

ANALYSE DES RESSOURCES ACTUELLES DES SOLS

L'étude des ressources territoriales actuelles est habituellement effectuée par la classification complète de l'occupation du sol à partir de l'imagerie spatiale. C'est une des applications les plus courantes de la télédétection. La procédure a été présentée dans la figure IV-2. Une description plus détaillée est montrée dans la section la suivante.

1. APPROCHES

L'inventaire des ressources des sols par la classification est une pratique courante en télédétection. Cependant, des difficultés apparaissent lors de la mise en place de ces techniques,

notamment, quand elles sont appliquées aux régions dont les composantes sont complexes et les types d'occupation du sol continus. Les algorithmes traditionnels nécessitent encore des améliorations pour mieux distinguer les différents types d'occupation du sol.

De nombreux travaux ont été menés pour améliorer la technique de la classification et son résultat à partir de différentes méthodes et algorithmes d'extraction de l'information 'occupation du sol', de cartographie et de suivi du changement (Haralick *et al.*, 1973 ; Weismiller *et al.*, 1977 ; Gordon, 1980 ; Thomas *et al.*, 1987 ; Gong *et al.*, 1989, 1990, 1992 ; Franklin *et al.*, 1990 ; Chen *et al.*, 1999, etc.). La classification conventionnelle à partir des données de télédétection est basée sur une technique de reconnaissance du modèle qui inclue les deux approches supervisées et non-supervisées, en supposant que la région étudiée se compose de plusieurs classes homogènes uniques mutuellement exclusives (Townshend, 1984). Cependant, cette supposition ne s'applique pas aux régions où les types d'occupation du sol existent en continu plutôt que comme une mosaïque de classes distinctes. Par conséquent, les classes s'enchevêtrent les unes avec les autres et ne peuvent être séparées par des limites nettes (Kent *et al.*, 1997). Notre région d'étude, le Ningxia Nord, est un site qui présente une géomorphologie complexe et des types d'occupation du sol variés mais non discernables sur les classifications. Par exemple, les résidus de charbon et les marais ne peuvent pas être discriminés sur les images de façon automatique du fait de la similarité spectrale globale entre eux.

Afin d'éviter les limites des classifications traditionnelles et pour augmenter la capacité de distinction et la logique des classes dans l'espace, nous avons ajouté certains traitements de pré- et -post classification. Ainsi les caractères de textures (Haralick *et al.*, 1973 ; Chen *et al.*, 1989 ; Franklin *et al.*, 1990 ; Gong *et al.*, 1992 ; Sali *et al.*, 1992) ont été préalablement identifiés puis incorporés dans la sélection des zones d'apprentissage de pré-classification. D'après Woodcook *et al.* (1987), la texture est une caractéristique fondamentale de l'image de télédétection, souvent essentielle pour distinguer les éléments de l'image. Les particularités de chaque classe sont dues à l'hétérogénéité des éléments de l'occupation du sol (Shaban *et al.*, 2001). La majorité des classes a ses propres particularités spectrales et texturales, dans notre cas, on distingue les roches nues, les cônes d'épandage pluviaux, les étangs de pisciculture, les champs de riz, les prairies sablonneuses etc. Ces caractéristiques peuvent être combinées avec les zones d'apprentissage comme critères de regroupement. Après l'analyse du maximum de vraisemblance, un traitement de post-classification a été réalisé pour ré-allouer les classes spectralement mal-classées et spatialement mal-réparties. Nous avons ensuite appliqué une agrégation pour homogénéiser des classes similaires ou proches. Les résultats issus de ce traitement fournissent une classification très précise des différents modes d'occupation du sol et de leur répartition spatiale.

2. PROCEDURE ET RESULTATS

Une classification non-supervisée nous a donné une base nécessaire à la reconnaissance du terrain. Les anomalies constatées sur le site nous ont conduit aux traitements suivants afin de nous permettre de quantifier et valider les ressources du sol.

PRE-TRAITEMENT DE CLASSIFICATION

Rectification

Les données du satellite Landsat ETM datées du 12 août 1999, ont été rectifiées par rapport aux cartes topographiques du 1/200 000 au 1/300 000 (datum WGS84 et projection UTM 48) en utilisant une fonction polynomiale (3^{ème} ordre et ré-échantillonnage bilinéaire) avec 92 GCP (incluant 28 points de GPS). L'erreur de RMS a été calculée à 0,65 pixel (un pixel couvre 30×30m²).

Bandes utilisées

Les bandes 1, 4 et 7 ont été utilisées pour la classification. Dans la figure II-4 (Chapitre II), les bandes 1, 2 et 3 sont bien corrélées ou interdépendantes. Cela signifie que nombre d'informations sur l'occupation du sol sont répétitives. Les bandes 5 et 7 sont aussi corrélées ($R^2 = 0,850$). La bande 4 est indépendante de toutes les autres ($R^2 < 0,430$). La classification a donc été effectuée sur les bandes 7, 4 et 1.

La composition colorée concernant les bandes 7, 4 et 1 montre une couleur naturelle de l'occupation des sols. Le résultat de classification sera plus facile à vérifier et valider.

Sélection des zones d'apprentissage de texture

Toutes les zones d'apprentissage sont sélectionnées avec soin à partir des points suivants :

Données in-situ

Une mission de terrain s'est déroulée dans la région étudiée en août 2000. 7 trajets et 71 points ont été observés pour valider les changements de l'occupation des sols et constater l'utilisation du sol actuelle. Les trajets de terrain sont indiqués dans la figure IV-1.

La majorité des types de classe a été référencée par GPS et photographies. Clef de l'interprétation, les levés de terrain sont largement utilisées pour la sélection des zones d'apprentissage.

Textures

Il est à noter que, sur le site pilote, de nombreux types d'occupation du sol ont leurs propres caractéristiques texturales en fonction de la composition minérale, de l'altitude et de l'espèce végétale. Par exemple : les cônes d'épandage composés de sédiments pluviaux provenant de l'inondation des Montagnes Helan ont des lignes d'écoulement claires en forme de cônes ouverts au sud-est et à l'est. Ces cônes d'épandage constituent une bande continue de couleur magenta foncé du sud-ouest au nord-

est entre les Montagnes de Helan et la Plaine de Yinchuan, visibles sur la composition colorée 7, 4 et 1. Pour chaque classe, plusieurs zones d'apprentissage ont été définies.

Système de classification

En appliquant nos résultats de recherche à l'organisation de l'environnement local, un système de classification de l'occupation du sol en Chine (EFS groupe expert, 2000) a été intégré à ce projet de coopération sino-belge. Ce système a été spécialement conçu pour l'étude des ressources territoriales par les données satellitaires aux échelles du 1/500 000 au 1/1 000 000. Bien qu'il n'ait pas encore été approuvé officiellement par le département professionnel chinois, il est largement utilisé dans les programmes nationaux de recherche relatifs à l'environnement écologique en Chine.

CLASSIFICATION ET RE-CLASSIFICATION

Après la sélection des zones d'apprentissage basées sur les textures, nous avons réalisé une classification (maximum de vraisemblance). Les résultats ont été vérifiés par rapport à la composition colorée de bandes 7, 4 et 1 combinés avec les relevés de terrains. Les groupes bien classés, comme les champs de riz, la forêt, le désert, le désert de pierre (Gobi), la prairie et les cônes d'épandage, etc., ont été retenus. Une ou plusieurs nouvelles zones d'apprentissage ont été ajoutés aux groupes mal classés tels que : l'urbain, les retenues d'eau, les résidus de charbon et les marais, et une re-classification est relancée pour améliorer les résultats. Ce processus a été réitéré afin d'obtenir le meilleur résultat possible.

TRAITEMENTS DE POST-CLASSIFICATION

Filtrage

Après l'obtention du "meilleur" résultat, nous avons appliqué un filtrage (matrice 3×3) à l'image classifiée pour attribuer une classe aux pixels séparés ou solitaires. L'objectif de ce traitement est d'exclure les petits groupes de pixels considérés comme un 'bruit' et d'améliorer ainsi la lisibilité de la carte. Notre sélection d'une matrice 3×3 est liée à la résolution spatiale de TM (30m) et au choix de l'échelle cartographique (1/100 000).

Réallocation et agrégation

Après le filtrage, nous avons constaté une mauvaise répartition spatiale de certains groupes de pixels. Après identification visuelle sur la composite colorée des bandes 7, 4 et 1, les pixels mal-répartis de ces groupes ont été réalloués à leur propre classe. Il y a au moins 4 zones géographiques reconnues dans le site d'étude :

- Zone 1 : les montagnes Helan à l'ouest ;
- Zone 2 : les cônes d'épandage d'origine pluviale au pied des montagnes ;

- Zone 3 : la Plaine alluviale du Yinchuan ;
- Zone 4 : la terre pastorale sableuse de Mu Su à l'est.

Quatre masques correspondant à ces quatre zones ont été appliqués. Une réallocation des pixels mal répartis a été effectuée. Certains pixels de groupe "urbain" se trouvent inclus dans les Montagnes Helan à l'ouest de la ville de Yinchuan, en fait, ils sont confondus avec le groupe "roche nue" (roche de sable ordovicienne). Ces pixels ont donc été supprimés de la classe "urbain" et réalloués à celle de "roche nue".

Centaines de pixels, du groupe "étang de pisciculture", localisés dans les montagnes de Helan, appartiennent à la classe "roche nue" (roches de sable et de gravier carbonifères et permiennes). Ils ont pu être séparés à l'aide des masques de zone et réalloués à la classe "roche nue".

La réallocation est un travail qui nécessite une vérification minutieuse de chacune des classes mal-distribuées par rapport à la composite colorée des bandes 7, 4 et 1.

Une agrégation est réalisée afin de regrouper les classes aux caractères semblables. Par exemple, trois classes "dépression imprégnée en eau", "lac" et "étang de pisciculture" ont été regroupées au sein d'une nouvelle classe : "retenues d'eau". Les classes "désert", "désert de pierre" et "dunes de sable" appartiennent à la classe "désert". Les classes "terre humide", "marais" ou "marécage" forment une nouvelle classe "marais". Nous obtenons une classification finale de l'occupation du sol, constituée de 19 classes au lieu de 31 précédemment (figures IV-18 et tableau 4-4).

Par souci de simplification, les 19 classes ont à nouveau été regroupées selon leur ressemblance. Par exemple, les classes "désert", "gobi", "cônes d'épandage pluviaux", "roche nue" et "terre de sable" ont été regroupées en une classe unique "terre nue et sableuse" ; "rizière" et "terre irriguée" en "terre cultivée", etc.... Finalement, la classification est constituée de 12 types d'occupation du sol utilisés pour l'analyse statistique (tableau 4-5 et figure IV-19).

RESULTATS

Le mode actuel d'occupation des sols peut être résumé de la façon suivante :

36 % du territoire total est la terre cultivée. La Plaine de Yinchuan est recouverte de rizières et de terres irriguées (champs de maïs et tournesol). Cela montre l'importance de l'agriculture dans cette région. Cependant, le PIB produit dans cet environnement rural représente seulement 11,6 % du PIB total (tableau 4-11).

Le sol sablonneux et nu (incluant la roche nue dans les montagnes de Helan, le désert, le sol de sable et les cônes d'épandage pluvial) occupe 33 % du territoire total du Ningxia nord.

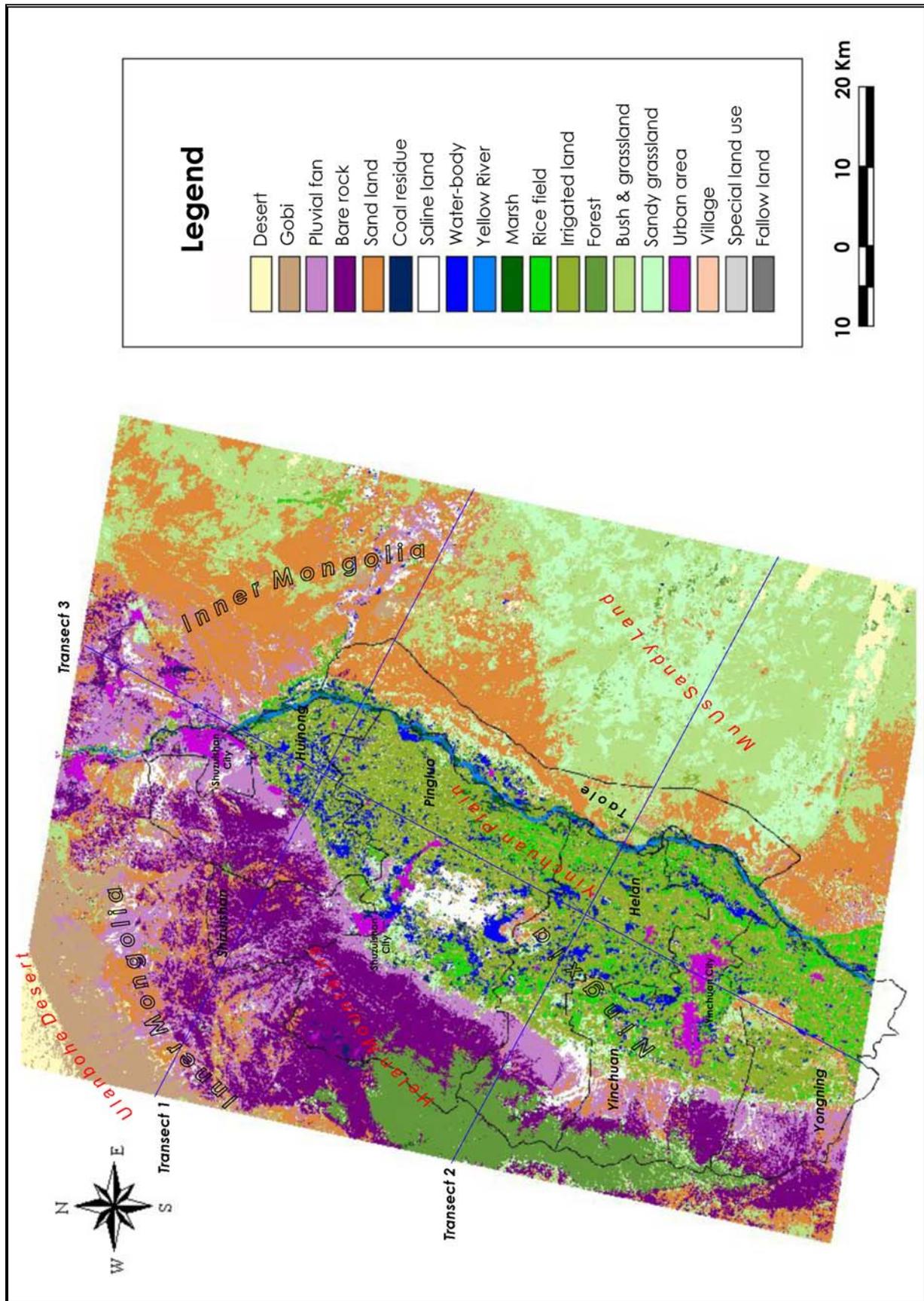


Figure IV-18: Mode d'occupation des sols au Ningxia Nord
 Ligne 1, 2 et 3 sont trois transects sur lesquelles l'exactitude de la classification a été vérifiée.

Tableau 4-4 : Résultat de la classification finale pour le Ningxia Nord

No	Mode d'occupation du sol	Huinong	Pingluo	Shizuishan	Taole	Helan	Yinchuan	Yongning	Total	Total Site
C1	Désert de sable	0,8	0	0,1	6,5	0	0,1	0,2	7,8	323,9
C2	Désert de pierre (Gobi)	2,6	0	0,1	8,3	0	0,1	1,4	12,4	692,2
C3	Cônes d'épandage pluviaux (cailloux et graviers provenant des montagnes)	168,8	141,1	177,8	3,3	104,6	94,9	119,4	810,0	1763,7
C4	Roche nue (roche de sable et d'argile carbonifère, permienne et tertiaire)	241,0	465,2	243,3	1,8	72,7	128,8	81,4	1234,4	2113,2
C5	Sol sableux	46,3	24,9	29,8	374,5	23,0	63,3	62,9	624,7	3429,6
C6	Résidus de charbon	3,9	14,6	9,3	0	0,9	0,1	0,1	29,0	47,8
C7	Sol salinisé	39,0	85,9	20,0	4,9	38,1	26,7	14,8	229,5	400,8
C8	Retenues d'eau	72,0	156,2	3,2	36,8	78,2	65,5	24,3	436,3	448,6
C9	Rivière	10,9	15,1	3,7	29,3	5,0	11,9	5,4	81,3	95,1
C10	Marais	25,2	69,0	2,7	27,9	39,5	33,3	12,9	210,4	223,8
C11	Rizières	5,9	61,5	1,2	4,1	89,1	99,1	96,0	356,9	398,7
C12	Terres irriguées	236,5	733,1	18,9	109,5	533,3	454,5	392,4	2478,0	2579,1
C13	Forêt naturelle des montagnes et vergers de la plaine	9,8	122,8	0,9	4,1	149,0	123,2	19,9	429,6	884,2
C14	Buissons et prairies	2,3	4,3	0,8	135,3	6,4	24,4	41,7	215,1	3139,6
C15	Prairies sableuses	37,0	112,9	10,0	144,3	53,8	79,3	39,1	476,5	1763,3
C16	Urbain et ses infrastructures	7,3	21,5	51,5	1,7	5,0	65,1	5,4	157,7	192,9
C17	Village	18,8	57,6	0,7	14,3	22,1	37,8	23,3	174,5	193,9
C18	Usage spécial	0	0	0	0	0	1,0	0	1,0	3,6
C19	Jachère et terres cultivées abandonnées	13,7	30,1	2,6	0,4	8,7	12,4	4,5	72,4	72,4
	Total	942,0	2115,7	576,5	907,0	1229,5	1321,5	945,4	8037,6	18766,4

Note : La superficie totale classifiée pour le site d'étude s'étend sur 18 766 km² dont 8 038 km² réparti au Ningxia Nord.

La prairie sablonneuse, incluant les buissons, est composée de l'armoise, de la réglisse, de légumineuse, d'éphèdre, etc., se place en troisième position, soit 9 % du sol total, dans la Plaine de Yinchuan et à l'ouest des terres arénacées de Mu Us.

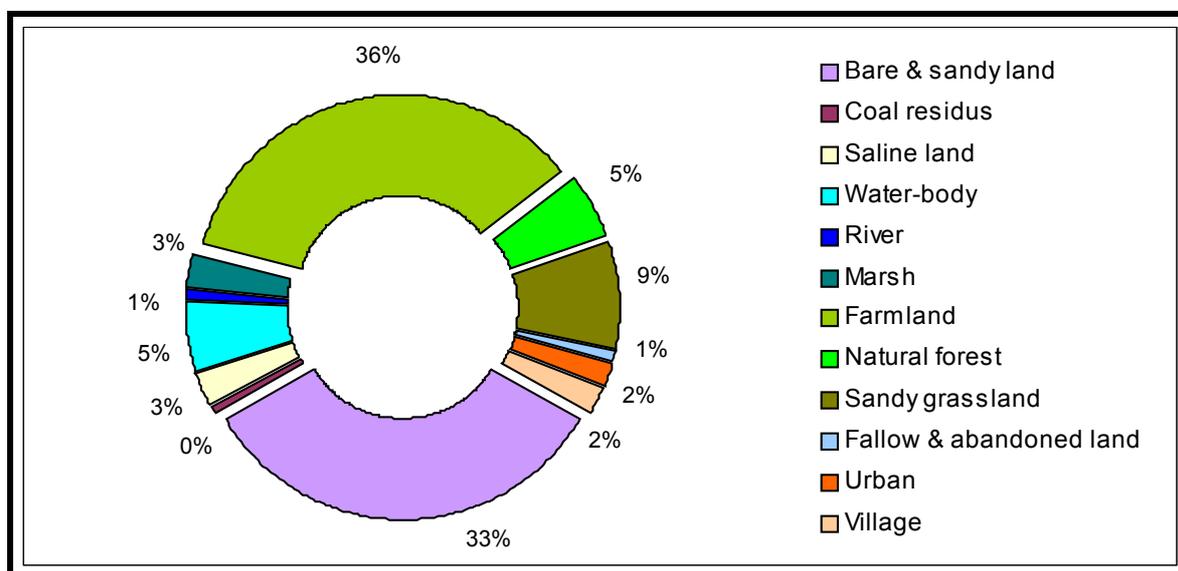
La forêt des montagnes de Helan, composée principalement de sapin et de pin, englobe les vergers (pomme et poire) de la plaine. Elle constitue 5 % de la superficie totale.

Les retenues d'eau (lac, étang de pisciculture et dépression) de la plaine représentent 5 % du territoire total.

Tableau 4-5 : Principales types d'occupation des sols au Ningxia Nord

No	Mode d'occupation	Huinong	Pingluo	Shizuishan	Taole	Helan	Yinchuan	Yongning	Total Ningxia Nord	Pourcentage	Total site
1	Roche nue et sol sableux	459,5	631,2	451,1	394,5	200,3	287,3	265,4	2689,3	33%	8322,6
2	Résidus du charbon	3,9	14,6	9,3	0	0,9	0,1	0,1	29,0	0%	47,8
3	Sol salinisé	39,0	85,9	20,0	4,9	38,1	26,7	14,8	229,5	3%	400,8
4	Retenues d'eau	72,0	156,2	3,2	36,8	78,3	65,5	24,3	436,3	5%	448,6
5	Rivière	10,9	15,1	3,7	29,3	5,0	11,9	5,4	81,3	1%	95,1
6	Marais	25,2	69,0	2,7	27,9	39,5	33,3	12,9	210,5	3%	223,8
7	Terres cultivées	242,4	794,6	20,0	113,6	622,4	553,6	488,4	2834,9	36%	2977,8
8	Forêt	9,8	122,8	0,9	4,0	149,0	123,3	19,9	429,6	5%	884,2
9	Prairies sableuses	39,3	117,2	10,8	279,7	60,2	103,7	80,8	691,6	9%	4902,9
10	Urbain	7,3	21,5	51,5	1,7	5,0	66,1	5,4	158,7	2%	196,6
11	Village	18,8	57,6	0,7	14,3	22,1	37,8	23,3	174,5	2%	193,9
12	Jachère et terres abandonnées	13,7	30,0	2,6	0,4	8,7	12,4	4,5	72,4	1%	72,4

Note : Simplification du tableau 4-4 (données présentées en km²).


Figure IV-19 : Répartition actuelle des modes d'occupation des sols au Ningxia Nord

L'urbain revêt un faible pourcentage (2 %), mais représente la majeure partie du PIB puisque 88,4 % (tableau 4-11) y sont produits. Il joue un rôle très important dans l'économie de cette région.

La jachère et les terres cultivées abandonnées (1 %) sont principalement réparties dans les départements Pingluo, Yinchuan et Huinong.

3. EVALUATION DE LA PRECISION ET VALIDATION

Une classification, basée sur l'observation de terrain, a été effectuée. Les résultats issus de cette classification montrent des imperfections et notamment des classes mal-réparties. Ces résultats ne sont pas suffisamment précis pour réaliser des cartes d'occupation des sols à moyennes et grandes échelles (1/100 000 à 1/200 000).

La *précision totale* du 'meilleur' résultat de la classification supervisée est de 84 %. Un traitement de post-classification est appliqué afin d'améliorer le résultat. La précision du résultat issu de ce post-traitement ne peut être calculée de manière automatique par le logiciel PCI que nous utilisons. Pour réaliser cet objectif, trois droites sécantes (deux orientées nord-ouest sud-est et une orientée nord-est sud-ouest) ont été tracées sur la carte finale de l'occupation du sol (figure IV-18). Puis, nous avons procédé à une vérification de manière aléatoire, le long de chacune de ces droites par rapport à la composite colorée de bandes 7, 4 et 1. Le résultat de cette vérification est le suivant :

Transect 1 : NO-SE, 127,5 km, 102 points vérifiés dont 7 points erronés.

Transect 2 : NO-SE, 126,3 km, 84 points consultés dont 7 points erronés.

Transect 3 : NE-SO, 175,6 km, 133 points vérifiés dont 10 points erronés.

La précision de la classification peut donc être validée par la formule suivante :

$$A = [1 - \frac{\sum Ei}{\sum Pi} \frac{Li}{\sum Li}] \times 100\% \dots\dots\dots (IV-1)$$

Où, *A* : précision ; *Ei* : points erronés comptés aléatoirement sur le transect *i* ; *Pi* : points totaux vérifiés sur le transect *i* et *Li* : longueur du transect *i*.

La précision de la classification finale pour le site étudié, calculée selon l'équation (IV-1) est de:
A = 93 %.

Après réallocation et agrégation, la précision de la classification a donc été améliorée de près de 10 % (de 84 % à 93 %). La nouvelle carte d'occupation des sols au Ningxia Nord reflète mieux la réalité.

Dans l'ArcView GIS, la validation et l'évaluation de la précision ont été effectuées simultanément. Les types d'occupation, les bordures et l'espace de chacune des classes ont été