

Paramétrisation du potentiel de ruissellement des bassins versants au moyen de la Télédétection et des Systèmes d'Informations Géographiques

E. Blanchard ⁽¹⁾, C. King ⁽¹⁾, Y. Le Bissonais ⁽²⁾, A. Bourguignon ⁽¹⁾, V. Souchère ⁽³⁾, J-F. Desprats ⁽¹⁾, P. Maurizot ⁽¹⁾

1 : BRGM, Service Aménagement et Risques Naturels, 3 avenue C. Guillemin, BP 6009, 45060 Orléans CEDEX 2, France

2 : INRA, Unité de Science du Sol, SESCOF, BP 20619, Ardon 45166 Olivet CEDEX, France

3 : INRA, SAD Ile de France, RD 10 (Route de St Cyr), 78026 Versailles CEDEX, France

RÉSUMÉ

Des dégâts croissants liés au ruissellement excessif en Pays de Caux préoccupent les instances régionales qui sont en charge de l'aménagement du territoire. Nous proposons une méthodologie qui vise à estimer des paramètres du ruissellement au moyen de la télédétection et des SIG. Elle permet de proposer une comparaison objective des contraintes intrinsèques et anthropiques de chaque bassin versant cultivé de 1 000 à 5 000 ha.

Les caractéristiques de ruissellement potentiel sont analysées à partir des composantes de l'occupation du sol aggravant ou freinant le ruissellement et de leur distribution sur trois espaces fonctionnels différents en terme de ruissellement. Les paramètres retenus sont : la proportion et la compacité des surfaces contributives au ruissellement sur la partie amont des versants, la proportion des axes de concentration des eaux de surface non couverts par des prairies et enfin, la proportion de fortes pentes non occupées par des prairies ou des forêts.

L'analyse de l'évolution temporelle de ces indices et la comparaison entre bassins montrent l'importance des changements favorables au ruissellement qui ont pu intervenir entre 1990 et 1997.

La connaissance de ces changements est une information importante pour les acteurs régionaux. L'intérêt de ces paramètres réside dans leur utilisation pour identifier les zones sensibles au ruissellement. Ils peuvent donc servir d'outils d'aide à la décision dans le cadre d'une politique d'aménagement des bassins versants visant à réduire le ruissellement. La perspective d'une généralisation de ces indices pour une étude de sensibilité régionale est envisagée.

Mots clés

Ruissellement - Télédétection - Modèle Numérique de Terrain - Espaces fonctionnels - Paramètres morphologiques - Indices de compacité - Surfaces potentiellement Contributives au Ruissellement

SUMMARY

ASSESSMENT OF POTENTIAL RUNOFF PARAMETERS IN CATCHMENTS IN PAYS DE CAUX (NORMANDY, FRANCE) COMBINING REMOTE SENSING AND GIS

The increasingly frequent occurrences of runoff damage in the Pays de Caux is causing serious concern among the regional authorities. We propose a method to assess runoff parameters using Remote sensing and GIS. This method allows an objective comparison of intrinsic and anthropic constraints in nine cultivated catchments (1 000 to 5 000 ha each).

Our analysis of the potential runoff characteristics takes into account the land use components which increase or limit runoff, and their spatial distribution across three functional units that differ with respect to runoff. The selected parameters are : the proportion and concentration of grasslands on an 80-meter wide strip around the channelling pathways of surface water, the proportion and concentration of runoff contributing areas in the upper parts of the catchments and, finally, the proportion of grassland and forest areas on steep slopes.

An analysis of changes in these indices over time and a comparison among the catchments showed that between 1990 and 1997, there has been a significant increase of runoff contributing areas.

Information on these changes is vital for the regional decision makers. These indices are interesting in so far as they enable the identification of areas sensitive to runoff and contribute a decision support tool to land management policies aimed at curtailing runoff in catchments. The generalisation of these parameters for regional applications is being investigated.

Key-words

Runoff - Remote sensing - Digital Elevation Model - Morphological parameters - Concentration indices - Potential runoff contributing areas

RESUMEN

PARAMETRIZACIÓN DEL POTENCIAL DE ESCURRIMIENTO DE LAS CUENCAS CON EL MEDIO DE LA TELEDETECCIÓN Y DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIONES GEOGRÁFICOS. Aplicación a las cuencas del País de Caux

Desgastes crecientes ligados a los escurrimientos excesivos en País de Caux preocupan las instancias regionales que están a cargo del ordenamiento del territorio. Proponemos una metodología que busque estimar los parámetros del escurrimiento por medio de la teledetección y de los SIG. Permite proponer una comparación objetiva de las limitantes intrínsecas y antrópicas de cada cuenca cultivada de 1000 a 5000 ha.

Las características del escurrimiento potencial son analizadas a partir de los componentes de la ocupación del suelo que aumentan o frenan el escurrimiento y de su distribución sobre tres espacios funcionales diferentes en término de escurrimiento. Los parámetros retenidos son: la proporción y la compacidad de las superficies que contribuyen al escurrimiento sobre las partes aguas arriba de las vertientes, la proporción de las vías de concentración de las aguas de superficie no cubiertas por praderas y por último, la proporción de fuertes pendientes no ocupadas por praderas o bosques.

El análisis de la evolución temporal de estos índices y la comparación entre cuencas muestran la importancia de los cambios favorables al escurrimiento que pudieron intervenir entre 1990 y 1997.

El conocimiento de estos cambios es una información importante para los actores regionales. El interés de estos parámetros reside en su utilización para identificar las zonas sensibles al escurrimiento. Pueden, entonces, servir de herramientas de ayuda a la decisión en el cuadro de una política de acondicionamiento de las cuencas que buscan reducir el escurrimiento. Se prevé la perspectiva de una generalización de estos índices para un estudio de sensibilidad regional.

Palabras claves

Escurrecimiento, teledetección, modelo numérico de terreno, espacios funcionales, parámetros morfológicos, índices de compacidad, superficies que contribuyen potencialmente al escurrimiento.

Sur toute la ceinture des sols à texture limoneuse du Nord de l'Europe, on note depuis une vingtaine d'années une augmentation de l'érosion des terres cultivées associée à des ruissellements excessifs (Papy et Douyer, 1991; Souchère, 1995; Martin, 1997). Ceci s'accompagne d'une turbidité fréquente des eaux superficielles, voire d'un risque d'entraînement des pesticides (Lecomte et al., 1997), deux enjeux préoccupants pour la qualité des eaux.

La compréhension des effets des pratiques agricoles au sein de chaque bassin versant (Boiffin et al., 1988; Ludwig, 1992; Souchère et al., 1998), tout autant que celle des dégâts récurrents à l'échelle des collectivités locales, - envasement de routes et des infrastructures collectives - (Ministère de l'Environnement, 1996), ont justifié la mise en place récente d'une politique de réduction des risques en Haute-Normandie qui oriente délibérément ses actions sur les surfaces agricoles situées en amont des bassins versants. L'objectif est de promouvoir des méthodes de gestion collective du ruissellement à l'échelle des bassins versants, pour (1) localiser les zones d'intervention prioritaires, (2) limiter les excès du ruissellement de surface et (3) réduire les risques de dégâts en aval. Dans ce contexte, disposer d'outils de localisation et de suivi des zones de ruissellement potentiel serait précieux pour orienter les mesures de protection. Plusieurs travaux de recherche tentent de répondre à ce besoin, soit par des approches de modèles spatialisés, soit par des techniques de télédétection.

L'imagerie satellitaire du domaine optique permet un accès direct à l'information sur l'occupation des sols, et progressivement, des travaux l'utilisent pour caractériser les surfaces à risques de ruissellement et d'érosion : par le biais du couvert végétal, de l'occupation du sol, d'informations sur la morphologie ou les pratiques agricoles. Fréquemment le type de sol associé à un facteur d'érodabilité (lithologie, pente, couvert végétal) est indirectement recherché (Courault 1989, de Jong, 1992). Certains travaux s'efforcent enfin de discriminer les surfaces de ruissellement potentiel en tenant compte des espaces fonctionnels que sont les bassins versants (Puech, 1993; King et al., 1994; Mathieu et al., 1996; Vine, 1997).

En télédétection, les travaux actuels occupent deux domaines de développement :

(1) élargir les possibilités de caractérisation des états de surface : par exemple reconnaître des résidus de culture, comme agents de protection des surfaces (Biard et al., 1995), identifier la présence de matière organique, frein au risque d'encroûtement (Arrouays et al., 1996), quantifier les paramètres de rugosité des surfaces qui conditionnent les écoulements ou, au contraire, la détention superficielle de l'eau (Rémond, 1996; Govers et al., 1998), quantifier les états hydriques favorisant la genèse du ruissellement de certains sols (Cognard et al., 1995).

(2) utiliser ces informations dans des modèles de ruisselle-

ment (Leek, 1992; Pillesjö, 1992; Puech, 1993; Vine, 1997; Zhangshi et al., 1997). Ceci ne se fait encore que lentement pour trois raisons principales : l'inadéquation actuelle entre les échelles d'espace ou de temps maîtrisées par les modèles et les paramètres accessibles par voie satellite, la nature des paramètres soit requis en entrée des modèles soit actuellement accessibles par voie satellite, enfin les difficultés de validation (Bonn, 1998).

Différentes unités spatiales sont utilisées pour l'étude du ruissellement dans les approches déterministes et les approches probabilistes. Les approches déterministes s'appuient sur les parcelles agricoles ou les systèmes de pentes homogènes, voire les bassins versants élémentaires (Morgan et al., 1998; Nearing, 1989). A l'échelle régionale une approche déterministe des phénomènes est difficilement envisageable, les systèmes de bassins hydrologiques sont utilisés comme des unités spatiales d'intégration pour des approches probabilistes (King et al., 1998). Ces bassins versants peuvent être extraits des cartes topographiques ou des modèles numériques de terrains (MNT) (Moore et al., 1991).

L'objectif du travail présenté est de proposer des paramètres d'estimation du potentiel de ruissellement de bassins versants qui soient à la fois accessibles par voie satellitaire et compatibles avec les connaissances acquises sur le comportement des sols et des bassins versants. Cette méthode s'appuie sur les techniques de SIG et porte sur une série de bassins versants situés dans la région du Pays de Caux (Normandie, France). L'approche proposée est d'évaluer les surfaces contributives au ruissellement et d'intégrer l'information selon une segmentation des bassins versants en espaces fonctionnels du ruissellement.

SITE ET MATÉRIEL

Contexte

Malgré un relief modéré et des précipitations peu agressives, un certain nombre de caractéristiques de cette région sont favorables aux risques de ruissellement (Souchère, 1995) : d'une part, en surface des sols à dominante limoneuse, les agrégats se dégradent rapidement sous l'action de la pluie, ce qui se traduit par l'apparition de croûtes de battance très lisses. La rugosité et l'infiltration sont alors réduites, favorisant la genèse du ruissellement en cas de précipitations (Papy et Douyer, 1991; Boiffin et al., 1988; Le Bissonnais, 1990; Ludwig et al., 1995).

D'autre part, l'espace agricole du Pays de Caux a aussi été le siège d'un important remembrement et d'une évolution significative de la SAU¹ (Boiffin et al., 1988). Les prairies bien

1 - Surface Agricole Utile

représentées dans le système polyculture-élevage dominant jusque dans les années 70 ont été progressivement réduites. Cette régression a entraîné la mise en culture de zones très fragiles d'un point de vue morphologique comme des versants pentus ou des talwegs peu marqués. Elle a aussi eu pour effet de diminuer l'emprise des prairies sur l'amont des bassins versants, et de favoriser l'extension des cultures annuelles dont les conditions de mise en place sont fréquemment défavorables à la stabilité structurale des sols et laissent les sols à nu ou peu couverts pendant toute une partie du cycle cultural. L'introduction récente de cultures comme le pois et le maïs ensilage a aussi augmenté le pourcentage d'intercultures longues (entre deux cultures de printemps). Or, ce type d'intercultures après des chantiers de récolte de pommes de terre, de betteraves, de maïs ou de lin augmente la présence de Surfaces potentiellement Contributives au Ruissellement (SCR), compte tenu de l'état de dégradation des sols et de l'absence de résidus végétaux (Boiffin et al., 1986).

Les plus gros dégâts sont bien sûr observés lors des épisodes orageux, qui se manifestent tardivement (fin de printemps et début d'été). L'agressivité des pluies est dans ce cas telle qu'elle peut rendre inefficace toute action de l'homme sur les surfaces agricoles (catastrophe de Villers-Ecalles et St Martin de Boscherville en juin 1997, Gilard et Nedelec, 1997). Mais aux saisons de pluviométrie critiques de l'hiver jusqu'au début de printemps, le cumul de ces pluies moins agressives peut atteindre également des niveaux importants. Durant ces périodes, un contrôle des états de surface peut être très signifi-

catif pour réduire le ruissellement excessif. C'est pourquoi plusieurs actions incitent à une modification des pratiques culturales et notamment à une meilleure gestion des intercultures qui doit transparaître autant en hiver qu'à la période charnière de début de printemps.

Choix des bassins versants

Huit bassins versants de 1 000 à 5 000 hectares ont été choisis (tableau 1). Ils présentent des disparités dans le nombre de déclarations de catastrophes naturelles recensées et se situent en diverses situations hydro-climatiques, au sein des trois unités de paysages naturels du Pays de Caux (figure 1) : le Caux maritime sud (2 BV), le Caux intérieur nord (4 BV) et la région de Rouen-Yvetot-Caudebec (2 BV). Ces 8 bassins sont situés en dehors des zones d'aménagement déjà réalisées dans cette région (bassin de rétention, marre tampon...). Enfin un neuvième bassin a servi de référence pour valider la classification multi-temporelle : celui de Villers-Ecalles, qui a subi d'importants ruissellements en 1997 et qui a pu être totalement inventorié en termes d'occupation du sol.

Données utilisées

Trois groupes de données sont utilisés :

1. les données permettant de segmenter l'espace de la région pilote pour se concentrer sur les surfaces d'intérêt (limites de bassins versants calculées à partir du Modèle Numérique de Terrain de l'IGN, à la maille de 50 mètres, données CORINE land Cover pour extraire les zones

Tableau 1 - Description détaillée des BV sélectionnés

Table 1 - Detailed description of the selected catchments

	N° BV	Nom BV	Nombre de déclarations entre 1983 et 1997 CAT-NAT***	SNH(1)/SAU % 1990	SNH(1)/SAU % 1997	Nombre d'aménagements	Données externes	
							INRA	DRAF
Rouen	169*	Yvetot-Caudebec	13	30-40	50-60	0	-	x
Yvetot	180*	Goupillières	1	20-30	50-60	0	-	x
Caudebec	239*	Villers-Ecalles	1	20-30	40-50	0	-	x
Caux	67**	Bourville	1	-	50-60	3	x	-
intérieur	102**	Saône le Bourg	3	-	40-50	0	-	-
nord	43**(2)	St-Pierre-de-Bénouville	13	-	50-60	0	-	-
	121**	Val de Saône	10	-	50-60	0	-	-
Caux	120**	Fongueusemare	8	-	50-60	0	x	x
maritime sud	99**	Ganzeville	13	-	50-60	0	-	-

(1) Sols nus en hiver

(2) Segment amont
Couverture SPOT : * 1990-97, ** 97

CAT-NAT *** : Déclarations de Catastrophes Naturelles

Figure 1 - Localisation des bassins versants-test dans le Pays de Caux
Limites de bassins versants : calcul BRGM à partir du fond BD Topo de l'IGN

Figure 1 - Localisation of selected catchments in Pays de Caux -
Boundaries of catchments extracted by BRGM from altimeter data base of Bd Topo IGN

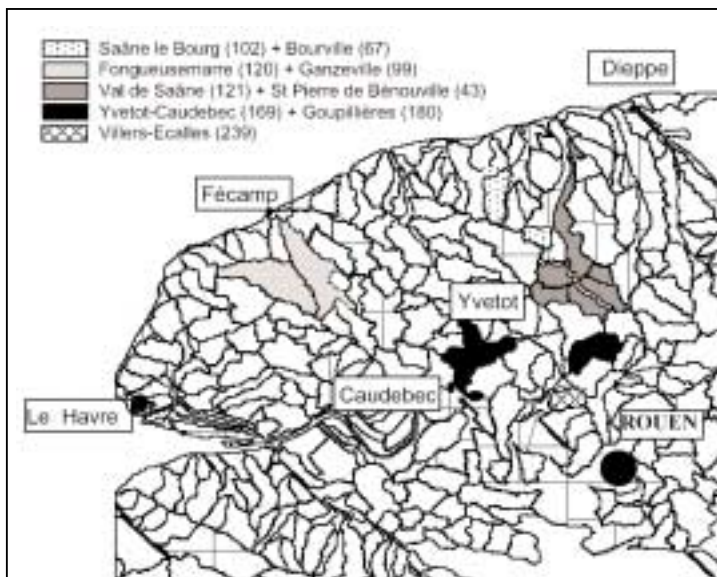


Tableau 2 - Données satellitaires SPOT utilisées

Table 2 - Used SPOT data

Années	1 ^{ère} date : hiver	K*	J*
1990	22-fév	36	250
1997	12-mar	35	250
	12-mar	36	250
	12-mar	35	249
	12-mar	36	249

Années	2 ^{ème} date : printemps ou fin d'été (selon disponibilité)	K*	J*
1990	03-mai	36	249
	03-mai	36	250
1997	17-sep	36	249
	26-sep	35	249
	26-sep	35	250

* Les scènes SPOT sont repérées sur une grille oblique.

Les colonnes K correspondent à la trace de l'orbite de SPOT (de K22 à K61 pour la France).

Les lignes J correspondent à une numérotation à latitude constante (de J246 à J266 pour la France).

urbaines).

2. les données satellitaires permettant d'observer les états de surface et l'occupation du sol à diverses saisons avec deux séries temporelles SPOT 1990 et 1997 (tableau 2). Les données de SPOT 1990 sont seulement disponibles dans la zone du Pays de Caux intérieur et englobent partiellement 6 des 9 bassins étudiés. Compte tenu des données disponibles, nous proposons d'étudier la période de fin d'hiver/début de printemps.

3. les données permettant de vérifier et de contrôler la cohérence des résultats (données du Recensement Général Agricole de 1988), données de CORINE land Cover, relevés de 68 parcelles enquêtées sur une grille aléatoire en mars 1997 et inventaire de l'occupation du sol sur une commune entière sur Villers Ecalles en été 1997.

METHODE

La méthode proposée comporte trois étapes : 1. la segmentation des bassins versants en espaces fonctionnels selon une procédure semi-automatique, 2. la caractérisation du potentiel ruisselant au sein de chaque espace fonctionnel à une saison donnée, à partir de classifications multispectrales, 3. l'analyse de tous les bassins versants selon les distributions spatiales et, quand les données l'autorisent, selon l'évolution temporelle de l'occupation du sol.

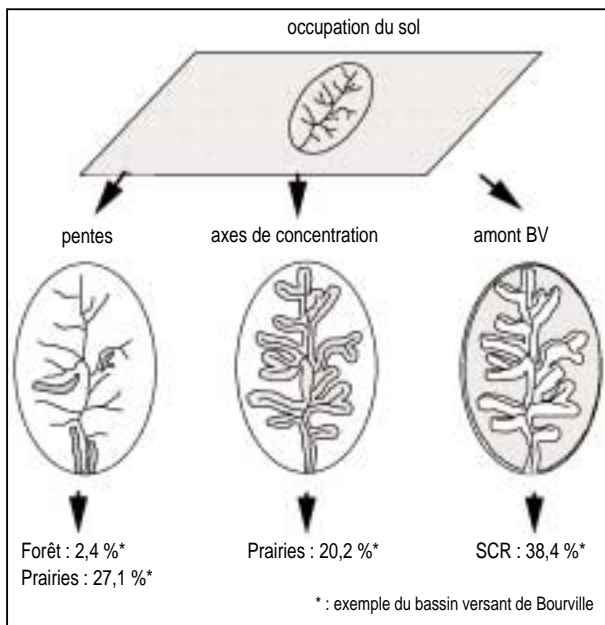
Segmentation au sein des bassins versants

On propose de segmenter chaque bassin versant en trois types d'unités fonctionnelles vis à vis du ruissellement (figure 2) : (1) les zones de concentration du ruissellement localisées dans les talwegs favorables au creusement de ravines (CONCENTRATION), (2) le tiers amont des versants, domaine où le ruissellement diffus est le mécanisme dominant (AMONT), et enfin (3) les fortes pentes à l'échelle régionale (PENTES) qui accélèrent tout type de ruissellement.

(1). La délimitation de la zone de CONCENTRATION des eaux de surface se fait en deux temps : (i) l'extraction du réseau d'écoulement des eaux se fait à partir du Log de l'Aire Contributive. Pour chaque pixel de l'image, l'algorithme identifie le nombre de pixels amont contribuant aux écoulements passant par ce point. Pour définir le réseau le plus fin possible, il faut détecter tous les drains morphologiques : un seuil de contribution est fixé bassin par bassin par itérations

Figure 2 - Délimitation des 3 espaces fonctionnels du ruissellement au sein du bassin versant

Figure 2 - Delimitation of the 3 operating spaces of runoff inside the catchment



successives, jusqu'à apparition des drains ne mesurant qu'un pixel de large. Ensuite, (ii) une enveloppe topologique autour de ce réseau est calculée au moyen d'une fonction SIG. Sa dimension est fixée à 80 mètres, en lien avec les mesures agri-environnementales actuellement en vigueur, qui favorisent l'enherbement dans une bande de cette largeur autour des drains.

(2). L'AMONT des versants est défini comme le tiers amont des versants s'étendant jusqu'à l'enveloppe externe du bassin. Cette zone est obtenue à partir du calcul de la position relative dans le versant, calcul qui est indépendant de la taille et de la forme des bassins versants.

(3). PENTES : A la maille de 50 m du MNT IGN, le calcul des pentes de la région d'intérêt donne au pire des pentes ne dépassant pas 15 %. Les pentes prises en compte dans cette étude sont fixées à 8 % et plus d'après les observations de terrain (Souchère, 1995). Cette zone PENTES, calculée sur un critère absolu et non topologique, peut recouper les deux zones précédentes.

Caractérisation du potentiel ruisselant selon les espaces fonctionnels

Parmi les composantes de l'occupation du sol les plus déterminantes sur le ruissellement il faut distinguer d'une part, les freins au ruissellement que sont les prairies et les forêts,

agissant comme zone de réinfiltration, et d'autre part les Surfaces potentiellement Contributives au Ruissellement diffus (SCR) qui varient selon la saison. Bien qu'ayant un rôle non négligeable dans les processus de ruissellement d'un territoire, les zones urbanisées, fournies par les données Corine Land Cover, ne sont pas intégrées au calcul des Surfaces potentiellement Contributives au Ruissellement.

Dans l'identification des SCR, on doit tenir compte, en fin d'automne et début hiver, des céréales d'hiver ou des intercultures, qui offrent massivement des surfaces favorables. En fin d'hiver et début de printemps, ce mécanisme se réduit dès que leur couverture dépasse 30 %, stade qui est bien détecté par imagerie. Les SCR englobent alors les surfaces soit peu couvertes par des semis d'hiver faits tardivement, soit, parmi les parcelles réservées aux cultures de printemps, les surfaces laissées en l'état après un chantier de récolte ou celles non occupées par des intercultures.

Nous choisissons dans cette présentation de faire l'analyse pour la période de fin d'hiver et début de printemps.

Les classifications pour l'occupation du sol

Les images SPOT disponibles en 1997 imposent les dates d'observation (mars et septembre 1997). Les critères de reconnaissance des diverses composantes de l'occupation du sol s'appuient sur la moitié du lot des parcelles enquêtées en mars, leurs réponses spectrales aux deux dates et la connaissance du calendrier des cultures régionales. On distingue trois groupes principaux : les cultures d'hiver, les cultures de printemps précoces, et les cultures de printemps à récolte tardive (tableau 3 d'après Martin, 1997). Seules les intercultures ne peuvent être strictement calées sur ce calendrier. Huit types d'occupation du sol ont été distingués et la sélection du potentiel ruisselant durant la période de fin d'hiver/début de printemps se fait selon les règles de décision du tableau 4.

Pour les données SPOT de 1990 (février et mai), aucune information de terrain n'existait. Le référentiel établi pour 1997 a été extrapolé, ce qui est aisé pour les surfaces saisonnièrement non ou peu couvertes de végétation, mais ce couple de dates implique de fortes restrictions sur la capacité à bien reconnaître les prairies, qui peuvent ressembler à des céréales d'hiver ou à des colzas s'ils sont déjà couvrants en février (ce qui est en pratique assez rare).

Validation de l'occupation du sol

Pour les données de 1997, deux types de validation sont effectués : d'une part en comparaison à l'autre demi lot des parcelles de référence. La matrice de confusion traduit les performances de validation spectrale (tableau 5). D'autre part une validation locale sur l'entité d'un groupe de communes (Saint-Martin-de-Boscherville, Le Houlme, Villers-Ecalles, Hénouville-La Fontaine). Ces relevés distinguent trois types de surfaces : les forêts, les terres labourables et les prairies. La superposition des

Tableau 3 - Calendrier culturel dans le Pays de Caux (d'après P.Martin, 1997)

Table 3 - Crop calendar in the Pays de Caux

		Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct
Céréales d'Hiver	Blé	←-----→									←-----→		
	Colza										←-----→		←-----→
	Escourgeon	-----→								←-----→			←-----→
Cultures de Printemps précoces	Pois				←-----→						←-----→		
	Lin					←-----→					←-----→		
Cultures de Printemps tardives	Pomme de terre					←-----→					←-----→		
	Betterave	-----→				←-----→					←-----→		
	Mais							←-----→			←-----→		

Légende : Semis ←-----→ Récolte ←-----→

Tableau 4 - Règles de décision pour le calcul des Surfaces potentiellement Contributives au Ruissellement (SCR) en fin d'hiver et début de printemps

Table 4 - Rules of decision for the assessment of Areas contributing to Runoff at the end of winter and the beginning of spring

Occupation du sol	Restrictions	Attribution
- forêts - prairies - cultures d'hiver	déjà bien développées (blé d'hiver, colza, orge, escourgeon et intercultures)	protectrice contre le ruissellement
- cultures de printemps tardives - cultures de printemps précoces - sols nus aux deux dates	incluent les cultures d'hiver semées tardivement (peu couvrantes en mars et récoltées en septembre) et des cultures de printemps précoces (non couvrantes en mars et récoltées en septembre). par ex : blé avec un précédent comme la betterave, l'orge de printemps, le pois, le lin, ou la pomme de terre.	non protectrice contre le ruissellement de fin d'hiver/ début de printemps = SCR
- eau - zones urbanisées	issues de CORINE Land Cover	types d'occupation du sol non prises en compte

résultats de la classification bi-date 97 sur cette zone permet d'estimer la superficie des surfaces reconnues par l'analyse des images satellites. Les zones de forêts sont toutes identifiées correctement, les zones urbaines sont masquées à partir des données issues de CORINE. Sur la Surface Agricole Utile restante, 91 % des surfaces sont bien reconnues (tableau 6). Les 9 %

de points divergents de l'enquête de la D.R.A.F sont dues majoritairement à des zones de cultures intermédiaires suivies de cultures de printemps tardives identifiées abusivement en prairies par la classification 1997. Les différences restantes se partagent entre des parcelles non renseignées par l'enquête de terrain, ou identifiées en prairies sur le terrain alors qu'elles ont été assi-

Tableau 5 - Matrice de confusion des classes discriminées à partir des images SPOT de mars-septembre 1997

Table 5 - Confusion matrix of discriminated classes from SPOT data of march and september 1997

TERRAIN CLASSIF.	Forêts 1	Forêts 2	Forêts 3	Eaux 1	Eaux 2	Eaux 3	Cultures d'hiver	Cultures tardives	Cultures précoces	Zones indust.	Zones urbaines	Prairies
Forêts 1*	94,3	2,9	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Forêts 2	2,1	97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Forêts 3	1,2	-	94,5	-	-	-	-	-	-	-	0,14	-
Eaux 1	-	-	-	94,7	-	-	-	-	-	-	-	-
Eaux 2	-	-	-	-	88	0,3	-	-	-	2,72	0,05	-
Eaux 3	-	-	-	0,03	0,09	95,2	-	-	-	-	-	-
Cultures d'hiver	-	-	-	-	-	-	99,9	0,13	-	-	0,05	0,35
Cultures tardives	0,03	-	-	-	-	-	-	95,4	0,86	-	-	-
Cultures précoces	-	-	-	-	-	-	-	-	90,5	0,11	0,05	-
Zones industrielles	-	-	-	-	3,6	1,04	-	-	-	79,9	1,54	-
Zones urbaines	0,1	-	-	-	0,1	0,15	-	-	-	1,79	90,1	-
Prairies	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	90,9
TOTAL	3644	891	781	7849	2313	674	816	790	1044	1840	2073	862

milées à des cultures de printemps tardives par la classification 97.

Comme dans toutes les procédures d'inventaire agricole utilisant la télédétection, des biais peuvent être introduits dans les classifications par les effets de bordure de parcelles agricoles ou forestières et la confusion avec certains objets (chemins, cours de ferme...). Ces classifications d'occupation du sol n'ont de valeur qu'en termes relatifs et on peut les utiliser comme des indicateurs aux échelles de ces bassins versants. Pour des estimations opposables à un inventaire réglementaire, seule une correction de ces classifications par estimateur de régression permettrait de chiffrer les incertitudes (Meyer-Roux et al., 1989).

Pour les données de 1990, faute de données terrain, seule une approche de convergence a été tentée pour la catégorie prairie avec les informations de CORINE sur la même rubrique. Mais l'exercice est quasiment impossible, car les données sont établies à partir de documents de dates très variables et sont organisées sur des tachètes de 25 hectares minimum, qui englobent des groupes de prairies hétérogènes (vergers partiels) voire créent des erreurs incontrôlables.

Analyse de la répartition spatiale de l'occupation du sol

Les Surfaces Potentiellement Contributives au Ruissellement (SCR) sont analysées dans la zone AMONT des versants, les forêts et les prairies sont inventoriées sur les PENTES fortes et enfin la distribution des prairies est analysée dans les zones de CONCENTRATION des écoulements.

Les différentes proportions de SCR, de prairies et forêt au sein des espaces fonctionnels considérés sont calculées directement en comptabilisant les pixels classés et comparées soit spatialement entre bassins versants, soit temporellement pour un même bassin :

$$P_i = \frac{n_i}{n_e} \quad (1)$$

Avec i variant de 1 à 3 (1 pour prairie, 2 pour SCR, 3 pour Forêt), n_i = le nombre de pixels de i contenus dans un espace fonctionnel, n_e = le nombre de pixels de la Surface de l'espace fonctionnel considéré.

Pour tenir compte du morcellement ou de la compacité de surfaces de même catégorie au sein de chaque espace fonctionnel, on calcule le nombre et la taille des plages, ou lots de parcelles, englobant des surfaces aux caractéristiques similaires. Le calcul de ces plages se fait après élimination des points isolés grâce à une fenêtre de filtrage 5x5. Ces plages sont transformées en polygones topologiques. La compacité moyenne $M_{i,e}$ de l'occupation du sol i dans l'espace fonctionnel e revient à calculer la surface moyenne des polygones ou rapport de la surface totale concernée sur le nombre de polygones qui la constitue :

$$M_{i,e} = \frac{S_{i,e}}{N_{i,e}} \quad \text{en ha} \quad (2)$$

Superficie totale de la zone comparée	Proportion des forêts	Proportion des zones urbaines
69,08 km ²	36,6 %	11,52 %
Superficie de la zone comparée hors thèmes forêts et zones urbaines	Superficie des objets bien reconnus par la classification 97	Proportion d'objets bien reconnus par la classification 97
35,84 km ²	32,7 km ²	91,2 %

Tableau 6 - Performance de la classification de 1997 évaluée à partir des données de terrain fournies par la DRAF

Table 6 - Assessment of the classification of 1997 by comparison with ground data provided by DRAF

Avec $N_{i,e}$ = le Nombre de polygones de l'occupation du sol ciblée dans l'unité fonctionnelle e

$S_{i,e}$ = la Surface totale en ha de l'occupation du sol i dans l'unité fonctionnelle e

$S_{i,e} = n_i \times 0,04$ (ha)

A surface totale égale, deux unités fonctionnelles peuvent connaître des morcellements différents qui peuvent renseigner sur le mode de gestion de l'espace, une compacité élevée signifiant des parcelles coalescentes. Si de telles surfaces coalescentes correspondent à des Surfaces potentiellement Contributives au Ruissellement, la vitesse de l'eau ruisselante va se trouver augmentée alors que les possibilités d'un transfert vers un autre type d'occupation du sol, plus favorable à l'infiltration, seront réduites. Aussi plus la compacité sera forte, plus le ruissellement potentiel de l'unité sera important.

Ces critères simples affectés à des unités fonctionnelles disjointes permettent des comparaisons indépendamment de la taille des bassins versants.

RÉSULTATS

Résultats cartographiques : exemple du bassin versant de Fongueusemare (planche 1)

Quatre supports cartographiques permettent de visualiser la distribution des différentes composantes de l'occupation du sol étudiées selon les espaces fonctionnels. A chacun sont rattachés les résultats statistiques des indicateurs proposés et regroupés dans le tableau 7.

Répartition spatiale de l'occupation du sol sur la série des 9 bassins de 1997

Les proportions respectives P_i , des forêts, des prairies et des surfaces contributives au ruissellement (SCR) dans les unités fonctionnelles définies, sont examinées par rapport à la proportion de l'ensemble de la classe i reconnue au sein du bassin versant entier.

La proportion des forêts au sein des zones de PENTES > 8 % est très significativement supérieure à celle des forêts sur l'ensemble du bassin versant, quel que soit le bassin. Dès lors que la forêt est présente (de 5 à 20 % selon les cas), elle est en majorité sur les pentes, mais ne les couvre que partiellement : entre 40 et 65 % (figure 3.1a). De plus, si l'on examine le cumul des proportions de prairies et forêts sur les pentes par rapport à la place occupée par ces fortes pentes au sein d'un bassin versant, on note que ces pentes sont faiblement représentées dans le paysage (moins de 6 %) et toutes couvertes de forêts et prairies à plus de 60 % (figure 3.1b).

Ces résultats confirment que les pentes les plus fortes des bassins versants sont gérées de façon spécifique, ce qui est conforme aux connaissances régionales, et ils montrent de plus qu'il existe encore partout un potentiel de reboisement ou de mise en prairie sur ces zones prioritaires, lequel jouerait en faveur d'une réduction du ruissellement.

L'emprise des prairies au sein de la zone de CONCENTRATION est très homogène selon les bassins (autour de 25 %). Mais elle est peu significativement supérieure à celle de l'ensemble du bassin, quel que soit le bassin : moins de 5 % (figure 3.2). Contrairement à ce qu'on pourrait attendre, ces zones de concentration ne semblent donc pas faire l'objet d'un effort particulier de conservation des prairies par rapport à l'ensemble du milieu. L'expression cartographique proposée (planche 1) peut constituer un premier guide pour orienter des zones prioritaires de remise en herbe dans la bande prescrite par les mesures agri-environnementales, à affiner peut-être ensuite avec des données plus précises de topographie et d'organisation du parcellaire.

Enfin, l'emprise des surfaces potentiellement contributives (SCR) au sein des zones AMONT varie de façon notable, 30 à 45 %, mais elle est strictement du même ordre au niveau des bassins entiers (figure 3.3). Cela traduit une utilisation du sol très homogène au sein des bassins, et la position dans le versant ne semble pas intervenir dans la répartition spatiale des cultures annuelles contribuant aux SCR. Pour établir un support d'aide à la décision, il conviendrait donc de rendre compte de la tota-

Figure 3 - Comparaison des proportions dans les bassins et dans les unités fonctionnelles (1997)

Figure 3 - Comparison of proportions inside the whole catchments and inside the functional units (1997)

Fig. 3.1a : les forêts dans les pentes > 8% et dans les bassins entiers

Fig. 3.1a: Forests in the slopes > 8% and inside the whole catchments

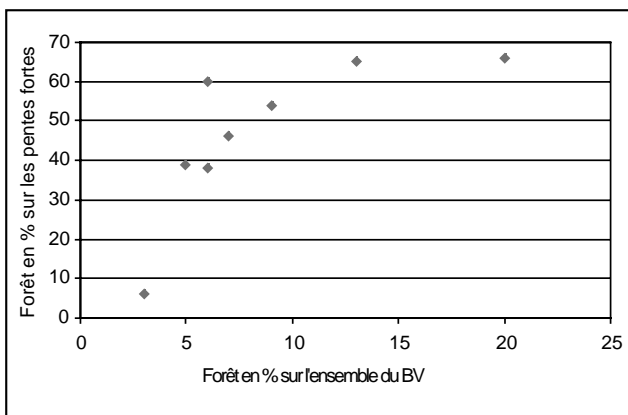


Fig. 3.1b : Répartition cumulée des prairies et des forêts sur les pentes fortes en fonction du pourcentage de pentes fortes sur l'ensemble du bassin versant

Fig. 3.1b : Cumulated distribution of grasslands and forest in slope > 8% according to the percentage of slope > 8% in the whole catchment

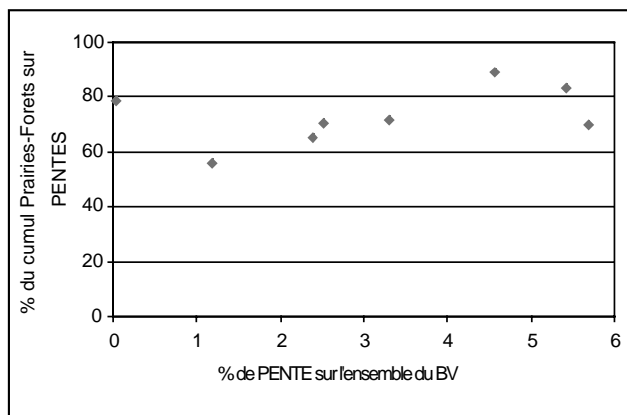


Fig. 3.2 : prairies dans les zones de concentration et dans les bassins entiers

Fig. 3.2: Grasslands in the concentration areas and inside the whole catchments

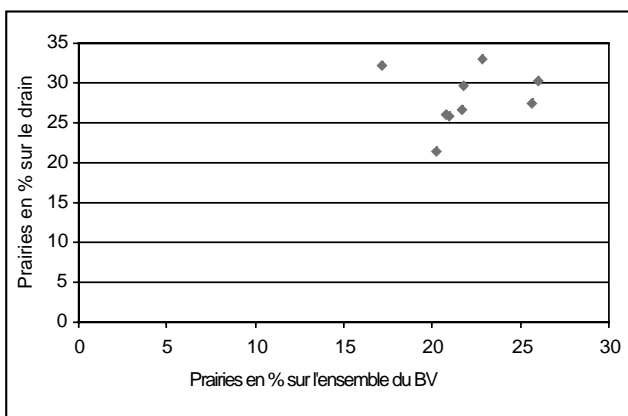
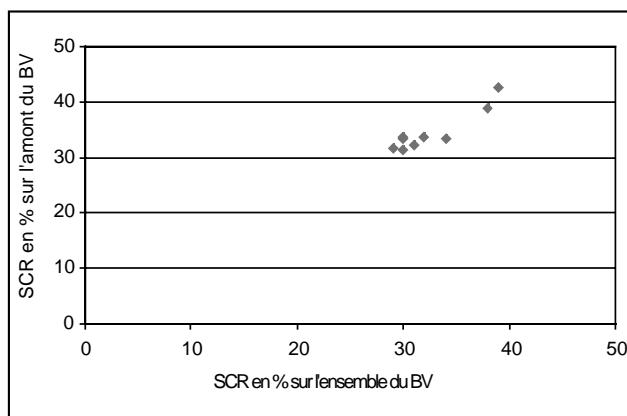


Fig. 3.3 : SCR dans l'Amont et dans les bassins entiers

Fig. 3.3: SCR in the upper part of the catchment area and inside the whole catchments



lité de l'espace AMONT des zones de concentration et non pas seulement du tiers AMONT.

ζ La compacité des polygones ou lots de parcelles n'est étudiée que dans le cas des prairies et des Surfaces Contributives au Ruissellement.

Sur les espaces de CONCENTRATION, le nombre N1 de polygones de prairies croît quasiment linéairement avec la croissance des surfaces couvertes en prairies S1 (figure 4.1). La droite de tendance représentée traduit la droite du morcellement constant qui correspond à une compacité moyenne M1

de 3,1 hectares en moyenne. Seuls s'en écartent le bassin 120 de Fongueusemare (à plus faible compacité que la moyenne $M1 = 2,18$ ha), et le bassin 180 de Goupillières (à beaucoup plus forte compacité que la moyenne $M1 = 4,8$ ha).

Ces indications sur le morcellement des prairies révèlent des organisations spatiales qui peuvent différer significativement, mais elles sont peu utilisables en l'état, car dans les consignes agri-environnementales données pour l'installation de bandes enherbées, on privilégie la localisation raisonnée de ces bandes et non leur taille.

Sur les espaces AMONT, le nombre N2 de polygones des Surfaces potentiellement Contributives au Ruissellement suit de même une progression linéaire avec les surfaces S2 des SCR. Le morcellement est donc très constant sur l'ensemble de ces bassins avec une compacité moyenne M2 de 3,1 hectares, de même valeur que les prairies.

Ceci confirme l'impression de grande homogénéité générale de ces paysages agricoles d'un bassin à l'autre, mais des différences sensibles sont toutefois à noter : des bassins comme Ganzeville (99) et St Pierre de Bénouville (43) ont tous deux une emprise des SCR du même ordre (plus de 200 hectares) alors que le premier est un des plus morcelés (M2 = 2,2 ha), et que le second l'est deux fois moins (M2 = 4,55 ha). Cet écart reflète des conditions plus néfastes lors de la genèse d'un ruissellement pour le bassin de St Pierre, si l'on s'en tient aux hypothèses faites.

Cette série de bassins observés dans les mêmes conditions en 1997 s'avèrent très homogènes, - faible présence de pentes fortes mais protégées de façon significative, faible emprise des prairies dans les zones de concentration du ruissellement ; ils se distinguent surtout par les critères de morcellement et de proportions de Surfaces Potentiellement Contributives au Ruissellement (SCR) occupant les zones amont des bassins

Evolution temporelle au sein de chaque espace fonctionnel

Les comparaisons entre 1990 et 1997 ne sont possibles que sur 5 des bassins versants. Il faut noter que les bassins de Ganzeville (99) et de Val de Saône (121) sont comparés alors qu'ils n'ont été vus que partiellement en 1990 (tableau 8).

ζ FORETS sur les PENTES : sur les trois bassins où la forêt est détectée les deux années, la proportion des forêts sur les fortes pentes est restée stable entre 1990 et 1997 (figure 5.1).

ζ PRAIRIES dans les zones CONCENTRATION : la proportion des prairies sur les zones de concentration des eaux de surfaces évolue faiblement mais à la baisse entre 1990 et 1997 (figure 5.2), à l'exception du bassin de Ganzeville (99) qui double sa surface, mais dont le changement est peut-être artificiel du fait d'une vision partielle en 1990.

ζ SCR en AMONT : la proportion des Surfaces potentiellement Contributives au Ruissellement (SCR) connaît de façon générale une augmentation sur l'amont des versants comme sur les bassins entiers (tableau 7). De 20 % en moyenne en 1990, les SCR passent à 35 % en 1997 (figure 5.3). Cette croissance des SCR s'accompagne simultanément d'une augmentation de la compacité des polygones (figure 6.1).

Ainsi au sein des 5 bassins versants documentés aux deux périodes, on constate surtout une augmentation de l'emprise des SCR et de leur compacité dans ces espaces AMONT des bassins versants (figure 6.2), deux facteurs susceptibles d'aggraver la genèse du ruissellement en cas de conditions

Tableau 7 - Caractéristiques des bassins versants sélectionnés en 1997
Table 7 - Characteristics of the selected catchments in 1997

Nom de BV	N° BV	S. BV (ha)	Forêts /BV (ha)	SCR /BV (ha)	Prairies /BV (ha)	Axes Concen. /BV (ha)	Prairies/Axes Concen. eau (ha) %	Nb Poly gones morcellement (ha)	Amont (ha)	SCR /Amont (ha) %	Nb Poly gones morcellement (ha)	Pentes >8% /BV (ha) %	Forêts /pentes >8% (ha) %	Prairies /pentes >8% (ha) %
Code des var. retenues														
Saône le Bourg	102	1069	212	323	224	276	71	22	601	201	72	58	38	10
Bourville	83	1360	37	458	295	296	79	24	837	279	87	16	1	8
Gouplières	180	2735	364	831	703	827	227	47	1489	501	181	125	81	30
Yvetôt-Caudébec	169	2848	178	903	621	667	197	68	1676	565	163	162	61	31
Ganzeville	99	4642	137	1406	963	867	226	15	2606	819	90	-	-	-
Fongusemare	120	5737	317	1756	1159	909	194	63	3430	1108	213	145	87	15
St Pierre de B.	43	4065	291	1582	699	484	156	89	2285	969	293	134	61	34
Val de Saône	121	4970	245	1866	1134	727	240	87	2603	1013	367	119	47	31
Villers-Ecalle	239	1393	119	404	362	205	62	89	761	241	382	61	33	15
Moyennes														

Figure 4 - Morcellement des Prairies et des SCR au sein de leurs unités fonctionnelles

Figure 4 - Parcelling out of Grasslands and contributing areas to runoff inside the functional units

Fig. 4.1 : Prairies

Fig. 4.1 : Grasslands

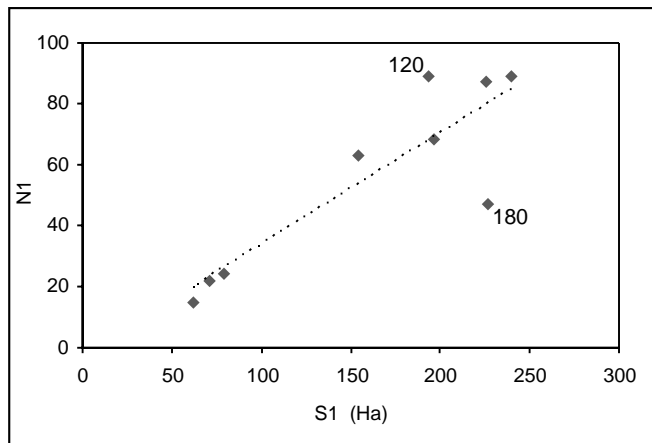
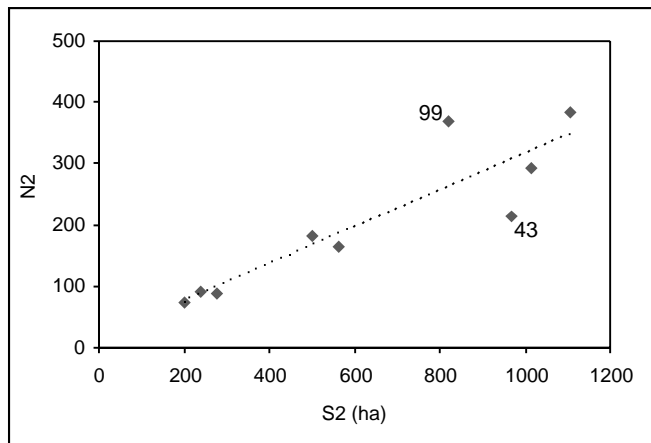


Fig. 4.2 : SCR

Fig. 4.2 : Contributing areas to runoff



pluviométriques défavorables. Ces changements s'expliquent par une forte progression des cultures de printemps (précoces et tardives) aux détriments des surfaces dédiées aux cultures d'hiver. De plus, la régression des prairies détectée au sein des zones de concentration, bien que modeste, accentue la convergence des changements en faveur d'une aggravation des conditions de genèse du ruissellement.

Au-delà de l'aspect conjoncturel des données disponibles pour cette étude, et pour ouvrir plus largement l'usage des indicateurs proposés, on peut comparer les bassins versants de façon stable et synoptique selon une représentation simultanée des quatre indicateurs principaux (normalisés entre 0 et 10) en les exprimant de manière à ce que leur croissance signale une "aggravation des facteurs favorables au ruissellement" :

- proportion de SCR en amont $S = 10 * P2$ (Indicateur 1)
- compacité des SCR $M 2$ (ha) (Indicateur 2)
- proportion des zones de concentration non couvertes de prairies $HP = 10 * (1 - P1)$ (Indicateur 3)
- proportion des pentes fortes non couvertes de forêts ou prairies $D = 10 * (1 - (P1 + P3))$ (Indicateur 4)

La comparaison inter bassins à une date donnée permet de signaler les bassins pour lesquels tous les indicateurs sont simultanément les plus élevés. Ces bassins présentent les conditions les plus marquées pour la genèse du ruissellement dans leurs 3 unités fonctionnelles : ils occupent les plus grands quadrilatères (figures 7.1). Au cours du temps, l'évolution défavorable d'un bassin se traduit aussi par un accroissement du quadrilatère formé par ces 4 indicateurs simultanés (figure 7.2),

ce qui fournit des critères d'aide à la décision en terme d'aménagement de bassin versant pour les décideurs régionaux.

DISCUSSION

Les résultats présentés sont discutés en tenant compte de la comparaison avec d'autres sources d'informations et des limites de la méthode.

Confrontation aux données de statistiques agricoles

Les statistiques agricoles régionales sont réalisées presque annuellement depuis 1992 (TERUTI)² sur chaque Petite Région Agricole (PRA).

ζ Surfaces potentiellement Contributives au Ruissellement :

On peut comparer directement les données obtenues sur les cultures de printemps³, exprimées en pourcent de la Surface Agricole Utile (SAU) aux estimations de SCR de fin d'hiver/début de printemps 1997 : pour être au plus proche de la SAU, on calcule la proportion de SCR au sein des bassins versants entiers dont on soustrait les zones forestières et les zones urbaines (tableau 9 et figure 8).

2 : TERUTI : protocole d'enquête par segments définis par le Service Central des Etudes Economiques et Statistiques et mis en œuvre par la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt de Haute Normandie (DDAF).

3 : Cultures de printemps : Maïs grain et fourrages, betteraves, lin, pomme de terre, protéagineux, légumes de plein champ.

Figure 5.1 - Evolution de la proportion de forêts sur les pentes > 8% entre 1990 et 1997

Figure 5.1 - Evolution of proportion of forests on the slopes > 8% between 1990 and 1997

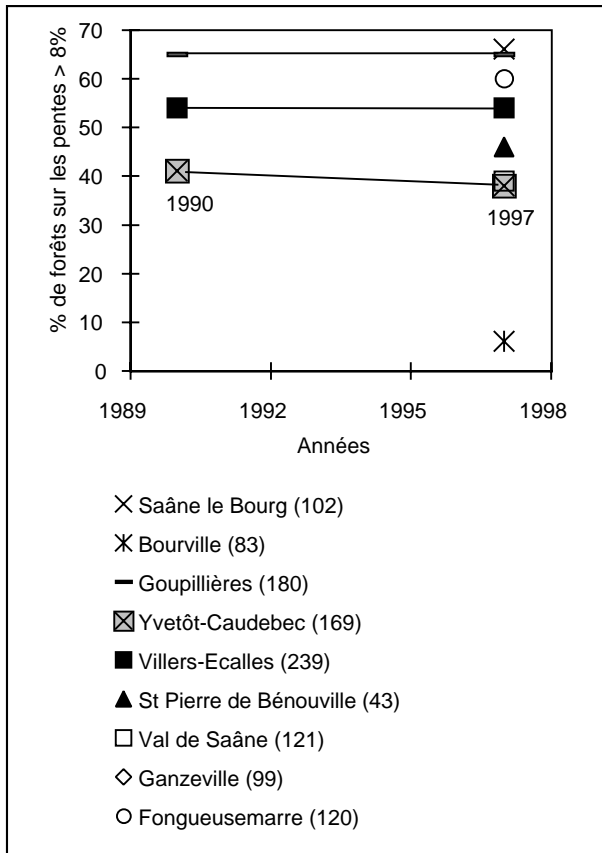


Figure 5.2 - Evolution de la proportion de prairies autour des drains entre 1990 et 1997

Figure 5.2 - Evolution of proportion of Grasslands around concentrated runoff between 1990 and 1997

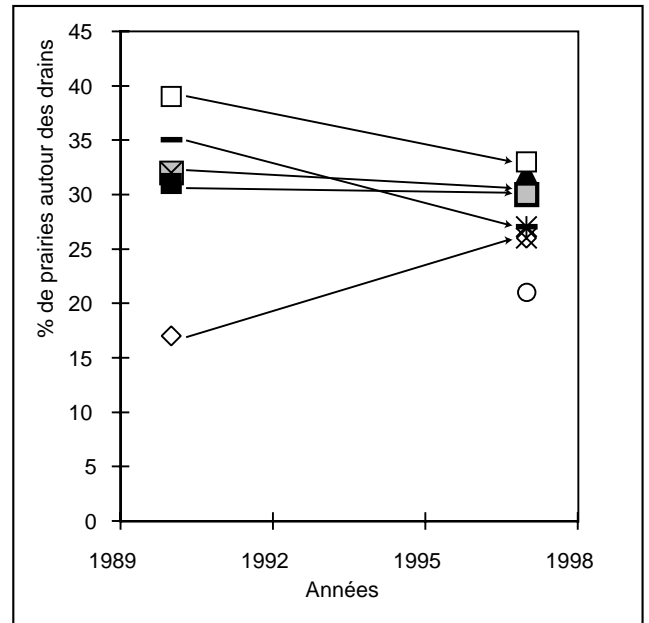
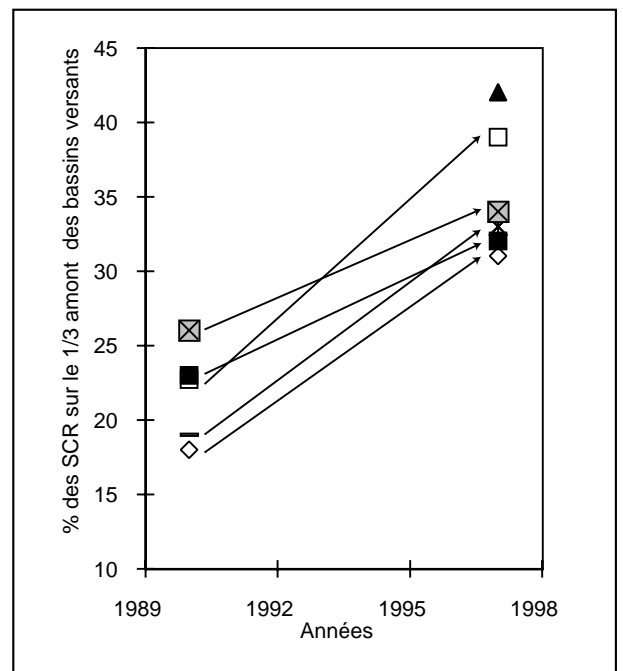


Figure 5.3 - Evolution de la proportion des SCR sur le 1/3 amont des bassins versants entre 1990 et 1997

Figure 5.3 - Evolution of proportion of contributing areas to runoff on the upper part of catchments between 1990 and 1997



Sur le Caux maritime, le mieux échantillonné par les enquêtes, les estimations de SCR faites en 1997 sont très cohérentes avec les statistiques de TERUTI. Ceci peut signifier que les intercultures, non prises en compte dans les statistiques, sont encore peu utilisées dans cette région, sinon elles auraient réduit les surfaces détectées comme SCR.

Dans le Caux Intérieur et le secteur de Yvetot-Rouen, les estimations de télédétection sont nettement supérieures à l'enquête TERUTI (plus de 10 %). Deux hypothèses sont envisageables :

- Soit, des raisons agro-climatiques auraient pu causer des semis tardifs des céréales d'hiver, ce qui aurait entraîné leur détection comme surfaces contribuant aux SCR, puisque encore peu couvertes en mars. Mais les données météorologiques des périodes de semis fin de 1989 sont similaires à la fin de 1996 et aucune anomalie de date de semis n'a été constatée.

- Soit, dans ces deux régions, les taux de sondages plus faibles ne peuvent pas appréhender assez finement l'emprise

Figure 6.1 - Evolution simultanée des proportions et du morcellement des SCR

Figure 6.1 - Evolution of both parameters of contributing areas to runoff on the upper part of catchment : proportion and parcelling out

Figure 6.2 - Taux d'augmentation des paramètres P2 et M2 des SCR entre 1990 et 1997

Figure 6.2 - Rate of increasing of the parameters P2 and M2 between 1990 and 1997

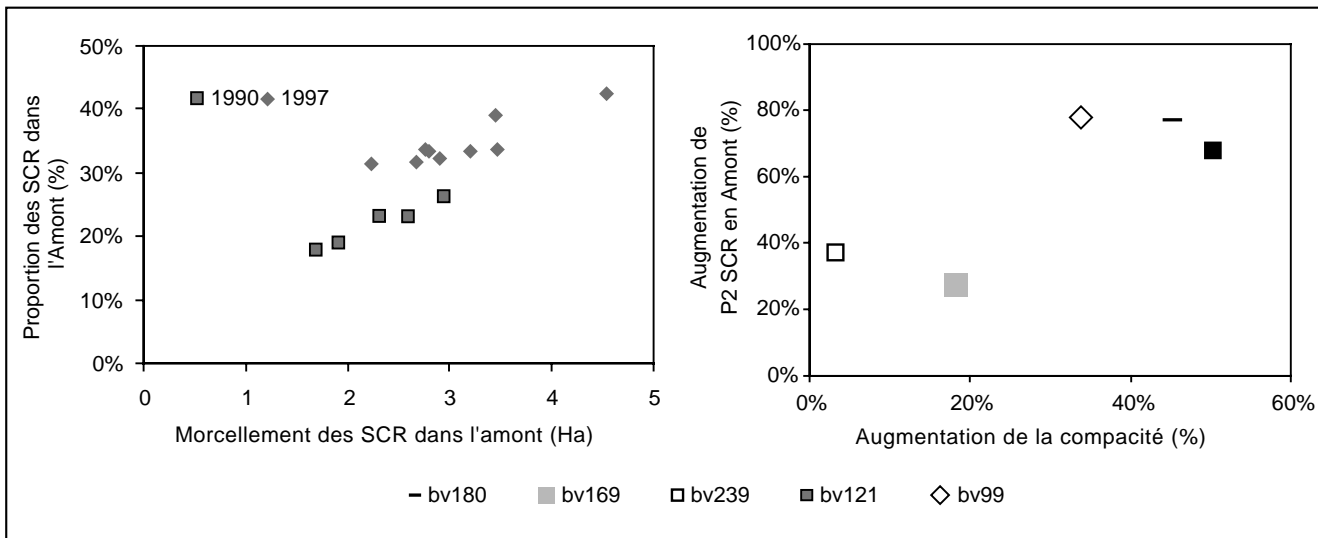


Tableau 8 - Evolution des caractéristiques entre 1990 et 1997

Table 8 - Evolution of characteristics between 1990 and 1997

N°BV Morcell.	An.	S. BV (ha)	Forêts / BV		SCR / BV		Prairies / BV		Pentes > 8% / BV		Axes conc. / BV		Prairies / Axes conc.		SCR / Amont		Forêts / Pente > 8%		SCR M2 (ha)		
			(ha)	%	(ha)	%	(ha)	%	(ha)	%	(ha)	%	(ha)	%	(ha)	%	(ha)	%			
99	90	1865	37	0,8	551	30	331	18	-	-	1038	56	320	17	56	18	185	18	-	-	1,68
	97	4642	137	3	1406	30	963	21	-	-	2606	56	867	19	226	26	819	31	-	-	2,23
H	H	90-97	H	H	E	H			E	H	H	H	H	H	H						
102	97	1069	212	19,8	323	30	224	21	58	5,4	601	56	276	26	71	26	201	33	38	66	2,79
121	90	2489	129	2,6	483	19	690	28	-	-	1228	49	336	13	130	39	285	23	-	-	2,30
	97	4970	245	4,9	1866	38	1134	23	119	2,4	2603	52	727	15	240	33	1013	39	47	39	3,46
H	H	90-97	H	H	H	C			H	H	C	H	H								
169	90	2848	207	7,3	705	25	786	28	162	5,7	1668	59	667	23	214	32	440	26	67	41	2,93
	97	2848	178	6,2	903	32	621	22	162	5,7	1676	59	667	23	197	30	565	34	61	38	3,47
H	H	90-97	E	H	C	E	E	E	E	C	H	C									
180	90	2735	391	14,3	496	18	963	35	125	4,6	1492	55	827	30	293	35	284	19	81	65	1,91
	97	2735	364	13,3	831	30	703	26	125	4,6	1489	54	827	30	227	27	501	34	81	65	2,77

réelle des cultures de printemps, dans une période où la Politique Agricole Commune (PAC) a influé rapidement sur des orientations différentes des choix cultureux. C'est l'hypothèse que nous retenons.

La progression des cultures de printemps perçue entre 1992 et 1997 dans les données TERUTI présente des niveaux très inégaux (de 106 à 123 %) mais corrobore l'augmentation forte des SCR détectée durant un intervalle plus grand (de 140 à 175 %). Or, les mesures de la PAC en faveur de la réduction des cultures d'hiver (céréales et oléagineux) avaient déjà largement débuté en 1992 et ont dû causer des modifications fortes dès l'intervalle 1990-1992, durant lequel les données TERUTI n'étaient pas encore collectées sous cette forme.

ζ Prairies

Vu les faibles surfaces imparties et le faible nombre de bassins sur lesquels on dispose de données aux deux dates, la comparaison ne peut se faire en toute rigueur mais la tendance générale au retournement des prairies est bien repérée dans l'intervalle 1992-1997, - 7,3 % sur l'ensemble de la région, avec une régression plus marquée sur le Caux maritime.

Quoique avec des écarts, ces résultats obtenus par télédétection sont donc cohérents avec les relevés TERUTI, notamment sur les tendances des changements détectés, mais rendent compte d'une situation peut être plus grave qu'il n'y paraissait et liée à l'occupation du sol raisonnée des bassins.

Discussion et limites de la méthode

Cette méthode repose essentiellement sur la notion d'unités

fonctionnelles au sein des bassins versants et sur la caractérisation de leur contenu en terme d'occupation du sol.

La méthode de délimitation de ces unités est tributaire de la résolution du MNT utilisée et des paramètres morphologiques retenus. Un MNT à la maille de 50 m peut être insuffisant dans une région comme le Pays de Caux où le relief est peu différencié en particulier sur le plateau. On pourrait envisager l'utilisation d'un MNT à maille plus fine pour certaines portions du relief de la région étudiée

La pertinence des critères morphologiques utilisés s'est trouvée inégalement confortée : elle est confortée dans le cas des fortes pentes dont l'usage spécifique a été identifié, elle apparaît comme non pertinente dans le cas de la délimitation de l'AMONT des bassins par la position relative au tiers du versant. Au vu de l'homogénéité des bassins, l'ensemble de l'amont peut être pris en compte. Enfin, le fait que les zones de concentration du ruissellement n'aient aucune spécificité quant à l'implantation de prairies exprime à notre sens une faiblesse générale sans l'aménagement de ces bassins vis à vis du ruissellement concentré.

Le contenu de ces espaces et l'analyse spatiale de la distribution des composantes d'occupation du sol dépendent largement des performances des classifications multispectrales de l'occupation du sol. C'est pourquoi une méthode de validation doit toujours être préconisée dès que les dates d'acquisitions d'images le permettent.

Figure 7.1 - Quatre critères pour comparer les bassins en 1997

Figure 7.1 - Four criteria to compare catchments in 1997

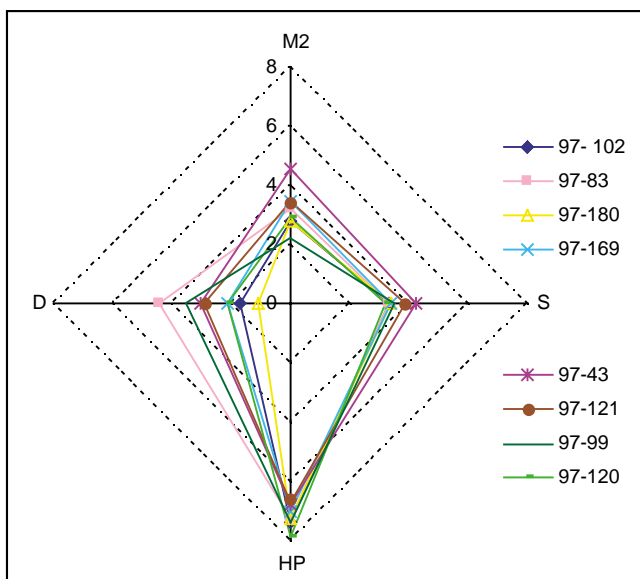


Figure 7.2 - Variations du BV180 entre 1990 et 1997 sur ces 4 critères

Figure 7.2 - Evolution of catchment number 180 between 1990 and 1997 according to these 4 criteria

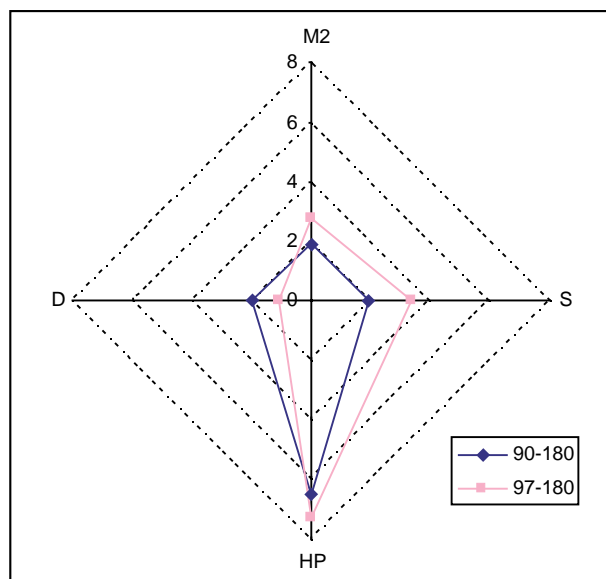


Planche 1 - Résultats détaillés de l'occupation du sol du 12 Mars 1997 pour le bassin versant de Fongueusemare (120)
 (1) sur l'ensemble du bassin versant - (2) sur les fortes pentes - (3) autour des axes de concentration - (4) sur l'amont du bassin versant

Color plate 1 - Detailed results of land use of march 12th 1997 for Fongueusemare catchment (120)

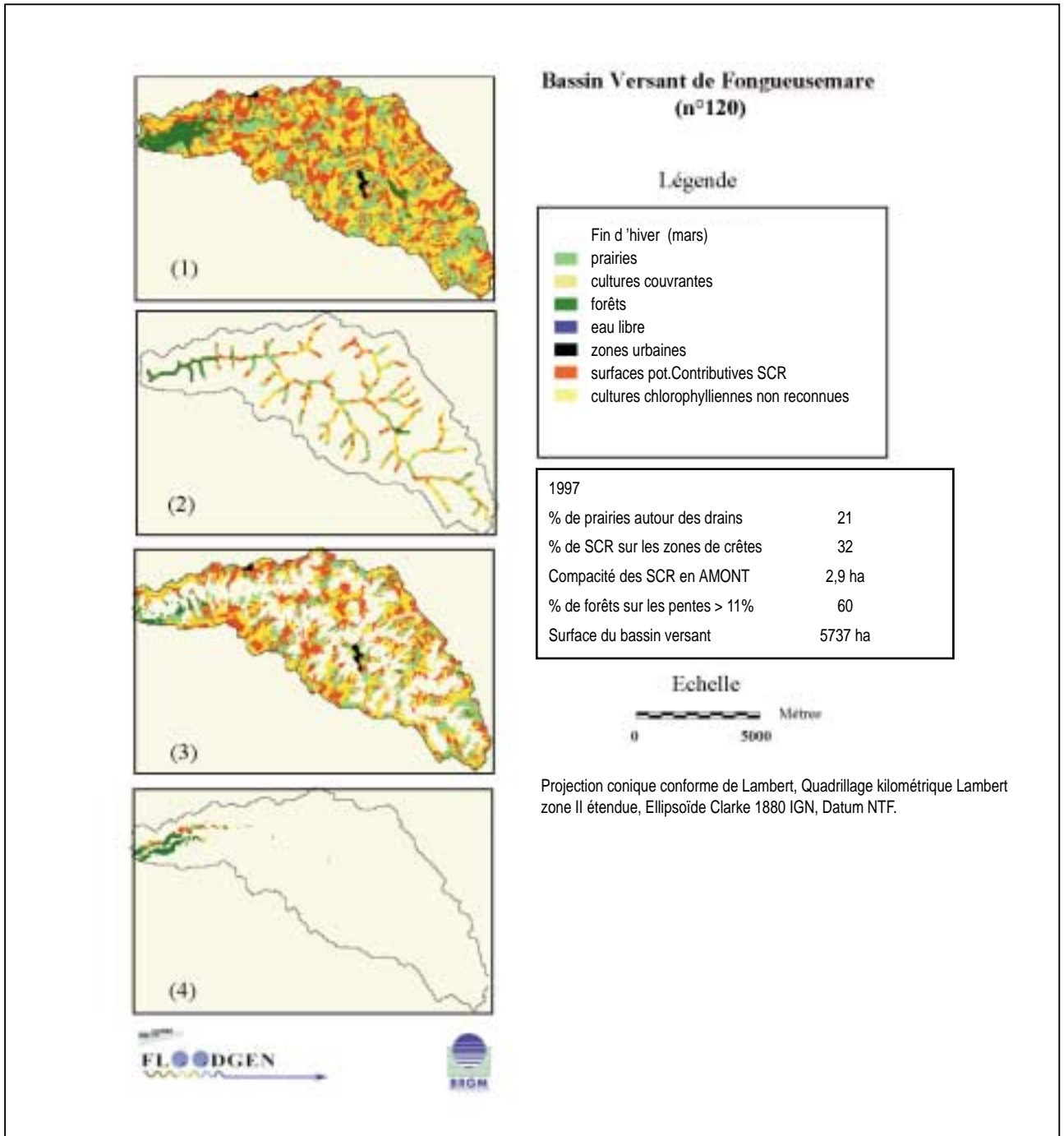
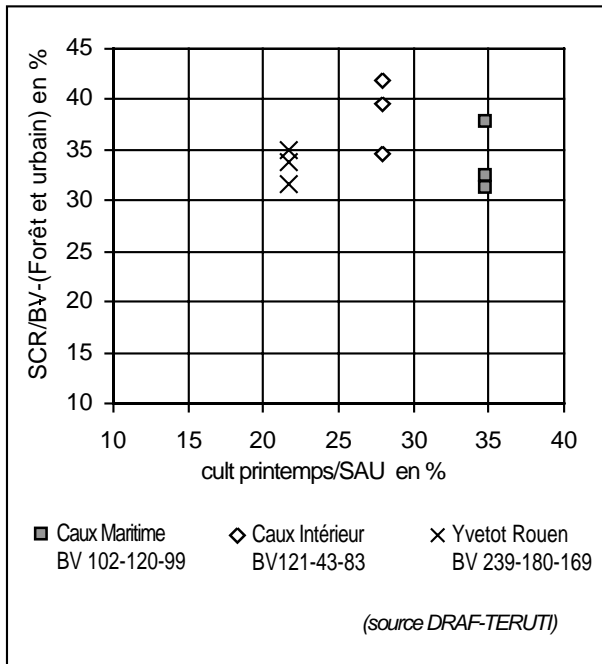


Figure 8 - Comparaison des données TERUTI et SCR en 1997 (source DDAF-HNO)

Figure 8 - Comparison between results and TERUTI statistical data



CONCLUSION

L'objectif de cette étude était de proposer des outils permettant une meilleure analyse spatiale de certaines des facteurs favorables à la genèse du ruissellement de surface, analyse faite par bassin versant selon une méthode reproductible.

L'usage de MNT permet de piloter la subdivision des bassins versants en trois unités où le fonctionnement du ruissellement de surface est dominé par un des processus (concentré ou diffus). Les bassins sont ainsi caractérisés par des unités géographiques intermédiaires entre une approche globale par bassin et une segmentation fine à l'échelle du parcellaire agricole, qui reste difficile à atteindre avec les résolutions actuelles de la télédétection optique. Pour décrire ces unités, les paramètres proposés sont issus de la télédétection et fondés sur la distribution des occupations du sol et l'identification des surfaces potentiellement contributives au ruissellement. En nombre limité, ils permettent pourtant de détecter des différences sensibles entre les bassins et de montrer une évolution des conditions favorables à la genèse du ruissellement entre 1990 et 1997.

Au-delà de cette comparaison relative à quelques bassins, la méthode proposée peut être appliquée à l'ensemble de la région pour hiérarchiser des groupes de bassins versants et réaliser une cartographie des conditions favorables au ruissellement par bassin versant.

Tableau 9 - Comparaison des résultats avec les données de statistiques TERUTI

Table 9 - Comparison of results with the statistic data of TERUTI

Petites régions agricoles	Teruti cultures de printemps/SAU				Télédétection SCR/SAU				Teruti Prairies			Télédétection Prairies			
	nb	%	%	%	BV	SCR P2%	SCR P2%	SCR taux	taux			P1	P1	taux prai	
									enquêtés/SAU	Cult /SAU	P				enquêtés/SAU
									(ha)	(ha)	%	%	%	%	%
	nb	1992	1997	97/92	N°	1990	1997	90-97	92	97	97/92	1990	1997	90-97	
Caux Maritime	40	36,2	34,8	96	102		37,8								
					120		32,4								
					99	21,2	31,2	147	426	387	-9,1	17,00	26,00	53	
Caux Intérieur	27	23,7	27,9	117	121	26,7	39,5	148	504	475	-5,7	39,00	33,00	-15	
					43	30,0	41,9	140							
					83		34,6								
Yvetot Rouen	19	17,6	21,7	123	239		31,7		244	237	-2,9	31,00	30,00	-3,2	
					180	20,5	35,0	171				35,00	27,00	-23	
					169	24,4	33,8	138				32	30	-6	

Source DRAF-HNO

REMERCIEMENTS

Cet article, publication scientifique 99002 du BRGM a pu être réalisé dans le cadre du projet européen FLOODGEN, financé par les programmes CEE/CEO (Center for Earth Observation), BRGM/direction de la Recherche et INRA/programme sol et environnement. Nous remercions Monsieur Bazet, Directeur de la Direction Régionale de l'Agriculture et des Forêts de Haute Normandie et ses collaborateurs pour la disponibilité des informations du Pôle de compétences Sol - Eau. Remerciements aussi à Mme V. Auzet et MM. F. Bonn et M. Girard pour leur relecture constructive.

BIBLIOGRAPHIE

- Arrouays D., King C., Vion I., Le Bissonnais Y., 1996 - Detection of soil crusting risks related to low soil organic carbon content by using discriminant analysis on the Thematic Mapper data. *Geocarto International*, 11 (4) : 11-16.
- Biard F., Bannari A., Bonn F., 1995 - SACRI (soil adjusted corn residue index), un indice utilisant le proche et le moyen infra-rouge pour la détection des résidus de culture de maïs. *Proceedings of the 17 th Canadian Symposium on Remote Sensing*. Saskatoon, Canada, 413-419.
- Boiffin J., Papy F., Peyre Y., 1986- Système de production, système de culture et risque d'érosion dans le Pays de Caux Min. Agri. DIAME, INAPG, NRA, 157 pages.
- Boiffin J., Papy F., Eimberck M., 1988 - Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré. *Analyse des conditions de déclenchement de l'érosion*. *Agronomie*, vol 8, pp 663-673.
- Bonn F., 1998 - La spatialisation des modèles d'érosion des sols à l'aide de la télédétection et des SIG : Possibilités, erreurs et limites. *Sécheresse*, vol 2, pp 185-192.
- De Jong S. M., 1992 - The analysis of spectroscopical data to map soil types and soil crusts of mediterranean eroded soils. *Soil technology*, vol 5, pp 199-211.
- Cognard A. L., Loumagne C., Normand M., Olivier P., Otte C., Vidal-Madjar D., Louahala S., Vidal A., 1995 - Evaluation of the ERS1/SAR capacity to estimate surface soil moisture. Two years results over the Naizin watershed - *Wat. Resour. Res.*, vol 31, pp 975-982.
- Courault D., 1989 - Etude de la dégradation des états de surface des sols par télédétection. Thèse Université Paris VI. 214 pages.
- Gilard O., Nedelec Y., 1997 - Rapport d'expertise hydraulique : Crue du 16 juin 1997 à St Martin de Boscherville et Villers-Ecalles (76), CEMAGREF, Lyon, 60 p.
- Govers G., Takken I., 1998 - Soil roughness : A management tool for the limitation of runoff and erosion. *ISSS Montpellier symposium 20*, 1383, 9p.
- King C., Mathieu R., Le Bissonnais Y., Souadi T., 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. 6e symposium int. mesures physiques et signatures spectrales en télédétection ISPRS, CNES-CNRS-ESA-INRA, 17-21 janvier 94, Val d'Isère, pp 1093 -1102.
- King C. et al., 1998 - FLOODGEN 2nd progress report ENV4 CT96 0368 - BRGM report R40088
- King D., Fox D. M., Daroussin J., Le Bissonnais Y., Danneels V., 1998 - Upscaling a simple erosion model from small areas to a large region. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, vol 50, pp 143-149.

- Le Bissonnais Y., 1990 - Experimental study and modelling of soil surface crusting processes. *Catena supplement 17 : Soil Erosion, Experiments and models*. éditeur, R.B. Bryan. pp 13-28.
- Lecomte V., Le Bissonnais Y., Renaux B., Couturier A., Ligneau L., 1997 - Erosion hydrique et transfert de produits phytosanitaires dans les eaux de ruissellement. *Cahiers Agricultures*, vol 6, pp 175-183.
- Leek R., 1992 - Using remote sensing for terrestrial monitoring and prediction of sediments yield to rivers. Thesis. Univ. Oslo. Nijos.
- Ludwig B., 1992 - L'érosion par ruissellement concentré des terres cultivées du Nord du Bassin Parisien. Analyse de la variabilité des symptômes d'érosion à l'échelle du bassin versant élémentaire. Thèse Université Louis Pasteur Strasbourg. CEREG-URA 95 CNRS, INRA Laon Péronne. 155p + annexes.
- Ludwig B., Boiffin J., Chadoeuf J., Auzet A. V., 1995 - Hydrological structure and erosion damage caused by concentrated flow in cultivated catchments. *Catena*, vol 25, pp 227-252.
- Martin P., 1997 - Pratiques culturales, ruissellement et érosion diffuse sur les plateaux limoneux du Nord-Ouest de l'Europe. Application aux intercultures du Pays de Caux. Thèse, INA P-G.
- Mathieu R., King C., Le Bissonnais Y., 1996 - Contribution of multitemporal SPOT Data to the mapping of a soil erosion index. *Soil Technology*, vol 10, pp 99-110.
- Meyer Roux J et King C., 1989 - Agriculture and forestry. Special issue European achievements in remote sensing - *International Journal of Remote Sensing*. vol 13, n° 6-7, pp 1329-1241.
- Ministère de l'Environnement, 1996 - non publié : les coulées de boue liées à l'érosion des terres agricoles. Cartes et dossiers nationaux et régionaux.
- Moore I., Grayson R., Ladson R., 1991 - Digital terrain modelling : a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological processes*, vol.5, pp 5-30.
- Morgan R. P. C., Quinton J. N., Smith R. E., Govers G., Poesen J. W. A., Auerwald K., Chisci G., Torri D., Styczen M. E., 1998 - The european soil erosion model (EUROSEM) : A dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol 23, pp 527-544.
- Nearing M. A., Foster G. R., Lane L. J., Finckner S. C., 1989 - A process-based soil erosion model for USDA-Water Erosion Prediction Project technology. *Transaction of the American Society of Agricultural Engineers*, vol 32, pp 1587-1593.
- Papy F., Douyer C., 1991 - Influence des états de surface du territoire agricole sur le déclenchement des inondations catastrophiques. *Agronomie*, vol 11, pp 201-215.
- Pillesjö P., 1992 - GIS and remote sensing for soil erosion studies in semi-arid environments : estimation of soil erosion parameters at different scales. *Lund Univ. ISSN 0346-6787*.
- 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, Université de Grenoble I, 230p.
- Remond A., 1996 - Images SAR : Possibilités d'extraction d'un paramètre physique du ruissellement, la rugosité (modélisation et expérimentation). Thèse Univ. Dijon. Document BRGM 261, 254 p.
- Souchère V., 1995 - Modélisation spatiale du ruissellement à des fins d'aménagement contre l'érosion de talweg. Application à des petits bassins versants en Pays de Caux (Haute Normandie), Thèse INA P-G, 199 p.
- Souchère V., King D., Daroussin J., Papy F., Capillon A., 1998 - Effects of tillage on runoff directions : Consequences on runoff contributing area within agricultural catchments. *Journal of Hydrology*, vol 206, pp 256-267.
- Vine P., 1997 - Identification de l'hétérogénéité spatio-temporelle des comportements hydrologiques. Apports de la Télédétection satellitaire. Application aux bassins versants du Réal Collobrier (France) et de la Mare d'Oursi (Burkina-Faso). Thèse, Institut National Polytechnique de Grenoble.
- Zhangshi Y. et Lee W., 1997 - Obtaining spatial & temporal vegetation data from Landsat MSS & AVHRR/NOAA satellite images for a hydrological model. *Photo. Eng. & Remote Sensing*, vol 63, pp 69-77.

