depuis la parcelle, l'exploitation, le bassin versant, la région agricole, la région administrative.

Il en ressort que deux niveaux sont requis :

- les BV majorants regroupant des grands ensembles de paysages.
- les BV fonctionnels compatibles avec l'utilisation de la télédétection,

Dans les deux cas, les limites des bassins versants sont calculées par le logiciel SYNERGIS (BRGM) à partir du Modèle Numérique de Terrain de l'IGN, fourni à la maille de 50 mètres.

Les BV majorants sont calculés à l'aide des données hydrographiques issues de l'atlas hydrogéologique, en utilisant comme point d'intégration la confluence des rivières pérennes ou l'exutoire à l'estuaire des petits fleuves côtiers.

Pour les BV fonctionnels, l'objectif est d'atteindre des entités compatibles avec d'autres entités territoriales.

- en première étape, l'algorithme utilisé permet de calculer les zones contributives aux écoulements en un point donné et d'isoler les aires selon le critère de décision : aire du BV. Un seuil de 750 hectares a été fixé (figure 4a). Les résultats sont déjà compatibles avec les bassins versants calculés par une méthodologie similaire par l'INRA (logiciel GRID de Arc-Info). Mais il reste des surfaces anomaliques : les aires aval inférieures à l'aire minimale et surtout, des aires qui atteignent la taille minimale mais par aggrégation de plusieurs portions de versants voisins dans la même vallée.

Un second critère peut alors être utilisé : le drain de cette vallée peut être calculé et aider à séparer des versants homogènes. Ce critère introduit un forçage dans la définition des bassins pour atteindre les versants V et obtenir ainsi une stratification de l'espace homogène et cohérente avec l'étude envisagée (figure 4b).

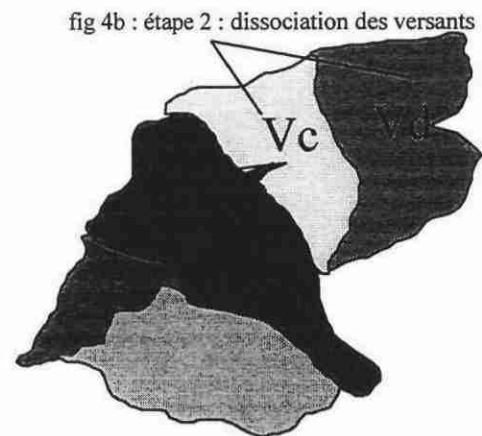
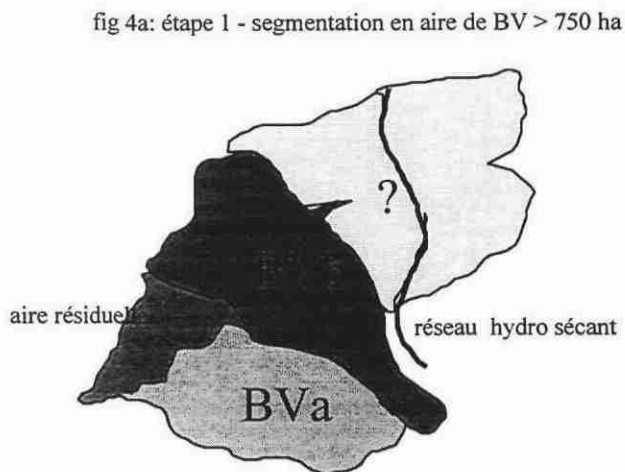


Figure 4 : étapes de décisions pour créer une stratification de l'espace en bassins versants ou versants homogènes en terme hydrologique.

2.3. Données satellitaires

Selon le planning prévu, tout a été concentré sur l'acquisition de données satellitaires à une période favorable à l'observation des surfaces ruisselantes (tâches B2201 à B220) :

- programmation d'urgence et acquisition de données satellitaires SPOT en mars 97 et complément de surveillance en septembre 97

- acquisition d'une série rétrospective en hiver/printemps 90.

Les données satellitaires ont été acquises aux dates suivantes (tableau 1) :

Une légère couverture nuageuse sur une partie des données SPOT du printemps 1997 crée une hétérogénéité radiométrique entre les territoires hors nuages ou couverts. Il est nécessaire de tenir compte de ce facteur au moment de réaliser les classifications. Les autres acquisitions SPOT sont de bonne qualité.

Les pré-traitements ont portés seulement sur des corrections géométriques par référence à la carte topographique de l'IGN. La précision des corrections géométriques (R.M.S.) est d'environ 1 pixel, soit 20 mètres.

Date	K	J	incidence (°)	précision des corrections géométriques RMS (pixel)	accès
03/05/1990	36	249	5	0,98	archive
03/05/1990	36	250	21,37	1,14	archive
22/02/1990	36	250	9,44	1,10	archive
12/03/1997	35	250	27,33	1,10	programmation
12/03/1997	36	250	30,4	1,12	"
12/03/1997	35	249	27,33	1,15	"
12/03/1997	36	249	30,4	1,09	"
17/09/1997	36	249	26	1	archive
26/09/1997	35	249	19	0,79	archive
26/09/1997	35	250	19,9	0,84	archive

Tableau 1 : liste des images acquises

2.4 Données de contrôle .

2.4.1. Recensement Général de l'Agriculture (RGA).

Réalisé en 1988 pour le compte du Ministère de l'Agriculture, il constitue la seule référence terrain disponible à une date proche de l'acquisition SPOT 1990. Il est important de noter qu'il s'agit de statistiques à l'échelle communale, rattachées au siège de l'exploitation agricole. Ceci signifie que l'ensemble des productions agricoles d'un GAEC seront rattachées à la commune sur laquelle se trouve le siège, même si une partie importante des terres sont situées sur des communes voisines. Ces données peuvent donc servir à fixer des ordres de grandeur régionaux de l'occupation du sol en 1988.

2.4.2 Contrôle terrain

68 parcelles ont été positionnées au hasard et contrôlées sur le terrain afin de disposer d'une base de vérification de la classification des données satellitaires de l'occupation de 1997. (figure 3) .

Réalisées en avril 1997, ces observations sont relatives à l'occupation du sol, le taux de recouvrement des cultures, l'état du sol...

- la localisation en X, Y à l'aide d'une G.P.S.,
- l'orientation du travail cultural
- le type de culture en place (par rapport à une codification en place)
- l'état du sol (par rapport à une codification en place)
- la hauteur des cultures.

3. Méthodologie

La méthode utilisée vise à atteindre successivement quatre objectifs :

- positionner les périodes critiques de déclenchement des événements catastrophiques par rapport aux saisons critiques établies de longue date par les études sur l'érosion de sols (travaux INRA et AREAS),
- établir les bilans d'états de surface à plusieurs saisons et les valider,
- intégrer les informations par bassins versants et les discuter,
- calculer les surfaces potentiellement contributives au ruissellement à chaque saison
- analyser les évolutions perceptibles entre 1990 et 1997.

3.1 Périodes critiques

Le but de cette identification est d'argumenter les choix de scénarios d'exploitation des résultats des données satellitaires à des fins de risques de ruissellement.

Ces périodes sont déterminées par l'analyse conjointe des données météorologiques et des données de déclarations de dégâts. Le principal point est de pouvoir raccorder et confronter deux informations dont la signification géographique est différente : les données de pluviométrie sont rattachées à des stations (localisation ponctuelle) et les données de déclaration de dégâts sont rattachées à des communes (localisation polygonale).

L'analyse est conduite en trois temps :

- analyse de la répartition spatiale des stations météorologiques et identification des polygones d'influence par des règles statistiques simples (polygone de Voronoï), (figure 5)
- rattachement des communes aux polygones météorologiques ainsi définis,
- étude des corrélations entre pluviométrie mensuelle, date et nombre des déclarations.

Deux limitations importantes à l'analyse sont liées à la précision des données : d'une part les données météorologiques ne permettent pas de remonter à l'agressivité de chaque événement pluvieux, d'autre part on ne dispose pas d'une typologie précise de ces événements.

3.2 Classification des données satellitaires et validation

L'ensemble de la procédure a déjà été décrite dans le rapport précédent et est résumé par un schéma conceptuel mis en forme avec l'appui de EPFL.

Les critères de reconnaissance des diverses composantes de l'occupation du sol se font principalement par rapport à la connaissance du calendrier des cultures régionales. Le tableau suivant (thèse Ph. Martin 1997) montre les périodes de semis et de récolte des principales cultures régionales. On distingue principalement trois groupes de cultures annuelles : les cultures d'hiver, les cultures de printemps précoces, et les cultures de printemps tardives.

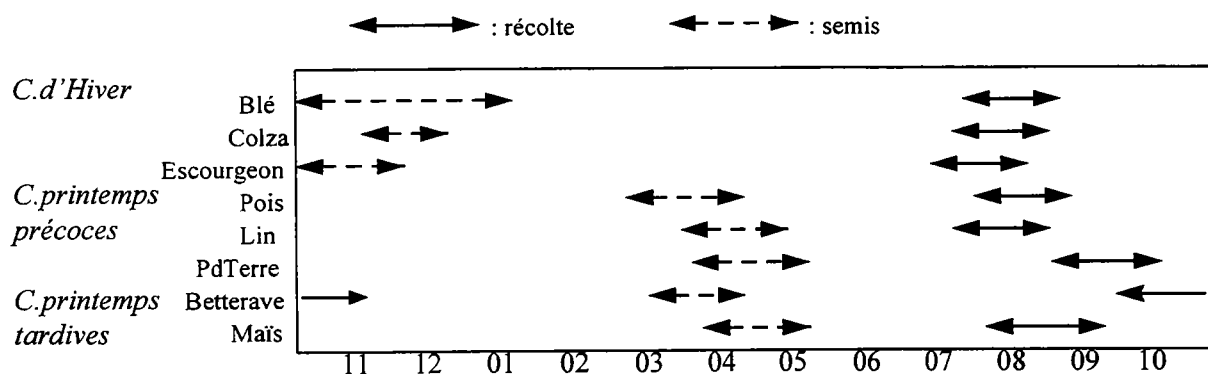


Tableau 2 : calendrier culturaux (d'après P.Martin 1997)

Les cultures d'hiver sont celles semées à l'automne jusqu'au début de l'hiver et récoltées en été (blé, colza, escourgeon).

Les cultures de printemps précoces sont le blé ayant pour précédent la betterave (donc semis tardif en décembre, après la récolte des betteraves), l'orge de printemps, le pois, le lin et les pommes de terre.

Les cultures de printemps tardives regroupent les betteraves et le maïs (ensilage ou grain).

Ce calendrier guide toutes les grilles de définition des classes multi-spectrales des cultures annuelles selon un algorithme de maximum de vraisemblance; s'y ajoute un critère de pérennité chlorophyllienne pour la reconnaissance des prairies.

Les forêts et les zones urbaines font l'objet de critères particuliers : la forêt est reconnue directement par voie spectrale grâce à la qualité des données; les zones bâties sont en règle générale mal identifiées sur des critères uniquement spectraux et sont donc de même isolées grâce aux informations de CORINE, ce qui exclut les zones bâties de faible extension (inférieur à 25 hectares) et ne met pas à jour la situation récente (progression des zones urbanisées depuis l'inventaire de CORINE). (Figure 4)

Les validations sont réalisées avec les données rassemblées à cet effet (§2.4).

3.2 Intégration par bassin versant

Ces classifications d'occupation du sol n'ont de valeur qu'en termes relatifs car il existe différents biais introduits par les effets de bordure de parcelles agricoles ou forestières (pixels mixtes) et les objets qui peuvent se confondre à des classes d'intérêt (cas des chemins, cours de ferme...). Les estimations de surfaces absolues requièrent d'appliquer la méthode de l'estimateur de régression utilisée par le SCEES comme par le programme européen (MARS) lorsqu'on intègre les données satellitaires à l'évaluation. Ceci impose un protocole d'enquête par échantillonnage très strict qui n'a pas été mis en œuvre ici. Ces bilans doivent être utilisés comme des indicateurs relatifs à l'échelle envisagée : le bassin versant de l'ordre de 750 hectares.

Après l'intégration de premier niveau de ces informations, l'intégration par bassin versant permet plusieurs sortes de comparaisons relatives à utiliser en lien avec un comportement hydrologique :

- pour une année donnée : le bilan comparatif des surfaces potentiellement ruisselantes (SCR) ou de l'importance des prairies permanentes rapportée aux aires des bassins versants.
- le même bilan rapporté aux aires consacrées à la Surface Agricole Utile (SAU) du bassin versant.

Cette intégration par bassin versant est la solution choisie pour tenter d'émettre un diagnostic homogène à l'échelle régionale. Il est bien entendu qu'à l'échelle définie, cette intégration ne peut pas refléter le fonctionnement réaliste d'un bassin versant en terme d'infiltration et d'écoulement, qui n'est abordé qu'à l'échelle très locale avec le modèle STREAM de l'INRA et constitue un volet à part entière du projet FLOODGEN.

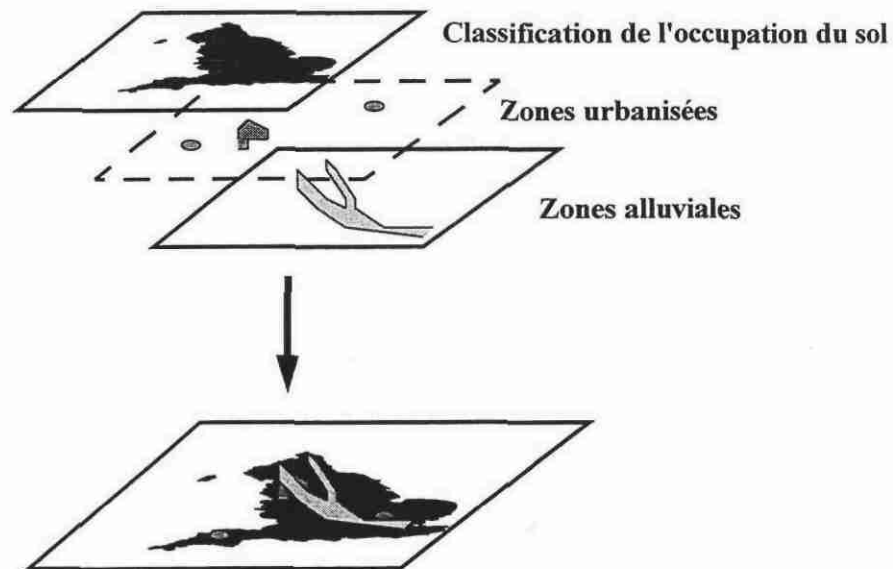


Figure 6 : Schéma simplifié d'intégration des données

3.3 Bilan des surfaces contributives

Dans ces régions de sols limoneux le constat établi est que laissés à nus, ces sols sont très sensibles à l'effet de croûte de battance, phénomène imperméabilisant qui accélère le ruissellement, voire l'érosion des sols. **C'est pourquoi le bilan des surfaces potentiellement ruisselantes effectué à chaque saison jugée critique** correspond au bilan des surfaces non protégées par un couvert végétal temporaire ou permanent, conditions favorables au ruissellement excessif.

Une validation est de nouveau proposée en comparant les résultats avec les statistiques agricoles régionales de la DRAF.

3.4 Indicateurs d'évolution entre 1990 et 1997

La disponibilité de données antérieures au projet (1990) va permettre d'analyser si des évolutions régionales de la vocation de la SAU sont notables, et dans quelle mesure elles sont significatives d'un effet indirect de la PAC. On s'attachera en particulier au devenir des prairies permanentes, dans les limites des données disponibles.

Sources

SPOT

CORINE

Geological map

DEM

Meteo/damages

Required data

Landuse classification

Urban areas

Alluvial mask

Boundaries of Watersheds

critical periods

**Regional Assessment
of SCR by watersheds**

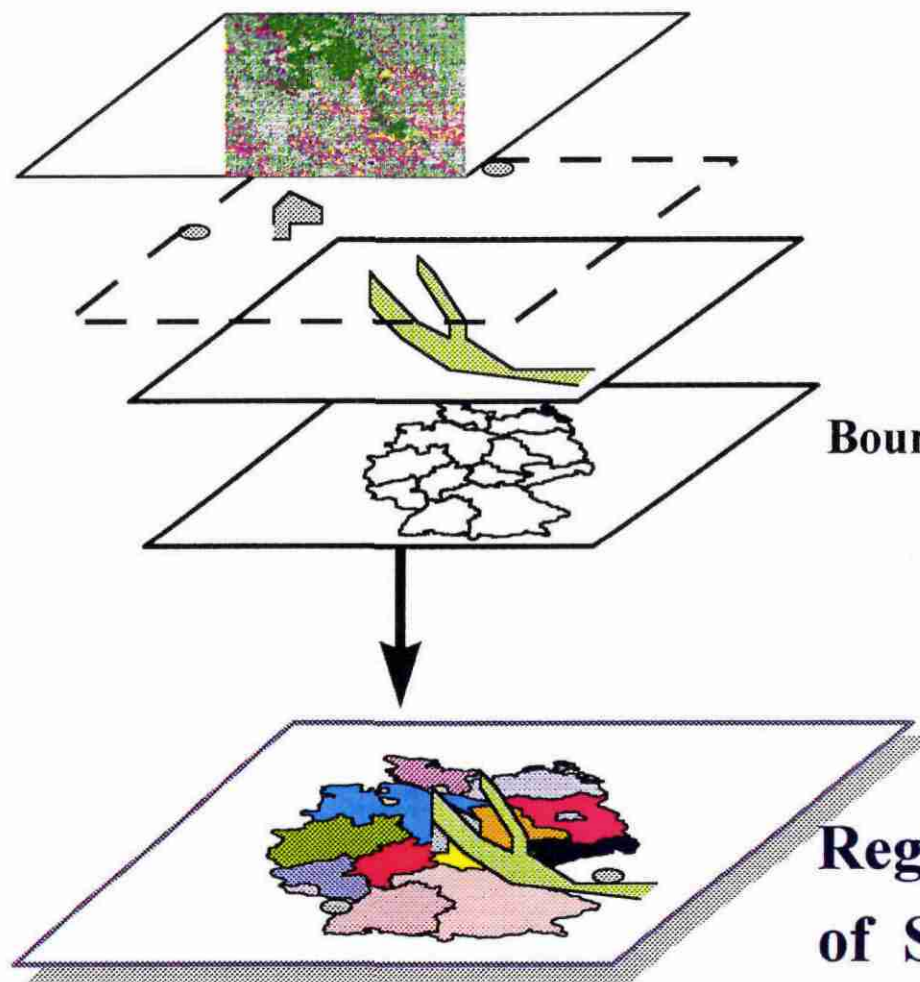


fig 1 synoptic of methodology

8. Conclusion et propositions à la DRAF de Hte Normandie, utilisateur final

8.1 Synthèse des principaux résultats et figures

La délivrance des premiers produits prévus dans la phase B intitulée « where ? » du projet FLOODGEN porte donc sur des cartes de Bassins versants et leurs Surfaces Potentiellement Contributives au Ruissellement (SCR) selon les scénarios saisonniers choisis de fin d'hiver et printemps : le produit B220.

Ces produits intègrent fortement la télédétection mais en synergie avec des données du BRGM, de l'IGN et des données du programme CORINE Land Cover. La cartographie, pour une saison donnée des sols sensibles au ruissellement, permet de calculer des statistiques par bassins versants, extraits du Modèle Numérique de Terrain de l'IGN et fournit ainsi une approche objective sur des territoires importants. L'échelle de travail est régionale (1/200 000) pour les mosaïques d'images satellitaires, les classifications d'occupation du sol et les comparaisons du comportement des bassins versants.

En terme de résultats on montre que chacun des scénarios aboutit à une carte spécifique, les périodes hivernales de 1990 et 1997 correspondant à des situations plus exposées au risque de ruissellement excessif que les périodes de printemps des mêmes années. Compte tenu des performances des classifications satellitaires, les scénarios hivernaux sont probablement les plus fiables pour comparer les bassins versants au sein des trois entités : Caux maritime, Caux intérieur et région d'Yvetot-Caudebec-Rouen. (figure 19). En hiver 1997 trois niveaux de priorité se distinguent en terme de potentiel de ruissellement : les bassins les plus exposés présentent en moyenne des SCR à plus de 60% de leur SAU au problème et se situent soit en domaine côtier, soit à l'Est de Rouen.

Ces présentations ont été ici accompagnées d'une palette de cartes et de diagrammes comparatifs de façon à étayer au maximum les interprétations proposées quant à la variabilité spatiale des bassins versants et leur évolution temporelle :

- les ordres de grandeur des estimations régionales des composantes de l'occupation du sol sont comparables à ceux de la DDAF. Quand on utilise ces composantes sous la forme de scénarios de contribution au ruissellement, on décèle une variabilité importante entre les bassins de chaque sous-région, ce qu'une approche conventionnelle n'autorise pas : figure 24.
- l'évolution temporelle des Surfaces Contributives au Ruissellement entre les hivers 90 et 97 est nettement mise en évidence sur la région de Yvetot-Rouen (où les données autorisent la comparaison). Plus de 50% des bassins versants doublent ou triplent leur SCR (fig21 & 21b). Cette augmentation très importante s'est faite par réduction des surfaces dédiées aux cultures d'hiver et probablement sous la pression indirecte de la PAC.
- un autre indicateur de l'augmentation des surfaces offrant des risques de ruissellement a été envisagé : l'évolution des surfaces dédiées aux prairies permanentes. On note une régression de ces surfaces de l'ordre de 10% de la SAU en moyenne, soit un ordre de grandeur à l'échelle régionale compatible avec les données DDAF (tableau 10). Des tentatives de cartographie détaillée des diverses évolutions (stabilité, retournements, semis nouveau) ont été envisagées sur la zone restreinte d'Yvetot-Rouen où l'on détient davantage d'images satellites. Les résultats permettent un encadrement minimal et maximal des surfaces probablement retournées sur ce secteur (fig. 26-27). Mais l'extension à l'échelle régionale est compromise, compte tenu de la précision des données, notamment celle de CORINE (fig.30).

Site of 'Pays de Caux'
Sensibility to soils runoff
in WINTER 1997
 (in percentage of area used by
 agriculture in watershed)

FLUODGEN

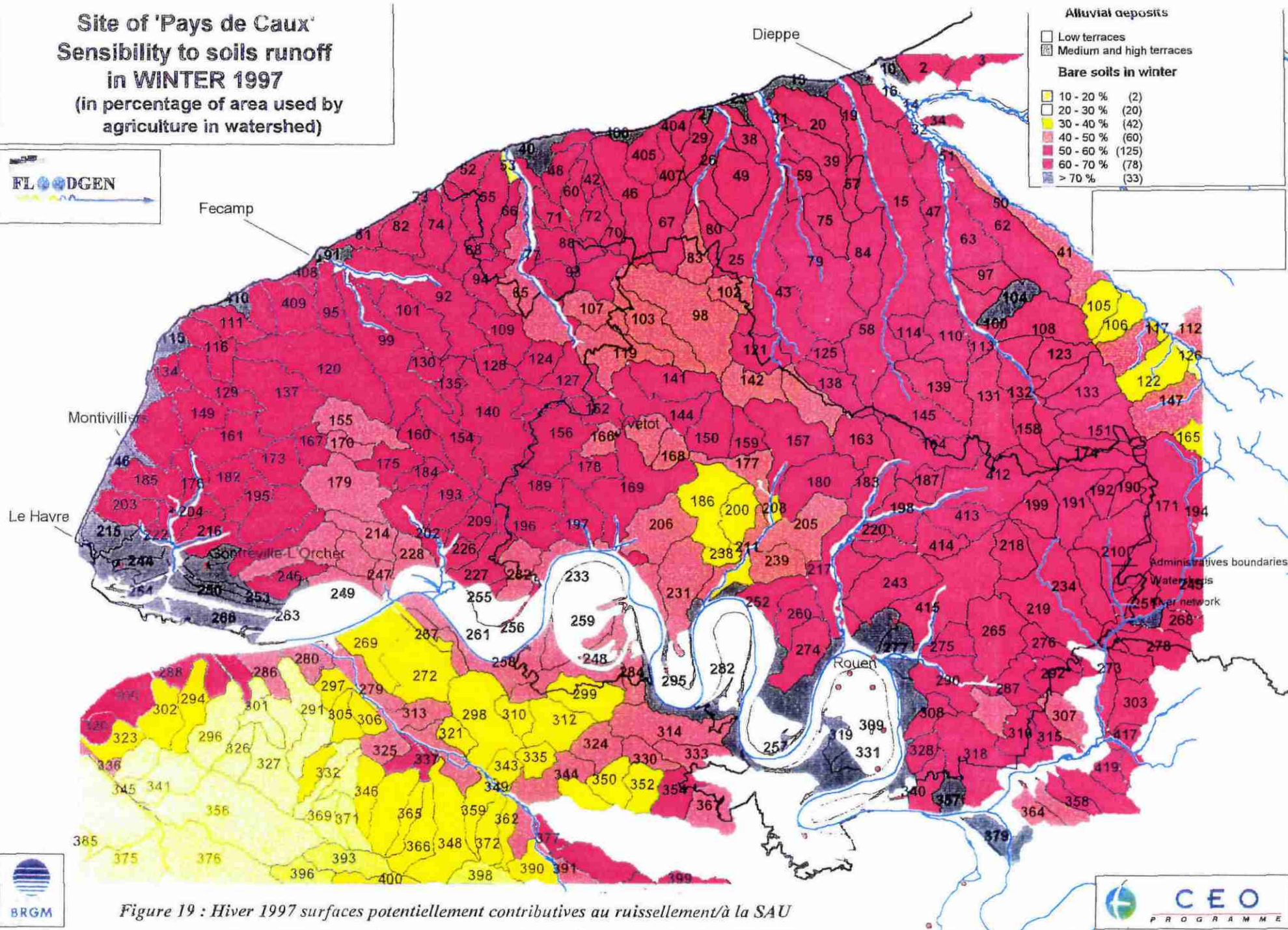


Figure 19 : Hiver 1997 surfaces potentiellement contributives au ruissellement/à la SAU

données TERUTI	92	97	92/97	delta
herbe non agri pelouses	41	47	114,6	+ 14,6%
friches et landes	12	13	108,3	+ 8,3 %
STH y compris prés-vergers	191	177	92,7	- 7,3 %
total TERUTI	244	237	97,1	- 2,9 %
résultats des scénarios min et max Floodgen				1 à 7%

Tableau 10 : comparaison des estimations de modification de prairies selon les sources DDAF et FLOODGEN

**variation des SCR d'hiver en % des BV
entre 90 et 97**

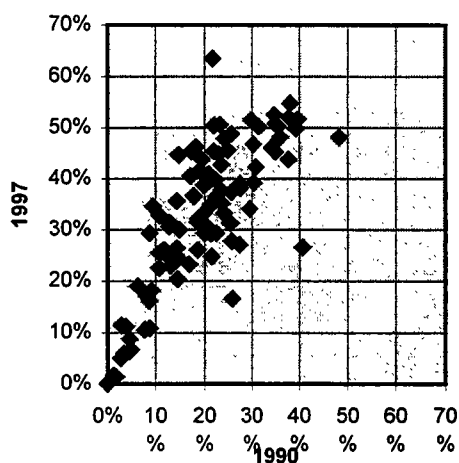
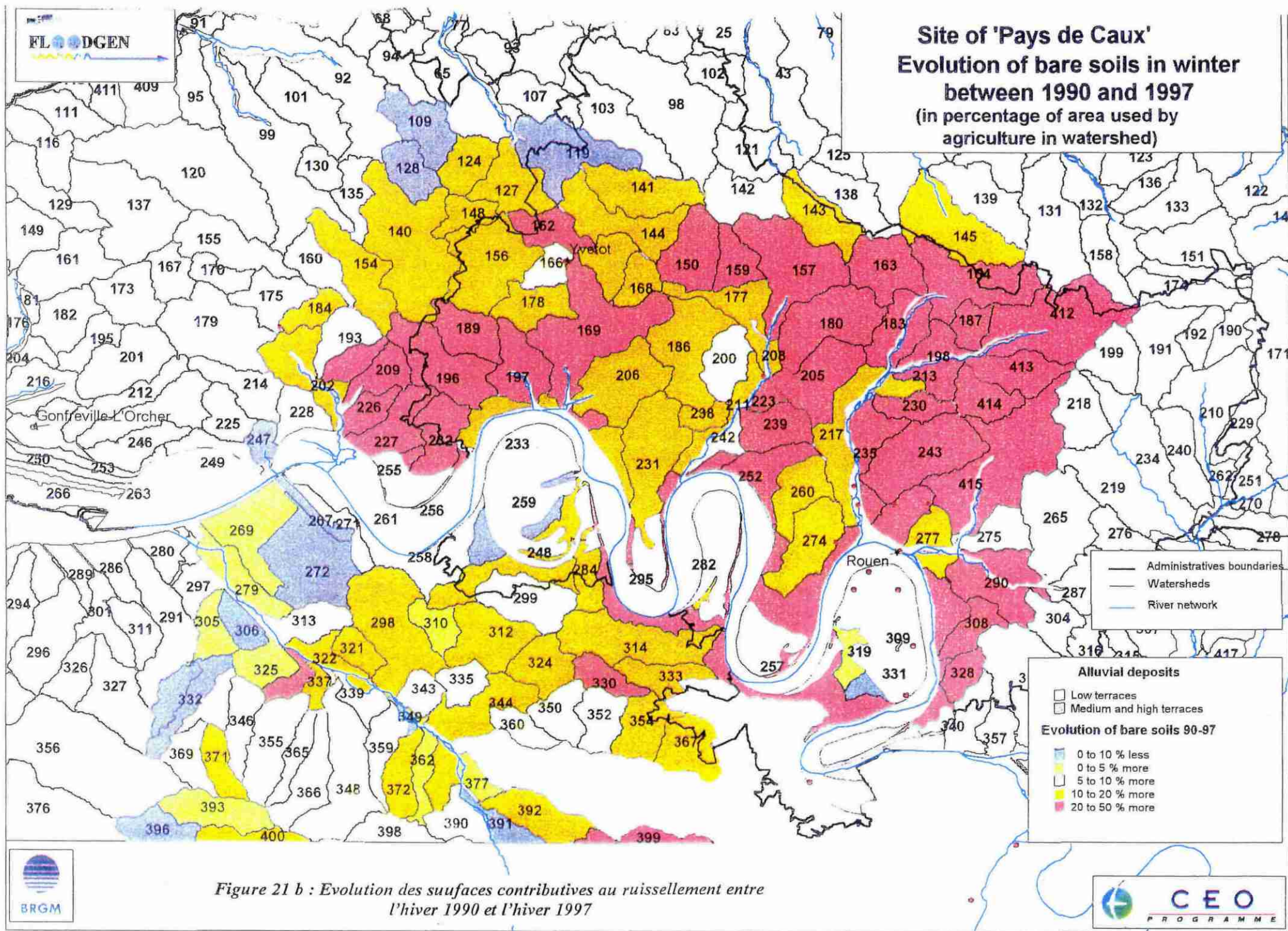


Figure 21 Progression des SCR entre 1990 et 1997- en hiver, en proportion des BV.



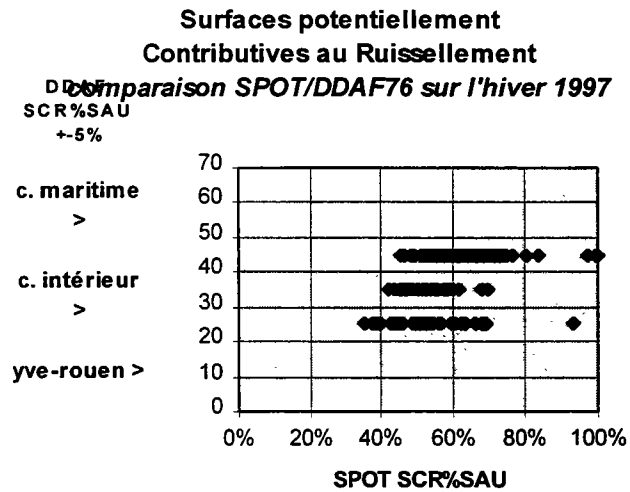


Figure 24 : Comparaisons des estimations DDAF en 97 et des résultats des scénarios SPOT en hiver 97 ramenées aux SAU des bassins versants

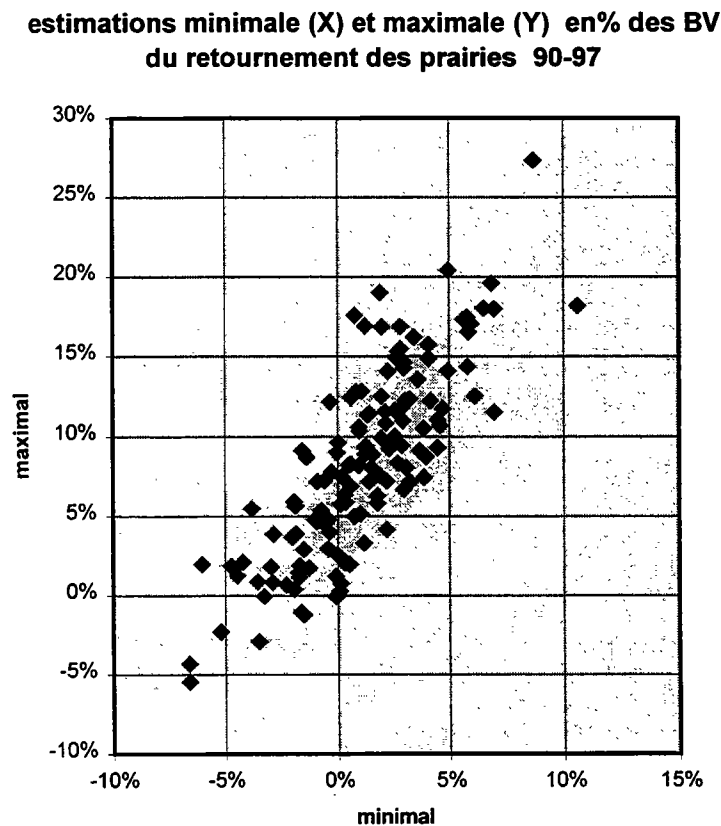


Figure 27 : Estimations minimale et maximale du retournement des prairies entre 1990 et 1997 , en % des BV, sur la zone Yvetot -Rouen commune aux deux séries satellitaires 90 et 97

estimations des prairies retournées
solutions simpliste CORINE-97(en X) et minimale CORINE-90-97 (en Y)

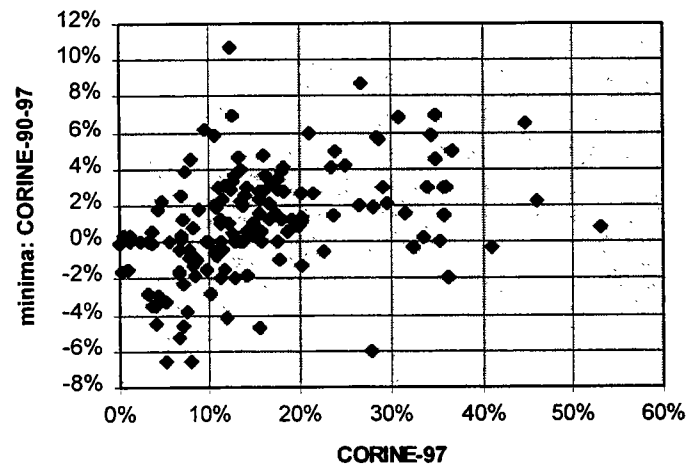


Figure 30 : Comparaison du scénario simpliste au scénario minimal établi sur la région Yvetot-Rouen

8.2 Propositions

Deux propositions sont faites à notre utilisateur final, la DRAF de Haute Normandie, l'une pour juger de l'intérêt des résultats régionaux, l'autre pour orienter les choix de bassins versants permettant d'aborder les apports et limites possibles de la télédétection en matière de détection de mesures agro-environnementales contribuant à la réduction des risques de ruissellement

8.2.1 évaluation des résultats régionaux obtenus.

Face aux besoins exprimés dans le rapport 0-2 décrivant les besoins des utilisateurs, il est souhaité que la DRAF s'exprime en particulier sur sa première attente :

1^{ère} attente : disposer d'une méthode et d'informations pour identifier, à différentes échelles, les zones d'intervention prioritaires pour limiter les excès du ruissellement de surface et réduire les risques d'inondations en aval.

- ⇒ Floodgen propose un bilan à l'échelle régionale des paramètres de l'occupation au sol détectable par télédétection, et ceux qui précisement ont une influence sur le ruissellement et de ce fait sur les risques d'inondation : les SCR. De plus nous avons essayé de répondre à l'attente forte de la DRAF vis à vis des prairies, en montrant une tendance manifeste à la régression, qui n'est pas contredite par les données régionales disponibles, mais sans pouvoir en établir un bilan cartographique détaillé, compte tenu de la précision des données disponibles.
- ⇒ de plus nous avons fourni des **informations spatialisées** sur la répartition de surfaces agricoles contributives du ruissellement et leurs modifications sur plusieurs années d'écart : les différences constatées sont du même ordre que les données de statistiques agricoles régionales, mais avec apparition d'une forte variabilité inter-bassins versants. De plus les constats faits sur l'augmentation des surfaces dédiées aux cultures de printemps et d'une réduction des prairies favorisent une augmentation des aléas liés au ruissellement excessif : ces évolutions pourraient être des indicateurs des effets de la PAC; nous souhaitons l'avis de la DRAF sur ce point.
- ⇒ critères d'évaluation: la pertinence des zones identifiées comme prioritaires est le point clé. Nous avons tenté de l'évaluer par recoupement avec les connaissances existantes sur différents sites régionaux (critères géomorphologiques, , tendance d'évolution régionale des modes d'occupation du sols...). On va aussi envisager le recoupement face aux bilans des événements catastrophiques récents, bien que ce bilan soit biaisé par la notion assez floue attachée au terme de Catastrophes naturelles, qui peut recouvrir des événements de nature assez variés. L'expérience de la DRAF peut ou non confirmer l'existence et l'intérêt de percevoir ces variabilités intra-régionales.

8.2.2 proposition de sélection de bassins versants types :

Il faut également aborder les travaux permettant de répondre à la seconde **attente de la DRAF : pouvoir proposer des innovations** pour organiser la cartographie et les travaux de terrain, afin que les unités spatiales d'aménagement soient identifiables comme des unités fonctionnelles au même titre que les bassins versants.

- ⇒ Floodgen propose d'étayer l'intérêt de prendre en compte le bassin versant comme unité spatiale de fonctionnement dans les nouvelles réglementations. C'est la seule solution pour limiter les ruissellements et donc leurs conséquences (transferts de surfaces d'engrais et pesticides, coulées boueuses, turbidité et charge en particules des eaux potables...), même si cela impose une évolution des relations avec les interlocuteurs administratifs.

- ⇒ critères d'évaluation : les limites des possibilités de la télédétection et des SIG vis à vis des études très locales de bassin versant seront déterminantes: l'analyse doit porter sur la qualité des extractions automatiques de bassin versant à partir de MNT, les performances de discrimination de pratiques culturales dégradantes, les performance de discrimination des freins au ruissellement (prairies) ou des surfaces potentiellement ruisselantes SCR en termes d'organisation spatiale au sein du bassin versant.
- ⇒ Pour mener à bien cet objectif on propose à la DRAF de s'investir sur l'étude détaillée de deux ou trois couples de bassins versants choisis selon plusieurs critères (tableau ci-après) : appartenir à une des trois sous-régions types (Caux maritime, Caux intérieur, région d'Yvetot-Rouen), être situé plutôt en tête de grand bassin, pour éviter les contextes de vallée creuse, obtenir des couples de bassins comparables au sein desquels l'évolution des SCR est différente, si possible utiliser des bassins sur lesquels des données détaillées sont déjà disponibles.

4 possibilités de couples de bassin versants sont proposées (figure 33). La DRAF doit pouvoir confirmer son intérêt pour les couples à privilégier.

	N°		Nombre de déclarations	% SCR ¹ /SAU 1990	% SCR ¹ /SAU 1997	Nombre d' aménagement	Données externes	
	BV	Nom BV	CAT-NAT				INRA	DRAF
Rouen-Yvetot Caudebec	169	Yvetot- Caudebec	13	30-40	50-60	0	-	x
	180	Goupillières	1	20-30	50-60	0	-	x
Caux intérieur nord	83	Bourville	1	-	40-50	3	x	-
	43 ²	St Pierre Bénouville	-	-	50-60	0	-	-
	102	Saâne le Bourg	3	-	40-50	0	-	-
	121	Val de Saâne	4	-	50-60	0	-	-
Caux maritime sud	92	Fongueusemare	8	-	50-60	0	-	x
	99	Ganzeville	13		50-60	0	-	-

¹ Surfaces potentiellement contributives au ruissellement (sols nus en hiver)

² Segment amont

Tableau 12 : bassins versants proposés et critères de sélection

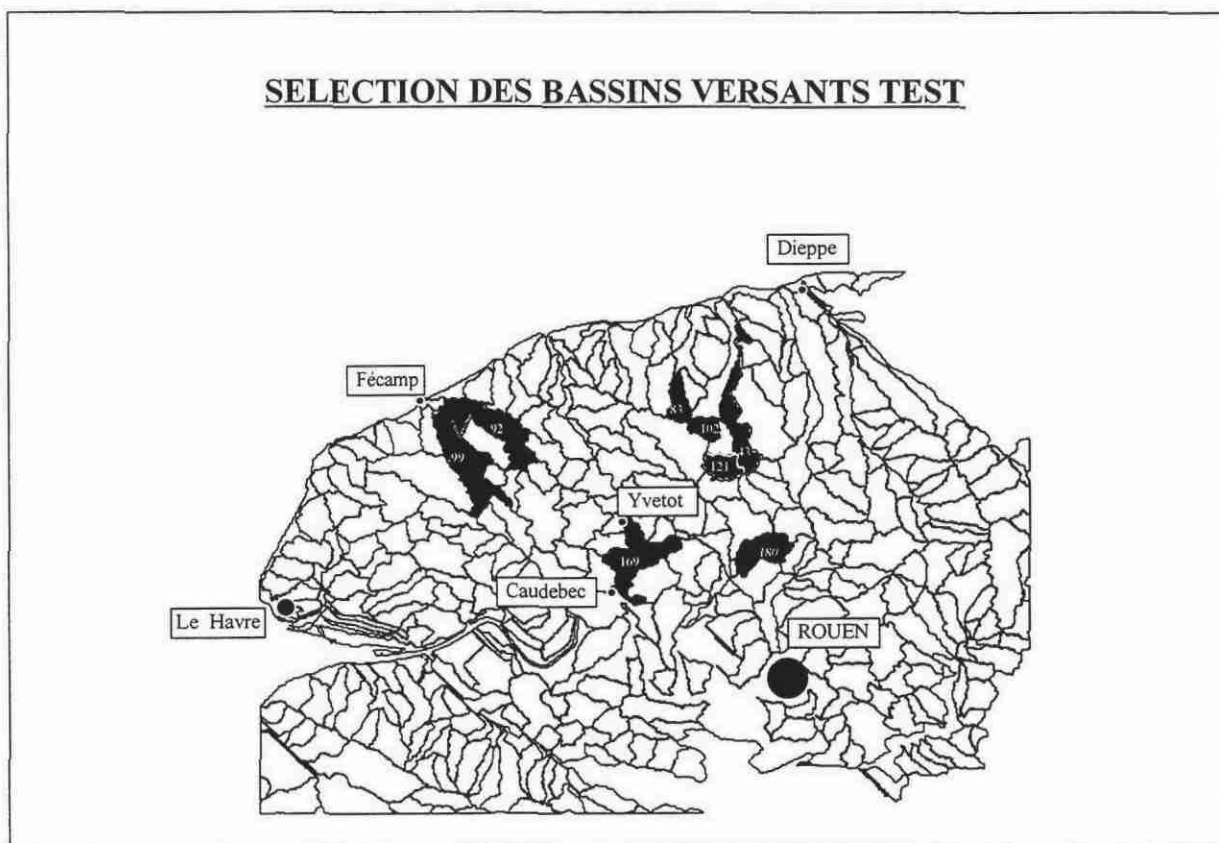


Figure 33 : Proposition de couples de bassin versants à étudier en détail pour la phase de zoom par télédétection

Annexe 6 : Rapport intermédiaire de ERSAL

FLOODGEN PROJECT

2nd INTERIM REPORT - ERSAL CONTRIBUTION

1) OVERVIEW

This second period has been dedicated to the completion of the data collection phase and to analysis and treatment following our MOP (Modèle Organisationnel de Traitements) scheme. The final product is a potential runoff generating areas map at scale 1/250.000 covering the hilly and foot-mountains area of Lombardy region between Ticino and Brembo rivers.

Due to same delay in final product achieving and to organisation problems this final product has not already be subjected to the Users Committee judgement; that will be our first task in the next incoming phase.

2) MILESTONES REACHED

The data collection phase has been achieved:

- Satellite images: five LANDSAT TM floating quarter scenes have been acquired (see par.3). The interpretation and classification are consequently leaded on the agricultural years 1990/91 and 1996/97.

The information is not uniform in the two periods; no better solution was available since the catalogue contained a limited number of images and some of those had problems of cloud cover over the area of interest or others technical problems. Nevertheless, once known the agricultural calendar in general terms, those data allow us to define the requested classes of agricultural land-use.

- Watershed coverage: a polygon coverage over the whole Po basin was already obtained in the first phase from the Po River Basin Authority; a further control showed a lack of necessary accuracy of that coverage. For that reason a new coverage, realised using a non-automatic technique, has been created starting from altitude isolines derived from the regional technical topographic map at scale 1/10.000. Once the watershed delineated, an Arcview polygon coverage has been created as well as an attribute table reporting the name of the basin, his order and a code indicating if it is located on a plane or hilly area.

We took advantage of that necessity to differentiate among the hilly part and the level part of each watershed; we consider that important because the more crusting soils are those occurring in glacio-fluvial deposits located in an higher topographical position than the main level of the plane.

The data collection activity for the application of STREAM model has been activated. We have selected four small basins (from 2 to 6 km²) where we defined and digitised the agricultural allotment; for each of them we defined work direction, roughness, facies, vegetal cover and land-use as requested in STREAM report (Fig.1). We have planned also to realise some pedological determinations on surface horizons (texture, pH, organic carbon) and to determine, in laboratory, aggregates steadiness following the methodology proposed by Le Bissonnais, 1997. All those determination have been effectuated during autumn 1997 (after winter crop harvesting) and are repeated at the end of winter 1998 (before land work resuming) to give an idea of the soil surface status evolution.

Those data will allow to better compare the characteristics of soils in our region with those of the other partners involved in Floodgen project and to understand if crusting mechanisms are similar or if some important differences are identifiable.

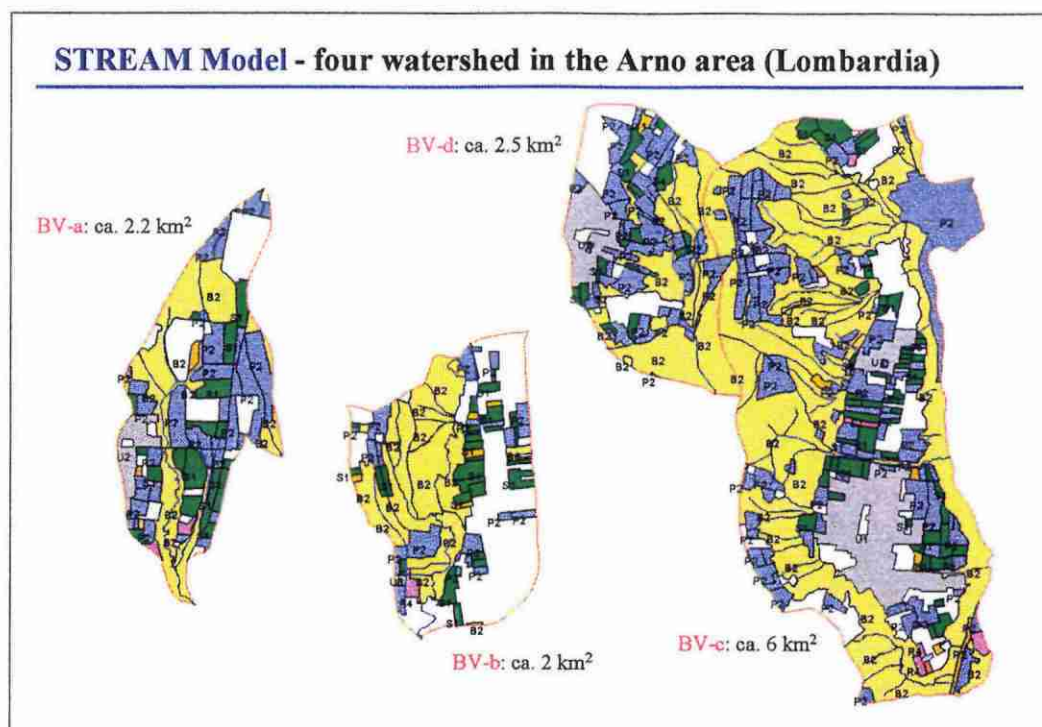


Fig.1 – The four watersheds colored by land-use classification; areas in white are data not already implemented in the GIS structure.

3) LIST OF IMAGES ACQUIRED

The following is a list of satellite images acquired in the framework of the Floodgen project:

Satellite and sensor	Date of acquisition	Path/row	Type	Lat/Lon of the centre	N. of bands	Volume of data	Data supplier
Landsat TM	06.11.1990	194/028	Floating quarter	45°37'N 09°08'E	7	108 MB	Eurimage Telespazio
Landsat TM	26.02.1991	194/028	Floating quarter	45°37'N 09°08'E	7	108 MB	Eurimage Telespazio
Landsat TM	18.06.1991	194/028	Floating quarter	45°37'N 09°08'E	7	108 MB	Eurimage Telespazio
Landsat TM	10.02.1997	194/028	Floating quarter	45°37'N 09°08'E	7	108 MB	Eurimage Telespazio
Landsat TM	30.03.1997	194/028	Floating quarter	45°37'N 09°08'E	7	108 MB	Eurimage Telespazio

4) PROGRESS BY WORK PACKAGE

The satellite data have been analysed and combined to obtain an agricultural land-use classification for the two periods covered by the images (1990/91, 1996/97) and over an area of nearly 5790 km². The following classes have been defined on a basis of selection, on bi- or tri-data images, of 'region of interest': bare soil, summer crop, winter crop, grassland and forest. The definition of other classes such urban areas, water surfaces, snow/ice and clouds allow to obtain entirely classified images (Fig.2).

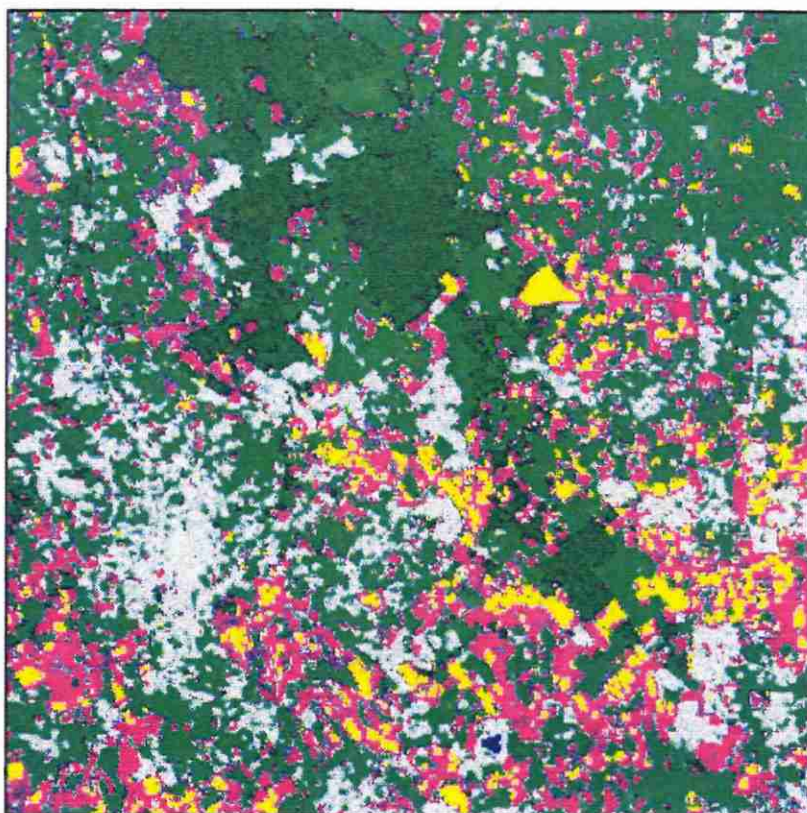


Fig.2 – sample of Landsat classification of 1996/97 (yellow: bare soil, dark violet: summer crop, light violet: winter crop, light green: grassland, dark green: forest, grey: urban areas, blue: water surfaces).

The following table contains indications about the total surface covered by each considered class:

CLASSES	SURF. 1990/91 (km ²)	SURF. 1996/97 (km ²)	DIFF. (km ²)
bare soil	113,22	200,98	+87.76
summer crop	46,96	398,31	+351.35
winter crop	670,43	1097,65	+427.22
grassland	1474,71	1368,01	-106.70
forest	2118,92	1736,25	-382.67
urban areas	722,94	653,07	-69.87
water surfaces	146,21	142,54	-3.67
snow/ice	47,09	190,29	Non signif.
clouds	441,83	0,00	Non signif.
TOTAL	5782,33	5787,11	

Some values are different from expected (i.e. the great reduction of forests and the decrease of urban pressure) and partly due to misinterpretation of pixels; probably a pre-treatment of images (radiometric correction) could help in reducing this kind of problem.

It's also evident that the snow/ice and clouds cover introduce automatically some mistakes but that will be not significant when we analyse the results on the watershed basis because those are mainly zones located in the mountainous area and consequently outside of the study area.

To derive soil crusting sensitivity, we followed a methodology that define three classes of sensitivity on the basis of textural classes (King et al., 1991); we elaborated the information on surface texture stored in the pedological database and map at scale 1/100.000 realised by ERSAL. Each polygon of the coverage has than classified on the basis of the respective soil mapping unit and identified with a label: MS (highly sensitive to surface crusting), PS (poorly sensitive), NS (no-sensitive). We established also two more classes, including polygons not to be considered in the definition of potential runoff generating areas: 1 (no-soil), 2 (alluvial areas) (Fig.3).

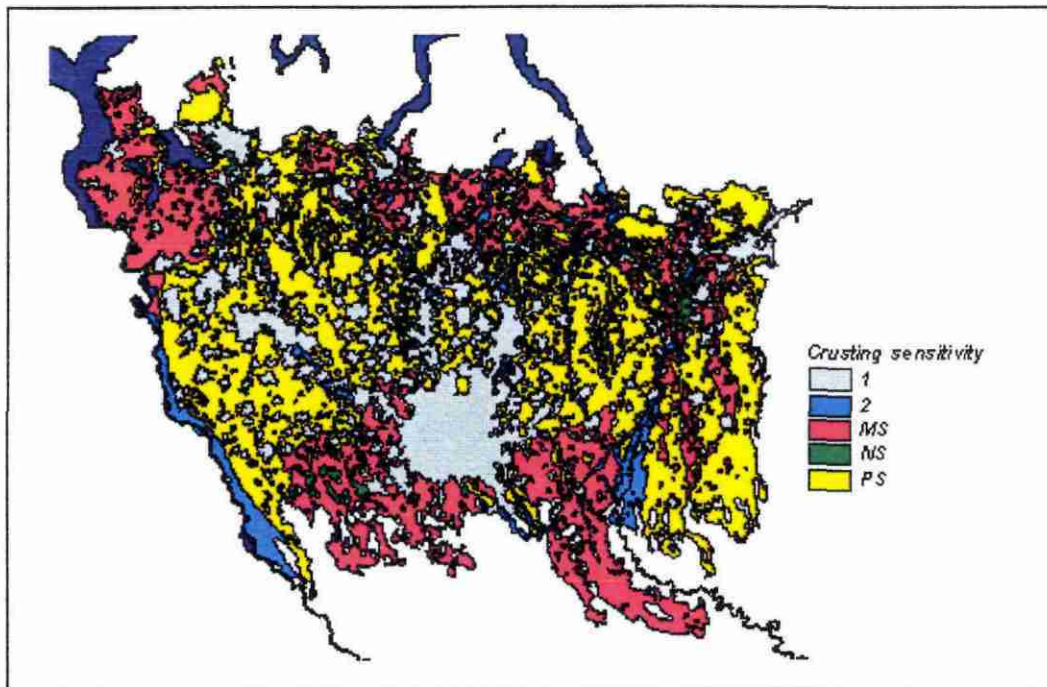


Fig.3- Surface soil crusting sensitivity in the pilot area of Lombardia.

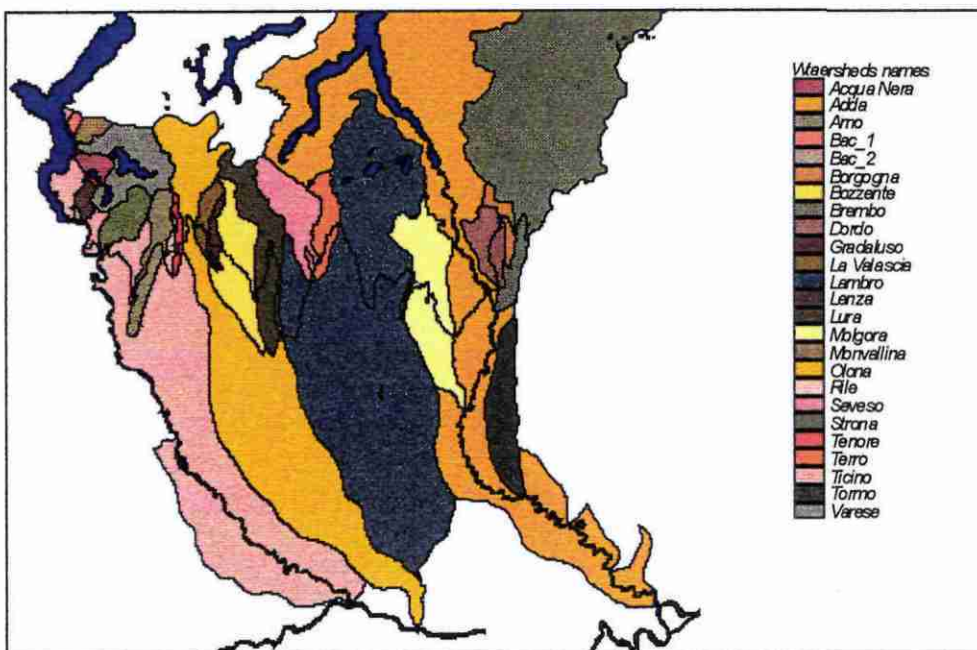


Fig.4-The 25 watersheds.

As described in par.2, we derived a watershed polygon coverage for the regional scale pilot area. The coverage is not homogeneous from a hierarchical point of view (the represented watershed are of different orders) but we preferred to maintain differentiated watersheds that, also if not much wide in surface, have significant differentiation in main soil properties and use (Fig.4). The total number of watersheds, of different hierarchical orders, is 25 but the number of polygons effectively delineated in the coverage is 50; that is because, due to the already mentioned differentiation between hilly and level portion of a watershed and to the fact that the subdivision is not hierarchical, some of them are composed of 2 or more polygons.

The crusting sensitivity coverage has been placed on the watershed coverage obtaining a final watershed coverage where each polygon contains total surface, percent of total surface and percent of total surface excluding no-soil and alluvial areas for all the three classes of crusting sensitivity (Fig.5).

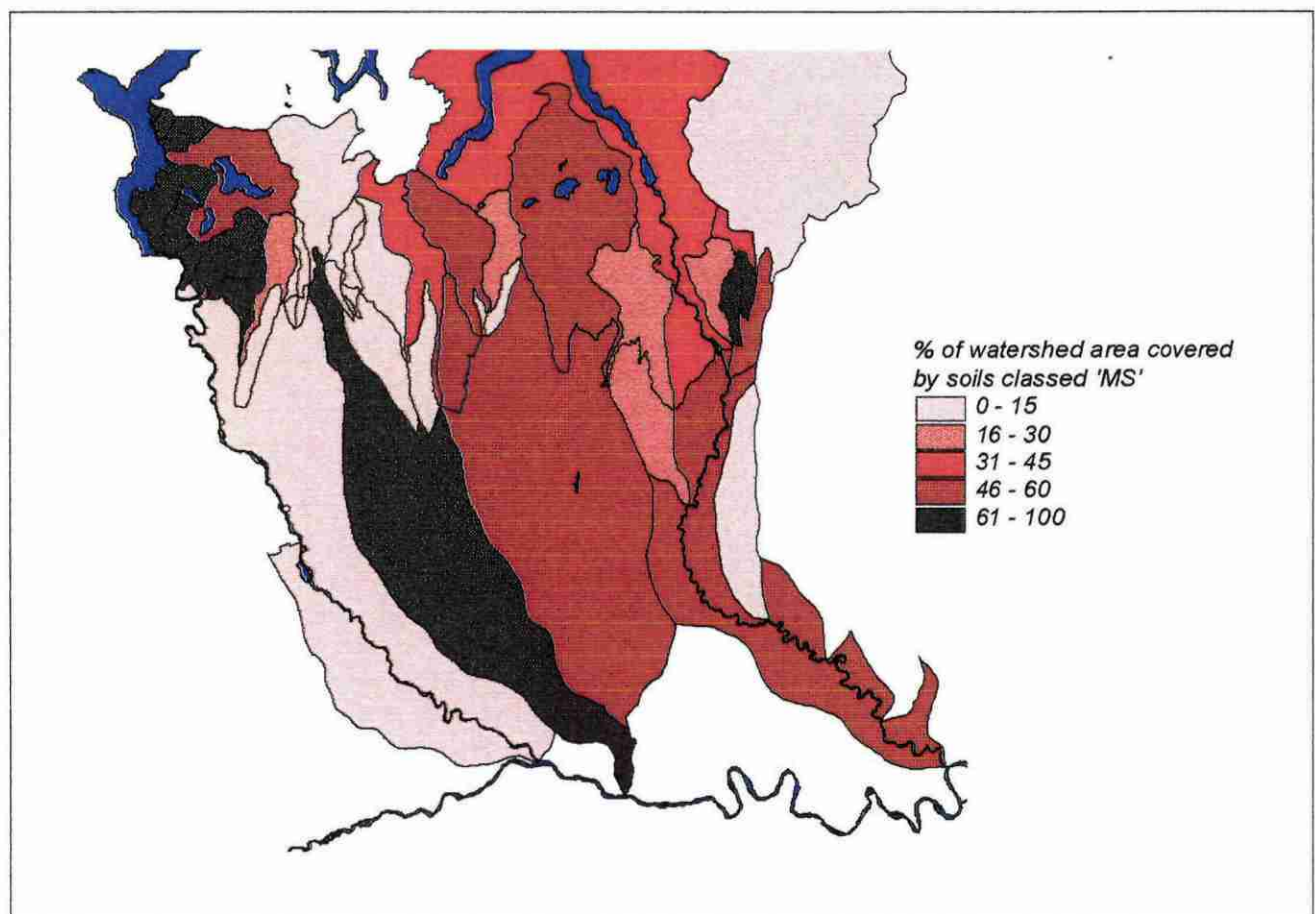


Fig.5-Final watershed coverage with polygon classed by crusting sensitivity.

The results confirm that probably the crusting mechanism characterising soils in that area is not exactly the same as in Normandie, where the applied methodology has been set up. Some of the basins with a low percentage of soils classed 'MS' (see Fig.4), are known as having runoff problems over agricultural soils. We verified that most of those soils, particularly those formed over glacio-fluvial deposits, have a bent, after few dry days, for forming a very hard and thick surface horizon nearly impossible to penetrate with a borer; it's not a thin surface crusting as we assume happens in Normandie.

In our case perhaps the organic matter content and the pH are important factor and maybe a method for soil crustability evaluation that includes those parameters is more significant. Some methods are available in literature, but we didn't applied those methods mainly because we considered important to have an homogeneous approach among the partners involved in Floodgen project. Nevertheless the opinion and evaluation of the final product by our User Committee should be an impulse to verify the results derived from the application of a different method.

5)CONTRIBUTION TO THE OBJECTIVES TO THE CEO

As indicated in the first paragraph, those results haven't already been submitted to the Final Users Committee. A meeting is planned within the end of April 1998.

6)RESOURCES EMPLOYED

The full time work of a researcher have been employed for all the actual duration of a project. Two others researcher have participated (part-time).

7)RESULTS

The analysis is made only on 36 out of 50 watershed delineation, those covering the hilly and foot mountain zone of Lombardy between Ticino and Brembo rivers; that is the band where silty soils more sensitive to crusting are located in our region.

The mean values for agricultural land-use (and urban areas) differences verified by comparison of 1990/91 and 1996/97 situations are listed in the following table (the minus sign indicates a reduction in surface as regards to 1990/91):

LAND-USE CLASSES	DIFFERENCE (%)
bare soil	+1,0
summer crop	+8,6
winter crop	+8,5
grassland	-1,2
forest	-15,1
urban areas	-1,6

The differences are in effective surface; effective means that we preferred to not consider areas covered by clouds or snow, classes that are not significant in a multi-temporal analysis. Thus the percentages have been calculated using as total watershed surface only the area classified in significant classes.

Forest is the class with the higher value of disappearance; all watersheds have a minus sign for that class with values going from -4,9% up to -25,6%. Some misinterpretation of the satellite images are possible probably and due mainly to the fact that, as already mentioned, no radiometric correction has been made.

That should also be one of the causes of the negative value for urban areas. In that case we also have to note that 31 delineation have values between -5% and +5% and that the lowest values (-13,2% and -14,4%) are of very small watersheds (respectively 3,9 km² and 4,4 km²); that means that are scarcely significant total surfaces.

For the class bare soil nearly all the values are positives but there is a non-significant overall variation (only 2 out of the 36 watershed delineation have values higher than +5%).

On 25 watersheds delineation there is a reduction of surfaces covered by grasslands and only in 4 of them the increasing in total surface is higher than +5%.

The differences are also visualised on the six maps of Fig.6.

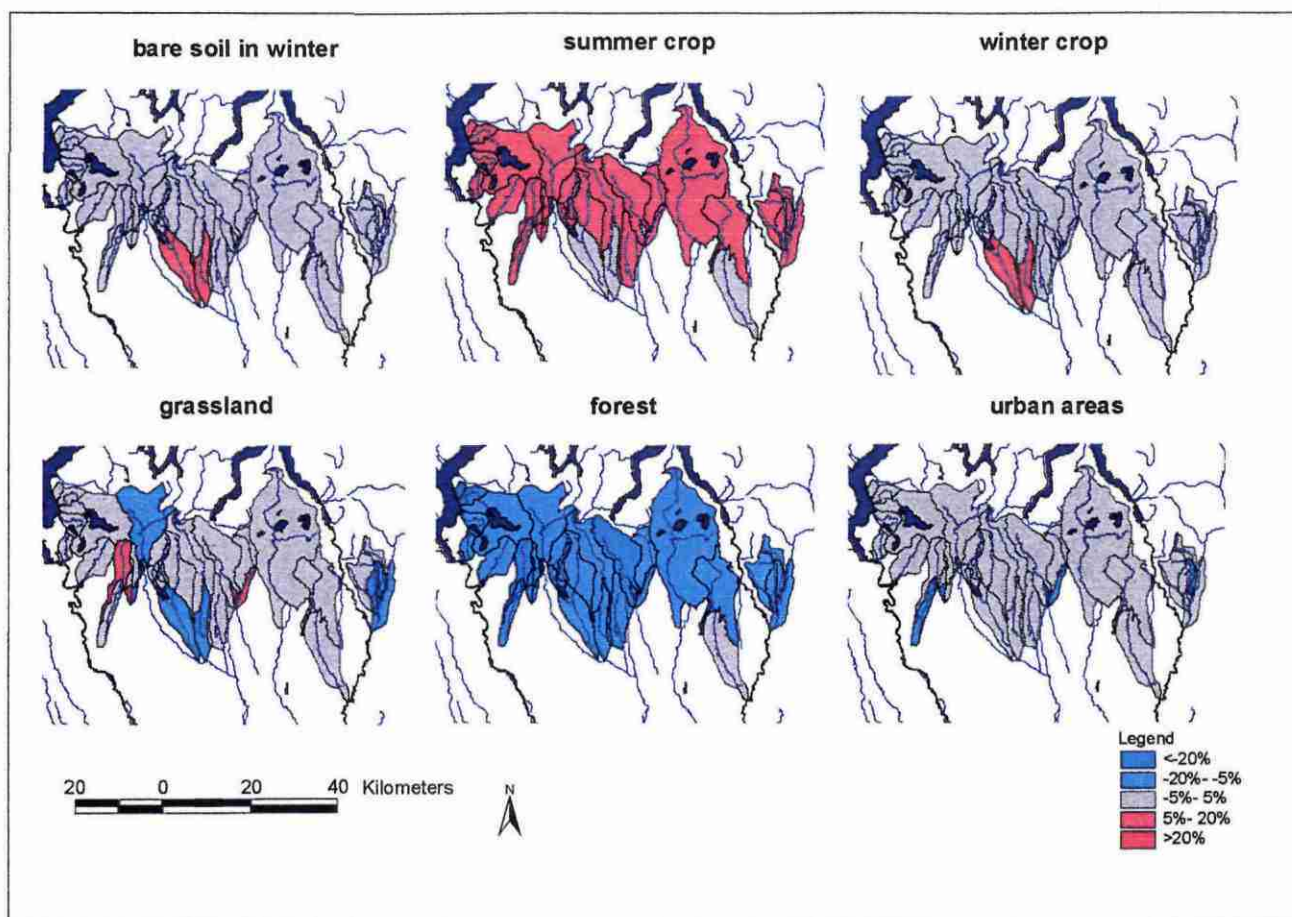


Fig.6 – Differences in % of surface for each class.

8) PRELIMINARY CONCLUSIONS

In Fig.6 are represented, for each watershed included in the test and for the two periods of investigation, the 3 classes of agricultural surfaces potentially contributing to generate surface runoff in the winter season. The classes are obtained combining land-use classifications and soil properties (sensitivity to crusting).

From the land-use source we have calculated, out of the total agricultural area, the percentage of bare soil in winter (classes bare soil and summer crops). We have then added the information about soil crusting sensitivity and created 3 classes with the following rule:

LAND-USE	CRUST. SENS.	CLASS
$\geq 30\%$	$\geq 30\%$	1
$\geq 30\%$	15-30%	1
$\geq 30\%$	$< 15\%$	2
15-30%	$\geq 30\%$	1
15-30%	15-30%	2
15-30%	$< 15\%$	3
$< 15\%$	$\geq 30\%$	2
$< 15\%$	15-30%	3
$< 15\%$	$< 15\%$	3

Comparing the two maps of Fig.7 we can appreciate a general trend to pass toward higher contributing classes, as expected considering the stability of bare soil surface and the relevant increase of summer crops surfaces passing from 1990/91 to 1996/97.

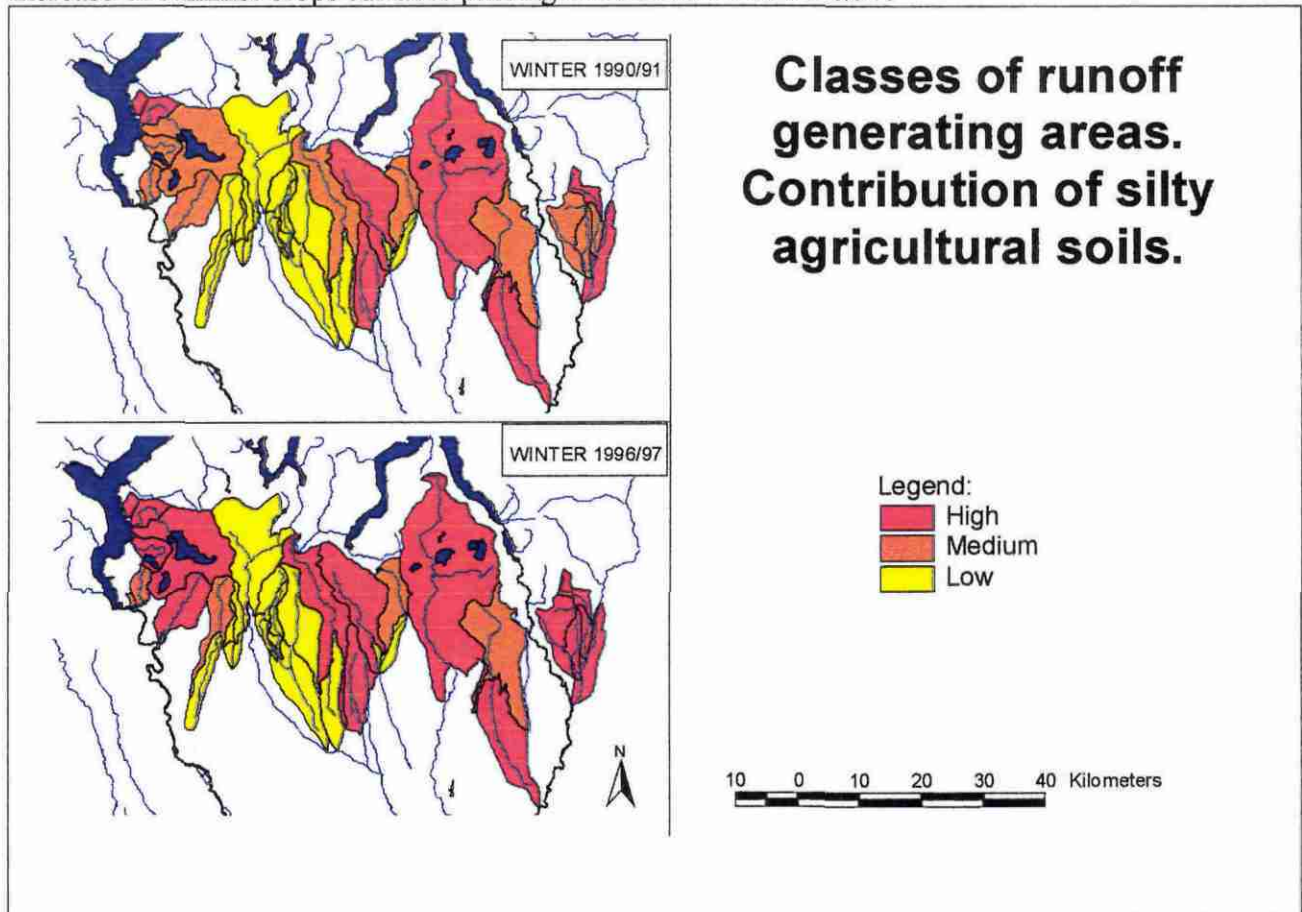
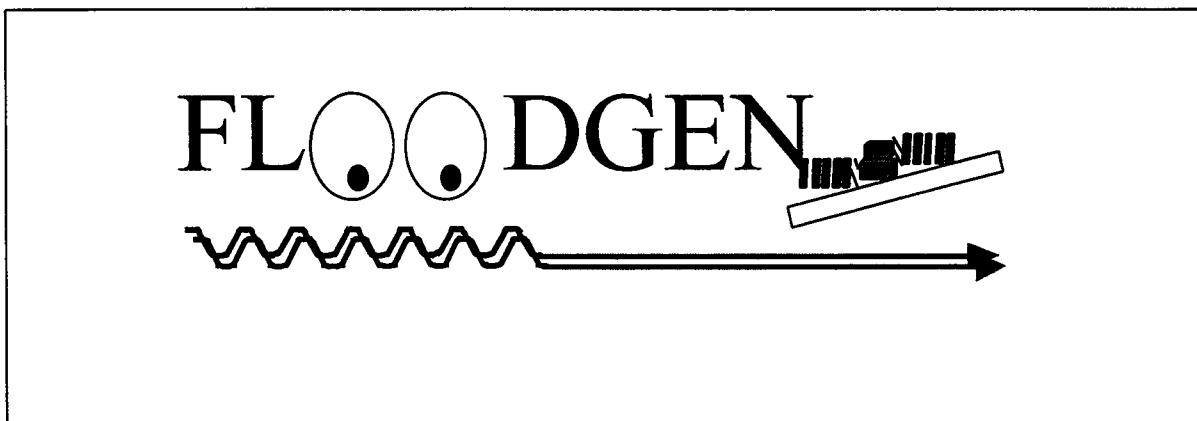


Fig7 – Classes of runoff generating areas.

REFERENCES

- King Ch., 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*. BRGM-INRA.
- Le Bissonnais Y., Gaillard H. (1997) – *Mesure de la stabilité structurale des sols; test sur agrégats*. INRA.

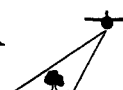
Annexe 7 : Rapport intermédiaire de U-Trier



Interim Report

Department of Remote Sensing, University of Trier

October 1997 - March 1998



FLOODGEN - INTERIM REPORT

Reporting Period: 1st October 1997 - 31st March 1998
Partner: Department of Remote Sensing, University of Trier, Germany
Principal Investigator: Prof. Dr. Joachim Hill
Scientific staff: Prof. Dr. Joachim Hill
Dr. Thomas Udelhoven
Dipl.-Geogr. Michael Vohland
Address: University of Trier, Department of Remote Sensing,
54286 Trier, Germany
Telephone: +49-651-201-4591
Fax: +49-651-201-3815
E-Mail: hill@fews05.uni-trier.de

1 Introduction

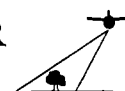
To answer the questions "Why ?", "Where ?" and "How ?" (FLOODGEN's central module B) a hydrological model will be implemented within a GIS mainly based on remote sensing data. So far, out of the selected areas of interest (Kyll and Ruwer near Trier) we've primarily concentrated on the Ruwer catchment. Chapter 2 describes the progress of integrating the physical data (meteorological, hydrological, pedological and topographical information) in a GIS; steps of pre-processing satellite data and deriving essential land use parameters are also described.

A short discussion of hydrological modelling as a tool of analysing runoff generation and simulating scenarios is presented in chapter 3.

2 Objectives for the reporting period

2.1 Processing and analysing hydro-meteorological data

The daily amounts of discharge - measured at the four gauges in the Ruwer basin (Kasel, Hentern, Zerf, Riveris) from 1987-1993 - had to be specifically corrected for low water-



periods by recalculating the statistical relationship between water level and discharge. The corrected data quality was checked by using the double mass curve analysis.

In addition to the meteorological data of the "German Weather Service"-stations, data of two other stations (Irsch, Oberzerf) issued by regional authorities ("State Authority for Water Management"/Trier) could be integrated into our investigation. The monthly amounts of precipitation were also tested for their homogeneity and consistency by means of double mass curve analysis. The Thiessen method was used to interpolate the amounts of precipitation for the catchment area.

Time series of hydrological (1987-1993) and meteorological data (1986-1996) have been processed and their quality has been statistically tested.

2.2 Pre-processing satellite data and image analysis (multispectral classification)

With regard to the number of TM-scenes available at the Remote Sensing Department, the years 1989 and 1990 are the preferred study periods for the Ruwer basin. Implementing a multi-temporal approach requires certain steps of pre-processing:

⇒ Geometric correction: Using Landsat TM-data of different paths (196-25/3rd quarter resp. 197-25/4th quarter) made it necessary to combine a polynomial approach (affine transformation) with the elimination of terrain-induced pixel displacements on a pixel by pixel basis using a DEM [1, 2]. Sub-pixel accuracies (location errors of about 0.5 pixels) could be achieved for all TM-scenes.

⇒ Radiometric correction: For the radiometric correction the 5S code ("Simulation of the satellite signal in the solar spectrum") was used; simulating the interaction of incoming solar radiation, the atmospheric terms of scattering as well as absorption are quantified, which enables the corresponding contamination of the satellite signal to be eliminated [1, 3, 4]. Additionally a topographic correction module was integrated in the 5S atmospheric correction model for compensation of terrain-induced illumination differences [5].

After the pre-processing, three TM datasets (16 May 1989, 17 June 1989, 20 Aug. 1989) were combined for a hybrid land-use classification using the maximum likelihood algorithm. The multi-temporal approach enabled the separation of summer crops, winter crops, root crops,



vineyards, grassland and shrubland for the agricultural areas; additionally coniferous, mixed and deciduous forests were classified as well as water and settlement. The classified land-use pattern will be used as a raster layer for the GIS-based hydrological modelling (cf. chapter 3).

All available TM scenes covering the Ruwer basin (8 quarter scenes from March 1989 until July 1990) have been geometrically corrected; 6 of 8 quarter scenes have been radiometrically corrected using a modified 5S-code. A set of pre-processed data has been used for a multi-temporal land-use classification.

2.3 Design and implementation of the GIS for Ruwer basin

For hydrological modelling, soil properties and topographic information additionally need to be integrated into the GIS.

Topography can easily be quantified by computing slope and aspect from the DEM.

For estimating soil water balance GIS layers of soil texture and soil profile depth had to be generated by using different data sources: Existing soil maps of a 1:1.000 scale- periodically updated by the local revenue office for taxonomical reasons - were transferred to a scale of 1:25.000 and digitized; forest inventory data were interpolated using the DEM.

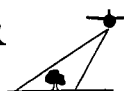
With respect to the spatial resolution of the TM, the digital elevation data and soil maps' scale, the GIS implemented for the Ruwer basin enables us to analyse spatial units' hydrological behaviour in a very detailed way - even on subbasin-level.

A GIS (ARC/INFO) including all coverages necessary for hydrological modelling has been generated.

3 Objectives for the next period

⇒ pre-processing of TM data not radiometrically corrected so far; integration of the pre-processed data in the multi-temporal dataset

⇒ thematic interpretation of the complete multi-temporal dataset by means of classification, spectral mixture analysis and reflectance modelling



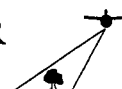
⇒ "kicking off" hydrological modelling: In addition to LISEM - a hydrologic model completely integrated in a raster GIS - another physically based, distributed model called PRMS ("Precipitation Runoff Modelling System"/ developed by the Water Resources Division of the US Geological Survey) will be used. PRMS considers the catchment's hydrological dynamics to be the weighted sum of different responses of sub-units - so-called "Hydrologic Response Units", that will be delineated using GIS. The model is able to work in two different modes: a daily mode, that simulates the mean daily streamflow, and a storm mode for simulating peaks of discharge. PRMS was selected because of its ability of modelling three different terms contributing to streamflow: surface runoff, subsurface flow and ground-water flow (whereas surface runoff is the only term taken into account by LISEM). Therefore, the concept of PRMS seems to be the most adequate for simulating the complex interactions between water flow components producing floods in our region [6, 7, 8].

4 *Résumé*

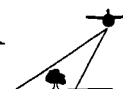
After the first reporting period (March 97 - October '97) was primarily spent on data acquisition, a maximum of resources has been used in the second period to push ahead labour-intensive tasks such as pre-processing satellite data, image analysis, generating a GIS and implementing LISEM and PRMS. In the next period, the focus will be laid on hydrologic modelling within a GIS, that is to be updated with actual results of image interpretation.

5 *References*

- [1] HILL, J. (1993): High precision land cover mapping and inventory with multi-temporal earth observation satellite data - The Ardèche Experiment.- Luxembourg
- [2] HOSTERT, P., UDELHOVEN, T., HILL, J., DIEMER, C. (1997): Employing a SPOT derived orthophoto and DEM for geometrically correcting Landsat data.- (= Intermediate results of the DeMon-II project. First Interim Report DeMon II)
- [3] HILL J. (ed.) (1996): DeMon - Integrated Approaches to Desertification Mapping and Monitoring in the Mediterranean Basin.- (= Final Report of the DeMon-1 Project), Brussels/Luxembourg



- [4] HILL, J. & AIFADOPOULOU, D. (1990): Comparative Analysis of Landsat-5 TM and SPOT HRV-1 Data for Use in Multiple Sensor Approaches.- Remote Sens. Environ. **34**, 55-70
- [5] HILL, J., MEHL, W., RADELOFF, V. (1995): Improved forest mapping by combining corrections of atmospheric and topographic effects in Landsat TM imagery.- In: Sensors and Environmental Applications of Remote Sensing, ASKNE, J. (ed.) (= Proc. 14th EARSeL Symp., Göteborg 6-8 June), 143-151, Rotterdam
- [6] GASPARINI, F. (1994): Transportdynamik gelöster und suspendierter organischer Schadstoffe im Olewiger Bach.- thesis, Univ. of Trier
- [7] SIEMSEN, K.-B. (1993): Zeitliche und räumliche Differenzierung von Abflußkomponenten eines städtisch beeinflussten Mittelgebirgseinzugsgebietes.- thesis, Univ. of Trier
- [8] SYMADER, W. (1994): The Significance of Sampling Strategies for the Assessment of Water Quality in Flowing Waters.- Vom Wasser **82**, 62-77



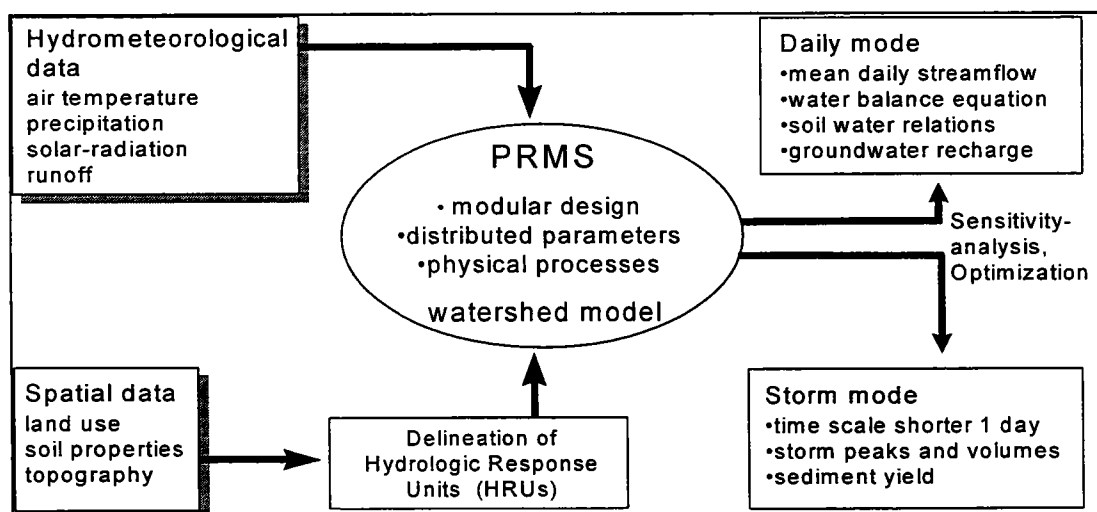
FLOODGEN

First results of hydrological modelling (PRMS)
as contribution to sub-module B220 (regional mapping)

1 Introduction - preparing for hydrological modelling

The Precipitation Runoff Modeling System (figure 1) considers the catchment's hydrological behaviour to be the weighted sum of different subunits' (so-called "Hydrologic Response Units") responses. As a first step, the daily mode of PRMS was tested for the Ruwer basin to quantify the different terms contributing to streamflow (surface runoff, subsurface flow and ground-water-flow) and - by this way - to localize HRUs with critical "flood-producing" behaviour.

Figure 1 Precipitation Runoff Modeling System

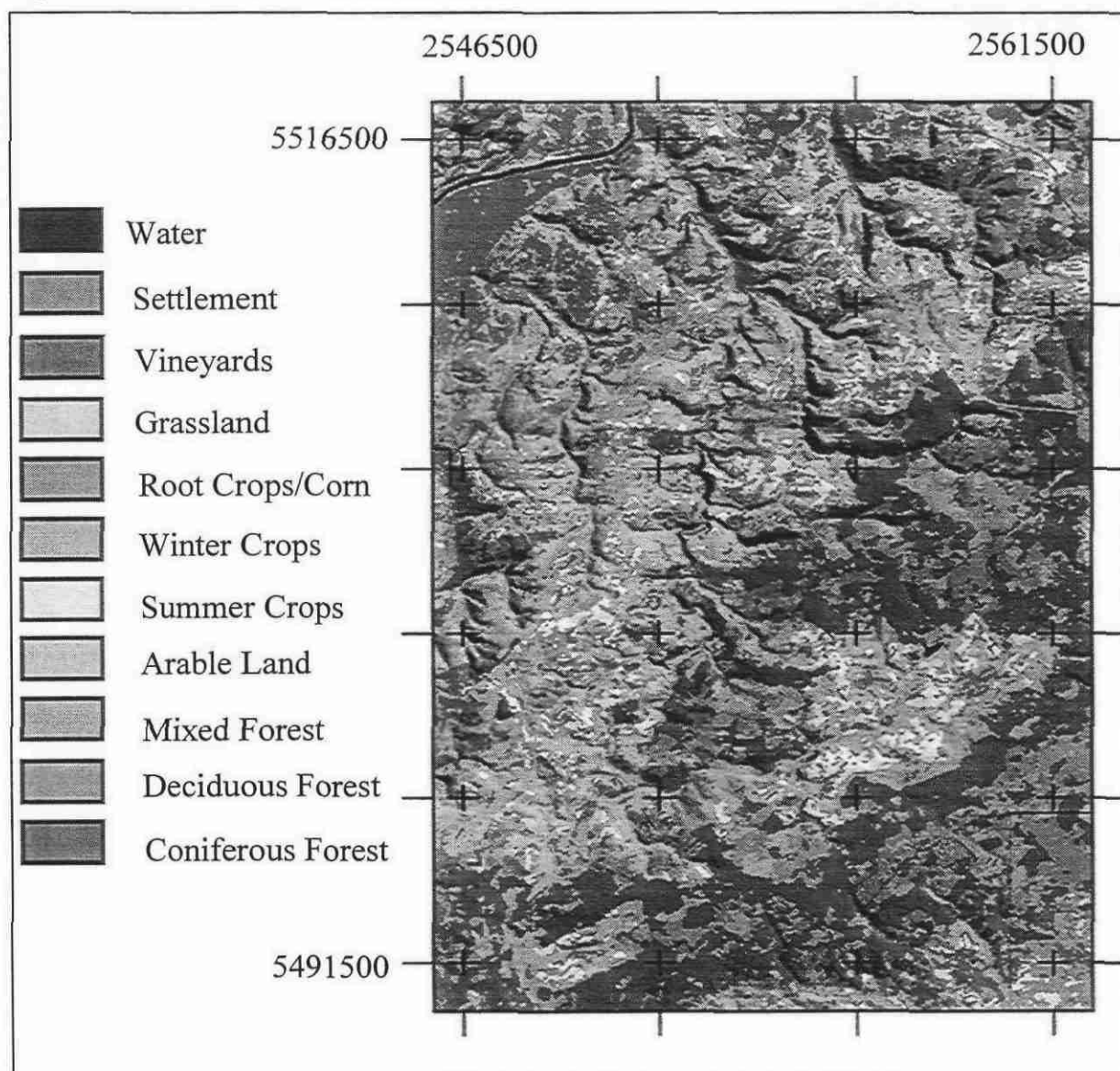


To delineate HRUs for the Ruwer basin physical data (hydrometeorological, pedological, topographical and land use information) had to be integrated in a GIS. The raster layer containing land use information was generated by a hybrid classification using a set of pre-processed Landsat-TM data (16 May, 17 June and 20 August 1989); the multi-temporal approach enabled the separation of summer crops, winter crops, root crops, vineyards,



grassland, shrubland, different forest types (coniferous, mixed and deciduous forest), water and settlement (figure 2).

Figure 2 Land Cover of the Ruwer basin



Nature-spatial units and land use were used as the main criteria for HRUs' demarcation. Water meadows, steep slopes of the sharply incised valleys of the Ruwer and its tributaries, remnants of peneplains over schists and monadnocks consisting of quartzites were considered to be hydrologically different. Apart from summer crops and root crops that were combined due to their phenological stages, all land use classes were used as input. Additionally, soil texture, depth of soil profile, slope and aspect were taken into account as hydrological relevant criteria (cf. figure 3). Figure 4 offers a view of the HRUs' distribution; for reasons of



mapping 19 classes of HRUs, that differ from each other with respect to nature spatial unit, land use and soil texture, have been formed.

Figure 3 Main characteristics of the Ruwer catchment's Hydrologic Response Units

HRU	Nature spatial unit	Landuse	Soil-type	Soil-depth	Slope [%]	Aspect	av. Elevation [m a Sl]	Area [km ²]	Precipitation station
1	-	Impervious Area	-	I	flat	-	382	14.0	Mertesdorf
2	water meadows	Fertile Plains	loam	II	flat	-	386	7.0	Oberzerf
3	Ruwer valley	Vineyards	loam	I	> 20	S	267	2.0	Mertesdorf
4	Ruwer valley	Coniferous-/ Mixed Forest	loam	I-II	> 20	N	372	11.2	Gusterath
5	Ruwer valley	Coniferous-/ Mixed Forest	loam	I-II	> 20	S	374	8.8	Gusterath
6	Ruwer valley	Deciduous Forest	loam	I-II	> 20	N	372	7.4	Gusterath
7	Ruwer valley	Deciduous Forest	loam	I-II	> 20	S	351	6.1	Gusterath
8	Ruwer valley	Grassland	loam	II	> 20	N	352	4.2	Gusterath
9	Ruwer valley	Grassland	sand	I-II	> 20	S	374	2.8	Gusterath
10	peneplain	Coniferous-/ Mixed Forest	sand	II	< 10	N	465	11.3	Greimerath
11	peneplain	Coniferous-/ Mixed Forest	sand	I-II	10-20	N	438	12.2	Greimerath
12	peneplain	Coniferous-/ Mixed Forest	loam	II	< 10	S	480	9.9	Greimerath
13	peneplain	Coniferous-/ Mixed Forest	loam	I-II	10-20	S	442	8.0	Greimerath
14	peneplain	Deciduous Forest	loam	I-II	< 20	N	441	8.9	Oberzerf
15	peneplain	Deciduous Forest	loam	I	< 20	S	452	6.4	Oberzerf
16	peneplain	Grassland	sand	II	< 20	N	427	6.0	Pellingen
17	peneplain	Grassland	sand	I-II	< 20	S	440	5.2	Oberzerf
18	peneplain	Grassland	loam	I-II	< 10	N	445	4.8	Pellingen
19	peneplain	Grassland	loam	II	10-20	N	397	4.8	Oberzerf
20	peneplain	Grassland	loam	I-II	< 20	S	434	5.3	Oberzerf
21	peneplain	Summer Crops/ Root Crops	loam	II	< 20	N	453	3.7	Pellingen
22	peneplain	Summer Crops/ Root Crops	sand	I-II	< 20	N	443	5.4	Pellingen
23	peneplain	Summer Crops/ Root Crops	sand	II	< 20	S	454	9.9	Pellingen
24	peneplain	Winter Crops	sand	I-II	< 20	N	417	6.8	Pellingen
25	peneplain	Winter Crops	sand	I-II	< 20	S	425	7.5	Pellingen
26	quartzite ridge (slope)	Coniferous-/ Mixed Forest	loam	II	< 10	N	555	9.0	Reinsfeld
27	quartzite ridge (slope)	Coniferous-/ Mixed Forest	loam	I-II	10-20	N	556	5.4	Reinsfeld
28	quartzite ridge (slope)	Coniferous-/ Mixed Forest	loam	I-II	< 20	S	552	9.5	Reinsfeld
29	quartzite ridge (slope)	Deciduous Forest	loam	I	< 20	N	558	6.8	Reinsfeld
30	quartzite ridge (crest)	Coniferous-/ Mixed Forest	loam	I	< 20	N	641	4.8	Reinsfeld
31	quartzite ridge (crest)	Coniferous-/ Mixed Forest	loam	I-II	< 20	S	641	4.8	Reinsfeld
32	quartzite ridge (crest)	Deciduous Forest	loam	I-II	< 20	N	636	5.4	Reinsfeld

soil depth: I = shallow, II = medium ; aspect: N = 270-90°, S = 90-270°

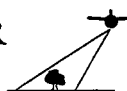
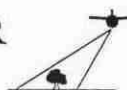
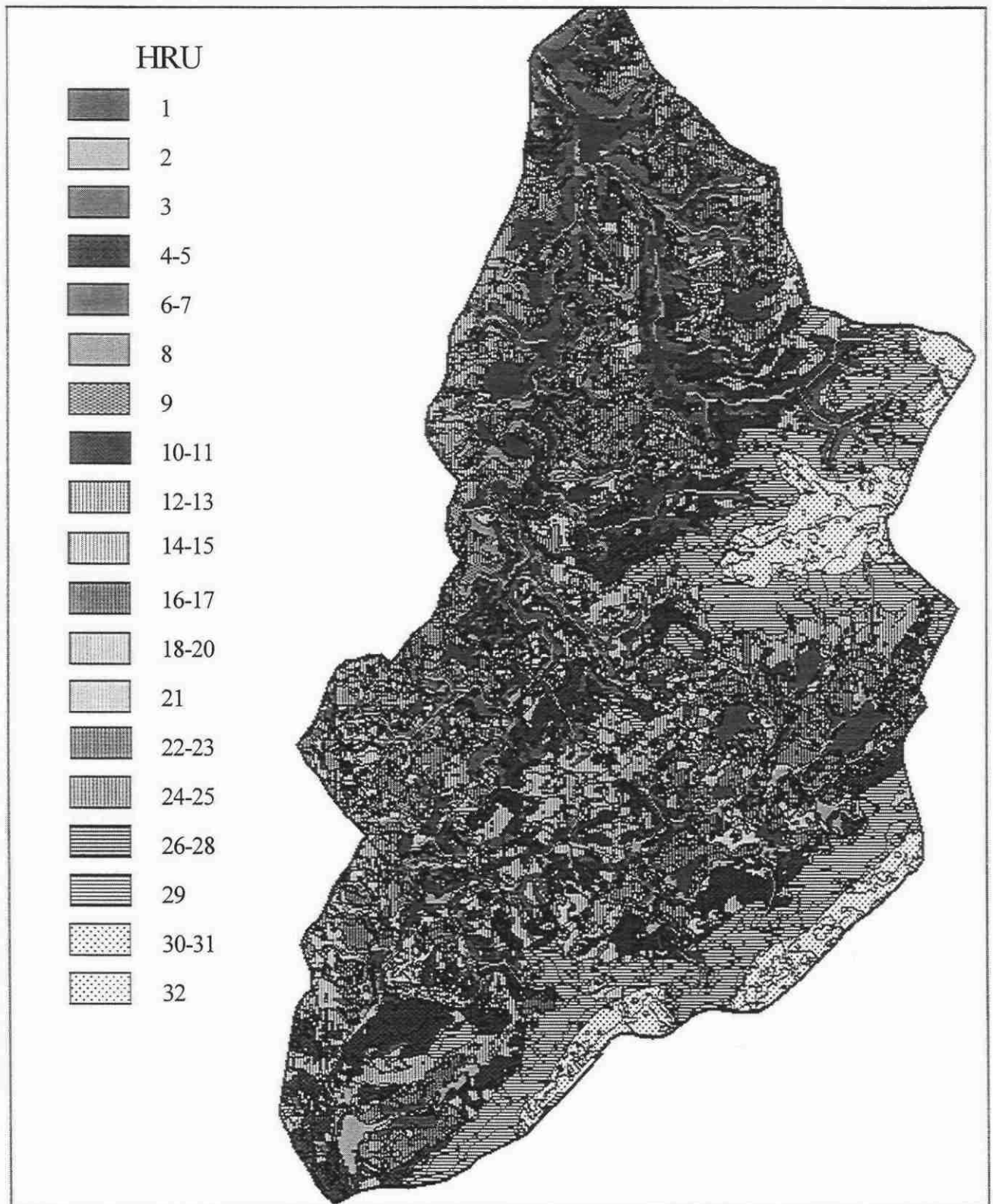


Figure 4 Distribution of HRUs in the Ruwer basin



2 Parametrizing PRMS

The parameter control file for PRMS/MMS contains basin- and HRU-specific parameters that are either to be derived by GIS analysis or to be set afterwards with reference to the HRU's physiographic properties. The basic concept of parametrization is to achieve the best possible fit between observed and predicted flows by setting physically realistic values.

Different vegetation types are to be parametrized specifically to model plausible amounts of interception and evapotranspiration and to realistically estimate soil water fluxes. In fact the input of seven land use classes was used to define different seasonal densities of ground coverage, interception capacities and rooting depths.

As mentioned above the different nature-spatial units were used as main criterion for HRUs' delineation. As a consequence the specific dynamics of subsurface flow and groundwater recharging could be taken into account when parametrizing the different water reservoirs:

- In case of almost impermeable Devonian shale forming the subsoil deep percolation can be neglected. On the other hand, the deep fracture of the quartzitic bedrock zone enables the deep groundwater reservoir to be reached by about 20% of the mean annual precipitation.
- In the Ruwer valley - wherever it is characterized by steep slopes and shallow soils - subsurface flow is supposed to be the predominant water flux.
- In the meadows located in the valley's bottom ground water is recharged by percolation from the lower soil zone and by subsurface flow of the adjacent slopes. Almost 100% of the area is defined as "variable source area", where surface runoff is considered to occur during extreme storm events.

3 Results of PRMS (daily mode) for the Ruwer basin

The first PRMS simulation was run for the period from Nov.1988 until Oct.1989. Figure 5 summarizes the monthly amounts of the observed and predicted discharges as well as the simulated flow components (Gwflow: groundwater flow; Ssflow: subsurface flow; Sroff: surface runoff) at the Kasel gauge. Figure 6 illustrates the Ruwer's hydrograph as simulated in the daily mode.

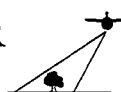
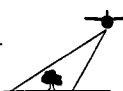
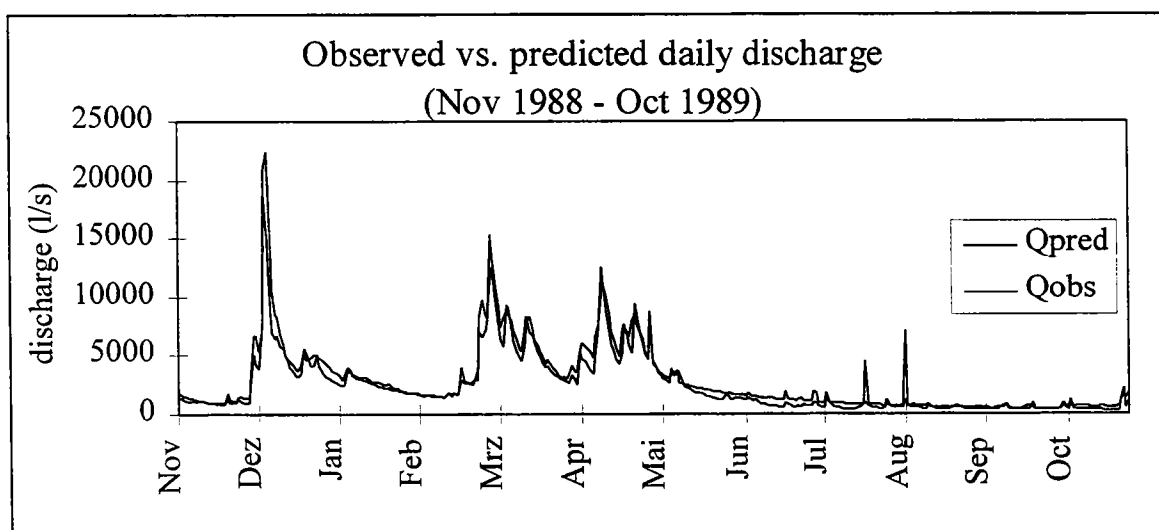


Figure 5 Simulated monthly amounts [mm] for the main water balance quantities in the Ruwer basin

<i>Year</i>	<i>Month</i>	<i>Precipitation</i>	<i>Snowmelt</i>	<i>Gwflow</i>	<i>Ssflow</i>	<i>Sroff</i>	<i>Qpred</i>	<i>Qobs</i>
1988	Nov	55.6	24.1	8.9	6.4	1.3	16.5	15.1
1988	Dec	99.6	5.6	21.6	49.8	4.1	75.4	68.3
1989	Jan	27.7	0	22.6	6.4	0.3	29.2	31.6
1989	Feb	81.0	0.5	16.8	11.9	2.5	31.2	29.0
1989	Mar	101.3	0	28.7	40.6	2.8	72.1	76.2
1989	Apr	146.1	3.6	27.9	34.3	4.8	67.1	75.1
1989	May	43.7	0	24.6	6.1	0.8	31.5	28.7
1989	Jun	59.9	0	15.2	0.3	0.5	16.0	10.2
1989	Jul	72.4	0	10.4	0	2.5	12.9	8.1
1989	Aug	55.4	0	7.1	0	2.5	9.7	6.8
1989	Sep	42.4	0	5.1	0	0.5	5.6	5.7
1989	Oct	80.5	0	4.1	0	2.0	6.1	8.4

Figure 6 Simulated daily amounts (streamflow resp. different flow components)



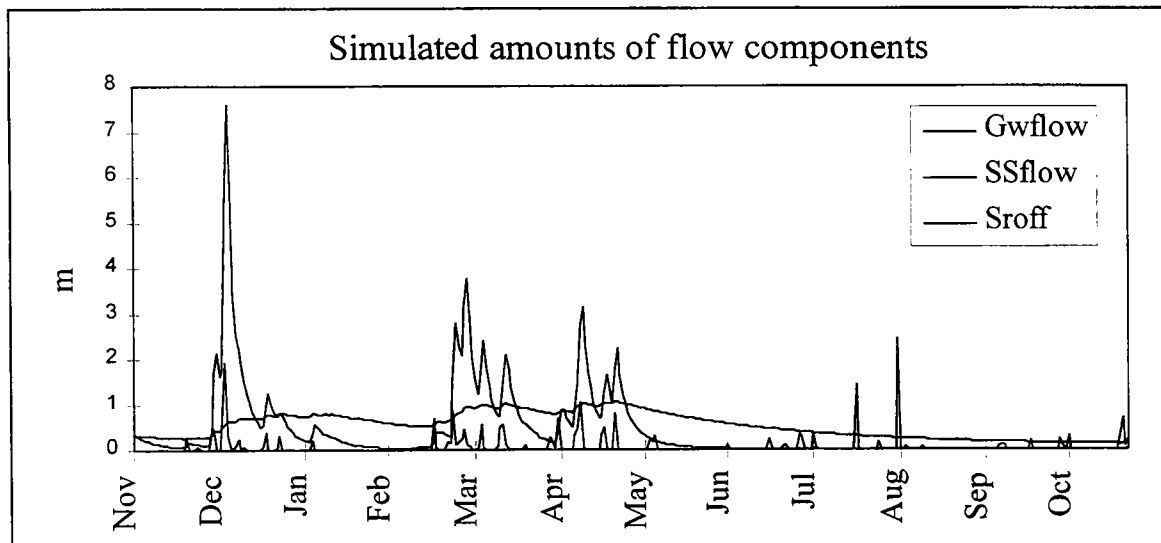
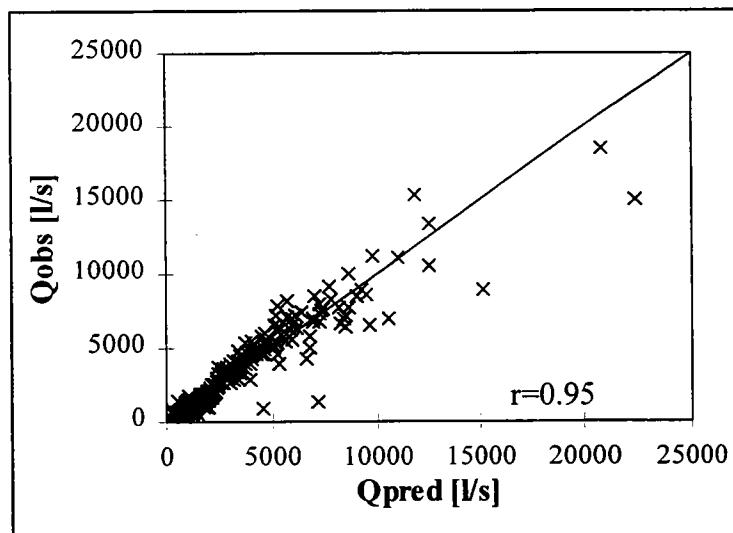
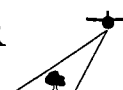


Figure 7 Correlation between predicted and observed daily discharges (Nov.'88 - Oct.'89)



Assuming that the simulated results provide a realistic approximation the following, yet preliminary, conclusions may be drawn:

- ⇒ Floods are not caused by surface runoff that is expected to be generated by impervious areas or precipitation amounts exceeding soils' maximum infiltration capacity. On the other hand, small peaks of discharge during summer months can be explained by the fast reaction of impervious areas to convectional precipitation.
- ⇒ In case of soil water content reaching its saturation capacity subsurface flow will occur and possibly generate high peaks of discharge. Therefore the subsurface flow is to be considered as the critical flow component for generating floods in the winter, whereas it doesn't play any role in summer.



⇒ The groundwater flow (base flow) highly contributes to streamflow during the whole year.

The hydrological behaviour of some selected HRUs is illustrated in figure 8 (a-e).

In figure 8a - representing impervious areas - the dominance of surface runoff is obvious. The groundwater flow is the predominant flow component for Ruwer's water meadows (HRU2; fig. 8b), whereas the surface runoff is very low but still higher than for HRU 3, 6, 8 or 32 (vineyard, deciduous forest, grassland; figure 8c-f).

As to be seen from figure 8c the main flow component in the vineyards (with steep slopes and shallow soils) is made up by precipitation routed by the subsurface reservoir and reaching the aquifer rapidly. The figures 8d and 8e illustrate the different water fluxes for deciduous forest and grassland: The groundwater flow plays an important role during the whole year; only in January and during the melting period subsurface flow - caused by water-saturated soils and high precipitation amounts - becomes dominating. A closer look shows a higher share of quickflow components (Sroff and SSR) for the grassland areas.

Representing the forested areas of the quartzite ridges figure 8f illustrates the predominant role of the groundwater flow; surface runoff does not occur and subsurface flow is restricted to the winter months.

Figure 8 Simulated flow components for selected HRUs (Nov. 1988 – Oct. 1989)

Figure 8a HRU 1 - impervious area

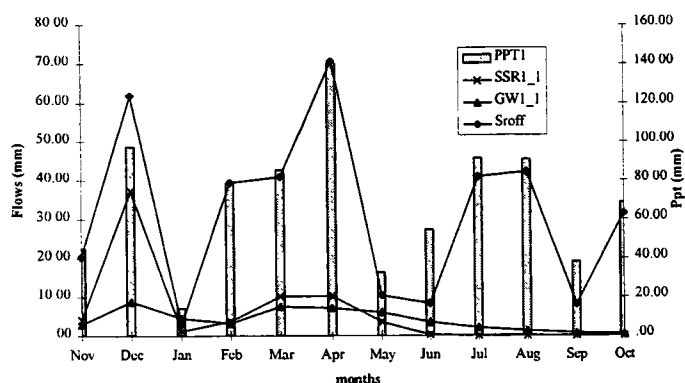


Figure 8b HRU 2 -water meadows

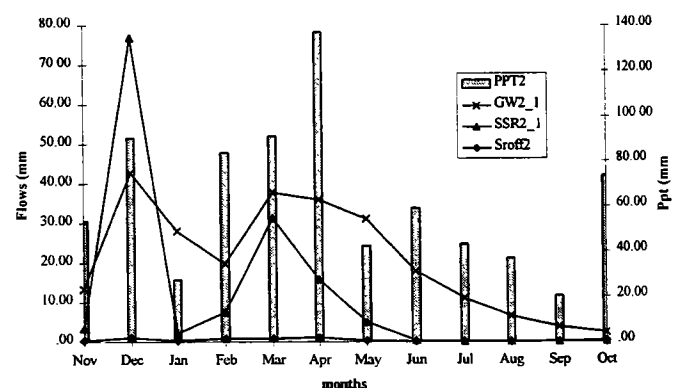


Figure 8c HRU 3 - vineyards

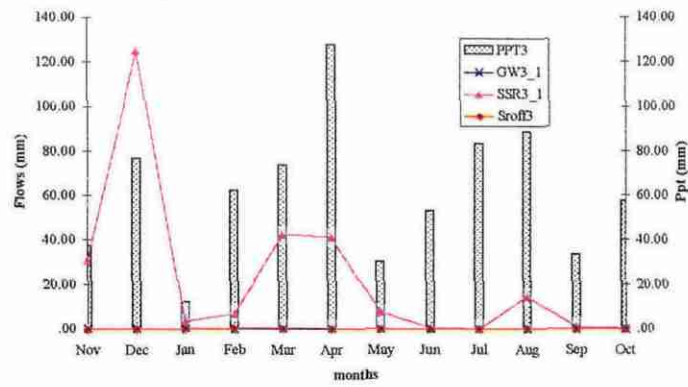


Figure 8d HRU 6 - deciduous forest

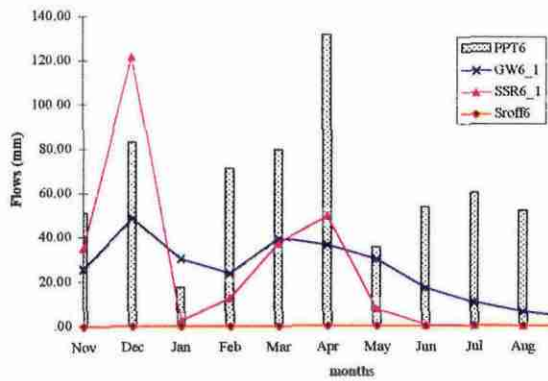


Figure 8e HRU 8 - grassland

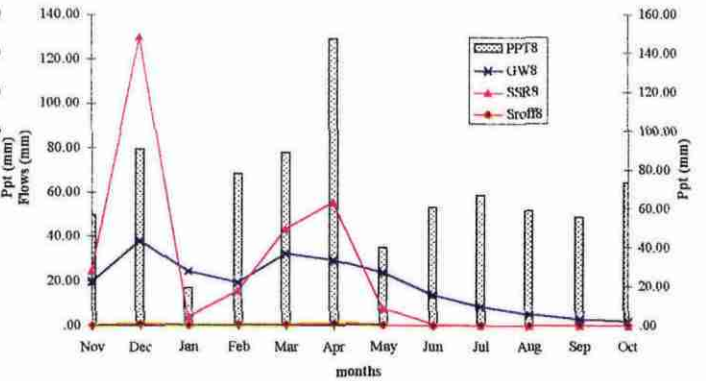


Figure 8f HRU 32 - deciduous forest (quartzite ridge)

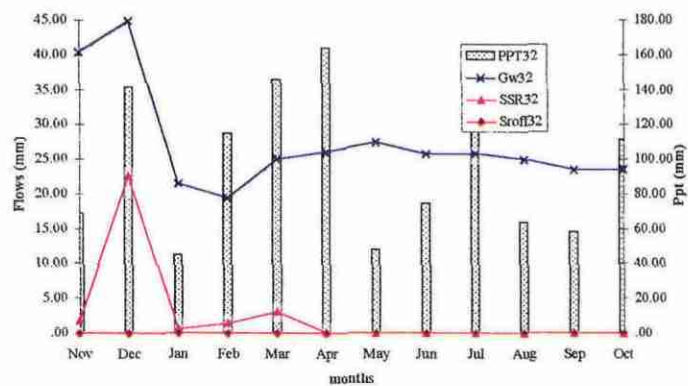


Figure 9 Risk categories for flood-generation (nature-spatial unit: Ruwer valley)

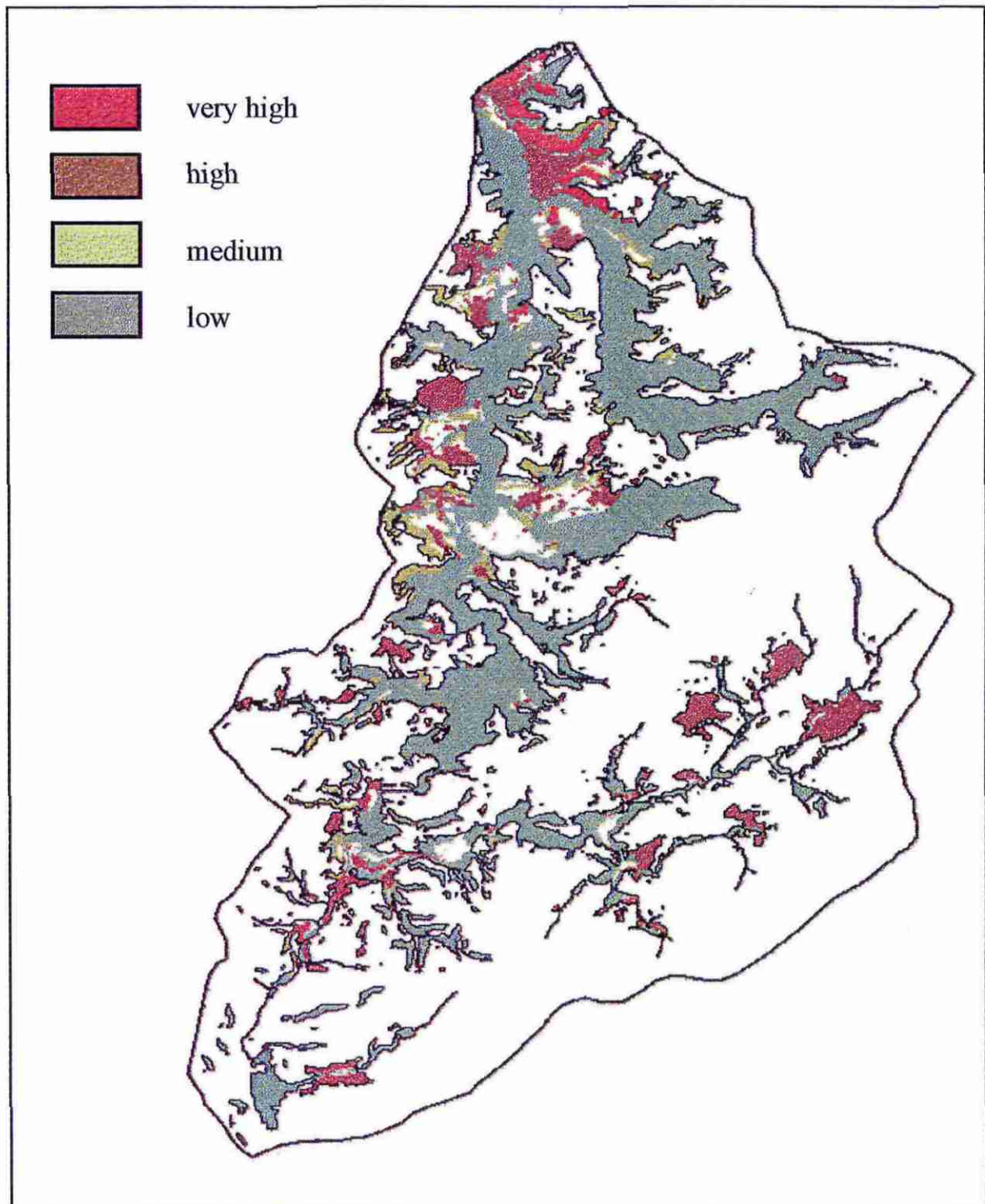


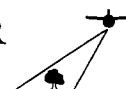
Figure 9 offers a first idea of the possible output of hydrological modelling for “risk mapping”.

For this map quotients of quick flow components (that have been shown to cause floods) and base flow have been calculated for Ruwer valley’s HRUs. In the simulation period vineyards and impervious areas are characterized by quotients larger than 10 in nearly all months. Because of extreme values (larger than 100 in some months) the vineyards have been classed with a very high risk, whereas the impervious areas have been attributed a high risk category. For forested HRUs and Ruwer’s water meadows mean yearly quotients lower than 1 have been calculated (low risk), for grassland (HRU 8 and 9) mean quotients of 1.32 and 1.68 have resulted in a medium risk category.

4 Next steps

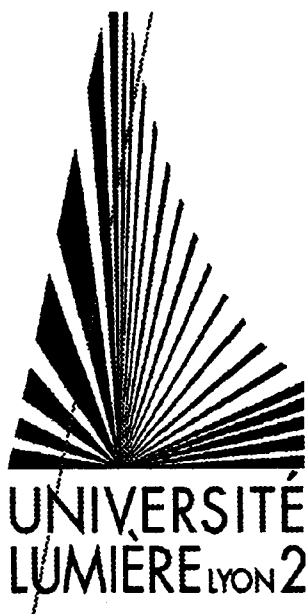
After further validation and possibly modification of the first simulation results the following steps could take place:

- ⇒ sensitivity analysis for testing the model’s reaction e.g. to varying land use parameters
- ⇒ application of the daily mode to classify “risk categories“ for the entire catchment area
- ⇒ running the model for additional observation periods (“multi-temporal approach“)
- ⇒ building scenarios e.g. for evaluating hypothetical land use changes
- ⇒ enlargening the number of HRUs by classifying the physical data input in a more detailed way
- ⇒ improvement of the parameters derived from satellite data (e.g. by adding additional TM scenes to the multi-temporal data set); application of alternative image analysis techniques (e.g. Spectral Mixture Analysis) for deriving input parameters



Annexe 8. Rapport intermédiaire de U-Lyon2

Rapport d'avancement - Progress report
Pierre CLEMENT - Annabelle BOFFET - Jérémie MAJEROWICZ
(Université Lyon 2)

**FLOODGEN****CEE-CEO**

**FLOOD risk reduction by spaceborne recognition
of indicators of excess runoff GENerating areas**

Programme CEE-CEO

Ref ENV 4-CT96-0368

Partenaires :
BRGM , INRA, Université Lumière Lyon2, Université de Trier, CARTEL,
ERSAL, DRAF Haute Normandie

Rencontre de Trier – Trier meeting
Rapport d'avancement – Progress report

Pierre Clément – Annabelle Boffet – Jérémie Majerowicz
(Université Lumière Lyon2)

1. Summary

1.1. Objectives and context

Mapping of potential areas of surficial overflow according to their soil surface characteristics (crusting sensitivity, impermeability, structural stability and roughness) and their vegetation cover (according to land use). The chosen area is the Solnan watershed (Bresse, France) which is representative of piedmont regions with the following characteristics : soft bedrock and silty to clayey soils ; semi-continental climate ; mixed farming ; small towns.

The second is to test a runoff model which can simulate the hydrological responses as they have been observed in the following example and simulate also the effects of land use or agricultural practices changes.

1.2. Progress and preliminary conclusions

Satellite imagery (SPOT data from 1992 and 1997) have been processed and some maps of land use (winter and summer 1997) produced. Climatic and hydrological data are under numerical processing. Soil characteristics have been analysed ; a qualitative model has been verified for silty and clayey texture distribution in the catchment. Criteria for subwatershed conditions have been established in order to select the examples in which the surficial runoff model will be tested.

2. Introduction

2.1. Summary of geographical conditions in the Solnan watershed (figures 1, 2, 3 ; tables 1, 2)

The Solnan River flows northward to the Seille, one of the affluents of the Saône. Its valley is incised in the Jura piedmont and follows the front of this range. The amount of incision in the so-called Bresse marls is between 30 and 40 m. These pliocene sediments include in fact several facies : usually marls, clays and silts in lateral and vertical sequences including some sandy lenses, thicker sands such as the « sables de Condal » in the northern part of the watershed. They are covered by the « complexe de couverture » which includes coarser grain sizes close to the Jura and in the southern part of the basin ; however weathering of the previously described facies results in silty, finely sandy or clayey textures. Periglacial processes are responsible for the mixed colluvial deposits on the slopes. Holocene fluvial deposits have the same sandy to clayey textures and are thus finer than the underlying gravels of the weichselian period.

Table 1 : Main characteristics of the Solnan watershed.

Total area

Area under hydrological study □ km² □ 171

155 □ Drainage density □ n. km⁻² □ 3 □ Length □ km □ 42 □ Mean slope □ m.m⁻¹ □ 0,013 □ Mean altitude

Elevation range □ m □ 270

681 - 189 □ Lemniscate index □ □ 0,82 □ □

Hydrological conditions

Present river base flow results mainly from karstic springs at the Jura limit and far less from lateral slope contributions. Fluvial regime is pluvial to pluvio-nival with maxima between November and April. The only permanent gaging station is unfortunately close to the main spring at Verjon and does not give any useful information about surficial runoff (mean discharges between 0,2 et 1,5 m³/s ; extremes between 0,06 and 3,09 m³/s). Discharge estimates for return periods of 1, 10 and 100 years are 5,7, 35 and 56 m³/s for the downstream reaches (SCETAUROUTE, 1991). Two other gaging sites are exploited since the beginning of the A39 motorway construction ; they are located in the lower reaches. One of them, at Varignolle, is run by our lab since 1994 and corresponds to a drainage area of 155 km². Our observations show maximal discharges over 20 m³/s.

Present flooding conditions in the main valley

Flooding occurs mainly in winter and early spring after several raining periods or during snowmelt combined with rain, thus in saturated or almost saturated conditions ; late spring and summer storms trigger shorter floods which can cause some damage.

Width of floodable alluvial floors varies between 0,5 and 1 km on the main trunk. Traditional land use used to keep them as pastures ; no permanent dwelling houses were there except mills. Present settlement is more diversified : camping sites, main or second homes in former mills. The A 39 motorway crosses the valley in its lower part.

Equilibrium of the river bed is controlled by a sequence of artificial weirs which divide the long profile into different reaches. The most influent control belongs to 18 ancient water-mills whose spacing is fairly regular (between 2 et 2,6 km). Their headraces are usually located on valley sides ; levees are often higher than the alluvial floor which can be inundated by ordinary floods, specially when mills are located at valley narrows (8 out of the 12 remaining sites). The tail race reaches are entrenched (1 to 3 m) so that drainage is faster in the adjoining banks which allows fields to be cultivated.

However, according to previous studies (SOGREAH, 1984), flooding is more frequent than formerly because of gate obstructions at mill sites which are no longer under constant watch. River flow can be dammed by bank sapping and collapsing. On the other hand, bed cleaning, such as in the downstream part of the Solnan which was made in order to prevent local flooding, can accelerate flood propagation towards the lower reaches.

Relations between slope surface conditions and surficial runoff

Surficial runoff and erosion due to soil crusting have been observed at various seasons. During autumn and winter, when low intensity rain is dominant, these processes are explained by the dense soil packing made by machinery even if stubbles are left or even buried ; flow conveyance is accelerated by furrows with the field slope. Crust strength and impermeability can be increased by algae growth made easier by fertilizer spreading. During the warm season, crusting can occur before spring crop cover becomes sufficient (from April to July) and is linked to higher intensity precipitation (table 2) ; intensity up to 150 mm.h⁻¹ was recorded in this region (F. MIZRAHI, pers. communic).

Table 2 : Return periods of maximal daily precipitation (mm) at various meteorological stations in the watershed or in the vicinity. Salavre (since 1959 ; Météo-France) ; other stations (1975-1994 ; according to F. MIZRAHI)

□ INCORPORER MSWorks.Sheet.3 □ □ □

According to a recent report (CEMAGREF, LaMP, 1996), maximal daily precipitations are mainly dependent on distance from humidity sources and not altitude at lower elevations such as the neighbouring Bas Dauphiné. In such conditions maximal hourly precipitations with a return period of 10 y are between 25 and 40 mm.

A former study (CLEMENT, et al., 1996 ; GAILLOT, 1995) on runoff and soil erosion intensity shows that surficial overflow and related soil erosion are mainly influenced by human works such as ditch cleaning in cultivated areas as well as in wooded ones or agricultural practices. Winter soil ablation depends on intercultural surface conditions, specially on ploughing date and stubble presence. Spring erosion is more important if bare soil conditions are combined with rainstorms of high intensity, specially before the start of strong evapotranspiration season. Some areas exhibit cultivated fields adjoining brook and river channel without vegetated buffering strips.

Any transformation of local conditions can destabilize the present equilibrium if the former controlling system on river flow becomes inadequate, specially in case of its deterioration. It can originate from increase of surficial or throughflow runoff on the slopes induced by land use modification from the former agricultural practices. The development of maize cultivation or other poorly covering crops, abuse of fertilizers and pesticides and heavy machinery utilization are among the usual triggering factors ; others could be the development of non-agricultural activities linked with the motorway opening in 1998. It should be noted however that the construction of the latter was operated with adequate erosion control measures on the works.

3. Completed work (fig. 4 to 9 ; tables 3,4)

1. Data acquisition and processing

Since the last meeting in Milan, we have improved our data base in several aspects :

1.1. Mapping of watershed topographical features :

Elevation and watershed delimitation. We are not wholly satisfied with the last function in the program we used since some limits are within coherent subwatersheds. However small closed ones are correctly defined in the karstic zone close to the Jura.

Slope aspect. Most of the slopes are orientated according to the general flowing direction to the north.

Slope angles. We used a multiple criteria classification : first we examined the statistical distribution by using a squer root probability model which showed breaks around 25° and 35 ° which concerns the Jura slopes ; this is the reason why we excluded the area above 350 m, a rough limit of the mountainous section. Then we cut the distribution at 18°, 11° and 8° ; the first value is close to the threshold slope angles observed in sandy material, the others in clays. As for the lower angles, class limits follow the ordinary progression used in agriculture (1° - 2° - 4° - 8°). Maps clearly exhibit the floodable areas in the main valley and affluents and the ubiquitous presence of the classes between 2 and 8° ; these are close to the principal drainage axes down to the confluence with the Sevron.

1.2. SPOT imagery and land use classification

We purchased an image of september 1997 since no one was available for late Spring and early Summer. One of the problems which we meet in our area is the scarcity of satisfactory images from SPOT Image. An other one is some lack in date adequacy with agricultural practices and calendar. For instance a September image is not adequate in representing full vegetation cover in the watershed since numerous fields were already cropped. We had to combine field surveys in late spring and autumn with aerial photo interpretation since we were fortunate enough to get a July survey this last year.

Land use in 1997 is known from the field surveys previously mentioned. They were made on 9 test sites according to the same procedure : description of soil surface conditions and cover according to the INRA forms. We are consulting the local DRAF for better understanding of agricultural practices as used since the beginning of the 90's.

This knowledge allowed us to process the satellite data in order to get land use classification . This classification is a simplified one as required by the FLOODGEN purpose of dealing with surficial runoff from uncovered or poorly covered areas. Thus mainly bare soil and partially covered surfaces are discriminated from fully protected ones (i.e permanent ones such as forest and pastures on one hand and seasonal covers due to mature crops on the other). We used 2 kinds of approach which is illustrated here by the example of February 1997 ; the same method is under processing for the other images which are also georeferenced to the local maps. No additionnal radiometrix correction was used since differences in elevation are usually less than 50 m and slope expositions are seldom to the north.

a supervised classification (fig. 4) in which we used our field survey knowledge to infer the soil cover conditions at the time of the image acquisition. 3 classes were defined : bare soil, forest and other vegetation cover.

a non-supervised classification (fig. 5) from pixel histogram distributions (isodata method). Class names were chosen according to radiometric response and terrain experience. The distinction between forest types reflects relative densities of evergreen and broad-leaf trees in winter.

The superposition of both maps (fig. 6) shows that some confusion may arise from local border effects specially on unleaved wooded areas in winter. However these confusions deal with a small part of the delimited areas. The confusion matrix between reference data from the 9 test sites and the supervised classification shows on these sites that 88% of the bare soil surfaces are correctly recognized, 11,5 % are confused with grass covered areas -probably partially revegetated - and less than 1% is confused with woods.

The cross tabulation between both classification (table 3) is less satisfactory but it should be mentioned again that in the supervised one bare areas were often infered from their surface conditions in spring according to the crops which they bear at that time. We supposed that fields with spring cereals (maize, wheat ...) were coverless in February and that those with winter cereals had a partial cover (pinkish tones on the false colour image). The first assumption is not totally true since some growth of weeds or intercultural fodder plants might have taken place due to mild winter conditions, specially on favorable exposures. Bare soil estimation is probably overrated in the supervised classification.

Table 3a : Comparison between cover classifications (reference : supervised)
 Class name (supervised) □ Class name (non-supervised) □ % □ □ Bare soil □ Bare soil

Partial cover

Important cover

Forest □ 31,4

44,3

8,1

15,5 □ □ Forest □ Bare soil

Partial cover

Important cover

Forest □ 0,0

0,5

0,0

99,5 □ □ Other vegetated areas □ Bare soil

Partial cover

Important cover

Forest □ 0,8

9,6

51,4
 39□□

Table 3b : Comparison between cover classifications in percentage (reference : non-supervised)

Class name

S.C. □ Bare soil

□ Partial cover

□ Important cover □ Full cover

□ Forest 1 □ Forest 2

□ □ Bare soil □ 100,0 □ 82,0 □ 13,9 □ 1,9 □ 2,2 □ 27,1 □ □ Forest □ 0,0 □ 0,8 □ 0,0 □ 0,0 □ 97,8 □ 72,9 □ □ Other
 veget. □ 0,0 □ 17,3 □ 86,1 □ 98,1 □ 0,0 □ 0,0 □ □

Soil surface conditions depend evidently on climatic winter conditions such as in February- March 1998. Due to dry conditions (first with cold temperatures, then with warm days), soils were ploughable by the middle of February and winter cereals or cabbage have grown more than usually. Farmers were ploughing accordingly in many places. We may expect that roughness and surface humidity were not very different in the same pedological environments before raining.

2. Soil characterization

2.1. Data

According to a former study on Bresse soils (CDA 01), crusting soils are located rather on slope higher segments (« limons des plateaux » or plateau silts on top of silty clays) whereas the intermediate and lower ones bear more clayey textures (clayey silt) or even clays in valley floors. On Jura footslopes coarser textures can be found and are linked to former alluvial and colluvial sedimentation.

We used the data from this report in order to relate some observed properties to textural variables. According to several analysis of variance (ANOVA), differences in crusting sensitivity are significantly linked to the following variables : CRATIO ([sand + silt]/clay), clay content, the silt/clay ratio and organic matter content. These parameters were accordingly used to separate soils sensitive to crusting from the other ones in our own ancillary data base (34 samples from the 9 test sites). The same procedure was applied to structure stability for which the significant parameters are high clay content (>25% if stable), CRATIO (<3) and the silt/clay ratio (<2).

2.1. Spatial differentiation

A principal component analysis was then performed in which the first 3 components account for 72% of the variance. The 1st one distinguishes silty or clayey samples with high organic content from sandy textures ; the 2nd one separates higher slope segments from the lower ; the 3rd one silty textures from clayey ones associated with high organic content. The last one is thus the most appropriate in discriminating crusting soils.

Graphs of observation loadings link crusting soils -as determined by the criteria mentioned above- to these components (fig. 7, 8). It appears from loadings on axes 1 and 3 or 2 and 3 that their preferential location is rather on higher slopes segments but not exclusively. The opposite observation can be made for stable structured soils.

It should be mentioned that most of the samples have similar textural characteristics according to distance coefficients determined from axes 1 and 3 loadings. However, as previously noticed, some areas have preferentially different textures . The coarser ones are either located close to the Sables de Condal exposures in the northern part of the watershed or to the Jura footslopes (Coligny and Balanod area). The finer ones are in the southern part (St Germain and Treffort areas). This last observation is confirmed by some ANOVA where the southern samples have significantly lower sand and silt contents.

Consequently we can use the following model of soil distribution according to topography, hydrography and vegetation cover (fig. 9)

4. Next objectives

Next steps are :

1. Processing of the other images according to the same procedures. Multidate comparison will be possible in order to estimate the land use modification between 1992 and 1997-98. This comparison will be checked with land use data from the DDAF which are established according to administrative circonscriptions and with other map documents if they are available from the Observatoire de l'Environnement et des Effets Economiques de l'Autoroute A39. We shall also establish an agricultural calendar combined with time distribution of precipitations in order to determine the periods which are the most sensitive to overflow.

2. Hydrological characterization of the catchment from selected hydrographs. Hydrograph analysis is under complete processing in order to obtain correlations between daily precipitation and direct runoff discharges and volumes according to season, antecedent precipitations and agricultural calendar. Due to the impervious nature of soils and substratum rising limbs of flood hydrographs are rather steep and short (between 6 and 12 h) ; they show quite clearly surficial runoff components.

3. Determination of 2 subwatersheds for STREAM runoff model utilization. Validation of a runoff model using the soil surface conditions at the watershed scale could be done therefore by comparing its results with the real hydrological response of the watershed. It could appear that separation between surficial hortonian runoff from other forms will be impossible in some situations such as during the cold season. A model such as STREAM can be applied at the subwatershed scale in order to locate areas of high hortonian runoff potential and simulate the effects of control measures. We have to include several criteria in this choice : adequate size (less than 250 ha) ; slope distribution close to those of the whole watershed outside the jurassian part.

soil characteristics and vegetation distribution following the patterns previously described. - closeness to operating meteorological stations.

4. Mapping of soil sensitivity to overflow for the whole watershed by using the acquired spatial information (slope angle, relevant soil characteristics, vegetation cover on a seasonal basis) ; this information will be stored in a GIS at the 1 :25000 or 1 :50000 scale. This information can be used by regional agricultural administration (DDAF) and municipalities.

APPENDIX

Table 1: Main characteristics of the Solnan watershed.

Total area	km ²	171
Area under hydrological study	km ²	155
Length	km	42
Mean altitude	m	270
Elevation range	m	681 - 189
Drainage density	n. km ⁻²	3
Mean slope	m.m ⁻¹	0,013
Lemniscate index		0,82

Table 2: Acquired data

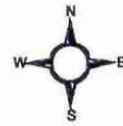
Sources	Type	Processing	Parameters
IGN	BD carto DEM	Arc Info	elevation orientation slope angle cultural features
IGN	1:25000 topographical maps	idem	
Météo-France	daily data since 1959, 1973 and 1976	statistical analysis	precipitations
BRGM	1:50000 geological map	Arc Info	bedrock type
CDA 01	soil report	statistical analysis	textural impermeability crusting sensitivity
LGR Lyon 2	soil analysis	statistical analysis	idem
LGR Lyon 2	flood hydrograms since 1994	statistical analysis	surficial runoff discharge
IGN	aerial photos 1997	visual interpretation	land use; field delimitation
SPOT IMAGE	satellite imagery feb. and may 1992 feb. and sept. 1997	ERDAS	vegetation cover

Table 2b: Comparison between cover classifications (reference: non-supervised)

Class name	Non-supervised classification					
S.C.	Bare	Partial	Important	Full	Forest 1	Forest 2
Bare	100,0	82,0	13,9	1,9	2,2	27,1
Forest	0,0	0,8	0,0	0,0	97,8	72,9
Other veg.	0,0	17,3	86,1	98,1	0,0	0,0

PENTES DES VERSANTS D'ALTITUDE INFÉRIEURE A 350 m

bassin versant du Solnan



zones supérieures à 350 m

- de 0 à 1
- de 1.1 à 2
- de 2.1 à 4
- de 4.1 à 8
- de 8.1 à 11
- de 11.1 à 25
- supérieure à 25 degrés

0 1 2 3 4 Kilometers

Source : I.G.N., M.N.T. au pas de 50 m

Annexe 9 : Rapport bibliographique sur les radars BRGM

CEO
PROGRAMME

DOCUMENT PUBLIC

*Synthèse des propriétés de rétrodiffusion radar
de surfaces naturelles
favorables au ruissellement*

Janvier 1998
Rapport FLOODGEN C011
Rapport BRGM R39912





CEO
PROGRAMME

DOCUMENT PUBLIC

*Synthèse des propriétés de rétrodiffusion radar
de surfaces naturelles
favorables au ruissellement*

Agnès Remond

Janvier 1998
Rapport FLOODGEN C011
Rapport BRGM R39912



Avant -Propos

Le projet FLOODGEN est un projet européen soutenu par le programme CEO (Center of Earth Observation) du pôle "Environnement et Climat". Il vise à fournir aux gestionnaires du territoire agricole des outils d'observation et de simulation des phénomènes hydrologiques influencés par les pratiques agricoles. Les outils satellitaires constituent la première technique d'observation de la Terre de ce projet. Dans ce cadre, l'expérience de plusieurs années sur l'utilisation des données optique et infra-rouge a abouti à une méthode de reconnaissance et de classification des surfaces agricoles.

Les données radar plus récentes et de fonctionnement différent peuvent en théorie permettre de caractériser les surfaces agricoles de façon complémentaire. Ainsi, l'humidité et la rugosité des surfaces agricoles sont deux paramètres liés aux pratiques culturales et facteurs du ruissellement. Ils sont aussi deux facteurs importants de la rétrodiffusion radar. C'est pourquoi un module spécifique de recherche a été intégré au projet FLOODGEN (Module C). Celui-ci doit permettre d'étudier en quoi les données satellitaires radar peuvent fournir une description intéressante des états de surface des parcelles agricoles.

La première analyse de ce module est une revue bibliographique, résumée dans ce rapport de synthèse. Elle tente de regrouper les connaissances actuelles sur les possibilités des données radar à caractériser les états de surface. Ce rapport est le premier rapport d'avancement du module C. Il doit aboutir à la mise en place d'une démarche de travail, commune à tous les sites d'études, concernant l'acquisition, le traitement et l'analyse des données de terrain et des données satellitaires.

Tables des Matières

Avant -Propos	3
1.Introduction	6
1.1 Télédétection et modélisation du ruissellement.....	6
1.2 Objectifs.....	7
2. Principe de la mesure radar	8
2.1 Les micro-ondes.....	8
2.2 Modes d'acquisition	9
2.3. Fonctionnement et géométrie des capteurs SLAR.....	10
2.4. Coefficient de rétrodiffusion.....	11
2.5 Conclusion : Images SAR.....	13
3. Description électromagnétique d'une surface naturelle.....	14
3.1 Propriétés diélectriques et humidité.....	14
3.2 Propriétés géométriques et rugosité.....	15
3.2.1 Paramètres aléatoires, isotropes	15
3.2.2 Paramètres linéaires et périodiques.....	15
3.3 Conclusion : Paramètres électromagnétiques d'états de surface	20
4. Mesure des paramètres d'états de surface pour une étude de la rétrodiffusion	21
4.1 Mesure de l'humidite.....	21
a - Méthode gravimétrique.....	21
b - TDR (Time Domain Reflectometry)	22
4.2 Mesure de la rugosité.....	22
a - Rugosimètre à aiguilles.....	23
b- Rugosimètre photographique.....	23
c - Méthode de la chaînette	24
4.3 Conclusion : méthodes utilisées.....	25
5. Influence des états de surface sur la rétrodiffusion.....	27
5.1 Humidité	27
5.2. Rugosité	29
a - Rugosite aléatoire et isotrope.....	30
5.3 Résidus de culture.....	32
5.4 Conclusion : Choix des analyses	33
6. Synthèse pour les besoins de l'étude	34
6.1 Rappel des objectifs.....	34
6.2 Acquisitions des données.....	34
a - Campagnes de terrain.....	34
b - Acquisitions radar	36
6.3 Analyses.....	37
7. Conclusion	38
Bibliographie.....	39

Liste des figures

- Fig. 2.1 - Les bandes de fréquences dans les micro-ondes
Fig. 2.2 - Polarisation des champs d'une onde électromagnétique
Fig. 2.3 - principe des capteurs radar
Fig. 2.4 - Géométrie des capteurs SLAR
Fig. 2.5 - Paramètres d'une acquisition SLAR
Fig. 2.6 - Phénomènes de diffusion et de pénétration de l'onde radar
Fig. 3.1 - Relation entre la constante diélectrique et l'humidité volumique pour diverses fréquences
Fig. 3.2 - Coupe transversale d'une surface. Distribution des hauteurs
Fig. 3.3 - Surface quasi-périodique d'une parcelle agricole
Fig. 3.4 - Géométrie de visée d'une aire élémentaire d'une surface périodique
Fig. 3.5 - Ecart-type des hauteurs et période d'une surface agricole périodique
Fig. 4.1 - Instrument utilisant la méthode TDR
Fig. 4.2 - Rugosimètre à aiguilles
Fig. 4.3 - Principe d'acquisition de la mesure de rugosité par le rugosimètre du CCRS
Fig. 4.4 - Cliché photographique obtenu par le rugosimètre du CCRS
Fig. 4.5 - Indice de tortuosité
Fig. 5.1 - Variation de la rétrodiffusion avec la rugosité suivant diverses incidences
Fig. 5.2 - Variation de la rétrodiffusion avec l'incidence suivant diverses rugosités

Liste des tableaux

- Tableau 2.1 - Configuration des satellites SAR d'observation de la Terre
Tableau 6.1 - Paramètres de terrain d'états de surface
Tableau 6.2 - Acquisitions radar sur deux sites FLOODGEN

1. Introduction

1.1. TELEDETECTION ET MODELISATION DU RUISSELLEMENT

Le principal atout de l'outil "télédétection", dans le domaine des Sciences de la Terre, est sa capacité à fournir des données régionales (plusieurs milliers de km²), de précision spatiale notable (dizaines de mètres), et surtout en temps et en coût défiant toutes autres méthodes au sol.

La cartographie des potentialités de ruissellement ou d'érosion des sols, comme de tout autre risque naturel, révèle les dégâts prévisibles, en intensité et en localisation. La nécessité de délimiter des zones fragiles ou exposées, est ressentie par les aménageurs pour orienter leurs décisions à l'échelle régionale. Deux étapes sont indispensables à ce type de cartographie :

- la modélisation du phénomène, quel que soit son niveau de complexité
- l'acquisition de ses paramètres d'entrée décrivant les variables du ruissellement.

La télédétection est un outil capable de mesurer quelques-uns de ces paramètres. Les satellites d'observation opérant à partir du spectre du visible et du proche-infra-rouge sont capables de discriminer les surfaces de sol nu des surfaces de végétation. De nombreux indices combinent les réflectances issues de différentes bandes de fréquence, pour développer des cartes de végétation, définir le stade de développement de culture (Bariou et al., 1985 ; Guyot, 1989). La confusion entre la végétation sèche et le sol nu (Cyr et al., 1995), jusqu'ici incontournable, est progressivement levée. Les recherches menées sur l'extraction de résidus de culture, qui servent en hiver de couverture contre la formation de croûte de surface, aboutissent à de nouveaux indices. Ils utilisent la combinaison du canal proche et moyen infrarouge (Mc Nairn & Protz, 1993 ; Biard et al., 1995). Toutes ces informations s'intègrent facilement dans les estimations du potentiel d'érosion (Puech, 1993 ; Delpont et al., 1996 ; Bonn, 1994). La caractérisation de l'espèce et de la densité de végétation, peuvent servir à estimer le potentiel d'interception des précipitations, la diminution d'énergie cinétique et l'évolution de tous processus de ruissellement et d'érosion influencés par la végétation.

Les Modèles Numériques de Terrain prennent de plus en plus d'importance pour la détermination des caractéristiques de ruissellement. La topographie est en effet l'un des facteurs primordiaux de l'érosion et sa reproduction en fichier numérique aboutit à des estimations complètes et rapides sur les réseaux d'écoulement (De Roo, 1992 ; Kainz et al., 1992 ; Puech, 1993). Grâce aux acquisitions d'images en couple stéréographique, par le satellite SPOT par exemple, il est possible de générer des MNT régionaux, qui restent les premières données issues de télédétection, directement intégrées dans les modèles de ruissellement.

Depuis le début des années 90, la mise en orbite de nouveaux capteurs radar (Radio Detection And Ranging) fournit des données fort différentes des données optiques et infrarouges délivrées jusqu'à présent. Le caractère "tout temps" du radar, c'est-à-dire son aptitude à enregistrer des données quels que soient la couverture nuageuse et l'ensoleillement, permet une plus grande disponibilité des images.

De plus, même si de nombreux domaines d'application de ces instruments reposent sur les études de surface en eau ou en glace, la sensibilité de leurs longueurs d'onde aux propriétés géométriques et diélectriques des surfaces peut apporter de nouvelles informations. La rugosité et l'humidité des premiers centimètres de sol sont, compte tenu des propriétés énoncées, les deux principaux facteurs influençant la rétrodiffusion des surfaces terrestres ; ils sont également requis par les modèles d'érosion (Beasley et al., 1980, Knisel 1980, Morgan 1992). De nos jours, de nombreuses recherches sur l'extraction de paramètres de rugosité ou d'humidité des sols à partir de données radar, pour cette thématique sont en cours.

1.2. OBJECTIFS

L'objectif général de cette étude repose sur les possibilités de caractérisation de paramètres d'état de surface à partir d'images radar. Plus particulièrement la rugosité des sols, induite par les pratiques agricoles, représente une composante majeure de la répartition entre ruissellement et infiltration des eaux précipitées (Le Bissonnais, 1990 ; de Ploey 1990 ; Puech 1993). Elle est liée à la fois à la possibilité de stockage des eaux de pluies en surface et à la détachabilité des particules de sol. La rugosité de ces surfaces détermine également, lorsqu'elle offre une structure marquée comme les rangs de vigne, une direction prioritaire de ruissellement concentré (Ouvry, 1990 ; Ludwig 1992).

La capacité des données radar à extraire cette information d'états de surface doit donc être étudiée. Plusieurs aspects ont été abordés dans cette étude. Dans un premier temps, un résumé du fonctionnement des acquisitions radar permet de mieux comprendre les phénomènes mis en jeu (chapitre 2). Dans un second temps, la description des états de surface dans une perspective d'étude de la rétrodiffusion (chapitre 3) a été abordée afin de cerner les paramètres d'états de surface à acquérir et les méthodes de mesure à envisager (chapitre 4). Enfin, la synthèse des résultats empiriques actuels sur les possibilités d'extraction des paramètres d'états de surface à partir de données radar (chapitre 5) a été réalisée et utilisé comme connaissance de base afin de définir notre méthode de travail (chapitre 6).

2. Principe de la mesure radar

Ce chapitre développe rapidement le principe d'acquisition des données radar à partir de l'émission d'une onde électromagnétique. Il définit les termes nécessaires à une compréhension du phénomène de rétrodiffusion.

2.1. LES MICRO-ONDES

Sous le sigle RADAR¹ se rassemble une famille de capteurs de technologie différente, utilisant des ondes radio-électriques dites "micro-ondes". Les *fréquences* de ces ondes évoluent entre 0,3 et 35 GHz, soit une *longueur d'onde* comprise entre 100 et 0,8 cm. Ce domaine est subdivisé en plusieurs bandes de fréquence, référencées par des lettres, codage hérité de la seconde guerre mondiale (fig 2.1).

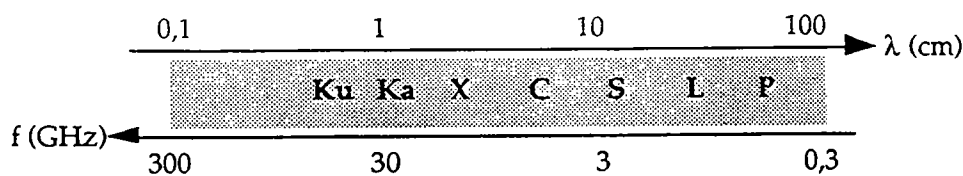


Fig 2.1 - Les bandes de fréquences dans les micro-ondes (Polidori, 1997)

On rappelle que la longueur d'onde (λ) et la fréquence (f) sont liées par la relation (2-1),
 $c = 2,9979 \cdot 10^8$ m/sec (célérité)

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2-1)$$

La *polarisation* (fig 2.2) est une propriété de l'onde électromagnétique qui décrit l'orientation de son champ électrique, dans le plan perpendiculaire à la direction de propagation. L'onde émise par un radar d'observation de la Terre est habituellement polarisée dans une direction donnée : horizontale (H) ou verticale (V). L'énergie rétrodiffusée est enregistrée dans un plan de polarisation précis (H ou V). Quatre configurations sont donc possibles : HH, VV, HV et VH ; la première lettre indique la polarisation du signal émis et la seconde celle du signal mesuré. Quand les deux directions sont identiques (HH ou VV), l'acquisition est dite en polarisation parallèle ; pour deux directions perpendiculaires (HV ou VH), elle est dite en polarisation croisée.

¹ RADAR : *R*Adio *D*etection and *R*anging : *d*étection et mesure à distance

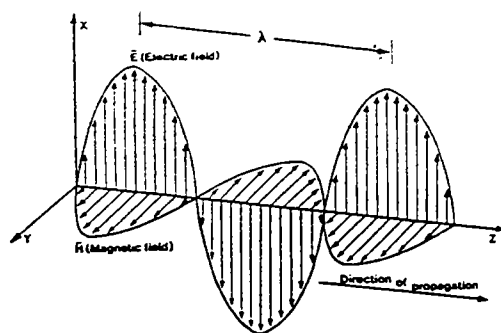


Fig 2.2 - Polarisation des champs d'une onde électromagnétique (Trevett, 1986)

2.2. MODES D'ACQUISITION

Les instruments utilisant les ondes micro-ondes (ou hyperfréquences) peuvent être "actifs" et se distinguent alors de capteurs "passifs" par le fait qu'ils génèrent leur propre source de rayonnement : un signal de haute énergie est alors émis sur une *cible* et le signal *écho* est enregistré (fig 2.3).

Dans le domaine de l'observation de la Terre, on distingue deux catégories d'instruments actifs :

- les instruments non imageurs : les *altimètres* qui mesurent la distance parcourue par le signal entre l'émission et la réception ; les *diffusiomètres* qui mesurent le rapport entre l'énergie émise par la source et celle reçue par l'antenne.
- les instruments imageurs qui produisent une image de la cible à partir d'un balayage temporel de celle-ci. Dans cette catégorie, les radars à visée latérale (SLAR²) créent une image pour laquelle la valeur numérique de chaque pixel³ détermine la puissance du signal réfléchi.

Les radars SAR (Synthetic Aperture Radar) sont des SLAR, mais intègrent en plus un traitement cohérent du signal qui permet d'obtenir une meilleure résolution géométrique. Le SAR du satellite ERS-1 aurait, par exemple, une résolution de l'ordre de quelques kilomètres sans ce type de traitement, alors qu'elle est d'une vingtaine de mètres en l'utilisant (Armand, 1993 ; Polidori, 1997). C'est cette dernière catégorie d'instruments qui permet à l'heure actuelle d'obtenir des données spatiales de la rétrodiffusion de surfaces naturelles.

² SLAR : Side Looking Airborne Radar

³ pixel : Picture Element, élément unitaire de l'image définissant la résolution spatiale

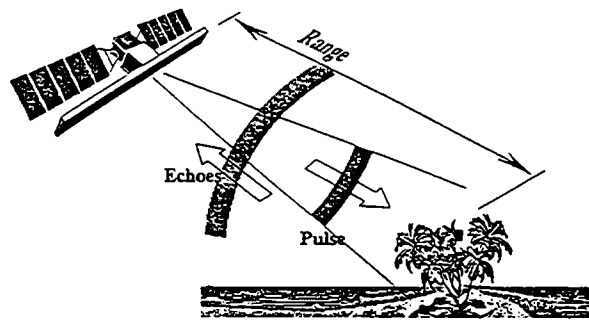


Fig 2.3 - Principe des capteurs radar (Raney, 1990)

2.3. FONCTIONNEMENT ET GEOMETRIE DES CAPTEURS SLAR

Les capteurs SLAR embarqués sur un vecteur aéroporté ou spatial fonctionnent en émettant périodiquement, au moyen d'une antenne rectangulaire, un faisceau de micro-ondes. Chaque impulsion illumine une étroite bande de terrain qui renvoie un écho. C'est le traitement des échos successifs qui permet de reconstituer une image bidimensionnelle de la surface de la Terre (fig 2.4) (Polidori, 1997).

Après réflexion sur le terrain, l'écho d'une impulsion est recueilli par la même antenne, permettant d'engendrer une ligne de l'image, dans laquelle les différents réflecteurs sont localisés en fonction de leur éloignement (lié au temps de propagation aller-retour de l'onde). La répétition des impulsions le long de la trajectoire assure la deuxième dimension.

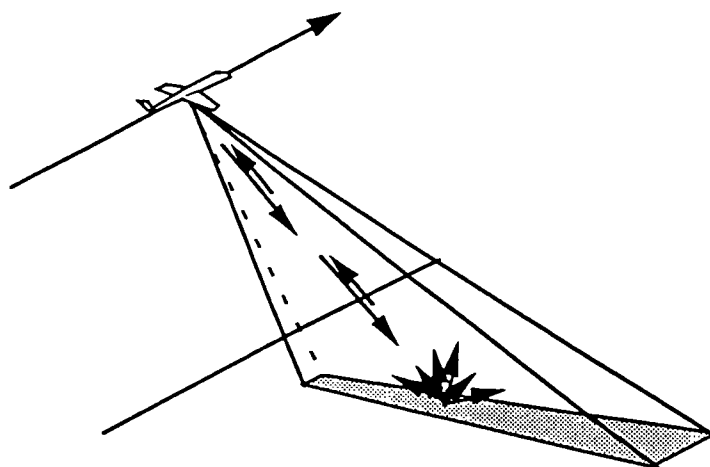


Fig 2.4 - Géométrie des capteurs SLAR (Polidori, 1997)

Les SLAR émettent un signal dans une direction perpendiculaire à l'axe de vol (fig 2.5). La géométrie de visée définit de nombreux paramètres comme l'angle d'incidence (θ) du faisceau radar et les deux directions de l'image selon la visée (distance) et selon l'axe de vol (azimuth).

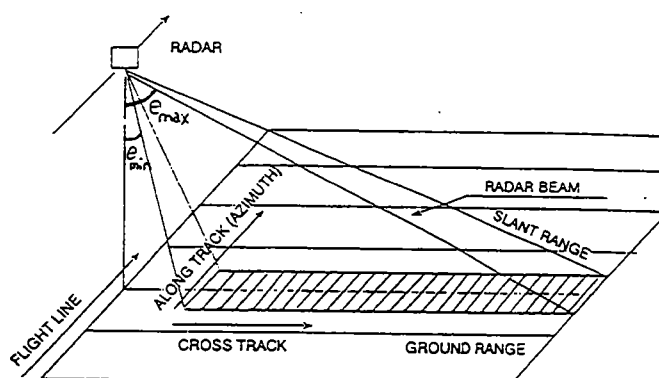


Fig 2.5 - Paramètres d'une acquisition SLAR (FAO ESA ,1993)

Enfin, les variations du relief interviennent dans la mesure du temps "aller-retour" de l'onde. C'est pourquoi, la perception de la localisation des points peut être faussée car modifiée par le relief (distorsion). Ce phénomène est à l'origine d'artéfacts *d'ombrage* et/ou de *recouvrement* de données, et entraîne également des erreurs sur l'estimation de l'incidence du signal. Les propriétés des images radar liées au relief sont détaillées dans de nombreux ouvrages (Polidori,1997 ; Elachi, 1987 ; FAO-ESA, 1993)

2.4. COEFFICIENT DE RETRODIFFUSION

L'onde électromagnétique, en atteignant la cible, subit essentiellement deux phénomènes : la diffusion et la pénétration (fig 2.6). La diffusion correspond à la redistribution du signal après réflexion sur la surface. La pénétration de l'onde dans le sol entraîne la perte d'une partie du signal. De tous les faisceaux dérivés après

interaction, seule l'onde rétrodiffusée (retournant dans la direction d'émission) est enregistrée. Cette "*mesure radar*" peut être analysée en terme de puissance réfléchie du signal. La puissance reçue pour chaque train d'onde émis, peut être formulée à partir de paramètres physiques du radar et de la géométrie de visée par l'*Equation Radar* (2-2) (Ulaby, 1982 ; Trevett, 1986 ; Elachi, 1987).

$$\langle P_R \rangle = C_T \cdot \frac{G^2(\theta_i)}{R^3 \sin \theta_i} \cdot \Delta x \cdot \Delta R \cdot \sigma^\circ \quad (2-2)$$

$\langle P_R \rangle$	Puissance moyenne reçue par pixel
θ_i	Angle d'incidence pour le pixel
$G^2(\theta_i)$	Gain en puissance de l'antenne
R	Distance entre l'antenne et la cible
C_T	Constante du système, intégrant la puissance transmise, la longueur d'onde, gain et perte de l'antenne
Δx	Taille du pixel dans la direction azimutale
ΔR	Taille du pixel dans la direction de visée
σ°	Section de rétrodiffusion par unité de surface

Le paramètre σ° est le *coefficient de rétrodiffusion* : mesure caractéristique des données radar. Comme σ° (sans dimension) est une quantité normalisée, et parce que sa réponse angulaire varie souvent de plusieurs ordres de grandeur, il est coutumier de l'exprimer en décibels :

$$\sigma^\circ \text{ (dB)} = 10 \log \sigma^\circ \quad (2-3)$$

Le coefficient de rétrodiffusion dépend des paramètres naturels de la surface, mais également des paramètres propres à l'instrument utilisé. Ces derniers sont la longueur d'onde du signal (λ) , la polarisation de l'onde (HH, VV, HV, ou VH) et l'angle d'incidence (θ). La **longueur d'onde** du signal et la profondeur de pénétration de l'onde dans la surface visée sont proportionnelles. Ainsi, un signal en bande L ($\lambda \approx 25$ cm) est conseillé pour la détection de cible sous couvert végétal ou couvert sableux car la pénétration de l'onde sera plus importante (Elachi, 82 ; Polidori, 1997). La **polarisation** de l'onde est importante pour les cibles à structure orientée, ainsi des structures verticales (végétation) ont plus d'impact sur un signal en polarisation VV qu'en polarisation HH. **L'angle d'incidence** influence la pénétration de l'onde qui est d'autant plus profonde que l'angle d'incidence est petit.

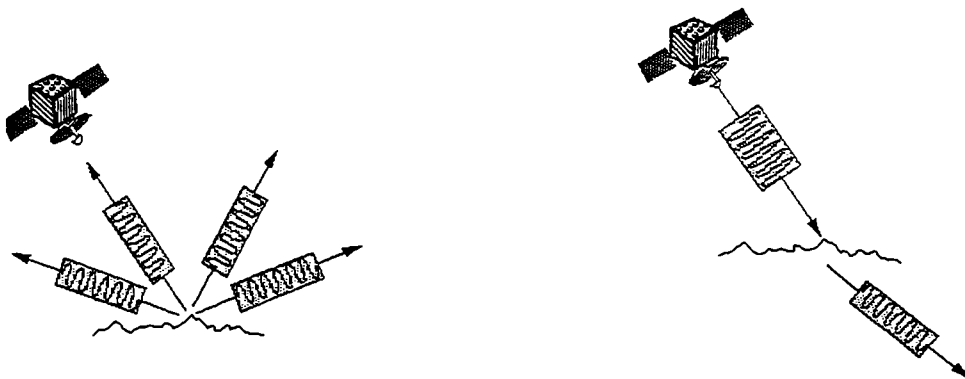


Fig 2.6 - Phénomènes de diffusion et de pénétration de l'onde radar

2.5. CONCLUSION : IMAGES SAR

Compte tenu des objectifs du projet FLOODGEN, nous pouvons déjà formuler certains points sur l'apport des données radar.

- Les capteurs radar spatiaux pouvant être la source de données spatialisées sont des capteurs imageurs satellitaires. Ces capteurs sont des SAR. Ils permettent une acquisition quasi-instantanée à échelle régionale (environ 100 km sur 100 km).
- Les capteurs radar sont actifs et ont un avantage d'acquisition souvent caractérisé par une appellation "tout temps". Celle-ci exprime entre autre le fait que le capteur est à l'origine de sa propre source d'éclairement qu'il ne dépend donc pas de l'heure d'acquisition (jour et nuit). Elle résume également la propriété des micro-ondes (à fréquence inférieure à une quinzaine de Gigahertz) dont l'amplitude n'est pas perturbée par l'atmosphère et qui permet des acquisitions quel que soit le taux de couverture nuageuse.
- Le principe même d'acquisition des données radar entraîne des artéfacts géométriques qu'il est nécessaire de résoudre avant tout approche thématique. Ces corrections nécessitent des informations précises sur le relief, c'est-à-dire un modèle numérique de terrain.
- Enfin, l'analyse de plusieurs sites d'étude implique une calibration des données afin de travailler à partir de coefficients de rétrodiffusion comparables. Cette condition permet la réutilisation des résultats sur d'autres sites et la comparaison avec les études précédentes.

Actuellement, les satellites d'observation de la Terre ayant une antenne SAR sont au nombre de quatre : les deux satellites européens de même configuration ERS-1 et ERS-2, le satellite japonais JERS et le satellite canadien RADARSAT. Le tableau 2.1 résume leur configuration.

Satellite	ERS-1 et ERS-2	RADARSAT	JERS
Bande de fréquence	C	C	L
Polarisation	VV	HH	HH
Incidence	23°	variable de 20 à 60°	35°

Tab. 2.1 - Configuration des satellites SAR d'observation de la Terre

3. Description électromagnétique d'une surface naturelle

La rétrodiffusion radar dépend des propriétés géométriques et diélectriques des surfaces visées. L'adjectif "géométrique" regroupe tous les facteurs de rugosité qui modifient principalement la diffusion, alors que l'humidité est associée aux paramètres diélectriques qui modifient la pénétration de l'onde. Nous discutons dans ce chapitre des descriptions de l'humidité et de la rugosité utilisées lors des études de rétrodiffusion radar. Ces descriptions font appel à des paramètres utilisés en électromagnétisme et plus particulièrement dans les modèles théoriques qui permettent de calculer le coefficient de rétrodiffusion.

3.1. PROPRIETES DIELECTRIQUES ET HUMIDITE

La profondeur de pénétration de la mesure radar dépend de l'humidité et de la fréquence de l'onde électromagnétique. Ce phénomène est résumé par la constante diélectrique (noté ϵ) de la cible qui représente la quantité d'énergie électromagnétique réfléchi. La figure 3.1 montre la relation entre la constante diélectrique d'un sol et son état hydrique, pour différentes fréquences.

Cette relation entre teneur en eau du sol et propriétés diélectriques est également fonction de la forme de l'eau dans le sol. En effet, les propriétés des molécules d'eau évoluent suivant qu'elles sont liées ou non aux particules solides. Par exemple, l'eau libre a une forte constante diélectrique due à ces propriétés dipolaires ; par contre une molécule d'eau liée à une particule de sol ne peut s'orienter facilement suivant le champ électromagnétique et la constante diélectrique de l'ensemble est plus faible.

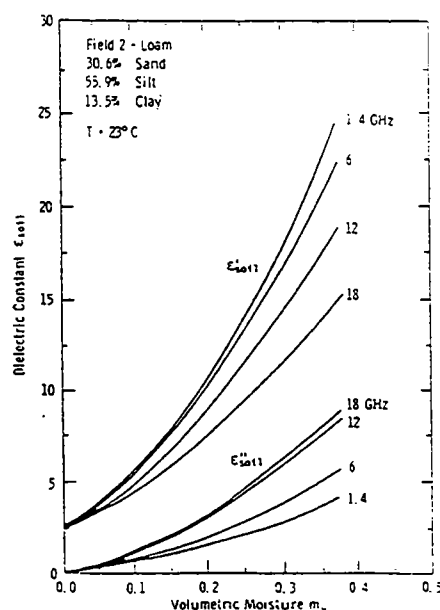


Fig 3.1 - Relation entre la constante diélectrique et l'humidité volumique pour diverses fréquences (Ulaby et al., 1986)

Il est admis suivant plusieurs analyses empiriques que la constante diélectrique est reliée à l'humidité du sol par une relation polynomiale (Hallikainen, 1985 ; Dobson, 1995). D'autres facteurs influencent également le comportement de la constante diélectrique : la texture du sol, la densité, la matière organique. Mais l'humidité des sols est le facteur naturel prédominant de l'évolution de ce paramètre ; exception faite des sols à faible humidité, à fort taux de matière organique ou encore à fort taux d'argile (Topp et al., 1994).

Le principe de la mesure de l'état hydrique des sols par données radar est donc fondé sur les propriétés diélectriques de l'eau et du sol. Ainsi, pour un sol humide, la constante diélectrique est élevée, le signal pénètre moins et la rétrodiffusion est plus forte ; pour un sol sec, ϵ est faible, le signal pénètre mieux, il y a perte de puissance et la rétrodiffusion est plus faible. Cependant, lorsque l'eau du sol passe de l'état liquide à l'état de glace le signal rétrodiffusé est moins important. La caractérisation de l'état hydrique du sol à partir de données radar passe par la connaissance de la relation entre le coefficient de rétrodiffusion σ^0 et la constante diélectrique ϵ , puis de celle entre ϵ et l'humidité volumique.

3.2. PROPRIETES GEOMETRIQUES ET RUGOSITE

La rugosité peut être abordée à l'aide d'autant de définitions qu'il existe de thématiques l'utilisant. En terme de ruissellement, elle peut être associée par exemple au coefficient de ruissellement. Dans le domaine de la rétrodiffusion radar c'est un facteur géométrique, défini par des paramètres statistiques. Ces paramètres sont notamment utilisés par les modèles théoriques de rétrodiffusion (Ulaby et al., 1986 ; Borgeaud et Noll, 1994) pour caractériser la redistribution de l'onde incidente par la cible.

Nous définissons ici ces paramètres à deux échelles retrouvées sur les surfaces agricoles. La première échelle est celle des mottes de terre ou des cailloux, où la rugosité est considérée comme isotrope et aléatoire. La seconde échelle concerne les sillons de labour ou de semis, où la rugosité est linéaire et périodique.

3.2.1. Paramètres aléatoires, isotropes

La première méthode venant à l'esprit pour caractériser la rugosité est de réaliser une coupe transversale du sol, donnant une estimation visuelle, immédiate de cette notion. Mathématiquement, cette coupe peut être décrite par une fonction : $f(x) = z$, où x est l'axe horizontal de la coupe et z la hauteur de la surface par rapport à une référence (fig 3.2). Cette fonction, plus communément appelée *profil des hauteurs*, est à la fois la description la plus évidente de la rugosité et la fonction de base des études statistiques.

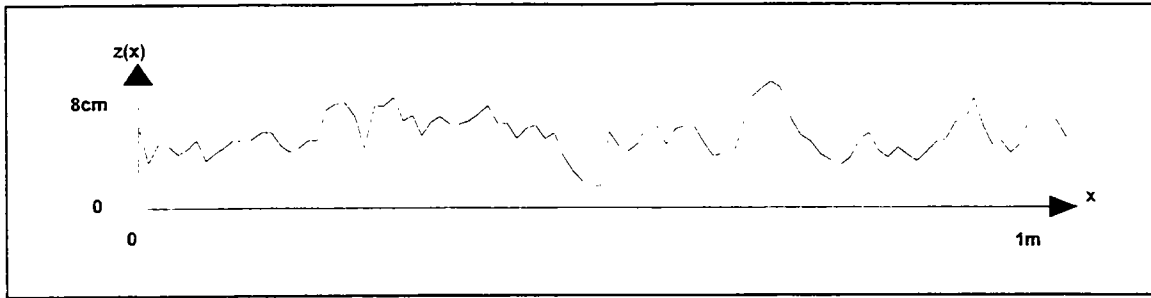


Figure 3.2 - Coupe transversale d'une surface - Distribution des hauteurs
(sol de vigne après labour, Company-Remond, 1996)

La hauteur moyenne $\langle z \rangle$ (3-1) est calculée à partir du profil des hauteurs $z(x)$, en supposant que la surface rugueuse est issue d'un processus aléatoire, et que $p(z).dz$ est la probabilité pour qu'un point de la surface soit compris entre les hauteurs z et $z+dz$.

$$\langle z \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} z(x) \cdot p(z) \cdot dz \quad (3-1)$$

Les surfaces terrestres façonnées par une multitude de processus (anthropiques ou naturels) ne peuvent *a priori* être décrites par un profil des hauteurs précis. Elles sont donc considérées comme aléatoires et représentées par des paramètres et fonctions statistiques caractérisant leurs propriétés (Ogilvy, 1991). Une surface rugueuse peut ainsi être décrite par ses déviations à une surface lisse de référence à travers :

- la variation des hauteurs par rapport à cette référence (écart-type des hauteurs, s)
- la variation des hauteurs le long de cette surface (longueur de corrélation, l)

L'écart-type des hauteurs noté s (parfois σ dans la littérature) est défini à partir de la moyenne $\langle z \rangle$ et des valeurs $z(x)$ par (3-2). Mais il ne suffit pas à caractériser la nature aléatoire de la surface rugueuse. En effet, il ne rend pas compte des relations pouvant exister entre les différents points de la surface.

$$s^2 = \left\langle \left(z - \langle z \rangle \right)^2 \right\rangle \quad (3-2)$$

On définit alors la *fonction d'autocorrélation* $R(u)$ (3-3) et la fonction de corrélation $\rho(u)$ (3-4) qui caractérisent la corrélation statistique entre deux points quelconques de la surface, écartés d'une distance u .

$$R(u) = \left\langle \left(z(x+u) - \langle z \rangle \right) \cdot \left(z(x) - \langle z \rangle \right) \right\rangle \quad (3-3)$$

$$\rho(u) = \frac{R(u)}{s^2} \quad (3-4)$$

Lorsque $u = 0$, la distance entre les deux points est nulle, la corrélation entre ces deux points confondus est maximale et la fonction de corrélation est unitaire $\rho(u) = 1$. Lorsque u augmente les points s'éloignent, ils sont de moins en moins corrélés et la fonction $\rho(u)$ diminue. Enfin, il existe une distance pour laquelle les points sont considérés comme n'étant plus corrélés ; cette distance est la longueur de corrélation : l . Elle est définie par un seuil sur $\rho(u)$, généralement égal à $\rho(0)/e$.

Les deux fonctions $\rho(u)$ et $R(u)$ sont généralement approchées par soit une fonction exponentielle soit une fonction gaussienne. Le choix de l'approximation joue un rôle important dans le calcul de la longueur de corrélation (Le Toan *et al.*, 1993). La fonction exponentielle est mieux adaptée aux surfaces de faible rugosité, la forme gaussienne s'adaptant aux fortes rugosités (Oh *et al.*, 1992). Le pas d'échantillonnage et la longueur du profil utilisé pour acquérir le profil des hauteurs influencent considérablement le calcul de l (Ogilvy, 1991 ; Ulaby, 1982).

En résumé, l'acquisition d'un profil de rugosité permet d'acquérir mathématiquement la hauteur moyenne et l'écart-type des hauteurs. L'approximation de la fonction de corrélation par une exponentielle, gaussienne ou autre détermine la longueur de corrélation pour une valeur qui annule la fonction. L'analyse de paramètres statistiques et de descripteurs généraux de la rugosité des états de surfaces agricoles a permis de conclure que la longueur de corrélation est une variable qui reste difficile à acquérir et qui est peu représentative des pratiques culturales. Par contre, l'écart-type des hauteurs est généralement un bon descripteur des classes de rugosité (Company-Remond, 1996).

3.2.2. Paramètres linéaires et périodiques

Le radar, classiquement utilisé en observation de la Terre, émet et reçoit le signal selon une seule et même direction. Tout objet linéaire, ou à forte composante directionnelle est à l'origine d'une rétrodiffusion différente selon l'angle de visée en azimuth du radar. Cette remarque prend toute son importance pour les surfaces agricoles (fig 3.3) qui possèdent des sillons de labour formant une rugosité à structure linéaire et périodique. Cette rugosité peut être représentée par une surface sinusoïdale qui s'ajoute à la rugosité aléatoire induite par les mottes de terre.

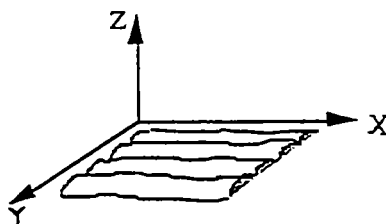


Figure 3.3 - Surface quasi- périodique d'une parcelle agricole (Rakotoarivony, 1995)

La modélisation de la rétrodiffusion de telles surfaces peut être appréhendée suivant deux approches :

- La première (Ulaby, 1986 ; Beaudoin et al., 1990) (fig 3.4) consiste à calculer pour chaque surface élémentaire de rétrodiffusion (da) l'angle d'incidence local⁴ : θ_L . Le coefficient de rétrodiffusion est modélisé en ne tenant compte que de la rugosité aléatoire de la surface da . Ensuite, l'intégration incohérente de ce coefficient est réalisée sur une surface sinusoïdale de période P (3-5). La rugosité périodique est alors considérée comme un micro-relief qui modifie l'angle d'incidence.

$$\sigma_{\text{périodique}}^o(\theta, \alpha) = \frac{1}{P} \int_{y=0}^{y=P} \frac{\sigma_{\text{aléatoire}}^o(\theta_L) dy}{\cos \beta(y)} \quad (3-5)$$

α : angle azimutal entre la direction du faisceau incident et l'axe x

β : pente locale

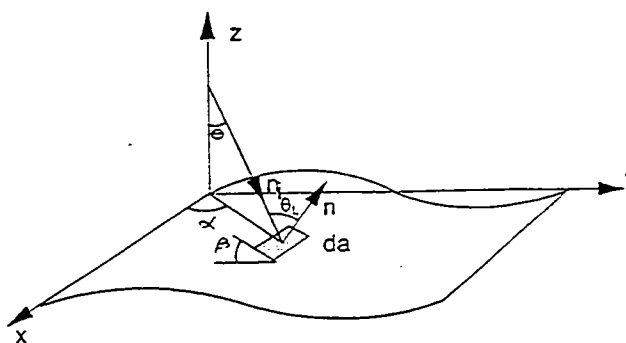


Figure 3.4- Géométrie de visée d'une aire élémentaire d'une surface périodique
d'après Ulaby, 82

- La seconde (fig 3.5) se fonde sur les travaux de Shin et Kong (Shin et Kong, 1984), le critère de périodicité est pris en compte par l'intermédiaire d'une fonction d'autocorrélation sinusoïdale. La fonction décrivant le profil des hauteurs (3-6) est à deux dimensions. Elle intègre deux composantes indépendantes :

- une composante aléatoire par une variable de distribution gaussienne

$$\langle \xi \rangle = 0, \quad \langle \xi^2 \rangle = s^2;$$

- une composante périodique orientée, représentée par une distribution gaussienne centrée autour de la fréquence spatiale $1/P$.

$$z(x, y) = \xi(x, y) + A(y) \cos\left(\frac{2\pi}{P} y + \psi(y)\right) \quad (3-6)$$

⁴ incidence par rapport à la normale à la surface élémentaire

$\xi(x, y)$: distribution gaussienne de moyenne nulle

$A(y) \cos\left(\frac{2\pi}{P} y + \psi(y)\right)$: distribution gaussienne à bande étroite, centrée autour de la période P.

La variation de l'enveloppe $A(y)$ et de la phase $\psi(y)$ est faible par rapport à celle de $\cos\left(\frac{2\pi}{P} y\right)$.

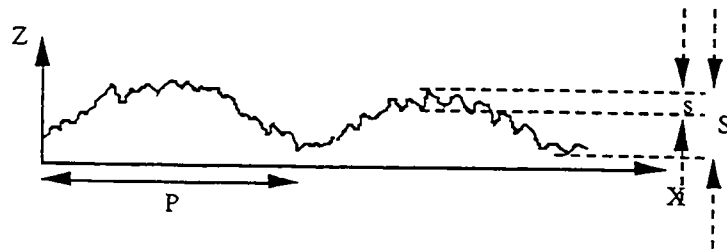


Figure 3.5 - Ecart-type des hauteurs et période d'une surface agricole, périodique.
(Rakotoarivony, 1995)

La fonction d'autocorrélation à deux dimensions $R(x, y)$ (3-7) est déduite de cette nouvelle fonction. Cinq paramètres statistiques interviennent.

$$R(x, y) = s^2 e^{-\frac{(x^2 + y^2)}{l^2}} + S^2 e^{-\frac{y^2}{L^2}} \cos \frac{2\pi}{P} y \quad (3-7)$$

s : écart-type des hauteurs de la rugosité aléatoire

l : longueur de corrélation de la rugosité aléatoire

S : écart-type des hauteurs de la rugosité périodique

L : longueur de corrélation de la rugosité périodique

P : période de la rugosité périodique

3.3. CONCLUSION : PARAMETRES ELECTROMAGNETIQUES D'ETATS DE SURFACE

L'objectif de cette étude est de caractériser les états de surface de parcelles agricoles à partir de données radar. La plupart des connaissances théoriques dans ce domaine se fondent sur une description électromagnétique des surfaces à partir de paramètres spécifiques. Ces paramètres résument les propriétés diélectriques et géométriques des surfaces qui sont respectivement associées aux conditions d'humidité et de rugosité.

Ainsi, la constante diélectrique ϵ , l'écart-type des hauteurs et la longueur de corrélation s et l (à diverses échelles) et l'orientation des structures géométriques marquées, comme les sillons de labour, sont des descripteurs électromagnétiques des surfaces.

Ces paramètres ne sont pas toujours très appropriés pour les études thématiques utilisant les données radar. Ainsi, pour l'étude du phénomène de ruissellement, ils ne représentent pas directement la capacité de stockage en eau du sol. Mais ils sont encore aujourd'hui reconnus comme les plus aptes à reproduire une surface électromagnétique et sont à la base de la modélisation du coefficient de rétrodiffusion.

C'est pourquoi il nous paraît important de connaître pour chacune des surfaces que nous étudierons la valeur associée à ces paramètres. Deux méthodes peuvent alors être appliquées pour analyser le signal radar et ses possibilités à caractériser les états de surface. La première est la modélisation théorique du coefficient de rétrodiffusion qui permet une étude générale du comportement des surfaces vis-à-vis du signal. La seconde est l'étude de la relation entre les paramètres électromagnétiques et les paramètres thématiques, pour estimer les possibilités des données radar dans cette thématique.

4. Mesure des paramètres d'états de surface pour une étude de la rétrodiffusion

Compte tenu des paramètres d'états de surface à acquérir pour une étude de la rétrodiffusion radar (chapitre 3), certaines méthodes de terrain sont plus communément utilisées. Ce chapitre en résume certaines brièvement.

4.1. MESURE DE L'HUMIDITE

Il existe deux catégories de mesure de l'humidité des sols : celles qui mesurent directement le taux d'humidité dans le sol et celles qui utilisent les propriétés diélectriques des sols induites par l'humidité. Nous développons ici une méthode de chaque catégorie.

a - Méthode gravimétrique

Cette méthode nécessite le relevé de plusieurs échantillons de terre. Elle correspond donc à une méthode destructive. Les échantillons de sol sont pesés avant d'être asséchés dans une étuve, puis repesés une fois secs. La teneur en eau pondérale (W_p) (4-1) est déterminée par le pourcentage en poids de l'eau. La teneur en eau volumique (W_{vol}) est obtenue à partir de la densité sèche (D_s) du sol (4-2).

$$p = \frac{P_{hum} - P_{sec}}{P_{sec}} * 100 \quad (4-1)$$

P_{hum} : Masse de l'échantillon humide

P_{sec} : Masse de l'échantillon sec

W_p : Teneur en eau pondérale en %

$$_{vol}(\%) = D_s * W_p(\%) \quad (4-2)$$

$$D_s = \frac{P_{sec}}{V_{tot}}$$

D_s : masse de sol sec / Volume total de l'échantillon

Pour Chanzy (1993), l'estimation de l'humidité volumique à partir de cette méthode dépend trop de la connaissance de la densité apparente. De plus, les prélèvements dégradent le sol et détruisent la structure du sol dans l'échantillon. Enfin, les diverses pesées réclament énormément de temps d'analyses par mesure.

b - TDR (Time Domain Reflectometry)

Les appareils TDR (fig 4.1) utilisent la vitesse de propagation d'un signal électromagnétique le long de guides d'onde. Des guides métalliques de longueur connue sont enfoncés dans le sol. Une onde électromagnétique les parcourt à une vitesse mesurée par l'appareil et qui évolue suivant les propriétés diélectriques du sol. La mesure de l'humidité du sol est donc estimée par l'intermédiaire de la mesure de la constante diélectrique (Brisco, 1992 ; Boisvert, 1995). Cette dernière est d'ailleurs également indiquée par l'appareil.

L'utilisation d'un TDR n'est pas recommandée lorsque la profondeur de pénétration théorique du signal ne dépasse pas 5 cm. Néanmoins, l'intérêt de cette technique réside dans la rapidité et la facilité d'acquisition de la mesure. Quelques minutes suffisent à obtenir une mesure ponctuelle. De plus, la connaissance directe de la constante diélectrique des premiers centimètres de sol est un atout pour les études liées à la rétrodiffusion radar.



Figure 4.1 - Instrument utilisant la méthode TDR

4.2. MESURE DE LA RUGOSITE

L'estimation des paramètres statistiques de rugosité est réalisée à partir d'un profil des hauteurs. Les techniques d'acquisition de ce profil sont variables. L'utilisation d'un profilographe mécanique (Ulaby, 1975 ; King, 1979 ; Prévot, 1984), d'un profilographe laser (Bellini *et al.*, 1993 ; Guillobez *et al.*, 1993) ou de clichés photographiques (Engman et Wang, 1987) donne des résultats similaires. D'autres techniques utilisent la représentation en trois dimensions de la surface du sol par reconstruction stéréoscopique (Zribi *et al.*, 1997).

a - Rugosimètre à aiguilles

L'une des techniques les plus courantes, pour acquérir un profil de rugosité, utilise un rugosimètre à aiguilles (fig 4.2). Des aiguilles mobiles coulissent sur un socle fixe, et épousent la surface du sol de manière à recréer son modelé devant une référence millimétrée. Des clichés photographiques de ce modèle permettent d'obtenir après numérisation la fonction du profil des hauteurs correspondantes. Il est conseillé de reproduire la mesure plusieurs fois par parcelle. L'imprécision des résultats peut être due à un nombre insuffisant de mesures qui ne permettent pas de moyenniser les artéfacts locaux. En réalité, quel que soit ce nombre, le choix de la localisation de la mesure reste difficile et souvent peu objectif. Entrent également en jeu, la longueur du profil et l'écartement des aiguilles qui définissent la taille minimale de la rugosité mesurée.



Figure 4.2 - Rugosimètre à aiguilles

b- Rugosimètre photographique

L'utilisation de photographies obliques de la surface du sol est une autre méthode fondée sur l'utilisation des ombres créées par la rugosité. Le centre canadien de télédétection (CCRS) utilise ce genre de rugosimètre. Celui-ci est constitué d'un appareil photographique et d'un flash monté sur une structure métallique fixe. La technique consiste à ombrer une partie du sol à étudier à l'aide d'une tente noire et à éclairer un rectangle de sol (environ 50cm x 10 cm) (fig 4.3). Des clichés photographiques de cette partie éclairée sont réalisés avec une direction de visée de 45° par rapport à la verticale (fig 4.4). Après traitement de ce cliché le profil des hauteurs de cette surface peut être établi et les paramètres statistiques extraits (Johnson et al., 1997)

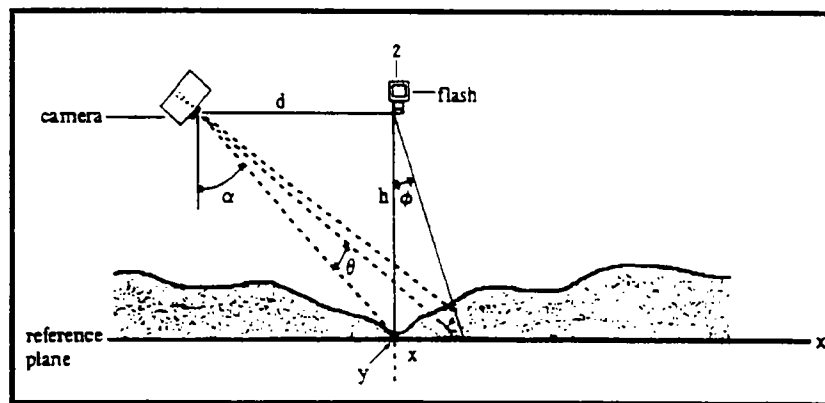


Figure 4.3 - Principe d'acquisition de la mesure de rugosité par le rugosimètre du CCRS

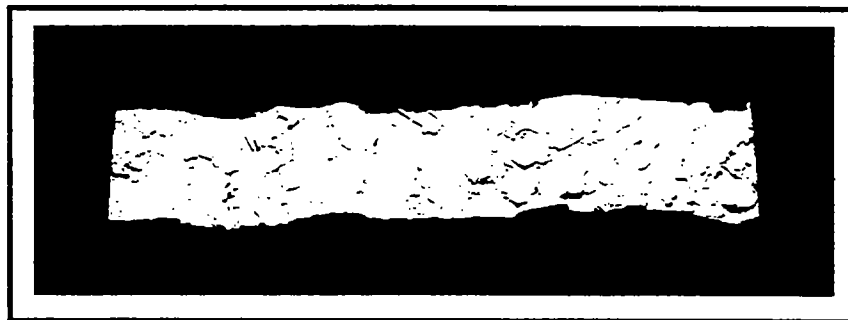
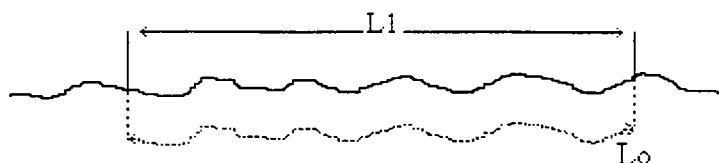


Figure 4.4 - Cliché photographique obtenu par le rugosimètre du CCRS.

c - Méthode de la chaînette

L'estimation de la rugosité peut être faite par d'autres méthodes que celle générant le profil des hauteurs. La mesure de l'indice de tortuosité en est un exemple. La méthode consiste à déposer une chaînette d'une longueur connue (L_0) sur la surface du sol. En épousant les aspérités du sol, la chaînette se déforme : sa projection sur un axe horizontal (L_1) est inférieure à sa longueur initiale (fig 4.5). La différence des deux longueurs par rapport à la longueur initiale constitue un indice de tortuosité : IT (4-3). Cet indice est utilisé par exemple, pour caractériser la rugosité des sols dans le modèle d'érosion EUROSEM (Morgan, 1992). Bien que peu précis, l'indice de tortuosité d'une surface permet une extraction simple et rapide de la rugosité. Cette mesure reste dépendante de l'endroit de la pose de la chaînette et plusieurs types de rugosité peuvent correspondre au même indice. L'indice reste donc grossier mais il distingue néanmoins les surfaces de rugosités extrêmes sur des sols agricoles.



L_0 : longueur initiale L_1 : projection sur l'horizontale

$$IT = \frac{L_0 - L_1}{L_0} \quad (4-3)$$

Figure 4.5 - Indice de tortuosité

Des mesures de cet indice ont été entreprises au cours d'une enquête menée sur un site de vignobles (Company-Remond, 1996). Les résultats ont montré une gamme d'indice IT couvrant l'ensemble des situations depuis les sols très lisses, désherbées ($IT = 1 \%$), jusqu'aux labours récents offrant des grosses mottes de terre ($IT = 21 \%$). La majorité des parcelles se situe dans la classe d'indice de 3 à 10 % ; elles correspondent en fait à différents états de surface : depuis des sous-solages jusqu'aux travaux anciens, sans hiérarchisation précise de l'indice. En résumé, deux populations extrêmes ont pu être isolées par cet indice :

- les sols très lisses : $IT < 5 \%$ sans motte de terre et sans pierre
- les sols très rugueux : $IT > 11 \%$ présentant une grosse pierrosité, en plus de trace d'un labour.

L'indice de tortuosité est donc un descripteur capable de répertorier quantitativement des rugosités distinguées par les relevés de terrain. Il n'est pourtant pas un paramètre précis. La relation (4-4) (Company-Remond, 1996) a permis de montrer un lien existant entre l'écart-type des hauteurs et l'indice de tortuosité.

$$s \text{ (en mm)} = 4,9 \cdot \exp(0,076 * IT \text{ (en \%)}) \quad (4-4)$$

Relation empirique pour un coefficient de corrélation : $r = 0,93$

4.3. CONCLUSION : METHODES UTILISEES

Quelle que soit la mesure réalisée, les méthodes non destructives restent les méthodes recommandées. Ainsi la méthode gravimétrique de l'estimation de l'humidité est à éviter. De plus, à précision des résultats équivalente, la facilité d'acquisition et de traitement est un critère important qui permet de multiplier les mesures. Pour cela, l'utilisation d'un instrument TDR reste la technique la plus rapide et la plus précise, qui

fournit à la fois une mesure de la teneur en eau et une mesure de la constante diélectrique nécessaire à l'analyse du coefficient de rétrodiffusion.

Les méthodes de mesure de la rugosité sont généralement plus difficiles à mettre en place et fournissent des résultats de précision équivalente. Le choix de la méthode dépend plutôt des outils disponibles. Dans tous les cas, les rugosimètres ne sont pas des instruments qui détruisent la surface du sol.

5. Influence des états de surface sur la rétrodiffusion

Depuis une vingtaine d'années les nombreuses recherches sur l'extraction de l'humidité ou de la rugosité des surfaces terrestres à partir de données radar ont permis de mettre à jour des connaissances fiables, basées à la fois sur une connaissance théorique et sur des expérimentations. L'humidité des sols a dans un premier temps été l'un des centres d'intérêt, du fait de son rôle au sein des problèmes d'environnement. La rugosité a plus tardivement été abordée, en premier lieu pour réduire ses effets vis-à-vis de l'humidité, puis comme un paramètre descriptif des surfaces naturelles. Il est aujourd'hui établi que les capteurs radar sont sensibles à l'humidité et à la rugosité des surfaces. Les expérimentations menées à diverses échelles apportent une meilleure connaissance de cette sensibilité. Mais l'extraction systématique des paramètres d'humidité et de rugosité à partir de données radar satellite n'est pas encore atteinte.

5.1 HUMIDITE

Le potentiel d'extraction de l'information d'humidité de surface a été démontré il y a quelques décennies déjà. Les premières recherches se fondent sur des mesures de diffusiomètres de terrain. Qu'il s'agisse de l'étude sur sol nu (Ulaby et Batlivala 1978 ; Dobson et Ulaby 1981 ; Bernard et al., 1982 ; Pultz et al., 1990), ou couvert de végétation (Ulaby et al., 1986 ; Martin et al., 1989), la mise en évidence de l'influence de l'humidité sur le signal radar est démontrée. Ainsi, la rétrodiffusion a pour facteur dominant l'humidité du sol sur une profondeur de 0 à 5 cm pour les sols nus ou au cours de la saison de croissance de la végétation (Bernard et al., 1982 ; Pultz et al., 1992 . Gwyn et al., 1996). Cette influence dépend néanmoins de la fréquence, de la polarisation de l'onde et de l'angle de visée.

Toutes ces expérimentations ont permis d'aboutir à une configuration adaptée à l'extraction de l'humidité par donnée radar. La configuration reconnue comme optimale combine une bande C, une polarisation HH et un angle d'incidence faible entre 7 et 20° (Ulaby, 1974 ; Ulaby et al., 1978). A partir d'une analyse basée sur l'utilisation du modèle POM (Ulaby, 1986), les résultats aboutissent également à l'intérêt de la combinaison de données de polarisation différentes HH et VV et d'une incidence supérieure à 35° pour l'extraction de l'humidité.

La sensibilité du signal à l'humidité est estimée à environ 0,3 dB par pourcent d'humidité volumique (Le Toan, 1982). Une étude théorique menée sur la précision nécessaire du signal de ERS-1 à une extraction de l'humidité de sols nus entre 5 et 10% (Borgeaud et al., 1993) aboutit à la valeur de 0,5 dB. Néanmoins, le signal radar est aussi sensible à la rugosité du sol (Benallegue et al., 1995 ; Le Toan et al., 1994) et à la présence d'un couvert végétal qui provoque une atténuation du signal pour les blés par

exemple (Taconet, 1994). L'importance de la rugosité par rapport à l'humidité augmente pour les faibles rugosités (Le Toan et al., 1993).

Les divers résultats montrent une relation linéaire entre σ^0 en dB et le contenu d'eau du sol (Chanzy, 1993). Néanmoins, pour des sols très humides ou saturés la relation disparaît (Dobson et Ulaby 1981 ; Bruckler et al., 1988). De plus, la pente de la fonction entre σ^0 et l'humidité diminue lorsque la rugosité augmente (Wang, 1981). De manière à systématiser l'extraction de l'humidité des sols à partir de données radar de nombreux modèles empiriques ont été développés. Ils peuvent être fondés soit sur des données radar de diffusiomètres de terrain (Champion et al., 1995) ou soit sur des données satellitales (Le Toan et al., 1993). Les modèles reproduisent une relation linéaire (5-1) où les coefficients de l'équation dépendent de la configuration du capteur (longueur d'onde, incidence, polarisation) et des autres facteurs de la rétrodiffusion.

$$\sigma_{sol}^0 = A + C.H_{vol} \quad (5-1)$$

Le modèle peut également tenir compte de ces derniers facteurs plus précisément. Ainsi, l'incidence locale de l'onde (θ) doit parfois être précisée (5-2) (Bertuzzi et al., 1992 ; Champion, 1996).

$$\sigma^0 (dB) = C1 + C2.\cos(\theta)^{C3} + D.m_v \quad (5-2)$$

La configuration du satellite européen ERS-1 a une longueur d'onde égale à 5,3 cm, une polarisation VV et une incidence fixe à 23°. Celle-ci se rapproche donc d'une configuration appropriée à l'estimation de l'humidité de surface. En pratique, de bonnes corrélations linéaires entre humidité volumique et coefficient de rétrodiffusion ont pu être obtenues à partir de ERS-1 pour des sols nus d'humidité inférieure à 40 % (Venkataratnam et al., 1993). Au niveau de la parcelle, le signal radar n'apparaît pas toujours sensible à l'humidité des sols pour des sols nus dont la rugosité n'est pas contrôlée. Cela confirme la sensibilité importante du coefficient de rétrodiffusion de ERS-1 à la rugosité des sols. De même, aucune relation ne peut être avancée entre le signal radar et l'humidité volumique de parcelles de prairies temporaires; de chaumes ou de maïs. Seules les parcelles de maïs montrent une évolution de la rétrodiffusion avec l'humidité (Cognard, 1996).

Au niveau du bassin versant, les résultats sont plus encourageants. Ceux de A.Cognard (1996) montrent que l'évolution du coefficient de rétrodiffusion reproduit celle de l'humidité moyenne du bassin versant étudié. Le signal radar est étroitement corrélé à la mesure d'humidité des 10 premiers centimètres de sol. Les résultats aboutissent à une sensibilité du SAR de l'ordre de 0,33 à 0,44 dB par pourcent d'humidité volumique. Néanmoins, ils ne concernent que les périodes où le taux de couverture végétale reste faible. Il en est conclu que l'étude au niveau du bassin versant permet de moyenner sur les sols nus les effets de la rugosité sur le signal et limite les erreurs de localisation pour aboutir à une estimation régionale de l'humidité.

5.2. RUGOSITE

La rugosité électromagnétique se définit par rapport à une longueur d'onde. Le critère de Rayleigh qui est la description physique de ce principe définit qu'une rugosité est susceptible de modifier un signal radar, si l'écart-type des hauteurs (s) est supérieur à un seuil dépendant de la longueur d'onde (λ) et de l'incidence du signal (θ) (5-3).

$$h \geq \frac{\lambda}{8 \cos \theta} \quad (5-3)$$

Les premières analyses sur la rétrodiffusion radar (Ulaby et al., 1978) ont montré que pour des angles d'incidences dépassant 10° à 20° selon la longueur d'onde, la rugosité augmente la diffusion et le coefficient de rétrodiffusion. Sur la figure 5.1 on remarque suivant l'angle d'incidence un comportement différent du coefficient de rétrodiffusion σ° avec la rugosité (rms height s). De plus, la décroissance du coefficient de rétrodiffusion avec l'augmentation de l'angle d'incidence (Ulaby et al., 1978 ; Bertuzzi et al., 1992) est d'autant plus faible que la rugosité augmente (fig 5.2). Il est coutumier de parler de la pente de la courbe $\sigma^\circ = f(\theta)$ plus le sol est rugueux et plus cette pente est faible.

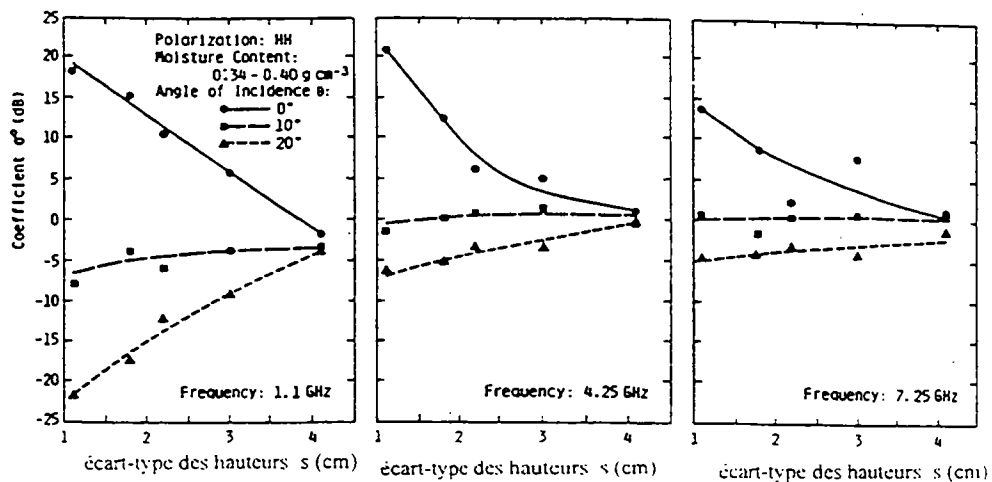


Figure 5.1 - Variation de la rétrodiffusion avec la rugosité suivant diverses incidences (Ulaby et al., 1986)

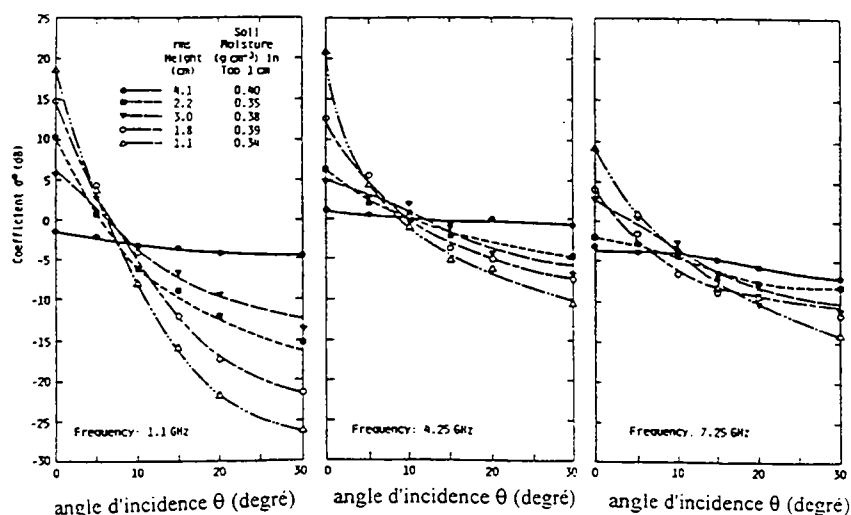


Figure 5.2 - Variation de la rétrodiffusion avec l'incidence suivant diverses rugosités (Ulaby et al., 1986)

a - Rugosité aléatoire et isotrope

L'estimation de la rugosité à partir de données radar est généralement reliée à l'estimation des pratiques culturales sur les surfaces agricoles. Les configurations les plus appropriées à sa caractérisation ont été établies à partir de données de diffusiomètre (Ulaby et al., 1978). La fréquence à utiliser dépend suivant le critère de Rayleigh de la rugosité à détecter, l'incidence conseillée est supérieure à 20°. Des résultats récents sur surfaces agricoles (McNairn et al., 1995) donnent une configuration de 40°-50° en incidence pour un signal en bande C, polarisation HH. D'autres auteurs proposent (Touré et al., 1997) une bande C entre 30° et 50° d'incidence ou une bande L entre 40° et 50° d'incidence, toujours en polarisation parallèle. Compte tenu de ces résultats à fortes incidences, le satellite RADARSAT, seul capable de fournir des images dont l'incidence varie de 20° à 60° suscite de nombreuses attentes dans ce domaine.

Généralement, les analyses entre rugosité et rétrodiffusion sont réalisées par l'intermédiaire de modèles théoriques (Ulaby et al., 1986 ; Fung et al., 1992). Malheureusement, ces modèles sont rarement inversibles et ne permettent donc pas d'extraire une information de rugosité à partir de données radar.

Certains modèles empiriques néanmoins devraient permettre une inversion du signal, même si les conditions d'application sont encore restreintes.

Un premier modèle (Oh et al., 1992) utilise la combinaison de coefficients de rétrodiffusion pour plusieurs polarisations croisée ou parallèles. Deux rapports sont définis (5-4) et (5-5) par les coefficients de rétrodiffusion acquis pour diverses

polarisations et sont fonction de la rugosité par l'intermédiaire du produit ks . k étant le nombre d'onde ($k=2\pi/\lambda$) et s l'écart-type des hauteurs.

$$q = \frac{\sigma_{hv}^0}{\sigma_{vv}^0} = 0,23\sqrt{F_0} \cdot (1 - \exp(-ks)) \quad (5-4)$$

$$\sqrt{p} = \sqrt{\frac{\sigma_{hh}^0}{\sigma_{vv}^0}} = 1 - \left(\frac{2\theta}{\pi}\right)^{1/3 F_0} \exp(-ks) \quad (5-5)$$

F_0 : coefficient de Fresnel à incidence nulle

Les conclusions de ces analyses empiriques aboutissent à une sensibilité du signal à la rugosité en polarisation VV, pour des incidences entre 30° et 70°. Cette effet disparaît progressivement lorsque le produit ks est supérieur à 2. Enfin, pour des valeurs de ks dépassant une valeur proche de 3, le rapport p tend vers 1, les coefficients de rétrodiffusion ne dépend alors plus ni de la polarisation, ni de l'incidence du signal.

Un second modèle empirique a été établi sur un site désertique (Deroin et al., 1997). Il définit une relation directe entre le coefficient de rétrodiffusion σ^0 et l'écart-type des hauteurs s , pour le satellite ERS-1. Cette relation est de forme logarithmique (5-6).

$$\sigma^0 = 2,52 * \log(s) - 7,20 \quad (5-6)$$

Elle suppose comme le modèle précédent que pour une configuration fixe du capteur, seule une certaine gamme de rugosité peut être détectée directement. Pour caractériser l'ensemble des états de surface la combinaison de données de fréquence ou de polarisation différentes semble incontournable.

b - Rugosité périodique et linéaire

La rugosité à structure périodique et linéaire, créée sur les surfaces agricoles par un labour, une plantation en rangs ou des drains, a un effet substantiel sur la rétrodiffusion (Ulaby et Bare, 1979 ; Beaudoin et al., 1990 ; Rakotoarivony, 1995). Les parcelles à direction de rangs marquée et perpendiculaire à la direction de visée ont un coefficient de rétrodiffusion supérieur à une direction parallèle (Company-Remond, 1996 ; Champion 1996 ; Boivin et al., 1990 ; Beaudoin et al., 1990 ; Brisco et al., 1990 ; Boisvert, 1995). Bien que Ulaby et Bare aient conclu que les effets de directions de la rugosité restent insignifiants pour des fréquences supérieures à 4 GHz, d'autres recherches ne le confirment pas (Bradley et Ulaby, 1981 ; Michelson, 1994).

Plusieurs méthodes sont utilisées pour réduire cet effet de direction de visée par utilisation de données polarimétriques (Engman, 1990 ; Autret et al. , 1989) ou uniquement de polarisation croisée (Bradley et Ulaby, 1981 ; King et al., 1995) ou l'utilisation de plusieurs fréquences (Mo et al., 1988)

Cet effet de rugosité directionnelle pour les surfaces agricoles n'est pas à négliger. Pour Brisco et Brown (1991) à partir de données de diffusiomètre en polarisation parallèle, l'effet de direction de rangs de labour est aussi significatif que l'effet de labour, même si ce phénomène n'apparaît pas pour une polarisation croisée. De même sur des vignes générant le même type de rugosité, une variation de 8dB peut apparaître suivant la direction de cette rugosité par rapport à la visée du radar (Company-Remond, 1996).

5.3. RESIDUS DE CULTURE

De nombreux autres facteurs influencent évidemment la rétrodiffusion des données radar. La végétation en fait partie et notamment sur des surfaces agricoles. Mais les surfaces qui nous préoccupent correspondent à des sols nus après récolte ou avant les semences. Un paramètre important peut apparaître sur de tels types de surface : les résidus de culture. Ces résidus correspondent à une végétation sèche qui peut modifier la rétrodiffusion en agissant comme une rugosité supplémentaire ou comme un capteur d'eau différent du sol. Ces résidus sont pour le ruissellement un facteur important puisqu'ils constituent une couverture du sol et le protègent des impacts des gouttes de pluie.

L'importance des résidus de culture peut être de plusieurs ordres. Dans un premier temps, ils peuvent augmenter significativement le taux d'humidité de la surface. Tous les résidus ne stockent pas l'humidité de la même manière. Ainsi, des résultats sur les résidus de maïs (Mc Nairn et al., 1997) ont montré une humidité supérieure de 5 à 10 % par rapport à celle des résidus de céréales. Ceci est d'autant plus important que ce taux d'humidité dans les résidus évolue beaucoup plus vite que le taux d'humidité du sol. L'impact sur la rétrodiffusion radar est directe. Pour l'orge, le signal radar n'est pas relié à l'humidité des résidus en polarisation parallèle, mais l'est fortement en polarisation croisée. Pour le maïs, le signal est corrélé à l'humidité des résidus au-delà de 30° d'incidence et de plus en plus lorsque l'incidence augmente. Ces résultats différents suivant le type de résidus sont certainement dus également à la différence de taille des résidus.

En ce qui concerne la discrimination des surfaces nues par rapport aux surfaces à résidus. Des études réalisées à partir de données ERS-1 (Solberg et Leek, 1992 ; Solberg 1994) ont montré une variation du coefficient de rétrodiffusion entre des parcelles labourées et des parcelles en chaume. Cette distinction n'apparaît que pour les parcelles dont l'humidité est importante, mais reste une information primordiale pour l'estimation de la sensibilité à l'érosion de ces surfaces. D'autres résultats montrent l'influence de la position de ces résidus sur le signal (Smith et Major, 1996). Pour des résidus debout, couchés ou absents, le signal rétrodiffusé est différent.

A partir de diffusiomètres de terrain (Mc Nairn et al., 1997), la configuration adaptée à la distinction de ces surfaces a pu être mise en évidence. Pour les céréales, les sols nus se distinguent des sols à résidus en configuration CHH et CVV et pour une incidence inférieure à 30°. Pour le maïs, les discriminations sont meilleures, le volume de résidus est pour ces surfaces plus important et l'humidité également, la configuration CHH quel que soit l'angle d'incidence est recommandée. Enfin, pour une configuration plus précise CVH et entre 40° et 50° d'incidence tous les types de résidus peuvent être différenciés.

5.4. CONCLUSION : CHOIX DES ANALYSES

Ce chapitre a pour objectif de réunir les connaissances actuelles sur l'utilisation des données de rétrodiffusion radar sur des surfaces agricoles. La majorité des recherches ont pour but une caractérisation des paramètres bio-géophysiques de ces surfaces pour des applications diverses. Les résultats obtenus sont évidemment importants pour notre propre étude. Ils doivent permettre de guider les choix de l'étude à plusieurs niveaux :

Ainsi, au niveau de la préparation des données, le choix de la configuration la plus apte à différencier la rugosité doit être réalisée. La possibilité du satellite RADARSAT à sélectionner l'angle d'incidence est un atout évident. Il est alors indispensable de programmer les incidences les plus favorables à la détection de la rugosité, c'est -à-dire des incidences élevées.

Au niveau de l'organisation des campagnes de terrain, une attention particulière doit être portée sur tous les paramètres susceptibles de modifier le signal, qu'ils soient des paramètres recherchés ou non. Certaines études ont pu par exemple montrer l'intérêt des résidus de culture, par leur taux d'occupation ou par leur position.

Enfin, au niveau des analyses propres de l'étude. Nos résultats pourront confirmer des résultats existants à partir de données de diffusiomètre, et ainsi élargir les domaines d'application de certains modèles empiriques. Nous pourrions également tenter de définir des lois simples et inversibles entre le coefficient de rétrodiffusion σ^0 et les paramètres de surface, afin d'élargir la gamme des modèles empiriques existants.

6. Synthèse pour les besoins de l'étude

6.1. RAPPEL DES OBJECTIFS

L'utilisation des données satellites radar pour l'identification des états de surface agricoles constituent le thème de cette étude. A partir d'images radar, l'objectif est de définir comment et dans quelles limites un état de surface de parcelle agricole peut être décrit. Nous avons pu voir précédemment l'influence de l'humidité et de la rugosité des sols sur la rétrodiffusion radar. Ces deux facteurs correspondent à l'essentiel de la description de l'état de surface susceptible d'influencer le ruissellement.

La rugosité des sols sera plus particulièrement étudiée. En effet, le projet s'attache à étudier des surfaces pouvant être battues, c'est-à-dire où des croûtes de sol peuvent se former en surface. Ces croûtes limitent considérablement l'infiltration des eaux précipitées et accélèrent la vitesse des eaux ruisselées. Dans ces conditions la rugosité des sols est un indice d'encroûtement qui peut être analysé comme un facteur du ruissellement.

L'humidité est également un paramètre incontournable de l'étude du ruissellement et de la rétrodiffusion radar. Toutefois, nous avons vu que si la relation entre humidité et rétrodiffusion pouvait être envisagée à l'échelle du bassin versant, elle posait encore quelques problèmes à l'échelle de la parcelle agricole. Le choix des surfaces et des données radar étudiées favoriseront donc la caractérisation de la rugosité. Dans ces conditions, l'humidité restera un facteur limitant pour l'extraction de la rugosité.

6.2. ACQUISITIONS DES DONNEES

La phase d'acquisition des données constitue l'une des premières étapes de l'étude, ce rapport bibliographique permet d'utiliser les acquis d'autres études pour sélectionner les données de base appropriées à notre recherche.

a - Campagnes de terrain

Dans la mesure du possible, les paramètres acquis sur le terrain et les méthodes utilisées devront rester les mêmes pour tous les sites. Néanmoins, pour des raisons pratiques et d'éloignement géographiques des sites, certains matériels ne pourront être transportés, les méthodes de substitution devront autant que possible mesurer les mêmes paramètres. Ces derniers seront directement liés aux propriétés de rugosité et d'humidité des états de surface.

L'humidité : elle sera mesurée de manière à acquérir une constante diélectrique de la surface et des cinq premiers centimètres. La comparaison directe avec le coefficient de rétrodiffusion sera ainsi plus facile. De plus, la connaissance de cette constante permet de comparer des résultats de sites différents, et cela même si la composition texturale des sols évolue. Une mesure de teneur en eau du sol est également nécessaire pour pouvoir se rattacher à des situations hydrologiques connues.

La méthode utilisant une sonde TDR paraît la plus appropriée. Toutes les mesures demandées sont accessibles rapidement et de nombreux relevés peuvent être entrepris par une seule personne. Les acquisitions répétées de données satellites pourront être suivies par des mesures répétées de l'humidité et de la constante diélectrique.

La rugosité : Plusieurs approches doivent être réalisées simultanément : (1) une approche précise avec la mesure des paramètres statistiques de rugosité (s et l) ; (2) une approche plus pragmatique avec des estimations générales caractérisant les états de surface.

La mesure des paramètres statistiques nécessite une reproduction de la fonction décrivant la rugosité. Les rugosimètres sont des instruments souvent volumineux et difficilement transportables. Par conséquent, deux méthodes seront employées : sur le site canadien (Ste Angèle) le rugosimètre utilisé sera celui du Centre Canadien de Télédétection (rugosimètre photographique) ; sur les sites européens, le rugosimètre à aiguilles de l'INRA (Ardon) sera utilisé.

L'estimation des paramètres généraux caractérisant les états de surface sera effectuée sur la base de ceux réalisés par l'INRA pour le modèle hydrologique STREAM (Tableau 6.1). Ainsi une estimation de la dépression moyenne de la rugosité (D) et de la hauteur d'eau pouvant être stockée sera estimée dans deux directions, une estimation du taux de couverture végétale verte ou sèche, une estimation du faciès , etc.

Note	Description
Dénivellation entre dépressions et sols	
0<D<1 cm	Surface très affinée ou très battue
1<D<2 cm	Existence de barrages discontinus et de petits bourrelets entourant de petites dépressions
2<D<5 cm	Fort pourcentage de mottes de taille supérieures à 2 cm
5<D<15 cm	Nombreux "massifs" entourant des dépressions voire, état très motteux , relief serré, forte discontinuité
15<D cm	Rugosité maximale : état initial des labours ou des déchaumages à socs
Faciès	
F0	Tous les fragments sont parfaitement distincts
F1	Fragments soudés, contours encore reconnaissables ou disparus mais pas de signe de dispersion (croûte structurale)
F2	Continuité totale de la surface avec présence de signes de dispersion (croûte sédimentaire)
Couvert végétal	
1	0 % à 20%
2	21% à 60 %
3	61% à 100%

Tableau 6.1 - Paramètres de terrain d'états de surface

b - Acquisitions radar

Actuellement, deux catégories de satellite permettent d'acquérir des données radar systématiques en bande C. Les deux satellites européens ERS (1 et 2) ont une configuration identique : fréquence 5,3 GHz, polarisation parallèle VV et incidence fixe 23°. Le satellite canadien fonctionne avec une fréquence de 5,3GHz, une polarisation parallèle HH et une incidence variable de 20° à 50° en mode standard. La possibilité de sélectionner l'angle d'incidence pour les acquisitions du satellite RADARSAT est un atout primordial par rapport aux satellites ERS. Compte tenu des configurations définies comme les plus appropriées pour la détection de la rugosité, les requêtes seront établies dans la mesure du possible sur des incidences élevées au-delà de 40°.

L'acquisition de données ERS, à des dates équivalentes de celle de RADARSAT (1 à 2 jour(s) d'écart au maximum) devrait permettre de comparer pour des conditions d'états de surface identiques des coefficients de rétrodiffusion de chaque satellite.

	CANADA	FRANCE
	Ste Angèle	Pays de Caux
ERS	03 Juin 1997 23° Desc	08 février 1998 23° Desc
RADARSAT	04 Juin 1997 23° Desc	08 février 1998 47° Asc
		09 février 1997 39° Desc

Tableau 6.2 - Acquisitions radar sur deux sites FLOODGEN
(Date , incidence , mode ascendant ou descendant)

6.3. ANALYSES

A partir de l'ensemble des informations recueillies sur le terrain, diverses analyses pourront être menées.

L'une des premières consiste à étudier les valeurs et la répartition des paramètres de rugosité, qu'ils s'agissent des paramètres statistiques (s et l) ou des paramètres généraux (faciès, dépression de la rugosité). L'étude simultanée de ces deux approches de la rugosité est encore peu courante. Elle aboutit néanmoins à une estimation efficace des premières limites du radar. Ainsi, ils existent des surfaces qui bien que fort différentes d'un point de vue hydrologique possèdent des paramètres de rugosité statistiques identiques et ne pourront donc en aucun cas être distinguées par les données radar.

Tous les paramètres nécessaires étant acquis, une modélisation théorique du coefficient de rétrodiffusion pourra être réalisée pour les configurations des données satellites, mais également pour d'autres configurations. Ce genre d'étude permet à la fois de valider les modèles théoriques existants, puis d'étudier les configurations de satellites encore inexistantes.

Enfin, la recherche de lois simples entre coefficients de rétrodiffusion et paramètres de rugosité (statistiques ou généraux) doit aboutir à une méthode d'utilisation des données radar. Celle-ci tentera de définir des relations inversibles et leurs limites d'application. Cette étape constituera le travail le plus délicat de l'étude avec une réponse au principal objectif, à savoir l'extraction d'une information d'état de surface ou de rugosité par imagerie radar.

7. Conclusion

La télédétection est actuellement un outil courant pour l'aménagement et la gestion du territoire. La modélisation du ruissellement à l'échelle du bassin versant pour une meilleure gestion des eaux utilise déjà les données de modèles numériques de terrain ou d'occupation du sol issues des images optiques et infrarouge. Les possibilités des données radar à fournir des informations complémentaires sont progressivement étudiées. Un des objectifs du module C du projet FLOODGEN est de mieux connaître ces possibilités et plus particulièrement dans la caractérisation des états de surface.

La rétrodiffusion radar est essentiellement influencée par les propriétés diélectriques et géométriques des surfaces visées. Ces propriétés correspondent aux paramètres d'humidité et de rugosité qui conditionnent les états de surface d'un point de vue hydrologique. Le radar semble donc un outil adapté à compléter les données optiques et infrarouge pour caractériser les surfaces agricoles et permettre une meilleure modélisation des phénomènes de ruissellement.

Ce premier rapport de synthèse, dédié au module C du projet européen FLOODGEN, doit permettre de définir les axes de recherche et les méthodes à employer. Il regroupe les connaissances actuelles sur l'utilisation de données radar pour la caractérisation des surfaces agricoles pouvant être sensibles au phénomène de ruissellement. Ces acquis regroupent à la fois les définitions des termes de base de la rétrodiffusion, la description électromagnétique des états de surface et les techniques couramment employées pour paramétrer ces surfaces. L'ensemble de ces informations doit servir à une organisation des campagnes de terrain et des traitements de données pour les divers sites.

A partir des acquis de cette recherche bibliographique, nous pouvons définir plusieurs objectifs à atteindre :

- la reproduction à partir de données satellitaires de résultats acquis à partir de données de diffusiomètre de terrain.
- la validation des modèles théoriques, afin de mieux connaître leur domaine d'application, leur limite d'utilisation et de compléter les données acquises par des données modélisées.
- la définition de nouvelles relations empiriques directes entre le coefficient de rétrodiffusion et les paramètres hydrologiques des états de surface.

L'ensemble de ces objectifs doit apporter des réponses sur les possibilités de caractérisation des états de surface par imagerie radar, avec des configurations radar définies et pour chacune de ces configurations des techniques d'extraction de l'information et les limites d'application.

Bibliographie

Armand P. (1993) - Simulation du signal brut rétrodiffusé par des cibles étendues illuminées par un radar à ouverture synthétique. *Thèse 3^{ème} cycle Université de Paris 7.*

Autret C., Bernard R., Vidal-Madjar D. (1989) - Theoretical study of the sensitivity of the microwave backscattering coefficient to soil surface parameters . *Int. J. Remote Sensing*, vol 10, n°1, p171-179.

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*, vol 28, n°5.p 886-895.

Bellini A., (1994) - Analysis on surface scattering models for remote sensing applications. *ESA-ESTEC / XEP*, nov 94.

Benallegue M, (1993) - Etude de la faisabilité de la mesure par radar de l'humidité et de la rugosité des sols. *Thèse de 3 cycle , univ. de Paris-Sud-Orsay.*

Benallegue B., Normand M., Galle S., Dechambre M., Taconet O., Vidal-Madjar D., Prevot I. (1994). Soil moisture assessment at a basin scale using active microwave remote sensing : the AGRISCATT'88 airborne campaign on the orgeval watershed . *Int. j. remote sensing* 15 (3) 645-656.

Benallegue M., Taconet O., Vidal-Madjar D., Normand M. (1995) - The use of radar backscattering signals for measuring soil moisture and surface roughness. *Remote sensing of env*, vol 53,61-66.

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.

Bertuzzi P., Chanzy A., Vidal-Madjar D., Autret M. (1992) - The use of microwave backscatter for retrieving soil moisture over bare soil. *Int. J. Remote Sensing* vol 13, n° 4 pp 2653-2668.

Biard F., Bannari A., Bonn F. (1995) - SACRI (Soil Adjusted Corn Residue iIndex) : un indice utilisant le proche et le moyen infra-rouge pour la détection des résidus de culture de maïs. *C.R. 17eme symp. canadien de télédétection, Saskatoon*, pp 417-423

Bonn F., Rochon G. (1992) - Précis de télédétection: principes et méthodes .Vol 1, UREF,

Bonn F. (1994) - Télédétection de l'environnement dans l'espace francophone. ISBN 2-7605-0704-1

- Boivin F., Gwyn G.H.I, Thompson K.P.B.. (1990) - Effets de la géométrie de surface de champs de maïs sur la rétrodiffusion du radar bance C. *Journal canadien de télédétection vol.16 pp16-28*
- Boisvert J.B., Xu Q.P., Tremblay N., Bonn F., (1997) - Suivi des teneurs en eau et des cultures en sols organiques par hyperfréquences. International symposium GER'97, Ottawamay 1997.
- Borgeaud M., Attema E., Salgado-Gispert G., Bellini A., Noll I. (1995) - Analysis of bare soil surface roughness parameters with ERS-1 SAR data. *Symp intern. CNES-IEEE Toulouse, oct 95.*
- Borgeaud M., Noll I., (1994) - Analysis of theoretical surface scattering models for polarimetric microwave remote sensing of bare soils. *Int. J. of remote sensing vol 15, n°14 pp 2931-2942.*
- Borgeaud M., Noll I., Bellini A., (1993) - Use of ERS-1 SAR data for land applications. *Proceeding second ERS-1 Symposium - space at the service of our environnement hambourg, Germany, 11- 14 october 1993, ESA SP-361.*
- Bradley G.A., Ulaby F.T., Dobson M.C., (1981) - Radar reflectivity of bare and vegetation-covered soil. *In: sessions on remote sensing 1980; proceedings of the topical meeting of the COSPAR interdisciplinary scientific commission a of the COSPAR twenty-third plenary meeting. advances in Space Research. 1; 10, pages 91-104. 1981.*
- Burrough P.A., (1989) - Matching spatial databases and quantitative models in land resource assessment. *Soil use and management 5(1), p. 3-8*
- Cassanet I., (1988) - Satellites et capteurs. *Caen: paradigme.*
- Champion I., (1996) - Simple modelling of radar backscattering coefficient over a bare soil : variation with incidence angl, frequency and polarization. *Int. j. remote sensing vol 17, no4, pp783-800.*
- Chanzy A., Bruckler L., Bertuzzi P. (1990) - Modelling evaporation on bare soil using microwave data. Comparaison between a machanistic and a simplified model. *Proc. remote sensing and water resources enschede. the netherlands.*
- Chanzy A., (1993) - Basic soil surface characteristics derived from active microwave remote sensing. *Remote sensing reviews , 1993 vol 7., pp303-319.*
- Chen K.S. A.K. Fung (1992) - A comparison between backscattering models for rough surfaces. *IGARSS'92. vol 2 pp 907-909, 1992.*

Cihlar I. Hirose T., (1984) - On the SAR response of the agricultural targets in a northern prairie environment. In *proceedings of the international geosciences and remote sensing symposium 27-30, august Strasbourg . France.*

Cihlar J., (1987) - A methodology for mapping and monitoring cropland soil erosion. *Can. Journal Soil Sci. n° 67, p 433-444, august 1987.*

Cognard A.L., Loumagne C., Normand M., Ottele C., Vidal-Madjar D., Vidal A., (1995). Soil moisture and hydrological modelling using radar and optical remote sensing : a case study in Brittany (France). *Proc. of the second ERS applications workshop, London UK 6-8 december 1995. ESA SP-383, 153-156 feb. 96.*

Cognard-Plancq A-L (1996) - Suivi de l'état hydrique des sols par télédétection spatiale (radar et thermographie infra-rouge) et modélisation à l'échelle du bassin versant. Thèse de l'université de Paris-Sud, UFR Orsay, CEMAGREF Antony.

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.*

Danson F.M, Plummer S.E., eds (1995) - Advances in environmental remote sensing. *ISBN 0-471-95464-0.*

De Jong S. and Riezeboos H.Th., (1994) - Imaging spectroscopy, geostatistics and soil erosion models. In *conserving soil resources. European perspectives (eds R.J.Rickson) Silsoe college, Cranfield University, UK. pp. 232-245.*

De Jong S., (1994) - Applications of reflective remote sensing for land degradation studies in a mediterranean environment. *Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen, Universiteit Utrecht, Nederland.*

Deroin J.P., Legendre D., Simonin A., (1995) - Evaluation des potentialités du radar à synthèse d'ouverture pour la cartographie en milieu aride. Site de démonstration de Atar (Sahara, Mauritanie). *Symposium : Extraction de paramètres bio-géophysiques a partir de données RSO pour les applications terrestres,(Toulouse, 17-20 octobre 1995), pp. 603-612.*

Deroin J.P. et Simonin A., (1995) - Apport des données ERS-1 en cartographie géologique des milieux arides : site de démonstration d'Atar (Mauritanie) . *Projet pilote ESA pp2-f6 rapport BRGM R 38238*

Desnos V.L., Matteini V. (1993) - Review on structure detection and speckle filtering on ERS-1 images. *EARSel advances in remote sensing.vol.2, n°2-vi,1993.*

Dewez A., Dautrebande S. (1992) - Utilisation des données SAR d'ERS-1 pour l'étude des états de surface. *Proceedings first ERS-1 symposium "Space at the service of our environment, Cannes, France, 4-6 november 1992 ESA SP- 3595696571.*

DGXI CEE (1991) - Programme CORINE. Evaluation du risque d'érosion du sol et de l'importance des ressources en terre. *Rapport final*.

Dobson M.C., Ulaby F.T., (1981) - Microwave backscatter dependence on surface roughness, soil moisture and soil texture part II: soil tension" *IEEE Trans. Geos. Remote Sensing* vol GE- 19 pp 51-61

Dubois P.C., Van Zyl J., Engman T. (1994) - Measuring soil moisture with imaging radars. *IEEE Trans. on Geosc. and Remote Sensing* Vol 33 n°4 july 94

Dubois P.C., Van zyl j., Wood e., Engmant. (1995) - An empirical algorithm to measure soil moisture and surface roughness with imaging radars. *Symp. CNES IEEE Toulouse oct95*.

Dubucq M. (1986) - Télédétection spatiale et érosion des sols. Etude bibliographique. *Cahiers ORSTOM-pédologie*. vol XXII, n° 2, 247-258.

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, c1987*.

Elachi . (1988) - Spaceborne radar remote sensing : applications and techniques, *IEEE press, c1988*.

Engman E.T., Wang J.R. (1987) - Evaluationg roughness models of radar bacscatter. *IEEE. Trans Geosci. Remote Sensing*. Vol GE-25 n°6 pp709-713.

Engman E.T, (1986) - Roughness coefficient for routing surface runoff . *J. Irrig. Drain. Div. ASCE*, 112(1), pp. 39-53.

Engman E.T. (1993) - Remote sensing for hydrologic models. *In: proceedings of the federal interagency workshop on hydrologic modeling demands for the 90's. water-resources investigations - U. S. Geological Survey. pages 2.1-2.8. 1993*.

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.

Evans D.L.(1992) - Estimates of surface rougness derived from synthetic aperture radar (Sar) data. *IEEE transactions on science and remote sensing* , vol 30, n°2, 1992.

Fao - Esa . (1993) - Radar imagery : theory and interpretation, Lectures notes." *remote sensing centre reseach and technology development division agriculture department.Rome 1993*

- Fellah K., Besnus V., Clandillon S., Fraipont . (1994)) - Multi-temporal ERS-1 SAR data in environmental studies : researching a moisture parameter measurement in the soils of ried centre Alsace, France. *Proceedings of the second ERS-1 symposium : space at the service of our environment, hambourg.11-14 october 1993, ESA SP 361, 869-874.*
- Fung A. K., K. S. Chen, (1992) - Dependence of backscattering coefficients on roughness, Frequency and polarisation states. *Int. J. Remote Sensing . vol. 13, no 9, pp 1663-1680. 1992.*
- Fung A.K. (1992) - Backscattering from a randomly rough dielectric surface. *IEEE Trans. on Geosciences and Remote Sensing vol 30, no 2.*
- Fung A.K., Li Z., Chen K.S. (1992) - Backscattering from randomly rough dielectric surface. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing vol 30 n°2 pp 356-369.*
- Geng H., Gwyn Q.H.J., Brisco B., Brown R.J., boisvert J.B. (1996) - Mapping of soil moisture from C-band radar images. *Canadian Journal of Remote Sensing , vol 22, pp 117-126*
- Guillobez S., Gallet P., Arnaud M. (1993) - Premiers résultats de l'utilisation d'un profilographe (laser) pour la mesure de la rugosité du sol. *Cirad Montpellier , 12p.*
- Hallikainen M.T., ulaby F.T., Dobson M.C., El-Rayes M.A., Wu L.K., (1985) - Microwave dielectric behavior of wet soil -part I : Empirical models and experimental observations. *IEEE Trans. on Geosciences and Remote Sensing , vol Ge-23, No1 jan. 85*
- 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.*
- Hill I., Megier I., Mehl W., Sommer S.(1995) - Soils and vegetation degradation monitoring in the mediterranean basin by the use of remote sensing. *Symp. Intern. Surveillance des sols dans l'environnement par teledetection et SIG., Ouagadougou, Burkina Faso, 6-10 feb. 1995.*
- Huneycutt B.L. (1990) - Innovative operating modes and techniques for the spaceborne imaging RADAR-C instrument, *IEEE transactions on geoscience and remote sensing, vol. 28, no. 4, july 90*
- 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-BRGM 32278.*

Imeson A.C., Kwaad J.P.M. (1990) - The response of tilled soils to wetting by rainfall and the dynamic character of soil erodibility . *Jn. J. Boardman I.D.L.foster & J.A.dearing (eds.), soil erosion on agricultural land 3-4 wiley.*

Jaeger S. (1994) - Modelling regional soil erosion susceptibility in BadenWürttemberg, G, using the universal soil losses equation and Gis tools. *In Conserving Soil Resources. European Perspectives (eds R.J.Rickson) Silsoe college, Cranfield University, Uk. pp. 161-177.*

Jarry f. (1987) - Le ruissellement sur les terres agricoles : approche par simulation de pluie et par télédétection.. *Thèse Univ. Paris 7. Labo. Géographie.*

Jarry F., Normand M., Bernard R., Vidal- Madjar D. (1988) - Observation de la réponse de surfaces agricoles aux pluies par télédétection en hyperfréquences active aéroportée. *Hydrol. Continent 3, (2) pp 75-87.*

Johnson F., Brisco B., Brown R.J. (1997) - Evaluation of limits to the performance of the surface roughness meter. *Canadian Journal of Remote Sensing 1997 pp140-147.*

King C. (1979) - Contribution à l'utilisation des micro-ondes dans l'étude des sols. *Thèse INAPG*

King C., Le Bissonnais V., 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-BRGM N 32278.*

King C., Delpont G. (1993) - Spatial assessment of erosion : contribution of remote sensing, a review. *Remote Sensing review. 1993. vol 7, pp. 223-232.*

King C., Mathieu R., Le Bissonnais V., Souadi V. (1994) - Evaluation spatiale des risques d'érosion des sols : le potentiel des données SPOT et radar sur les paysages agricoles : sols limoneux du nord de la France. *6eme Symp. Intern. "Mesures physiques et signatures spectrales en télédétection." ISPRS-CNES-CNRS-ESA-INRA: 1093-1102.*

King C, Le Bissonnais Y, Taconet O, Benkhadra H, Tutrel R, (1995) - Soil roughness assessment at a watershed scale using active microwave remote sensing: interest for assessing risk of runoff and erosion. *Symposium: "Extraction de paramètres biogéophysiques à partir de données RSO pour les applications terrestres,(Toulouse octobre 95). pp. 347-360*

King D., Le Bissonnais Y. (1992) - Rôle des sols et des pratiques culturales dans l'infiltration et l'écoulement des eaux *C.R.. Acad. Agric. Fr, vol 78, n°6 pp 91-105.*

King D., Le Bissonnais V., Hardy R., Eimberck M., Maucorps I., King C. (1992) - Spatialisation régionale de l'évaluation des risques de ruissellement - exemple du nord-Pas-de-Calais. *Revue des sciences de l'information géographique et de l'analyse spatiale*. vol.2 n°2/1992, 229-246.

Laguerre L., (1995) - Influence de la rugosité de surface en radiométrie micro-onde des sols nus : expérimentation et modélisation. Thèse Université de Toulouse CESBIO.

Laur H. (1992) - Derivation of backscattering coefficient sigma 0 in Ers-1 SAR PRI products" *ESA ESRIN october 1992*.

Laur H., Le Toan t., Lopes A., (1987) - Textural segmentation of SAR images using first order statistical parameters" *IGARSS proceeding, ann arbor, 1987*.

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 Toulouse, France*.

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. on Farm Land Erosion, Paris, St Cloud, 25-29 mai 1992 - Eds S.Wicherek. ISBN 0-444-81466-3, p 87-96*.

Le Toan T., Merdas M., Smacchia P., Souyris J.C., Beaudoin A., Nagid Y., Lichtenegger J., (1994) - Soil moisture monitoring using ERS. and ERS1 *Symp. ESA Hambourg, 883-888*.

Le Toan T., Smacchia P., Souyris J.C., Beaudoin A., Merdas M., Wooding M., Lichtenegger J. (1993) -On the retrieval of soil moisture from ERS-1 SAR data. *Proceeding second ERS-1 Symposium - Space at the service of our environment Hambourg, Germany, 11-14 oct. 1993, ESA SP-361*.

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

Eek 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*.

Leek R., Solberg R (1995) - Using remote sensing for monitoring of autumn tillage in norway. *Int., J. Remote Sensing, vol 16 n° 3 pp 447-466*.

Lilin C., Paulet B. (1987) - L'érosion des sols cultivés en France : développement actuel et actions entreprises. *B.T.I , 417 p 71-89*.

- Lopes A., Nezry E., Touzi R., Laur H. (1993) - Structure detection and statistical adaptative speckle filtering in SAR images, *Int. J. Remote Sensing* vol. 14, n° 9, 1735-1758, 1993.
- Loumagne C., Michel C., Normand M. (1991) - Etat hydrique du sol et prévision des débits. *J. of Hydrology*, n° 123, p. 1-17.
- Lucci S., Della Lena S. (1994) - Runoff and erosion caused by different site preparation techniques in plantation forestry in a mediterranean site (Sardinia). *In Conserving Soil Resources. European perspectives (eds R.J.Rickson) Silsoe college, Cranfield University, Uk. p. 379-386.*
- Ludwig B., (1992) - L'érosion par ruissellement concentré des terres cultivées du nord du bassin parisien : analyse de la variabilité des symptômes d'érosion a l'échelle du bassin versant élémentaire. *Thèse de l'Université Louis Pasteur - Strasbourg*
- Martin R.D., Ghassem A., Kanemasu E.T. (1989) - C-band scatterometer measurements of a tallgrass prairie. *Remote Sensing of Environment*, vol 29, pp 281-292.
- Mattia F., Le Toan T., Souyris J.C., De Carolis G., Smacchia P., Casarano D., Floury N., Posa F., Pasquariello G., (1995) - The effect of surface roughness on multifrequency polarimetric sardata. *Symp Intern. CNES-IEEE Toulouse oct. 95*
- Mc Nairn H., Protz R. (1993) - Mapping corn residue cover on agricultural fields in Oxford county, Ontario, Using thematic mapper. *Canadian Journal of Remote Sensing* 19, 2, pp152-159.
- Mc Nairn H., Gwyn Q.H.J., Brown R.J., Wood D. (1997). Using radarsat to map tillage and residue on agricultural fields .*International symposium Ottawa, may1997*
- Mezosi G., Mucsi L. (1993) - Soil erosion assessment with the help of remote sensing methods. Intern. Symp. "Operationalization of Remote Sensing" 19-23 april 1993, ITC Enschede, the Netherland.
- Michelson D.B. (1994) - ERS1-SAR backscattering coefficient from bare fields with different tillage row directions. *Int. J. of Remote Sensing* vol 15, n° 13, 2679-2685.
- Mo T., Wang J.R., Schmugge T.J. (1988) - Estimation of surface roughness parameters from dual-frequency measurements of radar backscattering coefficients. *IEEE Trans. on Geosciences and Electronics*, vol 26, pp574-579.
- Mwendera et Feyen, (1994) - Effets of tillage and rainfall on soil surfaces roughness and properties. *Soil Technology*, 7, 93-103.

Narayanan R. M., Pardipuram R., Rundquist D.C., (1994). Statistical characteristics of simulated radar imagery from bare soil surfaces: effects of surface roughness and soil moisture variability, *IEEE TGARS*, vol. 32, no 1, pp. 159-168, 1994.

Nezri E., Lopes A., Touzi R. (1991) - Detection of structural and textural features for SAR images filtering" *IGARSS'91 remote sensing : Global Monitoring for Earth Management vol 1 p 2169 Helsinki Uni. Espoo Finland 3-6 june 1991.*

Normand M., Chkir N., Cognard A.L., Imberti M.C., Loumagne C., Otte C., Vidal A., Vidal-Madjar D. (1994) - Estimation of surface soil moisture from ERS-1/ SAR data for ; hydrological modelling purposes. *Proceeding of the first ERS.1 Pilot Project Workshop Toledo Spain June 1994 ESA SP -365, 97-102*

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, 5ème colloque inter., Courchevel (F), 14/18 janv. 1991.

Ogilvy j. A. (1991) - Theory of wave scattering from random rough surfaces. *ISBN 067503-0063-9.*

Oh Y. , Sarabandi K., Ulaby F.T. (1992) - An empirical model and an inversion technique for radar scattering from bare soil surfaces. *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing. vol 30, no 2 march 1992.*

Onstad C.A. (1984) - Depressional storage on tilled soil surface. *Transactions of the ASAE, vol 27,pp729-732*

Onstad C.A., Foster G.R., (1975) - Erosion modeling in a watershed." *Trans. asae 18(2), p. 288-292.*

Ouvry J.F. (1990) - Effet des techniques culturales sur la susceptibilité des terrains à l'érosion par ruissellement concentré : expérience du pays de Caux (France). *Cah. Orstom Ser. Pedol. vol xxv, n° 1-2 p 157-16.*

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, p. 467-483.*

Papy F., Douyer C. (1991) - Influence des états de surface du territoire agricole sur le déclenchement des inondations catastrophiques. *Agronomie 1,1 201-215.*

Papy F., Souchere V. (1992) - Maîtrise du ruissellement et de l'érosion : principes d'aménagement de l'espace. *Symp. Inter. on Farm Land Erosion, Paris, St Cloud, 25-29 mai 1992 eds S.Wicherek. ISBN 0-444-81466-3. p. 503-514.*

- Polidori L. (1997) - Cartographie radar. Gordon and Breach Science Publishers. ISBN 90-5699-050-0.
- Prevot L., Bernard R., Taconet O., Vidal-Madjar D., Thony J.L. (1984) - Evaporation from a bare soil evaluated using a soil water transfer model and remotely sensed surface soil moisture data. *Water Resources Research*. 20: 2, pages 311-316. 1984.
- Puech C. (1993) - Détermination des états de surface par télédétection pour caractériser les écoulements des petits bassins versants. Application à des bassins en zone méditerranéenne et en zone tropicale sèche. *Thèse doctorale. Université de Grenoble. LCT Montpellier*. 1993.
- Pultz T.J., Leconte R., Brown R.J., Brisco B. (1990) - Quantitative soil moisture extraction from SAR data. *Canadian Journal of Remote Sensing*. Vol 16(3), pp 56-62.
- Rakotoarivony L. (1995) - Validation de modèles de diffusion électromagnétique : comparaison entre simulations et mesures radar hélicoptère sur des surfaces agricoles de sol nu. *Thèse de 3 cycle Université de Caen*
- Rakotoarivony L., Taconet O., King C., Benallegue M., Le Bissonnais Y., Benkhadra H., Vidal-Madjar D. (1995) - Modelisation of microwave scattering over bare soils contributing to runoff and comparison with multifrequency (S,C,X) radar measurements. *PIERS Session k, Washington july 1995*.
- Raney R.K., Ahern F.J., Dams R.V., Werle D. (1990) - A review of radar remote sensing for tropical forest management. UN/FAO/ESA Microwave Workshop, INPE Sao Jose Dos Campos, 1990
- Rao K.S., Raju S., Rao Y.S. (1991) - Model for the retrieval of soil moisture and surface roughness parameters from multifrequency backscattering coefficients. *IGARSS'91 pp397-400.*
- Rao K.S., Raju S., Wang J.R. (1993) - Estimating of soil moisture and surface roughness parameters from backscattering coefficient. *IEEE Trans. Geosc. Remote Sensing vol 31, n° 5, pp 1094-1099*.
- Rees W.G. (1990) - Physical principles of remote sensing, *Cambridge University Press*, 1990.
- 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. on Farm Land Erosion, Paris, St Cloud, 25-29 mai 1992 - eds S.Wicherek. ISBN 0-444-81466-3, p. 571-586*.
- Saleh A. (1993) - Soil roughness measurement : chain method, *J. Soil and Water Cons.* 48, pp 527-529

- Shin R.T., Kong J.A. (1984) - Scattering of electromagnetic waves from a randomly perturbed quasi periodic surface. *J. Appl. Phys*, vol 56, n°1, pp1657-1670.
- Sieber A.J., Freitag B, Lawler K. (1982) - The aspect angle dependence of SAR images. *In Proceedings of the International Geosciences and Remote Sensing Symposium*, vol 2 fa-4, Munich F.R.G, 1982
- Singhroy V.H. (1992) - Radar geology : techniques and result. *Episodes*, vol.15, no.1, march
- Smith A.M., Major D.J, (1996) - Radar backscatter and crop residues. *Canadian Journal of Remote Sensing*. pp243-247.
- Solberg R. (1992) - Monitoring soil erosion in agricultural fields by ERS1 SAR. *Conf. Houston, Texas, Int. Geoscience and Remote Sensing Symp. 12th. 1356-1359.*
- Souchere V. (1995) - Modélisation spatiale du ruissellement à des fins d'aménagements contre l'érosion de talwegs. Application à des petits bassins versants en pays de Caux (Haute Normandie). *Thèse INAPG*
- Taconet O., Benallegue M., Vidal-Madjar D., Prevot L., Dechambre M., Normand M. (1995) - Estimation of soil and crop parameters for wheat from airborne radar backscattering data in C and X bands, *Remote Sensing env. 50*, pp287-294.
- Taconet O., Benallegue M., Vidal-Madjar D., Vidal A., Prevot L., Dechambre M., Normand M., (1993) - Limits of soil moisture measurements from active microwave remote sensing for evaporation retrieval. *Workshop thermal remote sensing on the energy and water balance over vegetation in conjunction with other sensors.*
- Trevett J.W. (1986) - Imaging radar for resources surveys, *Chapman and Hall, London New-York.*
- Ulaby F.T. (1974) - Radar measurements of soil moisture content. *IEEE Trans. Antenna Propagation*, AP-22(2), pp 257-265
- Ulaby F.T. (1975) - Radar response to vegetation. *IEEE Trans. Antenna Propagation* , Ap-23(2), pp 36-45
- Ulaby F.T., Bare J.E. (1979) - Look direction modulation function of the radar backscattering coefficient of agricultural fields, *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*, vol 45, pp 1495-1506, nov 1979.
- 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.

Ulaby F.T., Moore R.K., & Fung A.K. (1982-1986) - Microwave remote sensing active and passive, *vol. I, II, III, Artech house. Inc. Inc. Norwood, 1982-86*

Venkataratnam L., Rao P.V.N., Rao B.R.M., Sreenivas K., Ramana K.V., Dwivedi R.S. (1993) - Soil moisture estimation using ERS-1 synthetic aperture radar data. *Proceeding second ERS-1 symposium space at the service of our environment Hambourg, Germany, 11-14 october 1993, ESA SP-361.*

Voltz M., Andrieux P. (1994) - Etude des flux d'eau et de polluants en milieu méditerranéen viticole : le programme Allegro - Roujean. Bilan des travaux 1993 et programme 1994." *AIP "valorisation et protection des ressources en eau " INRA Montpellier 31pp*

Wang J.R., Choudhury B.I., (1981) - Remote sensing of soil moisture content over bare field at 1.4 ghz frequency. *J. Geophys. Res. 86:5277-5282.*

Whitt M.W., Ulaby F.T, (1994) - Radar response of periodic vegetation canopies. *Int. J. Remote Sensing vol 15, n° 9 , pp 1813-1849.*

Zribi M. (1995) - Interprétation de l'imagerie radar polarimétrique pour l'hydrologie. *Rapport ENSI en constructions aéronautiques.*

Zribi M., Taconet O., Ciarletti V., Boissard P., Rabin B., Chapron M. (1997) - Characterisation of the soil structure and microwave backscattering based on numerical three dimensional surface representation , *Copenhague, 7-11 juil. 1997.*

Annexe 10 : Programmation des campagnes radar : CARTEL



Pour observer et comprendre notre Planète

Centre d'applications et de recherches en télédétection
Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada J1K 2R1
Tél: +1 819 821 71 80, Télécopie: +1 819 821 79 44
Prof. Dr. Ferdinand Bonn, +1 819 821 8000 poste 2964
fbonn@courrier.usherb.ca

Sherbrooke, le 25 février 1998

M. James Ikkers/ Mme Renée Larivière
CCRS order desk

fax: 613 992 02 85

Objet: Proposition FLOODGEN Canada / dossier No VIAA97-001

Monsieur/Madame,

Suite aux recommandations de MM. de Maurivez et de M. Denis Auger, je vous fais parvenir les coordonnées des sites retenus pour l'acquisition d'images RADARSAT en Europe. Comme vous le savez, il y a une certaine urgence attachée à ces acquisitions parce que les sols concernés doivent être nus, couverts de résidus ou faiblement couverts de végétation. Les acquisitions d'images des sites européens doivent donc absolument être réalisées avant la fin de mars, sinon la croissance des cultures aura masqué l'information recherchée en termes de rugosité, d'axes de labour ou de chemins d'eau. Pour les sites canadiens, nous avons un peu plus de temps, ces conditions se rencontrant plutôt au mois de mai.

Je vous demande donc d'effectuer la programmation de ces acquisitions le plus rapidement possible, quitte à les garder en archives en attendant de les traiter. Pouvez vous me tenir informé des dates et passages qui seront effectivement retenus? La planification des équipes de terrain en dépend, car pour les mesures de rugosité et d'humidité sur sols nus, il est important d'avoir des observations simultanées au passage du satellite.

Le tableau de la page suivante présente les coordonnées des centres d'images que nous voudrions commander. Dans le cas des sites allemands, les collègues ont interrogé le Track Planner et ont fourni les cartes correspondantes. Elles sont annexées.

Site	Latitude	Longitude	Mode	Nombre	Date: du	Date: au
Suisse	N 46 38 00	E 06 31 30	S5 à S7	1 image	01 Mar	31 Mar
France, Normandie	Images déjà	commandées	par le	BRGM		
France, Solnan	N 46 26 00	E 05 12 00	S5 à S7	3 images	20 Fev	15 Avr
Allemagne	N 49 39 00	E 06 46 00	S5 à S7	2 images	01 Mar	31 Mar
Allemagne	N 49 39 00	E 06 46 00	S2	2 images	01 Mar	31 Mar
Italie	N 45 35 00	E 08 50 00	F3 à F5	1 image	20 Fev	31 Mar

Les coordonnées allemandes sont détaillées dans les tableaux qui suivent. Dans leur cas, ils aimeraient avoir un S2 et un S5 à 7 en orbite ascendante et en orbite descendante, ce qui permettrait de détailler l'effet de la rugosité directionnelle et de faire des essais de stéréoscopie radar.

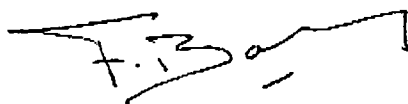
Dans le cas du bassin du Solnan en France, les 3 images devraient être espacées de 2 semaines environ pour pouvoir suivre l'évolution de la rugosité de surface.

Le BRGM a déjà commandé ses images pour le secteur de Haute Normandie

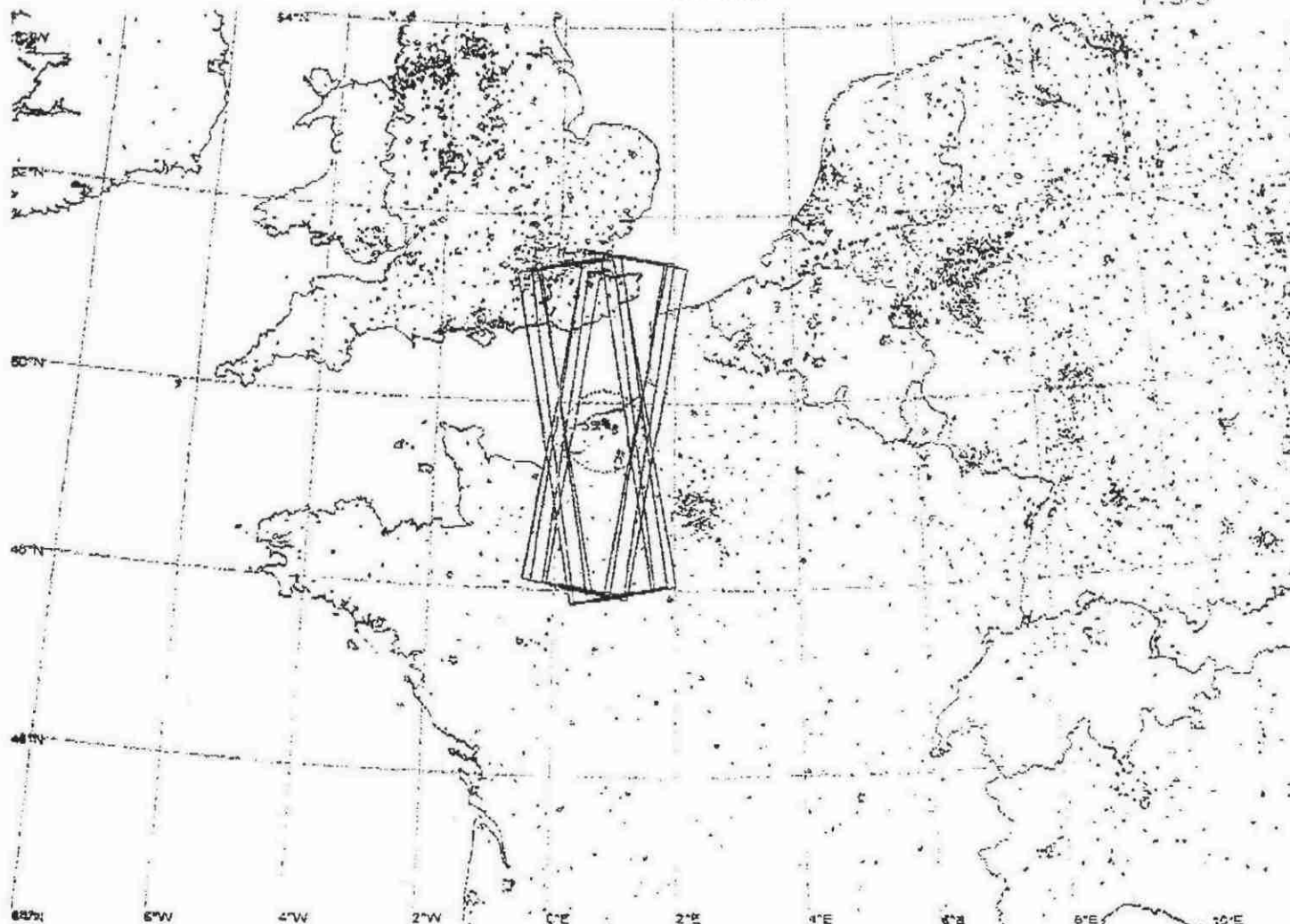
Pour l'Italie, nous avons choisi le mode fin à cause de la petite taille des parcelles et de la forte urbanisation du secteur.

Merci de votre appui

Ferdinand Bonn



cc. P. Vincent, Viasat
A. Rémond, BRGM

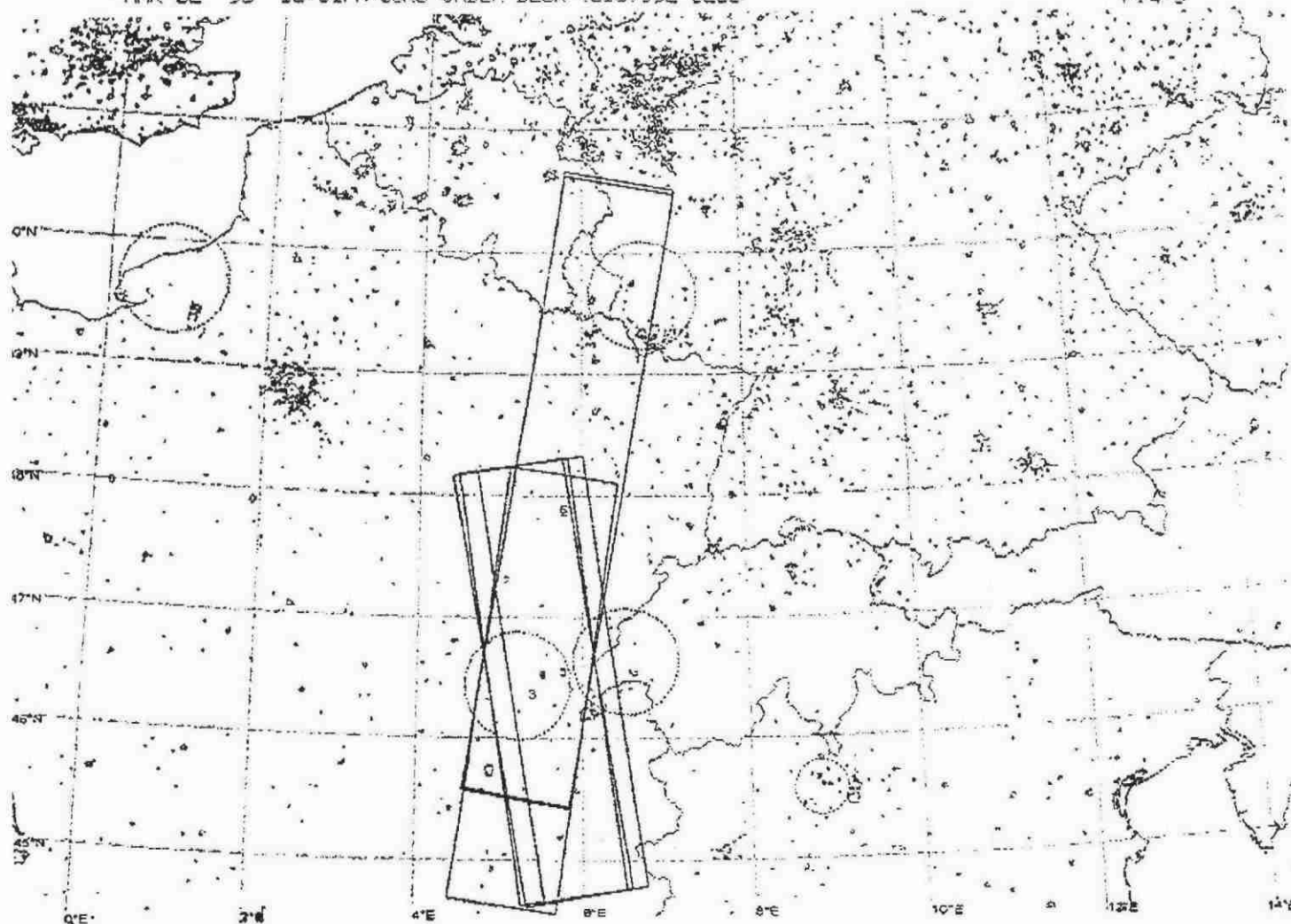


Norm. all. htm

Browse Swaths					
+ 1998-Mar-05 06:05:17.59	DES 00:01:00.09	STND (S5)	FRAMES=1	X	
+ 1998-Mar-12 06:01:06.66	DES 00:01:00.09	STND (S6)	FRAMES=1		
+ 1998-Mar-18 17:48:55.62	ASC 00:01:00.03	STND (S5)	FRAMES=1		
+ 1998-Mar-19 06:56:55.85	DES 00:01:00.03	STND (S7)	FRAMES=1		
+ 1998-Mar-22 06:09:27.73	DES 00:01:00.09	STND (S4)	FRAMES=1		
+ 1998-Mar-25 17:44:45.17	ASC 00:01:00.09	STND (S4)	FRAMES=1		
+ 1998-Mar-28 17:57:16.69	ASC 00:01:00.09	STND (S7)	FRAMES=1		
+ 1998-Mar-29 06:05:17.53	DES 00:01:00.03	STND (S5)	FRAMES=1		
+ 1998-Apr-04 17:53:06.55	ASC 00:01:00.09	STND (S6)	FRAMES=1		

Delete View Close

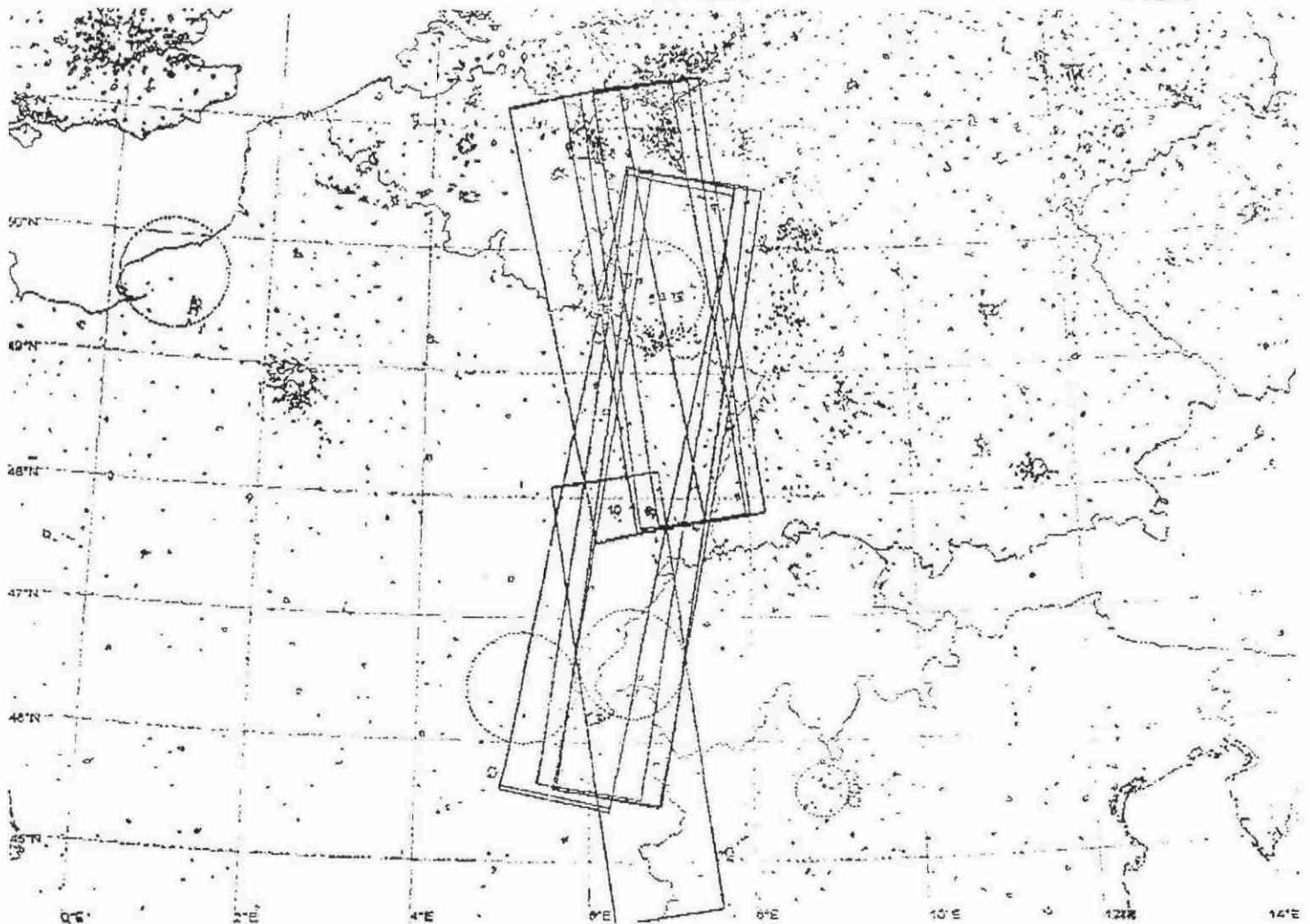
-Lost to conflict



Solnan-all.ktm

Browse Swaths				
+ 1998-Mar-08 17:39:34.40	ASC 00:01:00.03	STND [S7]	FRAMES=1	
+ 1998-Mar-16 05:44:34.49	DES 00:01:25.24	STND [S5]	FRAMES=1	
+ 1998-Mar-30 05:36:53.93	DES 00:01:00.03	STND [S7]	FRAMES=1	
+ 1998-Apr-01 17:39:34.34	ASC 00:01:00.03	STND [S7]	FRAMES=1	
+ 1998-Apr-08 17:35:23.77	ASC 00:01:00.03	STND [S6]	FRAMES=1	
+ 1998-Apr-09 05:44:33.89	DES 00:01:26.15	STND [S5]	FRAMES=1	
+ 1998-Apr-15 17:31:13.21	ASC 00:01:00.03	STND [S5]	FRAMES=1	

Close



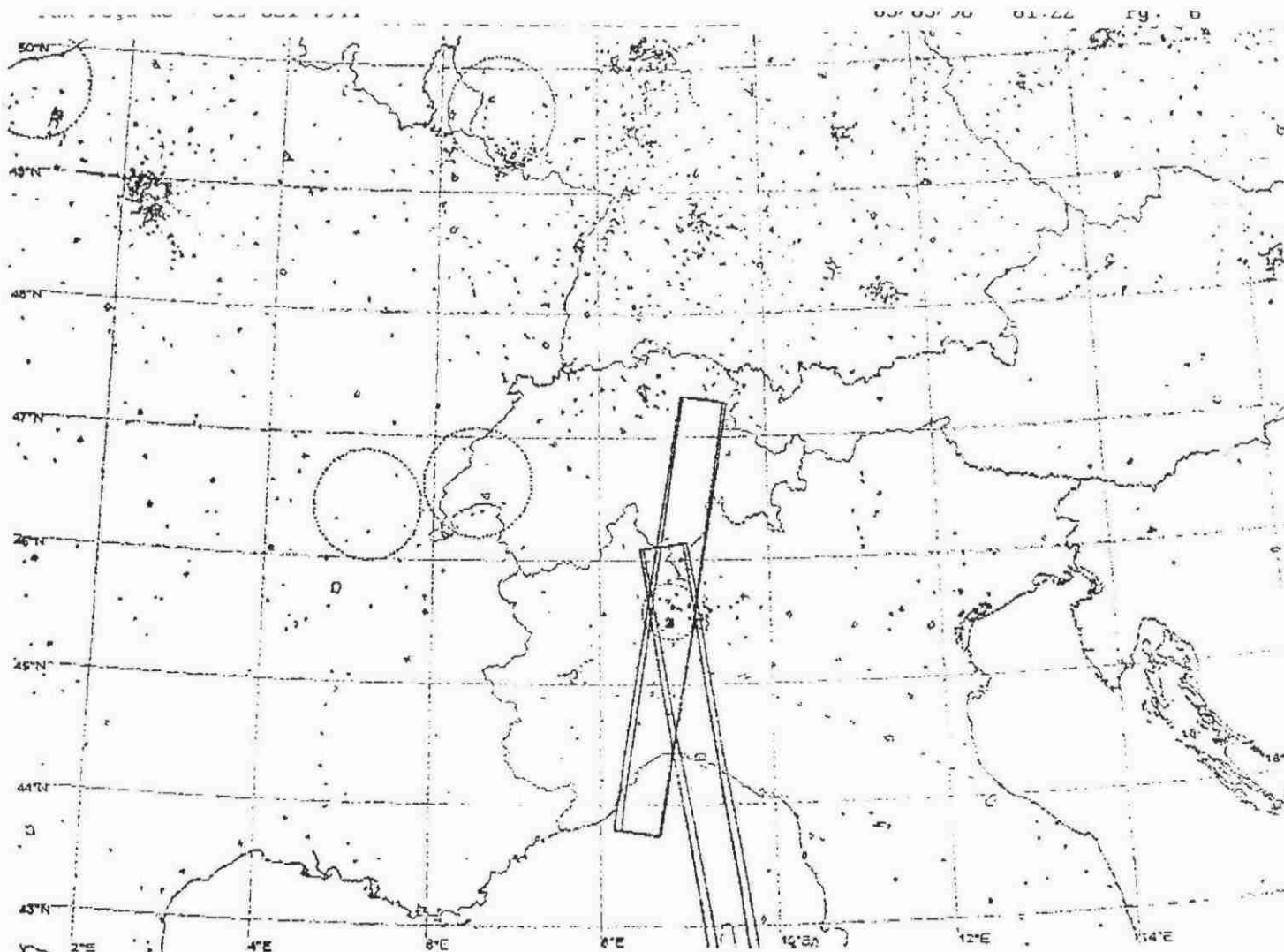
germ-sw1.htm

Browse Swaths					
+	1998-Mar-02 05:52:54.11	DES 00:01:25.00	STND (S2)	FRAMES=1	X
+	1998-Mar-02 17:15:21.06	ASC 00:01:00.03	STND (S2)	FRAMES=1	X
+	1998-Mar-05 17:27:52.27	ASC 00:01:00.03	STND (S6)	FRAMES=1	X
+	1998-Mar-06 05:36:11.49	DES 00:01:25.24	STND (S6)	FRAMES=1	X
+	1998-Mar-12 17:23:41.89	ASC 00:01:00.03	STND (S5)	FRAMES=1	
+	1998-Mar-13 05:32:00.99	DES 00:01:25.72	STND (S7)	FRAMES=1	X
+	1998-Mar-15 17:35:20.02	ASC 00:01:00.94	STND (S7)	FRAMES=1-sw	
+	1998-Mar-22 17:32:03.32	ASC 00:01:00.03	STND (S7)	FRAMES=1	
+	1998-Mar-23 05:40:22.54	DES 00:01:25.30	STND (S5)	FRAMES=1	
+	1998-Mar-26 05:52:53.15	DES 00:01:26.57	STND (S2)	FRAMES=1	

lost to conflict

"
"
"
"

+) + Mar 26 @ 17:15:21 Asc S2 (S2) FRAME=1
+ Mar-29 @ 17:27:52 Asc S6 FRAME=1



Italy_all.htm

Browse Swaths					
+ 1998-Mar-03 05:24:32.15	DES 00:01:00.03	FINE (F4F)	FRAMES=1	X	
+ 1998-Mar-12 17:22:11.99	ASC 00:01:00.03	FINE (F3F)	FRAMES=1		
+ 1998-Mar-20 05:28:42.77	DES 00:01:00.03	FINE (F2F)	FRAMES=1		
+ 1998-Mar-27 05:24:32.09	DES 00:01:00.21	FINE (F4F)	FRAMES=1		
+ 1998-Mar-29 17:26:22.68	ASC 00:01:00.03	FINE (F5F)	FRAMES=1		

View Close

Lost to Conflict

Hello

As the canadian budget has now been approved in principle, we plan to send a field team composed of:

Patrick Cliche & Eric Arsenault, CARTEL
Mathieu Benoit & Stéphane Hardy, Viasat

They will be in Europe from April 6 to 16th. Unfortunately, the Easter week-end falls within that period, but if we wait too long, most fields will be grown over. They will arrive in Paris on the 6th in the morning and rent a car.

Proposed itinerary:

6th (Monday) Paris-Lyon. Pick-up of tripod and Spectralon reflector.
Hotel somewhere between Lyon and Genève (Bourg?). Purchase of french topo maps.

7th (Tuesday) Lausanne. Morning: Pick-up of GER radiometer at EPFL, meeting with Jacynthe. Afternoon: field measurements on the swiss site (GPS + GER). Overnight in Lausanne.

8th (Wednesday) Additional measurements if required in the morning. Transit to Italy via Simplon. Overnight in Angera or Ispra region.

9th (Thursday) Meeting with Andrea Ajmar in front of the JRC. Measurements on the italian site located close by.

10th (Friday) Transit from Ispra to Lyon or Bourg via Mt Blanc Tunnel.

11th (Saturday) Meeting in Bourg with one of the the Lyon students (Vincent?) Measurements on the Solnan.

12th (Sunday) Transit from Bourg to Trier via Nancy-Metz.

13th (Monday) Meeting with Michael. Measurements in Trier (morning).
Begin of transit to Pays de Caux via Metz-Reims and around Paris (Beauvais).

14th (Tuesday) Meeting with Agnes on the test site. Measurements in the Pays de Caux.

15th (Wednesday) Additional measurements in Pays de Caux. Return to Paris airport area in the evening.

16th (Thursday) Return to Canada.

Busy and sounds crazy. Lots of mileage, too.

2nd choice: reduce the number of sites, concentrate on the northern ones

(Switzerland, Germany and Pays de Caux) and leave the southern
(Solnan,
Italy) sites for next winter when ASTER and SPOT 4 data will be
available.

Reactions?

À bientôt

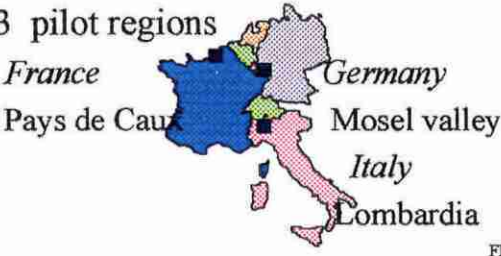
Ferdinand

Prof. Dr. Ferdinand Bonn
Centre d'applications et de recherches en teledetection (CARTEL)
Departement de geographie et teledetection, Universite de Sherbrooke
SHERBROOKE, Quebec, Canada J1K 2R1
Tel: +1 819 821 8000 poste 2964 Fax: +1 819 821 7944
E-Mail: fbonn@courrier.usherb.ca
WWW: <http://www.callisto.si.usherb.ca/~cartel>

Annexe 11 : Elements pour le CEO newsletter

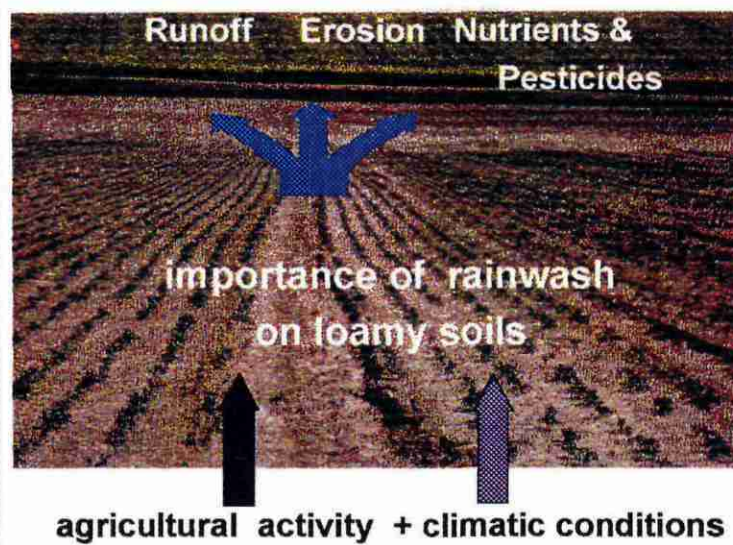
Project descriptions for 'EO for Customers' publications:

	<i>Please fill in these sections and save file as 'XXXX.doc' where XXXX= acronym of project</i>
Acronym and title	 Flood risk reduction by space borne recognition of indicators of excess runoff generating areas
Customer group (specific customer and 'also serves')	• DRAF (regional water and forestry division for Normandy, France) • ERSAL (regional board for agricultural development for Lombardy, Italy) • DGVI-F2 (European Commission, Agricultural Directorate General) <u>other potential customers:</u> • other regional authorities and national ministries
Projects in brief (including customer's info needs, project objectives and deliverables) (this will probably be the largest section)	Floods are among the major natural hazards affecting landscapes, agriculture and human activity. They cause recurrent losses of yield, of revenue and sometimes of human life. They also contribute to the erosion and destruction of soils, to loss of fertilisers, to the spreading of pollutants, and a deterioration in the quality of distributed water (image 1). Regional authorities in France and Italy, and the DGVI (Agriculture) of the European Commission are seeking ways to reduce the risk of floods. Existing remote sensing and GIS techniques have the capability to identify land cover, basin shape and morphometry, which are key indicators in hydrological behaviour. FLOODGEN will assess regional risk of runoff using reliable, existing methods. It will use remote sensing to classify the agricultural areas in catchment basins by the risk they pose for the flood zones downstream (images 2 and 3). It will then design and test a decision support system, based on remote sensing, to examine whether changes in the set-aside policy might reduce the risk of floods downstream. It will develop a web site containing three levels of information: basic; scientific; and help to decision makers. It will demonstrate a reliable method of regional assessment, largely based on remote sensing, that can be reproduced over much of Europe. Finally, at local scale it will also provide a prototype to simulate the effects of Common Agricultural Policy regulations under the method of STREAM model (INRA). It will also investigate the use of other sensors for this purpose, including radar (ERS or Radarsat system), high spatial resolution optical sensors, and the middle infra-red.
Consortium and co-ordinator (with contact details)	FR BRGM Bureau de Recherches Géologiques et Minières FR INRA Institut National de la Recherche Agronomique FR University of Lyon 2 DE University of Trier CH EPFL Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne CA Centre d'applications et de recherches en télédétection du

	CARTEL, Univ. De Sherbrooke IT ERSAL (regional agency for agricultural development)
Geographic area covered by the project (to be graphicall displayed rather than in text)	3 pilot regions  France Pays de Caux Germany Mosel valley Italy Lombardia FLOODGEN - CE/CEE
For indexing: 1. keywords 2. thematic area	1. loamy soils, risk of runoff, changes of scale, catchment basin , agricultural practices, SPOT, ERS, Radarsat 2. Normandy (Pays de Caux) and the Plain of the Rhône, (France), Mosel (Germany), part of the plain of the Pô in Lombardy (Italy) ST Angèle (Canada), haute Mentue (Switzerland)

Relevant images

image 1



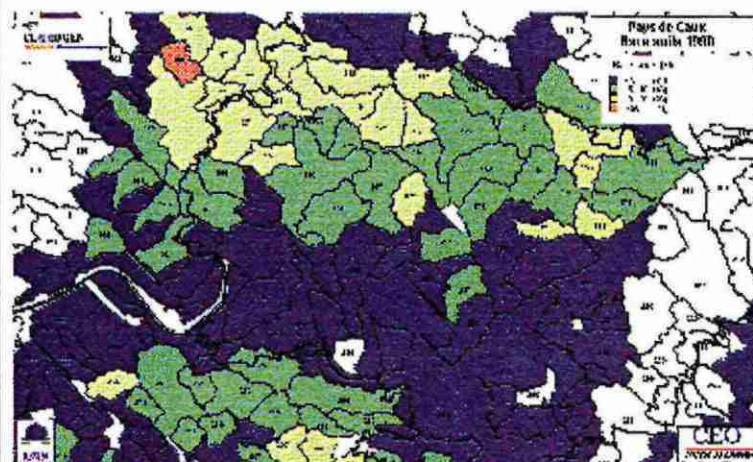
First Product :

regional assessment of risk of runoff by catchment basin

Herafter an extract of the regional product : a map of catchment basins with various rate of surfaces offering a potential contribution to runoff in winter

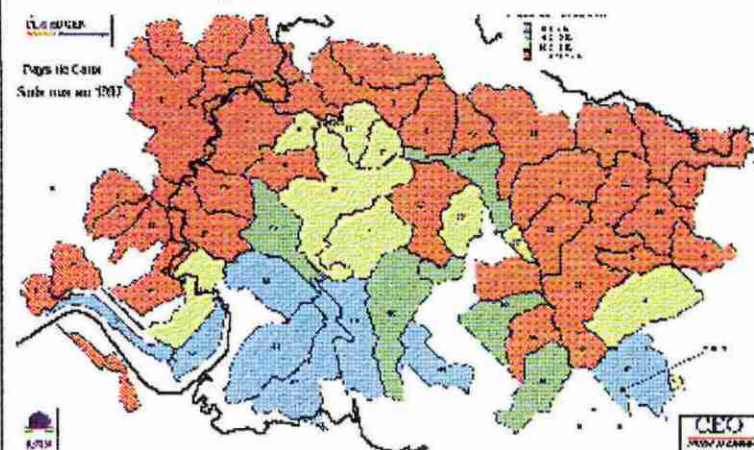
1990 around the town of Rouen (Normandy) .

image 2

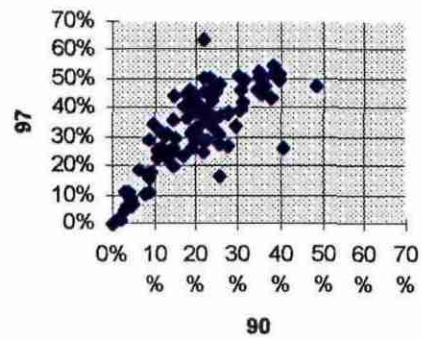


and the significant evolution of the situation in winter 1997

image 3



Pilot site of Pays de Caux
Variation of Areas potentially Contributing to
Runoff around Rouen between winter 199à
and 1997



The agricultural situation has significantly changed since 7 years and increases the risk of potential runoff in case of unfavourable rainy conditions. The major changes are identified at the scale of catchment basin and provide an homogeneous regional view of the priority areas.

image 3

Second STEP : the analysis of runoff processes inside catchment basin will be done by coupling remote sensing data and deterministic models of runoff.

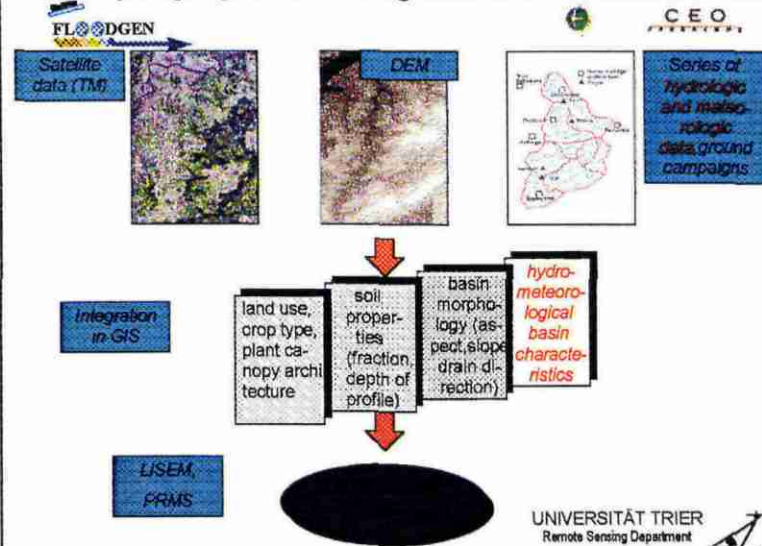


image 4

Global Step : For every step, the required data, and the chain of processing are described in a conceptual model of organisation (MOT).

