

Le suivi de l'érosion au Burkina Faso. Utilisation d'un modèle cartographique.

Erosion monitoring in Burkina Faso. Using a cartographic model.

GUILLOBEZ Serge (1), LOMPO François (2), DE NONI Georges (3).
(1) CIRAD - France, (2) IN.E.R.A. - Burkina Faso, (3) ORSTOM - France

Résumé :

Le modèle cartographique proposé fournit aux décideurs un aperçu qualitatif de l'érosion au niveau d'un pays : le Burkina Faso.

Les paramètres de la formule de Wischmeier ont permis de sélectionner les données et les cartes qui les visualisent. Le **document cartographique de base** a été établi à partir de cartes : pédologique (susceptibilité des sols à l'érosion), administrative (données statistiques), usages et occupation du sol (données spatialisées); ces cartes, après numérisation en mode vecteur, ont été croisées sous Arc/Info; certains contours ont été simplifiés. La carte des **zones équiprobématiques**, est constituée de polygones délimitant des secteurs présentant des caractéristiques identiques décrivant le milieu agricole burkinabè.

La concaténation ayant conservé les informations relatives aux cartes de base; l'établissement de la **base des données** renseignant les polygones en tient compte (susceptibilité des sols à l'érosion, usage des sols,...). Les polygones ont été renseignés directement en ce qui concerne l'agressivité des pluies. Les données humaines constituent la dimension temporelle du modèle, elles ont été limitées à la densité de population et à la charge en animaux. Un classement hiérarchisé a été utilisé pour chaque paramètre.

La **modélisation** est effectuée dans le domaine des *attributs*. L'année 1985 a servi à étalonner une formule simple additionnant après pondération les valeurs de classes des paramètres; l'indice obtenu (érosion hydrique) est seuillé en classes. Une carte de la dégradation des terres au Burkina Faso et la connaissance des problèmes d'érosion affectant le pays ont été utiles pour l'étalonnage. Un essai de projection pour 1995 a été testé en fonction des données statistiques qui évoluent dans le temps (population et cheptel); un paramètre supplémentaire : la *réponse* des paysans, expliqué par le pourcentage de superficies ayant des aménagements anti-érosifs a été utilisé; il nécessite un calibrage et une validation sur le terrain. Ce modèle cartographique a pour vocation principale de présenter aux décideurs, sous forme *cartographique à un instant t, un état qualitatif de l'érosion hydrique* au niveau d'un pays.

Mots clés : Erosion, modèle, cartographie, Burkina Faso.

Keys words : Erosion, model, cartography, Burkina Faso.

I Introduction :

La qualité des terres est une préoccupation importante aussi bien pour le producteur que pour les décideurs. Parmi les problèmes environnementaux majeurs la dégradation des terres et plus particulièrement l'érosion hydrique sont devenus des sujets de préoccupation importants sous tous les climats et plus particulièrement dans les pays tropicaux. Le suivi qualitatif de l'érosion, au niveau d'un pays tout entier intéresse les décideurs qui recherchent des informations datées, un suivi temporel et une représentation spatiale. Pour répondre à cette demande qui est de fournir aux décideurs un outil géographique qui permette d'avoir un aperçu synthétique de l'érosion au niveau d'un pays, un modèle cartographique a été conçu concernant le Burkina Faso, pays sahélien et soudanien d'Afrique de l'Ouest. Pour ce faire, il est nécessaire de diagnostiquer les paramètres de l'érosion, d'utiliser des données cartographiques qui permettent de les visualiser et d'établir à partir d'une base de donnée spatialisée, rattachée au modèle cartographique, un modèle calculant un indice d'érosion.

La formule de Wischmeier (1960) est mondialement utilisée pour estimer les pertes en terre, bien qu'elle ait été mise au point au niveau de la parcelle, elle est utilisée au niveau du versant, voire de plus grand espace. Son universalité est néanmoins mise en doute; ainsi, elle ne semble pas applicable en domaine soudanien en sol battant (Guillobez et al., 1992, Bep et al. 1996). Il a été par ces auteurs au Burkina et au Cameroun, que le travail du sol (labour et sarclages) favorisait la perte en terre. Par contre, les paramètres utilisés par cette formule sont pertinents.

Dans le cadre de cette étude, dont le niveau de perception est le pays, les paramètres de l'érosion hydrique des sols retenus sont :

- l'agressivité des pluies,
- la susceptibilité des sols à l'érosion (hydrique),
- la couverture du sol,
- l'utilisation par l'homme du milieu.

II Carte de base :

Le document cartographique de base a été établi après étude de cartes variées qui sont susceptibles de représenter les quatre paramètres sélectionnés :

- climatiques pour l'agressivité des pluies,
- pédologiques pour la susceptibilité des sols à l'érosion (hydrique),
- administratives,
- d'occupation du sol,
- de zones réservées en ce qui concerne l'utilisation par l'homme du milieu et la couverture du sol,

Les cartes recherchées doivent être croisées; on a évité de sélectionner des documents trop complexes. Les critères ont été : des cartes au format A4, soit une échelle de 1/5.000.000 environ; un maximum d'une dizaine d'unités pour les cartes thématiques.

Du fait du gradient climatique nord sud qui prévaut au Burkina Faso, le nord du pays est en zone sahélienne alors que le sud est en zone franchement soudanienne; la carte climatique (un zonage agro-climatique : Guillobez, 1985) n'a pas été utilisée afin de simplifier le travail. En effet l'agressivité des pluies, en première approximation, est une fonction de la latitude, de type :

$$R = a - b.Lat \quad (\text{Roose, 1980; Guillobez, 1992}).$$

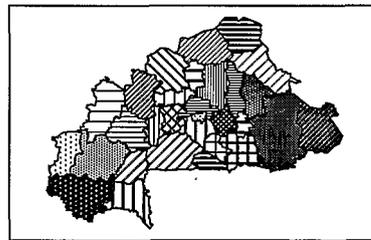
Au niveau des sols, ce pays a été couvert au 1/500.000 par l'ORSTOM (1968 et 1969); Guillobez (1985) s'est inspiré de ces travaux pour établir une esquisse physiographique au 1/1.000.000; ce dernier document bien qu'il ne comprenne qu'un vingtaine d'unités reste encore trop complexe; aussi, un document **pédologique** simple établi à partir de ce dernier (Some et al., 1992) et représentant les grands types de pédogénèses ou de roches a été utilisé.

Beaucoup de données concernant l'homme sont des statistiques au niveau de la **province** (unité administrative majeure au Burkina, carte jointe); malheureusement les limites administratives suivent rarement les activités humaines, leur utilisation exclusive provoque un biais important en fonction de l'utilisation réelle du sol. Pour limiter les erreurs dues à ce type de données, la carte des zones réservées ou des **usages** (parcs, forêts classées, réserves, usage libre) a été également retenue. Enfin, toujours dans le souci de minimiser les erreurs, une carte de **l'occupation du sol** établie par analyse visuelle d'images satellites (LANDSAT : aux environs de 1980) a été utilisée (Some et al., 1992).

Ces cartes utilisaient toutes l'ancien tracé de la frontière avec le Mali. Grâce à l'amabilité de l'Institut Géographique Burkinabè (IGB), nous avons pu utiliser les données numériques de la "BD CARTO" (échelle de conception : 1/1.000.000) avec le nouveau tracé des frontières. Toutes les cartes ont été numérisées avec ce contour en utilisant une table à numérisée (mode vecteur). Dans un deuxième temps elles ont été croisées en utilisant la fonction *union* du logiciel Arc/Info.

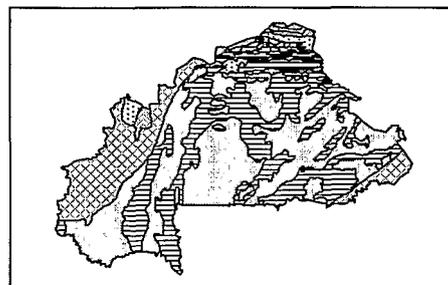
- carte des provinces :

30 provinces en 1995.



- carte pédologique (5 unités) :

Burkina Faso grands types de sols	
	Vertiques (socle)
	Ferrugineux (socle)
	Ferrugineux (roches sédimentaires)
	peu évolués (sables éoliens)
	Vertiques (roches sédimentaires)



- carte des usages (4 unités) :

- * libre,
- * parcs nationaux,
- * forêts classées,
- * réserves naturelles.

- carte d'occupation du sol (4 unités).

- * élevage,
- * intensité de l'agriculture (3 niveaux).

La carte obtenue après croisement comprenait près de 400 polygones, elle a été simplifiée en éliminant d'abord les polygones trop petits; puis, par un travail de conception, en supprimant des contours selon les priorités suivantes :

usages > provinces > sols > occupation

De plus à l'intérieur des zones à usage réservé (forêts classées, parcs, réserves) toutes les autres limites ont été supprimées. Puis, quand deux contours étaient très voisins, celui qui correspondait à la plus grande priorité a été maintenu. Le document cartographique de base obtenu ne comprend plus qu'environ trois cents polygones, ce qui reste encore élevé.

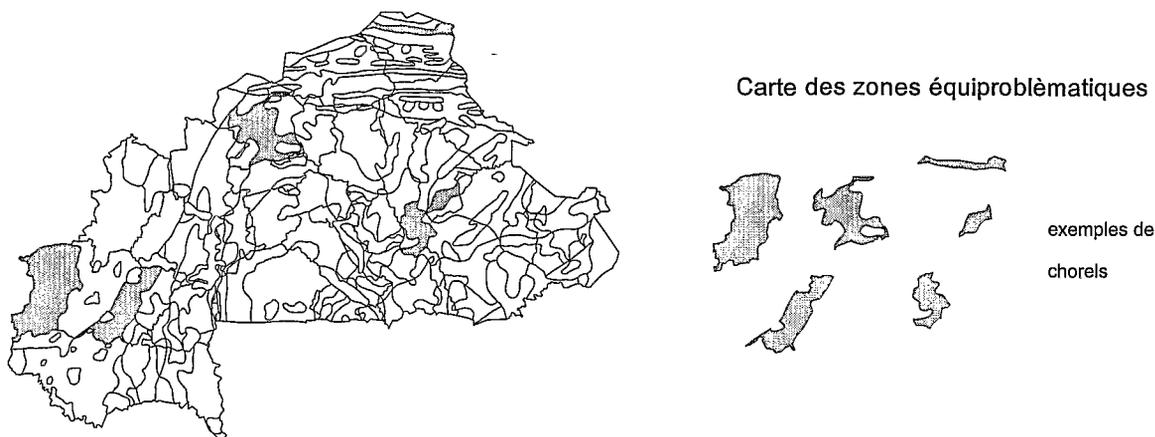
Cette nouvelle carte n'est pas à proprement parler un zonage mais un *puzzle* constitué de polygones jointifs présentant des caractéristiques équiprobématiques en ce qui concerne :

- les caractéristiques climatiques,
- les types de sol (voire la géologie),
- l'utilisation qu'en fait l'homme.

Nous l'appellerons **carte des zones équiprobématiques**. Cette carte au niveau informatique ne constitue qu'une seule couche (mode vecteur), les polygones s'apparentent aux pixels du mode image (matriciel) par analogie nous les appellerons :

"chorel"

De *chor* radical grec : étendue, espace, contrée, pays (Brunet et al; 1992) et *el* : élémentaire.



III Base de données :

La carte de base numérique étant établie, il s'agit maintenant d'établir la base des données, c'est à dire de renseigner les polygones. L'union faite sous Arc/Info conserve les indications relatives aux cartes thématiques de base (numérotation) car une jointure graphique a été effectuée lors de l'union; ceci est pris en compte pour l'établissement de la base de données. La table attributaire d'origine comprend en ligne, les polygones et en colonne, les quatre types de données (sol, provinces, usage et occupation) représentés par un numéro; par exemple 1 pour les sols vertiques sur roches basiques du socle. Cette table doit être complétée selon les thématiques choisies. Dans le cadre de cette étude les paramètres utilisés pour classer les polygones en fonction de leur influence sur l'érosion sont de deux types.

Les premiers sont plus ou moins pérennes, et caractérisent à la fois le **milieu physique**, les influences de l'**homme** sur celui-ci n'apportent pas de modification importante d'un point de vue spatial.

La carte de base n'ayant pas été construite avec le zonage climatique, les polygones ont été renseignés directement en fonction de la variation (essentiellement en latitude) de l'**agressivité des pluies**. Un codage en 7 classes hiérarchisées a été effectué par superposition de la carte de base et d'une carte représentant des 7 niveaux d'agressivité des pluies. Quand un polygone était à peu près également réparti sur deux unités des demi valeurs ont été utilisées.

La susceptibilité des sols à l'érosion, cette donnée est établie à partir des numéros de type de sols (table attributaire). Les cinq types de sols ont été codés en 4 classes croissantes; valeur 1 pour les sols sableux, 3 pour les sols ferrugineux sur roches sédimentaires, 4 pour les sols ferrugineux sur roches du socle et 5 pour les deux types de sols sableux. Cette notation a pris en compte à la fois les résultats obtenus en parcelle de Wischmeier (Roose, 1974 et 1980 ; Piot et Millogo, 1981), la texture des grands types de sol ainsi que leur susceptibilité à l'érosion pluviale.

L'**usage des sols** a été plus facile à coder en effet les quatre types d'usage figurant sur la table des attributs ont été transformés en 2 classes d'usage libre (1), réservé (0).

L'**emprise agricole**; cette donnée est nouvelle, elle est issue de documents statistiques sa spatialisation est faite au niveau de la province; 7 classes croissantes ont été retenues.

L'**occupation du sol** a été estimée par l'étude visuelle d'images satellites les 4 classes initialement observées ont été transformées en note allant de 1 (élevage dominant) et de 2 à 4 en fonction de l'intensité du développement agricole.

Le deuxième type de paramètres caractérisent les influences liés à l'**homme** et dont l'évolution est rapide dans le temps. Deux données statistiques, au niveau de la province, ont été utilisées.

La densité de population évolue rapidement les données du recensement de 1985 (INSD, 1989) ont été utilisées ainsi qu'une estimation pour 1995. Ces valeurs en nombre d'habitants par kilomètres carrés ont été codés selon une échelle croissante de 10 en 10 (classe 1 pour une densité inférieure à 10, et ainsi de suite) avec un maximum (valeurs supérieures à 80) soit 9 classes afin d'atténuer l'influence des grandes villes.

La charge en animaux sous la forme d'Unité Bovins Tropicaux par kilomètres carrés (UBT). Cette donnée synthétique a été calculée à l'aide de statistiques fournies par la Direction des Statistiques Agro-Pastorales du Burkina (DSAP) pour les années 1985 et 1995, pour les bovins et les petits ruminants à l'aide de la formule proposée par Boudet et Rivière (1968). L'échelle de transformation entre les UBT/km² a été établie avec un pas d'incrémentation de 5. Le nombre de classes est de 7 classes pour 1985 et de 9 pour 1995.

Tout cette partie du travail a été effectuée avec le logiciel Mapinfo après que les fichiers Arc/Info aient été transformés au format d'échange de Mapinfo à l'aide du module ARC/MAP du CIRAD. Sous Mapinfo les tables attributaires ont été établies par grand type de paramètre : sol, occupation usage et province. Le renseignement de la base liée à la carte a été fait par jointure à partir des attributs thématiques (numéros de chaque paramètre). Pour des raisons opérationnelles le tableau des attributs de Mapinfo a été exporté au format dBase, l'ensemble des données des 307 polygones a été récupéré sur la base de données CIRAD : Winstat.

IV Modélisation de l'érosion :

L'établissement de la carte de base en format vectoriel simplifie en grande partie la mise en place de la modélisation; en effet, tout ce travail a été réalisé dans la base de donnée qui contient comme *individus* les chorels (polygones) et comme *variables* des données qualitatives ou quantitatives concernant le milieu agricole. Le choix d'effectuer la modélisation dans une base de données indépendante plutôt qu'en utilisant le logiciel de SIG vient de la pauvreté de ce type de logiciel en ce qui concerne aussi bien les fonctions de calculs, que les conditions de choix (si, alors, sinon, ou); ces dernières étant d'ailleurs souvent absentes également des logiciels de type SGBD.

Le modèle a été élaboré avec pour référence l'année 1985; les données statistiques existantes concernant le recensement général de la population, et les statistiques sur l'élevage ont été utilisées (niveau provincial, DSAP, 1996).

Une carte de la dégradation des terres au Burkina Faso comprenant 7 classes a été utilisée (Some et al., 1992). Elle a permis le renseignement des chorels par simple superposition visuelle des polygones de la carte de base et de cette carte. Cette nouvelle variable (dégradation) étant également intégrée dans la BD.

Il s'agit de construire une nouvelle carte dont les contours sont connus; aussi, ne reste-t-il que le classement des chorels en classes, vis à vis d'un thématique l'érosion des sols. L'utilisation de la formule de Wischmeier ayant été écartée; la démarche utilisée s'inspire de l'analyse multicritère, il s'agit de croiser des informations. Du point de vue de la terminologie la modélisation utilisée est d'abord de type : modèle diffus (Delecolle, 1989), car on connaît les paramètres causaux mais pas leur rôle respectif. Cette démarche a permis l'établissement de la carte de base; elle a également été utilisée dans la modélisation proprement dite en tenant compte de la connaissance des problèmes d'érosion affectant le pays; ceci, conjointement avec une méthode statistique, selon une formulation empirique.

Sous Winstat, dans un premier temps des nuages de points entre la variable dégradation et les différentes variables ayant un rôle explicatif de l'érosion ont été étudiés visuellement sans utiliser une méthode de type régression linéaire. Ceci a permis de transformer les valeurs des classes en *indices* vis à vis de l'érosion pour chaque variable dans le but d'avoir une même amplitude de variation pour chaque variable. Seule la variable usage a conservé un codage binaire : 0 (usage réserve) et 1 (usage libre).

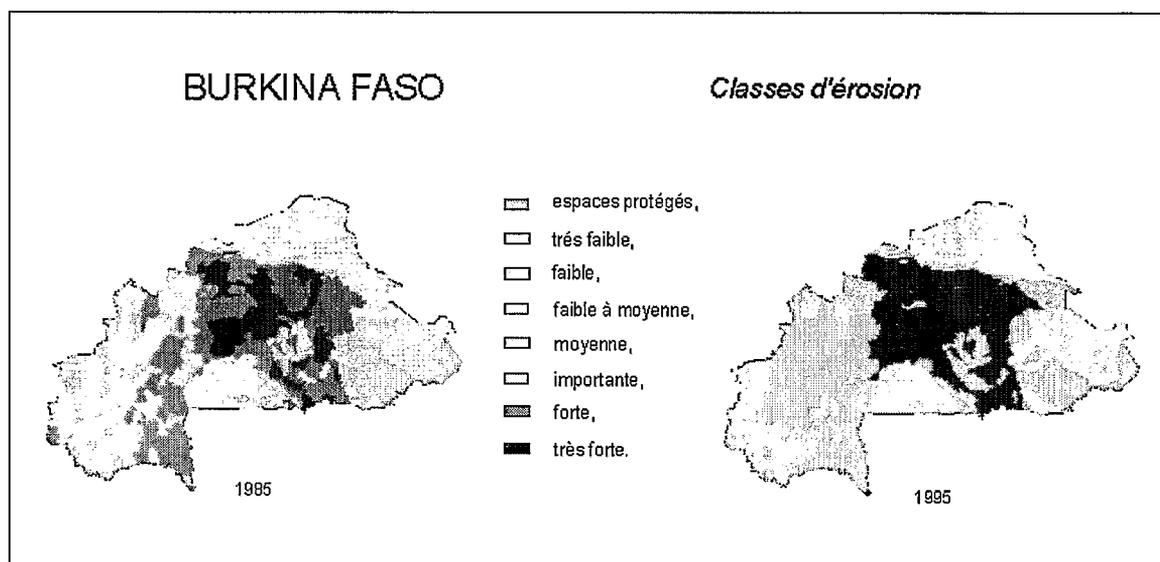
La formulation utilisée est linéaire, chaque *indices* est additionné après pondération. Le résultat ressemble à celui qui aurait été obtenu par une régression linéaire multiple. Une telle démarche statistique a été utilisée afin d'obtenir des premiers coefficients de pondération. Un premier indice d'érosivité a été obtenu qui a été seuillé. Le nouveau tableau de donnée a été exporté au format dBase et récupéré sous Mapinfo. Ce logiciel de SIG a permis de visualiser cartographiquement en effectuant une analyse thématique. La connaissance des problèmes d'érosion au Burkina a permis de modifier les paramètres de pondération en effectuant plusieurs fois la même opération entre Winstat et Mapinfo.

$$\text{Indice d'érosivité} = \Sigma(a_i \text{Ind}_i)$$

avec : a_i = paramètre de pondération et Ind_i = indice d'érosion du paramètre i

Cette formule a été ensuite multipliée par la variable usage (valeurs prises 0 ou 1); les zones d'usage non libre étant arbitrairement considérées comme n'ayant pas de risques liés à l'érosion hydrique. L'indice final obtenu est alors seuillé afin d'être transformé en classes croissantes au nombre de sept, plus une classe concernant les espaces protégés. Le document cartographique obtenu pour l'année 1985 montre que les problèmes d'érosion sont surtout développés dans la partie centrale du pays et plus particulièrement le plateau central autour de la capitale Ouagadougou et également dans la province du Yatenga, ces régions sont très peuplées et les sols sont fragiles. Notons une minimisation des problèmes dans la partie Ouest du pays, moins peuplée bien que plus pluvieuse.

A l'aide des paramètres de pondération établis en 1985 et en tenant compte des nouvelles statistiques concernant la population et le cheptel en 1995; une projection pour cette dernière année a été faite. Le document obtenu montre une augmentation importante des zones à présence de classes d'érosion *importante, forte et très forte*; et ce, aussi bien dans les secteurs à fortes croissances démographiques ou à développement important de l'élevage. Ce résultat apparaît exagéré pour qui connaît la situation au Burkina en 1995. En effet dans beaucoup de provinces sous l'influence conjointe des pouvoirs publics (Centre Régionaux de Production Agricole et organismes de recherche) des bailleurs de fonds (aide bilatérale et multilatérale) et grâce aux nombreuses ONG, des actions concrètes de lutte contre l'érosion hydrique ont été entreprises. Les aménagements anti-érosifs, sous forme de diguettes en terre ou cordons de pierre, ont été implantés; ces travaux sont loin d'être terminés. D'autres moyens de lutte sont utilisés comme l'apport de matière organique. Afin de tenir compte de cette **réponse** du monde rural à l'augmentation de l'érosion des sols une nouvelle variable a été utilisée : expliquée par le pourcentage de superficies cultivées ayant des aménagements anti-érosifs. Cette variable doit être transformée en indice (négatif) vis à vis de l'érosion et il faut lui attribuer un poids. Malheureusement en l'absence d'un état des lieux pour 1995 sa part réductrice dans le calcul de l'indice d'érosion n'a pas été estimée.



V Discussion :

La *base cartographique* présente l'intérêt de n'être constituée que d'une seule couche, alliée avec la simplicité apportée par le mode vecteur. Ce mode est à préférer au mode matriciel quand les unités d'observation (chorels dans cette étude) sont des objets spatiaux indépendants (Collet, 1992). Dans ces conditions les fichiers ne sont pas trop volumineux. Par contre le principal défaut du mode vecteur est que les contours sont figés. Le modèle cartographique ne peut pas prendre en compte un changement important concernant l'exploitation du milieu comme un développement de front pionnier.

La *base attributive* au BD, permet une grande souplesse en ce qui concerne la modélisation qui est effectuée dans l'espace des attributs. Le renseignement des chorels peut se faire directement dans la BD. D'autres informations peuvent compléter et enrichir la base sur des thématiques concernant la qualité des sols au sens large (caractéristiques physiques, chimiques, matière organique). Le système est ouvert et peut permettre d'autres types de renseignement concernant les données climatique, les caractéristiques des sols, leur utilisation par l'homme. Cette Base peut constituer une source importante d'informations sur le milieu agricole en vue d'une gestion éco-régionale. Au niveau technique des problèmes subsistent en ce qui concerne les transferts entre la SGBD et le SIG ou plutôt sa base attributive.

Toute modélisation concernant le milieu agricole est possible. Le modèle d'érosion proposé est simple il est basé sur une échelle de classement des risques. Ce modèle peut paraître suffisant quand on travaille à un niveau national (modèle à la fois empirique et statistique) car il s'agit de tirer des sonnettes d'alarme; mais, il nécessite l'utilisation d'une démarche plus mécaniste au fur et à mesure que le niveau de perception devient plus fin.

VI Conclusion :

Ce modèle reste encore expérimental, il a été développé dans un but exploratoire. La validation reste insuffisante surtout en ce qui concerne la prise en compte des paramètres liés à l'homme et qui évoluent dans le temps. Cet aspect diachronique qui fait son intérêt constitue la grande difficulté de la validation qui exige une évaluation coûteuse sur le terrain pour réaliser un état du milieu agricole vis à vis des problèmes d'érosion. Pourtant la demande est importante émanant particulièrement des bailleurs de fonds au niveau international. Ainsi, plusieurs organismes ont suivi l'initiative de la Banque Mondiale pour la recherche d'indicateurs de qualité des terres (programme LQI). Afin d'élargir l'utilisation de ce modèle cartographique à cette notion de Land Quality Indicators la démarche nécessite plusieurs améliorations. Il est nécessaire d'intégrer au niveau des polygones les informations statistiques issues d'enquêtes afin de suivre la dynamique agricole; la pression exercée par l'agriculture sur son milieu et sa réponse éventuelle aux variations d'état de celui-ci. La mise en place d'une méthodologie simple et rapide d'étude de l'état du milieu est également une exigence, ceci peut être réalisé lors d'études au niveau national par l'utilisation de données satellites à faible résolution (NOAA, VEGETATION) et en utilisant des méthodes de diagnostic fines. Les observations détaillées, seront effectuées en des emplacements représentatifs, choisis en fonction par exemple des résultats d'une modélisation effectuée à "dires d'expert". Ces observations permettront d'établir les "lois" régissant le problème majeur étudié, au niveau de perception choisi.

Bibliographie :

Bep B., Zahonero P., Boli Z., Roose E., 1996. Evolution des états de surface et influence sur le ruissellement et l'érosion des sols ferrugineux tropicaux sableux du nord Cameroun soumis à diverses techniques culturales. In Bull. Réseau Erosion n° 6 ORSTOM, Montpellier : 59-77.

Boudet G., Rivière R., 1968. Emploi pratique des analyses fourragères pour l'appréciation des pâturages tropicaux. Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux. Vol 21, n° 2 : 227-266.

Brunet R., Ferros R., Thery H., 1992. Les mots de la géographie, dictionnaire critique. La Documentation française, Paris, 518p.

Collet C., 1992. Systèmes d'information géographique en mode image. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne, 186p.

Delecolle R. ? 1989. Indices et modèles, outils du zonage agrométéorologique. I, Le zonage agro-pédo-climatique, séminaire INRA : 17-38.

DSAP. 1996. Enquête nationale de statistiques agricoles. Min. de l'Agri. et des Res. Anim., Ouagadougou, 100p.

Guillobez S., 1985. Milieux naturels du Burkina Faso. IRAT, Montpellier, carte au 1/1.000.000.

Guillobez S., 1992. Caractères climatiques influençant la dégradation et l'érosion des sols au Burkina Faso. CIRAD-CA, INERA, 14p.

Guillobez S., Zougmore R., Kabore B., 1995. L'érosion en Afrique soudanienne, confrontation des points de vue des chercheurs et des paysans. Cas du Burkina. In; Proceedings of the scope workshop, 15-19 nov. 1993. Dakar, Sénégal. "Sustainable land management in Africa semi-arid and subhumid regions. F. Ganry and B. Campbell Editors. CIRAD, Montpellier : 203-212.

INSD, 1989. Recensement général de la population - 1985. Ministère du plan, Ouagadougou, 329p.

Legros J.P., 1996. Cartographies des sols. De l'analyse spatiale à la gestion des territoires. Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne, 321p.

ORSTOM, 1968, 1969. Etude pédologique de la Haute Volta. 5 cartes au 1/5.00.000.

Piot J., Millogo E., 1980. Rapport de synthèse de six années d'étude du ruissellement et de l'érosion à Linoghin. CIRAD-CTFT, Nogent sur Marne : 47p.

Roose E., 1980. Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétation naturelles ou cultivées. Thèse Univ. d'Orléans, 587p.

Roose E., Arrivets J., Poulain., 1974. Etude du ruissellement du drainage et de l'érosion sur deux sols ferrugineux de la région centre de Haute Volta. Bilan de trois années d'observations à la station de Saria. ORSTOM, IRAT.

Some L., Taonda J.B., Guillobez S., 1992. Le milieu physique du Burkina Faso et ses contraintes. Comité Technique National de Recherches Agricoles. INERA, 16p.