

Etat actuel de dégradation des terres et de l'environnement au Togo déterminé à l'aide de la télédétection.

P. BRABANT¹, V. SIMONNEAUX¹, K. EGUE²

1. Centre Orstom, 72 route d'Aulnay, 93143 Bondy Cedex, France.

2. Institut National des Sols, B.P. 1026 Lomé, Togo.

Résumé

L'Orstom et l'INS ont étudié en 1994 l'état de dégradation des terres au Togo (56 300 km²), évalué par rapport à la capacité de production des terres. Pour cela, une couverture Landsat TM de tout le pays a été acquise à un coût beaucoup plus avantageux que celle d'une couverture SPOT. Le traitement des images est couplé à un SIG, géré par ARC/INFO et associé à une base de données. L'interprétation visuelle et numérique des images satellitaires est complétée par l'exploitation des cartes topographiques, de diverses cartes thématiques et par de nombreux contrôles de terrain. Au préalable, des normes et un état de référence ont été établies pour pouvoir évaluer les divers états de dégradation observés.

L'identification directe des états de dégradation par télédétection est limitée, à l'exception de la perte de matière organique dans la couche supérieure du sol. En revanche, l'identification indirecte est possible; celle-ci est fondée sur le fait qu'il existe une relation entre la densité des cultures, la diminution de la jachère, la réduction du couvert végétal et le niveau de dégradation, dans un environnement bien déterminé.

La période la plus favorable pour l'acquisition des données satellitaires est le début de la saison sèche. La combinaison colorée de canaux la plus utilisée est C1 + C4 + C7 de TM et le canal 5 en noir et blanc.

Actuellement, les zones fortement dégradées couvrent environ 5 % du Togo, tandis que la partie peu ou non dégradée occupe encore 50 % du pays. Le potentiel de production agricole est donc faiblement entamé. Cette carte d'état actuel de dégradation, qui sera publiée en 1995, pourra servir d'état de référence pour la surveillance des sols et de l'environnement au Togo durant les prochaines décennies et pour comparer aux bilans qui seront faits au cours du XXI^e siècle.

Mots-clés : Togo - Etat de dégradation des terres - Télédétection - SIG.

Abstract

The present state of degradation of land and environment in Togo, as determined with the aid of remote sensing.

In 1991, Orstom and the INS made a study of land degradation conditions in Togo (56,300 km²), assessed in terms of productive capacity. Landsat TM coverage of the entire country was used, purchased at a much lower cost than that of SPOT coverage. Image processing was coupled with a GIS managed by ARC/INFO and linked to a database. The satellite images, interpreted visually and digitally, were complemented by topographic maps, various thematic maps and extensive ground verification. Benchmark conditions were established in advance, against which to measure the various states of degradation observed.

Apart from loss of organic matter from the topsoil, direct identification of land degradation by remote sensing is limited. Indirect identification is possible, however, based on the fact in a given, well-defined environment, there is a relationship between the degree of degradation and the increase in crop density, with decreases in fallow area and vegetation cover.

The best period for acquiring satellite data is the beginning of the dry season. The color composite most used in the study area : TM channels 1+4+7 and black-and-white channel 5.

At present, about 5% of Togo's land area is severely degraded, while 50% of the country is still unaffected or slightly degraded. Agricultural production potential is therefore only slightly diminished. The map of the present state of degradation, to be published in 1995, will provide a reference for monitor soils and environment in Togo over the coming decades and for comparing assessments made in the 21st century.

Keywords : Togo - Land degradation status - Remote sensing - GIS.

Introduction

Le programme GLASOD¹, financé par l'UNEP² et coordonné par l'ISRIC³, a été engagé à la fin des années 1980. Le résultat a été la publication d'une carte mondiale à l'échelle de 1/10 M montrant l'état actuel de dégradation des sols sous l'effet des activités humaines. C'est simplement une première approximation, mais c'est un document de référence à l'échelle mondiale, puisqu'il n'existait rien de tel auparavant.

Dans certaines régions du monde, il semblerait que l'état de dégradation des sols ait été surestimé, en particulier en Afrique et en Asie. Il y a deux raisons à cela. L'une est le manque de références pour évaluer la dégradation dans un pays en comparaison avec les

1 Global Assessment of Soil Degradation.

2 United Nations Environment Program.

3 International Soil and Reference Information Center.

autres. Par exemple, un même état d'érosion n'est pas considéré comme ayant le même degré de gravité au Gabon et au Sénégal. La seconde raison est que les services nationaux qui annoncent une forte dégradation des terres peuvent espérer un financement international ou national pour mener des études et éventuellement pour remédier à cette dégradation.

L'étape suivante du programme GLASOD consiste à déterminer l'état actuel de dégradation des sols, non plus au niveau continental, mais au niveau national. Par conséquent, les travaux sont menés de manière plus détaillée et à une échelle plus grande.

L'Orstom (Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération) et l'INS (Institut National des Sols) ont mené un programme d'évaluation des terres au Togo de 1991 à 1994. L'un des thèmes de ce programme concerne l'état actuel de dégradation des terres et de l'environnement dans tout le pays. Ce travail a été réalisé en 1994 à l'aide de deux techniques : l'utilisation des images satellitaires et la mise en œuvre d'un SIG.

Dans cette communication, nous voudrions donner des indications très pratiques à nos collègues sur la manière de réaliser ce type de travail. En effet, la question qui peut être posée aux responsables des instituts nationaux des sols, en Afrique de l'Ouest par exemple, est celle-ci : « Pouvez-vous dresser un état de dégradation des terres du pays de manière aussi fiable que possible et dans des délais raisonnables, n'excédant pas une année ? », « Comment procéder pour obtenir ce résultat ? »

Voici la méthode que nous avons utilisée pour réaliser cette étude au Togo.

1. Le Togo

Ce pays est situé en Afrique de l'Ouest et il s'étale en longueur sur 500 km entre les 6ème et 11ème degrés de latitude. La pluviosité varie de 800 à 1 500 mm, la région la moins pluvieuse se trouvant sur le littoral atlantique et non pas dans le nord. Des îlots résiduels de forêt tropicale humide subsistent dans le sud-ouest du pays; le reste est couvert de forêts claires, de savanes arborées et arbustives, plus ou moins défrichées.

La superficie du pays est de 56 300 km² et la population, principalement rurale, est estimée actuellement à 3,5 millions d'habitants. La densité moyenne est de 62 ha/km². Il existe quelques zones inhabitées, principalement les zones en réserves, et d'autres où la densité atteint 400 à 500 ha/km². C'est donc un pays relativement peuplé, comparé à de nombreux autres pays africains. D'où l'intérêt de connaître l'état actuel de dégradation des terres sous l'effet des activités humaines.

2. Etat et risque de dégradation des terres : deux concepts très différents

Ces deux concepts ne doivent pas être confondus, d'autant plus que la méthode pour évaluer l'un et l'autre est très différente.

Evaluer le risque consiste à dire que tel type de terrain pourrait atteindre un certain état de dégradation dans un délai déterminé, si tel ou tel mode d'exploitation y est appliqué. C'est un exercice théorique qui peut être mené en grande partie au laboratoire. Cela peut consister par exemple à appliquer l'équation de Wischmeier ou une autre formule similaire. On calcule les risques de dégradation à partir de données existantes, comme la pluviométrie, la pente du terrain, le couvert végétal, etc. Cela peut donner des résultats parfois fiables, mais générer aussi de grosses erreurs quand l'impact du facteur humain est mal évalué ou imprévu.

En revanche, déterminer un état de dégradation relève de l'observation et non du calcul. Il s'agit de connaître dans une région donnée quel est l'état actuel de dégradation des terres. Quand le périmètre à observer est peu étendu et accessible en véhicule, c'est relativement aisé. Quand il faut faire une évaluation sur toute la superficie du pays dans un délai assez court, il faut utiliser une autre méthode. Cela est possible grâce à la télédétection aérospatiale.

3. Dégradation du sol en rapport avec la production agricole

La situation décrite fait référence à la dégradation du sol et des terres sous l'effet des activités humaines⁴ et en rapport avec la production agricole. Ce point, rarement évoqué, doit être précisé. Citons un exemple pour l'illustrer. Si un secteur des terres rouges du Sud-Togo par exemple (sols ferrallitiques) devient très acide, cela entraîne une réduction de la productivité des récoltes. Du point de vue de l'agriculteur, c'est une forme de dégradation de la terre. Le spécialiste parlera d'acidification. Si ce même secteur est exploité pour faire des briques de construction en la mélangeant avec une part de ciment, l'acidification n'a aucune importance pour l'utilisateur et ce secteur ne sera pas considéré par cet utilisateur comme un secteur dégradé.

4. Matériel

Quatre types de matériels sont mis en oeuvre : la documentation thématique existante, des images satellitaires, l'équipement nécessaire pour constituer un SIG, un véhicule pour effectuer des contrôles de terrain.

4 Il existe aussi une érosion dite « érosion naturelle » ou « érosion géologique » qui s'exerce sur les terres émergées, exploitées ou non exploitées. Ce type d'érosion n'est pas pris en compte dans cette étude.

4.1. Documentation thématique existante

La documentation utile comporte d'abord les cartes topographiques à une échelle convenant aux travaux; pour le Togo, ce sont les cartes à 1/200 000. Ensuite, ce sont les diverses cartes thématiques disponibles: cartes géologiques, cartes de sols, de végétation, d'occupation des terres, de répartition et de densité de population et autres cartes de ce genre. Cependant, il convient de noter qu'aucun de ces documents ne renseigne directement sur l'état actuel de dégradation des terres. On peut seulement glaner quelques informations, parfois obsolètes, dans une notice explicative de carte. La recherche de cette documentation est une tâche ardue, mais celle-ci a l'avantage d'être gratuite. On recherche aussi les documents historiques, que nous décrirons au paragraphe 6.1.

4.2. Images satellitaires

C'est le matériel le plus important pour réaliser le programme. Nous avons facilement accès à deux produits : les produits SPOT et Landsat TM, bien que d'autres produits, souvent moins coûteux, existent sur le marché (des produits russes comme Soyuzcarta et japonais).

Tableau 1. Comparaison entre des caractéristiques de SPOT et de Landsat TM.

Type de produit	SPOT	Landsat TM
Superficie de terrain couverte par une scène	3 600 km ² (60 x 60 km)	28 900 km ² (170 x 170 km)
Pouvoir de résolution	20 m 10 m en mode panchro.	30 m
Nombre de canaux	3	7
Nombre théorique de scènes pour couvrir le Togo (56 300 km ²)	16	2
Nombre effectif de scènes pour couvrir le Togo	32	4 + deux 1/4 de scène + un complément de 2 scènes SPOT
Prix moyen d'une scène CCT niveau 2A	15 900 FF	24 000 FF (15 000 FF le 1/4 de scène)
Coût total	508 800 FF	142 800 FF

La principale question est de savoir s'il est préférable d'acheter des images SPOT ou TM. Une image SPOT couvre 3 600 km² et une image TM 28 900 km² dans cette région. Il faut aussi tenir compte du nombre de canaux et du pouvoir de résolution, de la forme du pays par rapport à la trace du satellite et donc du nombre d'images à acquérir. Pour le Togo, plusieurs scènes débordent largement sur les pays voisins, Ghana et Bénin. Il faut donc pouvoir acheter des quarts de scène quand cela est nécessaire. Le tableau 1 fournit quelques informations pratiques pour orienter le choix. La contrainte majeure est d'ordre budgétaire et le rapport qualité/prix est un élément important à prendre en compte.

Nous avons acquis la couverture TM en la complétant par deux images SPOT sur les zones frontalières. D'où un coût total 3,5 fois moins élevé en achetant des scènes TM plutôt que des scènes SPOT. Il va sans dire que les images satellitaires acquises peuvent servir pour d'autres travaux que pour la détermination de la dégradation des terres. C'est donc un bon investissement.

Les images sous forme numérique sont d'abord traitées par un procédé qui permet de produire un film négatif par canal. Ceux-ci sont ensuite utilisés pour faire des tirages sur papier de compositions colorées de divers canaux ou de tirages en noir et blanc d'un seul canal. Les tirages sont faits à l'échelle du 1/200 000, parfois du 1/100 000. Ces travaux sont effectués au centre Orstom de Bondy. Les images sont traitées numériquement sur station Sun à l'aide du logiciel OSIRIS⁵ (logiciel Orstom).

4.3. Equipement pour le SIG

Pour constituer un SIG, nous avons acquis un logiciel ARC/INFO installé sur station Sun. L'intérêt de ce SIG est qu'il permet de gérer et de stocker l'information apportée par les images. On se repère ainsi plus facilement sur des images calées géographiquement; leur volume de stockage peut être optimisé s'il s'agit de classifications (vectorisation)⁵; le croisement avec d'autres informations thématiques est facilité, ainsi que la mise à jour des cartes et des informations dérivées.

4.4. Contrôles de terrain

C'est aussi une activité très importante du programme, étroitement liée à l'interprétation des images. La densité des points de contrôle varie d'un secteur à l'autre. C'est un travail nécessaire et il convient donc de s'équiper d'un véhicule adapté et fiable. Au Togo, nous avons parcouru 35 000 km environ pour effectuer les observations dans les différentes régions.

5. Méthode

La méthode utilisée est simple et consiste à suivre les étapes successives suivantes :

- Etablissement de normes ;
- Exploitation des données de la carte topographique ;
- Exploitation des cartes thématiques ;
- Interprétation des images satellitaires et contrôles de terrain ;
- Interprétation des données historiques ;
- Stockage des données dans le SIG et exploitation ;
- Publication des résultats sur papier ou support informatique.

5 Se reporter à la communication de V. SIMONNEAUX.

5.1. Etablissement de normes

C'est la première étape nécessaire. Si ces normes n'existent pas au niveau national, il faut les constituer. Nous avons pris comme référence la légende de la carte mondiale de dégradation des sols (OLDEMAN et *al.*, 1990). Puis, nous l'avons complétée et adaptée pour des travaux à une échelle plus grande en y introduisant des modifications. Nous ne la détaillerons pas dans cette communication. Le lecteur intéressé trouvera un sommaire de cette légende modifiée en annexe I.

Disons simplement qu'à un premier niveau nous avons fait la distinction entre deux processus majeurs. Le premier, dénommé « érosion » *stricto sensu* est celui qui produit un déplacement du matériau du sol à une distance plus ou moins grande des sites. Cela provoque une perte du volume du sol, souvent de son épaisseur, et des effets hors-site souvent préjudiciables à l'environnement. Un exemple est l'érosion en nappe et en rigoles. Le second, dénommé « dégradation⁶ », est celui où il n'y a pas perte en terre; les propriétés du sol sont modifiées et dégradées sur place. Exemples : l'acidification ou la salinisation du sol.

Nous avons ainsi défini des types et sous-types d'érosion et de dégradation (Annexe I), puis leur degré d'intensité, leur extension dans le paysage, la vitesse du processus et les diverses causes de cette dégradation. Nous avons aussi pris en compte les cas d'amélioration et de conservation des terres.

In fine, une appréciation synthétique de la dégradation est formulée à partir de trois variables précédentes : le type, le degré et l'extension de la dégradation. Cette appréciation globale est dénommée: « État actuel de dégradation des terres et de l'environnement ». Nous avons distingué 5 classes allant d'un état de dégradation nul à un état extrême. En se référant à ces cinq classes, on peut alors subdiviser la superficie du territoire togolais en polygones. Les polygones sont ensuite numérisés dans le SIG et numérotés. Chacun est décrit dans la base de données associée au SIG par une cinquantaine de variables descriptives, se référant aux normes retenues (Annexe II).

5.2. Exploitation des cartes topographiques

Elle comporte trois opérations. La première consiste à stocker dans le SIG des paramètres qui constitueront les premiers éléments d'une base de données. Ils permettront ensuite de se repérer pour l'interprétation numérique des images. Pour cela, on a numérisé dans le SIG les cartes topographiques IGN à 1/200 000 du Togo en six couches distinctes qui sont : les courbes de niveau, le réseau hydrographique, les voies de communication, l'habitat, la toponymie et les coordonnées géographiques.

⁶ Dans la suite du texte, nous utiliserons le seul terme générique de « dégradation » qui regroupe les deux : érosion *stricto sensu* et dégradation.

La deuxième est de préparer les documents topographiques⁷ à 1/200 000 pour faciliter l'interprétation visuelle des images. Une copie sur support transparent est effectuée pour 2 des 4 films originaux de la carte topographique : la planche hydrographique (bleue), la planche des voies de communication et de la toponymie (noir). Ces planches sont superposées à un tirage sur papier à 1/200 000 de l'image satellite en couleur ou en noir et blanc, de niveau 2A. La planche hydrographique est la première appliquée car elle permet un excellent calage sur l'image. On applique ensuite la planche de « noir » en la calant à l'aide des repères fixés sur chacune d'entre elles. On obtient ainsi une image satellitaire à 1/200 000 parfaitement repérée géographiquement et prête à être utilisée sur le terrain.

La troisième opération consiste à exploiter la planche « verte » de la carte topographique. Cette planche a été établie à l'IGN par des photo-interprètes à partir de photos aériennes à 1/50 000 ou à 1/20 000. Bien que ces photo-interprètes ne soient pas des spécialistes de la végétation, ils ont suffisamment d'expérience pour produire un document de qualité qui indique dans un secteur donné le type de végétation ou l'absence de végétation au moment de l'établissement de la carte. Cette information a été souvent contrôlée sur le terrain et elle est généralement fiable. Cette planche est donc un document à exploiter pour l'interprétation des images satellitaires et pour faire les contrôles sur le terrain. Elle fournit aussi une indication sur la vitesse de dégradation, puisqu'on connaît la date de mise à jour de la carte topographique.

5.3. Exploitation des cartes thématiques

Il s'agit d'exploiter les cartes thématiques pour délimiter les grandes unités physiographiques et les unités naturelles de terrain ou UNT (BRABANT, 1992). On peut supposer que l'état de dégradation est sensiblement le même dans chacune de ces unités dans la mesure où elles sont exploitées de la même manière par des groupes humains culturellement homogènes. Au Togo comme dans toute l'Afrique de l'Ouest, les terres sont généralement exploitées en paysannat avec un faible niveau d'intrants.

On délimite ainsi les zones montagneuses, les pédiments sur grès, sur granite ou sur roche basique avec les sols correspondants, les plaines alluviales, les dunes, les marécages, etc. On identifie aussi les zones protégées (parcs, réserves), les zones à forte et à faible densité humaine, les zones bâties, etc.

On obtient ainsi un canevas de base qu'il faut ensuite compléter en ce qui concerne les divers niveaux d'état de dégradation.

⁷ Une carte topographique IGN est constituée de 4 planches-mères, ayant chacune une couleur différente. La planche dite « bistre » concerne l'orographie, la planche « bleue » est celle de l'hydrographie, la « verte » celle de la végétation, et la « noire » celle de la toponymie, de l'habitat, des voies de communication.

5.4. Interprétation des images satellitaires et contrôles sur le terrain.

La tendance naturelle des utilisateurs d'images est de se plaire devant leur écran d'ordinateur dans un bureau climatisé. Partir sur le terrain sous les pluies ou dans la chaleur de la saison sèche n'est pas un exercice très recherché; mais il doit être fait, car la qualité du résultat obtenu dépend de la démarche itérative entre l'interprétation et les vérifications de terrain. Ces activités comportent plusieurs phases.

La première phase se déroule au laboratoire. On dresse une carte provisoire de l'état de dégradation, en examinant les images satellitaires et en se référant aux documents thématiques. On repère les zones protégées, les zones non dégradées car inhabitées et non cultivées, les zones rurales exploitées et les zones urbanisées.

La deuxième phase comporte surtout des activités de terrain. On porte une attention particulière aux zones rurales diversement cultivées, car ce sont les plus difficiles à interpréter. De nombreux repérages sont effectués sur le terrain pour affiner l'interprétation numérique au laboratoire et compléter l'interprétation visuelle.

La troisième étape est une interprétation générale des images. L'un d'entre nous fait une interprétation visuelle et l'autre une interprétation numérique. Les deux documents sont ensuite comparés. On constate que dans les trois quarts des situations les deux interprétations coïncident relativement bien. Le quart restant correspond à des états de dégradation qualifiés de « moyen à faible ». Dans ce cas, les limites entre classes sont difficiles à établir à l'échelle du 1/200 000, surtout quand les cultures, les jachères et les friches sont imbriquées. Au terme de cette troisième étape, on obtient une deuxième approximation de la carte, bien plus élaborée que la première, mais où il subsiste encore quelques zones litigieuses.

La quatrième et dernière étape consiste à effectuer les ultimes contrôles de terrain menés dans ces zones litigieuses. On passe ensuite au dessin définitif de la carte d'état de dégradation.

Les contrôles de terrain faits au Togo ont consisté à observer l'état du couvert végétal, l'état et l'épaisseur de l'horizon de surface du sol, à examiner les traces d'érosion en nappe, en ravines, en rigoles, ou d'autres formes d'érosion, à effectuer parfois des tests de pH, à observer les modes d'exploitation des terres, les pratiques culturales et les techniques de protection du sol, si elles existent.

5.5. Stockage des données et traitement

Les limites des polygones distinguant les divers états de dégradation des terres sont numérisées dans le SIG en mode vecteur. Chaque polygone est identifié par un numéro d'ordre qui fait référence à un groupe de données descriptives (Annexe II) et la superficie de chaque polygone est calculée. Grâce au SIG, on peut ainsi connaître l'état de dégradation des terres et calculer les superficies concernées soit pour tout le pays, soit par région, par préfecture ou par bassin versant. Un certain nombre d'autres documents, également numérisés, viennent illustrer la base de données: extraits d'images satellitaires,

photographies aériennes et photos prises au sol. Cela permet à l'utilisateur qui consulte le SIG de se faire une idée des paysages et des phénomènes de dégradation observés.

5.6 Publication des résultats

Ceux-ci sont publiés sur papier, sous la forme d'une carte classique, avec une notice explicative et d'autre part sous la forme d'un support informatique (disquette ou CD-ROM).

6. Résultats

L'exploitation des données n'est pas encore terminée. Cependant, l'essentiel des résultats est déjà disponible. Avant d'évaluer ces résultats, il faut tenir compte de la nature des travaux réalisés. Précisons encore qu'il s'agit de faire un bilan de la dégradation dans un pays entier, à petite échelle et dans un délai assez court. Cela n'a rien de comparable avec une étude qui consiste à effectuer des traitements numériques d'images dans une zone-test de quelques kilomètres carrés, comme cela est fait dans le cadre d'une thèse par exemple.

6.1 L'état de référence

Avant de présenter les résultats, examinons d'abord ce concept important d'état de référence. Quand on dit qu'un secteur donné se trouve dans un état de dégradation faible ou au contraire extrême, on se réfère nécessairement à un état antérieur ou à des conditions initiales. Nous dénommons cet état antérieur : l'état de référence. Pour le connaître, il faut se reporter à des données historiques; mais celles-ci sont rares. Quand on cherche par exemple à savoir dans quel état de dégradation se trouvait tel secteur du Togo en 1930 ou en 1950, il est très souvent difficile d'y répondre. A quels documents historiques peut-on se référer ?

Les premières informations écrites se trouvent dans les récits des explorateurs allemands ayant pénétré à l'intérieur du pays entre 1882 et 1895; il y a seulement un siècle. On y trouve des commentaires sur les paysages, mais l'observation de la dégradation des terres n'était évidemment pas leur préoccupation. De 1918 à la fin des années 40, il existe peu d'informations sur l'état de dégradation des terres.

Les premiers documents de référence disponibles sont les photos aériennes à 1/50 000 du Togo prises par l'IGN entre 1954 et 1956. Elles sont utilisables pour travailler sur des zones-test; mais ce serait une énorme tâche de les exploiter pour tout le pays, car cela représente des milliers de photos à manipuler. Celles-ci, pas plus que les images satellitaires, n'indiquent directement l'état de dégradation des terres (§ 6.2), mais elles montrent l'état du couvert végétal et le taux d'occupation des terres à la date des prises de vues.

Une deuxième série de documents de référence est constituée par les premières images du satellite Landsat 1 vers 1975; mais ces images sont souvent de mauvaise qualité. Les photos prises par les satellites Soyouz pourraient aussi être une source d'information.

La troisième série de documents de référence, et la plus importante, est celle des images SPOT et Landsat TM, en 1984-1985. Le tableau 2 regroupe quelques repères historiques.

Tableau 2. Quelques repères historiques.

Année	Evénement historique
1885	Premiers récits des expéditions allemandes à l'intérieur du Togo
1905 - 1910	Premiers travaux de génie civil
1925 - 1935	Nombreux travaux de génie civil
1955	Photos aériennes de tout le Togo prises par l'IGN (France) (premiers documents de référence)
1955 - 1960	Développement des infrastructures industrielles et des projets agricoles
	Premières dégradations décrites
1960	Indépendance du Togo
1960 - 1975	Accroissement démographique
	Développement des infrastructures. Extension des zones cultivées
1973 - 1975	Premières images des satellites Landsat
1985	Images SPOT et Landsat TM (documents de référence)
1995	Evaluation de l'état actuel de dégradation des terres (Orstom - INS)- Etat de référence
1995 - 2015	Surveillance des terres et de l'environnement par télédétection
2015	Deuxième évaluation générale de l'état de dégradation des terres par rapport à l'état de référence de 1995.

A quelle condition antérieure nous référons-nous en décrivant l'état de dégradation des terres au Togo en 1995 ? Ne disposant pas de document équivalent publié auparavant, nous avons choisi comme élément de comparaison l'état des sols observés dans de bonnes conditions de conservation et dans des sites non cultivés. Les nombreux travaux de prospection effectués par les pédologues au Togo entre 1947 et 1977 ont permis de déterminer pour chaque type de sol quelles étaient ses caractéristiques sous végétation naturelle ou sous la végétation spontanée des vieilles friches. L'état de dégradation observé en 1994 se réfère donc à ces conditions initiales, qui ont été décrites en détail et confirmées par des milliers d'analyses de sols.

Si les terres et l'environnement du Togo font l'objet d'une surveillance par télédétection au cours du XXI^e siècle, il sera possible de dresser périodiquement un bilan de l'état de dégradation, en 2015 ou en 2025 par exemple (Tableau 2). On pourra alors comparer cet état avec l'état de référence établi par le programme Orstom-INS en 1995, qui lui-même se réfère à des conditions initiales déterminées.

6.2. Identification directe de la dégradation sur les images satellitaires

La première question est de savoir si la dégradation des terres est directement identifiable sur les images ou si elle ne l'est pas.

Les types d'érosion et de dégradation observés au Togo sont :

1. l'érosion hydrique, en nappe (largement dominante), en rigoles et en ravines ;
2. la fonte de l'horizon humifère ;
3. la dégradation physique: celle de la structure du sol en surface, l'encroûtement, la compaction ;
4. la dégradation chimique: réduction du taux de matière organique, perte d'éléments nutritifs, acidification.

Ces types représentent près de 95 % des situations observées. Cela n'est pas étonnant car 75 % des sols du Togo sont des sols ferrugineux tropicaux⁸ Ces sols sont caractérisés par une couche de surface sableuse (de 8 à 12 % d'argile), une structure fragile; ils sont sensibles à l'encroûtement en surface et à la compaction de la couche arable sous l'effet des pratiques culturales annuelles. La seconde remarque est que toutes ces formes de dégradation sont étroitement liées entre elles et il se produit ainsi une réaction en chaîne. Celle-ci débute par l'érosion en nappe, entraînant la fonte de l'horizon humifère, la dégradation de la structure, l'acidification, etc.

La seule forme de dégradation directement identifiable sur les images satellitaires avec une bonne fiabilité est la perte de matière organique dans la couche de surface.

Pourquoi ? Parce que la perte de matière organique entraîne une modification de la couleur de la couche humifère du sol, moins épaisse et moins sombre. D'où un changement dans la réflectance du sol. Cela est très visible sur les terres rouges (terres de barres) du Sud-Togo; les zones dégradées par perte de matière organique apparaissent très clairement dans les préfectures de Vo et des Lacs (Région Maritime).

Par contre, l'érosion en nappe diffuse, l'encroûtement et la compaction se sont pas identifiés d'une manière fiable, et l'acidification encore moins. Pas plus que l'érosion en rigoles et ravines quand celles-ci sont dispersées sur le terrain comme c'est souvent le cas au Togo. Quand les ravines sont larges et abondantes dans un secteur, on peut les repérer si la date d'acquisition des données par le satellite se situe dans une période favorable du cycle saisonnier.

C'est une période où la nébulosité doit être faible, le sol pas trop couvert par la végétation, avec peu ou pas de feux de brousse. Or, dans la plus grande partie du Togo, cette période est courte. En début de saison sèche (décembre et janvier), les aérosols apportés par l'harmattan gênent la visibilité et donc l'interprétation des images; en fin de saison sèche, ce sont les feux de brousse tardifs. Puis les premières pluies de mars ou d'avril amènent une repousse très rapide des graminées et accélère l'activité de la faune. Tout cela réduit les possibilités de repérage de l'encroûtement, de la compaction du sol et des traces d'érosion en général.

D'autre part, la perte de matière organique, repérable sur les images, ne signifie pas nécessairement une érosion en nappe. C'est le cas sur les plateaux des terres de barres, car le terrain est plat ou en très faible pente; la perte de matière organique est suivie d'une acidification, mais qui n'est pas décelable sur les images. Au contraire, sur les terres rouges

⁸ Qui sont répartis entre les acrisols, alisols, lixisols et luvisols de la nomenclature FAO.

dérivées de roches basiques, la perte de matière organique n'est pas suivie d'une acidification significative. Tout cela indique donc que la détermination directe de l'état de dégradation des terres par télédétection est très limitée dans les conditions de terrain existant au Togo.

6.3. Identification indirecte de la dégradation sur les images satellitaires

De meilleurs résultats sont obtenus en utilisant un moyen indirect pour déterminer la dégradation. Ce moyen est basé sur l'occupation et l'utilisation des terres, deux paramètres qui sont identifiables sur les images. Au Togo, l'agriculture traditionnelle à faible niveau d'intrants associée à la jachère naturelle est le mode d'exploitation habituel. Quand la pression sur les terres reste faible à modérée, le temps de jachère est suffisant pour reconstituer les propriétés du sol entre deux périodes de cultures. C'est une situation d'équilibre où la vitesse de dégradation est très faible ou nulle. Plus la pression démographique augmente, plus le temps de jachère diminue et plus le couvert végétal se réduit. On en arrive ainsi à des situations où la culture devient continue, toujours sans intrants, mais sans période de jachère. Le résultat est que la terre se dégrade de plus en plus.

Il existe ainsi une corrélation entre, d'une part, le degré d'occupation des terres, le couvert végétal, le temps de jachère, et d'autre part le degré et l'extension de la dégradation. Il faut donc identifier sur les images satellitaires la densité des cultures par rapport aux friches et aux jachères pour avoir une bonne estimation du degré de dégradation. C'est relativement facile à déterminer, si la densité des contrôles sur le terrain est suffisante. Ces contrôles sont associés à un traitement numérique qui améliore beaucoup l'interprétation des images (*cf.* la communication de V. SIMONNEAUX).

Par ailleurs, on sait que ce modèle de corrélation entre le taux d'exploitation et le degré de dégradation n'est plus valable dans certaines conditions socio-économiques. En effet, il arrive un moment où les populations prennent conscience que la conservation des terres devient une question de survie. Leur comportement change et ils prennent des mesures de protection qui réduisent alors la dégradation ou améliorent même la qualité des terres. On estime que cela se produit dans les pays tropicaux en développement à partir d'une densité de 400 ha/km² environ (ROOSE, 1994).

La pression démographique et surtout les conditions socio-économiques au Togo ne sont pas encore à un niveau tel que cette politique d'aménagement conservatoire ait été observée, sinon de manière très ponctuelle. Par conséquent, notre modèle fondé sur le postulat suivant (densité des cultures — réduction de la jachère — diminution du couvert végétal — augmentation de la dégradation) reste valable sur presque toute l'étendue du territoire.

Les résultats obtenus par l'interprétation visuelle et numérique des images sont modulés dans chaque polygone de la carte en fonction des caractéristiques des unités naturelles de terrain (paysages sur grès, sur granites, sols des vallées alluviales ou des zones montagneuses etc.) et contrôlés sur le terrain, là où c'est nécessaire.

Il faut aussi distinguer les zones à sols peu épais et naturellement érodés, sur les quartzites, sur les cuirasses ferrugineuses ou sur les terrains en forte pente. Elles sont

identifiées *a priori* en exploitant les cartes thématiques et ne peuvent être confondues avec des zones dégradées résultant des activités humaines.

On peut argumenter en disant que le modèle utilisé n'est pas valable pour l'agriculture traditionnelle à niveau moyen d'intrants. Ce serait alors le cas pour la culture cotonnière fortement encadrée, où les pratiques culturales sont effectivement améliorées et pourraient réduire la dégradation. On peut répondre que la culture cotonnière utilise des engrais minéraux, rapidement lessivés en saison des pluies dans un sol ayant environ 10 % d'argile et 1,5 % de matière organique; de plus, le coton couvre mal le sol. Notons enfin que les surfaces emblavées annuellement en coton ne dépassent guère 5 % de la superficie du pays.

6.4. Repérage des zones améliorées, protégées et conservées

Leur identification est facile, car elles correspondent toujours à des travaux de génie rural ou à des aménagements semi-industriels dont les structures au sol sont repérables sans difficulté sur les images.

Ce sont par exemple : les réserves et les parcs naturels qui sont inhabités, les périmètres de reboisement, les plantations arbustives en vergers (anacardiens, orangers), les plantations de palmier à huile, de cocotier, les plantations industrielles de canne à sucre, les barrages ruraux avec leurs périmètres maraîchers, les rizières aménagées, les zones irriguées.

Certains de ces aménagements, réalisés sur de grandes surface avec des engins lourds, peuvent entraîner une dégradation très rapide des terres, comme les projets de production de semences par exemple, mal adaptés aux propriétés des sols. Cela est visible sur les images et peut être l'objet d'un contrôle sur le terrain, car les périmètres sont bien localisés.

6.5. Quelle est la meilleure période de l'année pour l'acquisition des données par les satellites ? Quelles sont les canaux à exploiter ?

La meilleure période est toujours le début de la saison sèche, entre 20 et 50 jours après la fin de la dernière pluie utile; c'est à dire de novembre pour le nord à janvier pour le sud du Togo. Ensuite, c'est le milieu de la saison sèche, avec des contraintes pour l'interprétation des images dues aux feux de brousse et aux aérosols. Le début de la saison des pluies est peu favorable, car la repousse uniforme des graminées gêne les interprétations. Enfin, la période la moins favorable est la dernière partie de la saison pluvieuse où la nébulosité est toujours importante et la végétation abondante.

Finalement, on constate que le problème majeur est celui du choix des images disponibles figurant dans le catalogue des fournisseurs d'images. La liste des images est longue, mais le choix des scènes intéressantes pour le thème « Dégradation des terres » est relativement restreint. Il est difficile d'acquérir une couverture complète d'un pays à une période favorable du cycle annuel et il faut généralement se contenter de ce qui est disponible. Par exemple, il n'était pas possible en 1993 d'acquérir une gamme complète d'images SPOT exploitables et couvrant tout le Togo. Notons aussi que certaines images sont répertoriées sur les catalogues avec une couverture nuageuse nulle; il n'y a effectivement pas

de nuages au sens strict du terme, mais une brume d'harmattan qui rend impossible l'interprétation.

L'opération qui consisterait à passer commande d'une couverture satellitaire complète d'un pays (par programmation du satellite), présente, à notre avis, un gros risque financier.

Dans l'ensemble, les scènes Landsat acquises pour le Togo sont de bonne qualité sauf dans l'extrême sud-ouest du pays, qui est souvent nuageux. Les scènes SPOT acquises, et d'autres que nous avons pu consulter, sont d'une qualité très variable; quelques-unes sont excellentes et d'autres au contraire sont de très mauvaise qualité : dynamique médiocre, présence de barrettes longitudinales sur les scènes, brume d'harmattan.

Les combinaisons colorées de canaux de Landsat TM, les plus performantes pour l'interprétation visuelle, sont par ordre décroissant : 1+4+7, puis 1+5+7, ensuite 3+4+5 et 2+3+5. Pour le noir et blanc et toujours pour l'interprétation visuelle, ce sont : le canal 5, puis le 7, le 3 et le 4. Le canal 5 est particulièrement utile pour repérer les zones de cultures parmi les friches et les jachères.

6.6. Etat actuel de dégradation des terres au Togo

C'est le résultat final correspondant à l'objectif du programme. La carte de l'état de dégradation des terres et de l'environnement du Togo doit être publiée en 1995 à l'échelle de 1/500 000 en une seule feuille, accompagnée d'une notice explicative.

Tous les calculs de superficie ne sont pas encore terminés. Cependant, nous disposons déjà d'une bonne estimation des surfaces dégradées et non dégradées; celles-ci sont regroupées dans le tableau 3.

Tableau 3. Estimation de l'état de dégradation des terres au Togo sous l'effet des activités humaines.

Etat actuel de dégradation	Superficie en hectares	En % du territoire togolais
Nulle à très faible*	2 815 000	50 %
Faible, localement moyen	1 689 000	30 %
Moyen	844 500	15 %
Forte à extrême	281 500	5 %
Total	5 630 000	100 %

* Incluant les zones améliorées, les zones protégées et les zones non cultivables et inexploitées, les surfaces en eaux.

Les trois secteurs les plus dégradés du Togo couvrent une faible superficie ne dépassant pas 5 % au total. Le premier est situé sur les terres de Barre dans le sud-est du Togo (secteur de Vogan-Aného), où la densité de population est de l'ordre de 400 ha/km² et où la culture est continue sans jachères depuis près de 50 ans. Le deuxième se trouve au nord-est de Kanté, en pays Tamberma, où le sol dans son état naturel est déjà très fragile; c'est un sol

peu épais sur des schistes et quartzites. Il est même étonnant que ces terres ne soient pas plus dégradées. Les pratiques culturelles de cette population, ayant vécu longtemps en autarcie, ont probablement permis de préserver en partie ces terres. Le troisième secteur se trouve entre Dapaong et le Burkina Faso. Une forte densité de population proche de 400 ha/km², un terrain propice au ruissellement et une végétation clairsemée favorisent toutes les formes d'érosion hydrique. C'est le secteur le plus dégradé du pays; il occupe une bande de 5 à 7 km de largeur de part et d'autre de la route internationale entre Dapaong et la frontière du Burkina.

Conclusions

L'utilisation des images satellitaires, associée à l'exploitation d'un SIG, est un excellent moyen de déterminer l'état actuel de dégradation et de conservation des terres à l'échelle d'un pays et dans un court délai. On peut même dire que ce travail n'aurait pas été possible au Togo dans le délai imparti sans l'usage de la télédétection. Dans l'état actuel des connaissances, l'exploitation des images TM est plus économique que celle des images SPOT. Il faut aussi respecter certaines règles comme celle d'effectuer un nombre de contrôles suffisant sur le terrain et d'exploiter judicieusement la documentation thématique existante.

On peut en conclure avec une bonne fiabilité que les terres sont relativement peu dégradées au Togo et que le potentiel agricole du pays est encore préservé à quelques années de l'an 2000. Cependant, le déboisement s'est considérablement intensifié depuis 4 ans en relation avec les turbulences politiques, faisant suite à 25 ans d'une politique de protection. Ce déboisement récent et incontrôlé pourrait entraîner une accélération de la dégradation des terres au cours de la prochaine décennie. Il est donc recommandé d'assurer la surveillance des terres et de l'environnement. Celle-ci pourra être menée, non plus au niveau national, mais au niveau provincial, par conséquent à une échelle plus grande et de manière plus détaillée.

L'exploitation du SIG, déjà opérationnel, est aussi un moyen très pratique pour corriger au fur et à mesure la base de données et la mettre très rapidement à la disposition des décideurs et de divers utilisateurs. Une deuxième évaluation générale pour le Togo pourrait être publiée dans une vingtaine d'année, vers 2025 (Tableau 2). La comparaison avec l'état de référence publié en 1995 par le programme Orstom-INS permettra alors de dresser un nouveau bilan, de déterminer la vitesse et l'extension des zones dégradées ou améliorées au cours de deux prochaines décennies, puis de prendre les décisions politiques nécessaires.

La méthode utilisée au Togo est applicable dans la zone semi-aride d'Afrique qui s'étend du Sénégal au Soudan entre les isohyètes 800 et 1 500 mm, c'est à dire entre la bordure méridionale du Sahel et la zone forestière humide. Cela concerne donc une grande partie de l'Afrique de l'Ouest et une partie de l'Afrique Centrale. Les résultats de l'utilisation des images satellitaires devront cependant être modulés en fonction des facteurs socio-économiques locaux, du mode d'exploitation des terres et de la nature des unités naturelles de terrain.

Bibliographie

- BRABANT P. (1992). « Pédologie et SIG. Comment introduire les cartes et autres données sur les sols dans les systèmes d'informations géographiques ». Cahiers Orstom, sér. Pédol., XXVII, n° 2: 315-345.
- BRABANT P., SIMONNEAUX V., EGUE. K. *Etat actuel de dégradation des terres et de l'environnement au Togo*. Une carte à 1/500 000 avec notice explicative, (à paraître).
- BRABANT P., SIMONNEAUX V., EGUE. K. *Les ressources en terres du Togo. Fascicule I. La Région Maritime* (à paraître).
- OLDEMAN L.R. et al., (1990). World map of the status of human-induced soil degradation. An explanatory note. UNEP, ISRIC, Wageningen, 22 p., 3 maps.
- ROOSE E. (1994). « Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols », GCSE, *Bulletin pédologique de la FAO*, n°70, 420 p.
- SIMONNEAUX V. (1995). « Simplification d'images satellites classées en vue de leur intégration à un SIG. Application à l'état de dégradation des terres au Togo », 12 p. *Actes du symposium international de Ouagadougou, 6-10 février 1995* : « Surveillance des sols dans l'environnement par télédétection et SIG ».

Annexe I

Nomenclature des types d'érosion et de dégradation
(BRABANT P., SIMONNEAUX V., EGUE K., 1994)

Type	Symbole	Fréquence observée au Togo*
A. Erosion avec déplacement de terre et des effets hors-site		
A1. Erosion hydrique		
- En nappe	Wt	4
- Linéaire (rigoles et ravines)	Wd	2
- Glissement de terrain	Wl	1
- Erosion urbaine (linéaire)	Wu	2
- Erosion marine	Ws	2
A2. Erosion éolienne		
- Par déflation	Et	1
- Avec déformation du terrain (dune)	Ed	0
- Ensablement	Eo	1
A3. Erosion mécanique sèche	Mt	3
B. Dégradation <i>in situ</i>		
B1. Dégradation physique		
- Réduction d'épaisseur de l'horizon humifère	Po	4
- Dégradation de la structure	Ps	3
- Encroûtement	Pc	3
- Tassement, compaction	Pp	3
- Subsidence du sol	Pw	0
- Submersion du sol	Pd	1
B2. Dégradation chimique		
- Diminution du taux de matière organique	Co	4
- Perte d'éléments nutritifs pour les plantes	Cn	4
- Excès d'éléments nutritifs pour les plantes	Ce	0
- Acidification	Ca	4
- Salinisation - Alcalinisation	Cs	1
- Pollutions diverses: métaux lourds, pesticides...	Cp	2
B3. Dégradations diverses		
- Construction et travaux de génie civil	Dc	2
- Carrière à ciel ouvert	Dm	2
- Pollution par produits radioactifs	Dr	0
- Dégradation due à des conflits (mines actives, munitions non explosées, application de défoliants)	Dw	0

* Très fréquent = 4, fréquent = 3, peu fréquent ou local = 2, rare = 1, non observé = 0

Annexe II

Variables associées à chaque polygone
de la carte de l'état de dégradation des sols du Togo.

Tableau A. Variables concernant la dégradation (D) :

N°	Variable	Code	Remarque
D1	Terrain non utilisable		
D2	Terrain non dégradé, stabilisé ou amélioré		
D3	Terrain dégradé: type de dégradation dominant (1)		
D4	Type de dégradation, associé (2)		
D5	Type de dégradation associé (3)		
D6	Degré de dégradation pour (1)		
D7	Degré de dégradation pour (2)		
D8	Degré de dégradation pour (3)		
D9	Extension pour (1)		
D10	Extension pour (2)		
D11	Extension pour (3)		
D12	Vitesse de la dégradation		
D13	Cause(s) de la dégradation		
D14	Effet(s) hors-site		
D15	Etat actuel de dégradation		

Tableau B. Variables concernant les images aérospatiales (A).

N°	Variable	Code ou descriptif
A1	Type d'image satellitaire utilisée	
A2	Numéro de la scène	
A3	Date d'acquisition de la scène	
A4	Traitement utilisé : 1) visuel - 2) numérique	
A5	1- Echelle	
A6	1- combinaison de canaux	
A7	1 - monocanal	
A8	2 - Logiciel - Type de traitement	
A9	Mission aérienne utilisée	
A10	Numéro de vol et date	
A11	Numéro des photos	
A12	Type d'émulsion	
A13	Echelle des photos	

Tableau C. Autres variables (V).

N°	Variable	Code ou descriptif
V1	Pays	
V2	Région administrative	
V3	Préfecture	
V4	Bassin versant	
V5	Numéro du polygone	
V6	Superficie en hectares du polygone	
V7	Type de climat	
V8	Zone agro-climatique	
V9	Pluviométrie moyenne annuelle	
V10	Température moyenne annuelle	
V11	Matériau originel	
V12	Formes du modelé	
V13	Pente du terrain la plus fréquente	
V14	Sols. Type dominant et associé	
V15	Type de végétation spontanée	
V16	Etat actuel de cette végétation	
V17	Profondeur de la nappe phréatique	
V18	Taux d'occupation du sol	
V19	Mode d'exploitation	
V20	Type d'utilisation dominante	
V21	Densité de population	