

Contribution des images satellites pour les projets de cadastre et de registre foncier

L'auteur : Pierre MAUREL est ingénieur en agriculture, spécialisé en télédétection et en SIG. Il a passé 5 années comme ingénieur de recherche au Laboratoire Commun de Télédétection CEMAGREF/ENGREF à Montpellier et depuis 1993, il travaille dans la société SPOT IMAGE à Toulouse comme ingénieur de projet, chargé de l'intégration des données SPOT dans les systèmes d'information.

Des bailleurs de fonds internationaux tels la Banque Mondiale, la Communauté Economique Européenne, la Banque InterAméricaine de Développement financent de plus en plus des projets pour créer ou mettre à jour des cadastres ou des registres fonciers. La tendance va à leur automatisation et à leur unification dans des systèmes informatisés pour des usages de plus en plus larges. Ceci a été rendu possible grâce à l'apparition de technologies récentes telles les GPS, les SIG et la cartographie spatiale.

Cet article décrit les perspectives d'utilisation des données des satellites d'observation de la Terre dans le domaine du cadastre.

Dans ce domaine d'application très particulier qu'est le cadastre, les images des satellites d'observation de la Terre présentent plusieurs avantages ; elles couvrent de grandes surfaces, elles sont actualisées, facilement accessibles, numériques, homogènes et standardisées. Plusieurs millions d'images sont déjà disponibles en archive.

Les images satellites peuvent être utilisées à différents stades durant l'établissement ou la modernisation des systèmes d'informations cadastraux et des registres fonciers. Deux types de données satellitaires sont actuellement disponibles sur des bases réellement commerciales : Landsat et SPOT. Leurs principales caractéristiques sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Satellite	Capteur	Zone couverte	Résolution	Nb de canaux	Echelle maximale
Landsat 5	MSS	180 x 180 km	80	4	1:250.000
	TM	180 x 180 km	30	7	1:100.000
SPOT 1,2,3	XS	60 x 60 km	20	3	1:50.000
	P	60 x 60 km	10	1	1:25.000

Du fait de leur conception technique, les satellites SPOT offrent des avantages spécifiques pour la cartographie et par conséquent pour les applications cadastrales : flexibilité dans l'acquisition des données avec une haute répétitivité d'observation (tous les 2 à 3 jours en moyenne), excellentes performances géométriques liées à l'utilisation de détecteurs en ligne à barrettes qui autorisent des travaux de cartographie ou de mise à jour de cartes jusqu'au 1:25.000 (précision planimétrique : 6 à 7 m), possibilités d'observations stéréoscopiques pour la production de Modèles Numériques de

Terrain (précision altimétrique : 4 à 10 m).

Les spatiocartes, dérivées des images brutes, facilitent l'intégration des données satellitaires dans les SIG. Une spatiocarte est un produit constitué d'un fond d'image satellitaire, projeté et découpé selon un système cartographique donné (UTM, Lambert, Gauss Krüger...), muni d'amorces et de croisillons géographiques et cartographiques, disponible sur support numérique et/ou analogique. Une spatiocarte est par conséquent directement superposable aux cartes traditionnelles. Elle constitue une source d'informations actualisées, permet de mettre à jour des données géographiques obsolètes et peut servir de référentiel géométrique pour l'ensemble des données d'un SIG.

CONTRIBUTION DES IMAGES SATELLITAIRES

Les cadastres existants dans les différents pays couvrent en général une très grande partie du territoire national et nécessitent d'être continuellement mis à jour.

Les images satellites peuvent être utilisées à différents stades lors de l'établissement ou de la modernisation d'un système d'information cadastral et/ou de registre foncier :

- Dimensionnement préalable du projet ;
- Description de chaque unité cadastrale selon trois critères :
 - technique (localisation, superficie, longueurs des côtés...);
 - légal (nom du propriétaire, adresse, mode de faire-valoir...);
 - économique (valeur foncière selon le type de sol, l'usage, la présence ou pas de bâtis...).

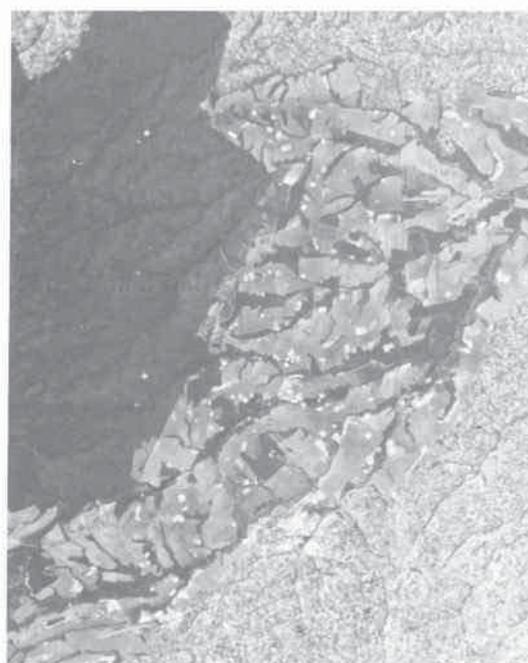
Dimensionnement préalable du projet

Durant la phase de définition du projet, les images satellitaires SPOT et Landsat peuvent apporter des informations actualisées très utiles pour définir l'ampleur du projet et affiner ainsi le cahier des charges :

- localisation des zones urbaines et de leur extension exacte pour optimiser les plans de vols des campagnes de prises de vue aériennes (dans le cas où le projet englobe également le cadastre urbain) ;

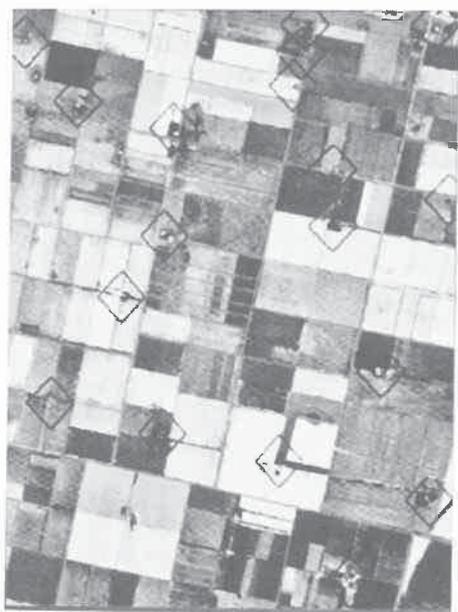


Une fois digitalisées l'ancienne planche cadastrale de San Carlos (Province de Santa Fe - Argentine), une approche semi-automatique spécifique basée sur la PIAO et l'analyse spatiale permet de superposer le plan graphique cadastral à la spatiocarte SPOT P qui sert de référentiel.



L'analyse de la spatiocarte par PIAO permet d'identifier la présence de bâtiments. Cette information facilitera ensuite le travail des enquêteurs chargés de décrire et d'apprécier la valeur des bâtiments.

Spatiocarte de type SPOTMAP issue d'une image SPOT XS sur une zone agricole au Kenya. Les différents paysages agricoles ressortent très nettement. Ce document facilite le choix de la technique optimale de levé à employer selon la zone.



Spatiocarte de type SPOTMAP dérivée d'une image SPOT P (le tirage papier original a été réalisé au 1:20 000) sur la Province de Santa Fe en Argentine. Le parcellaire rural et la ville de San Carlos apparaissent très nettement.



- localisation des zones rurales et stratification en sous-zones homogènes selon les types de cultures présentes, la taille des parcelles. Cette information permet de choisir la méthode optimale de levé (levés sur le terrain, photogrammétrie, utilisation de spatio-cartes...).

- ordre de grandeur du nombre de parcelles agricoles ainsi que de leur localisation.

Description des unités cadastrales

Comme dans le cas d'une approche photogrammétrique, il est important d'identifier sur les spatio-cartes le plus possible de limites de parcelles avec la meilleure précision géométrique afin de réduire les travaux de levés sur le terrain. La qualité de l'observation des parcelles dépend de la résolution spatiale du capteur, de la période d'acquisition de l'image, de la taille des parcelles et de la méthode d'interprétation. On peut délimiter sur les images satellites des unités culturelles homogènes en fonction de leur couleur et de leur texture. Sur les images SPOT P (résolution au sol de 10m), la détection d'éléments linéaires tels les routes, les chemins, les haies permet d'améliorer la délimitation des unités culturelles. Plusieurs travaux ont montré que la Photo-Interprétation Assistée par Ordinateur (PIAO) était la technique la plus satisfaisante pour tracer ces limites.

Afin de mesurer la qualité de cette approche, un test avait été réalisé par le Laboratoire Commun de Télédétection CEMAGREF/ENGREF de Montpellier sur la zone des Costières de Nîmes, caractérisée par un très petit parcellaire à dominante viticole difficilement observable sur les images. Les meilleurs résultats d'interprétation avaient été obtenus en utilisant deux images SPOT (P et XS). La comparaison avec des photographies aériennes au 1:17.500 a montré que 95% des limites avaient été correctement identifiées quand les parcelles étaient de dimension supérieure à 1 ha (60 % pour les parcelles de moins de 1 ha).

D'autres tests avaient été menés pour quantifier la précision d'estimation des superficies des parcelles une fois leurs limites tracées par PIAO. Plusieurs approches ont abouti aux mêmes résultats : la précision d'estimation dépend de la résolution du capteur et de la taille des parcelles. Le tableau donne les résultats pour 6 valeurs de superficie :

Superficie (en ha)	SPOT P (10 m)	SPOT XS (20 m)	Landsat TM (30 m)
1	17	28	36
2	13	23	32
5	8	14	22
10	6	12	16
25	4	7,5	11
50	2,5	5	7

Incertitude (en %) sur l'estimation des superficies de parcelles délimitées par PIAO d'images satellites en fonction de la taille des parcelles et de la résolution du capteur.

Ces résultats montrent l'intérêt des données SPOT P qui permettent une meilleure identification des limites et une meilleure estimation des superficies des unités culturelles.

L'intérêt des images satellites pour la description

géométrique des parcelles varie selon l'état du cadastre pour le projet considéré :

Quand un cadastre traditionnel existe déjà (c'est le cas par exemple des provinces de Santa Fe, Cordoba, Misiones, Mar Del Plata en Argentine), les images satellites peuvent avoir plusieurs usages :

- référentiel géométrique au moment de la numérisation des planches cadastrales avec possibilité de corriger de manière semi-automatique les limites mal positionnées ;

- une fois les parcelles numérisées et bien positionnées, les paramètres dérivés directement du calcul topologique (surface, périmètre, longueurs des côtés) peuvent être comparés à ceux disponibles dans les fichiers de la matrice cadastrale associée aux planches. Cette comparaison permet de faciliter la détection d'erreurs dans la matrice et de disposer ainsi d'une base de donnée géométriquement correcte (tant au niveau graphique qu'alpha-numérique).

Quand il s'agit de créer un nouveau cadastre (cas des propriétés 'hejdales' au Mexique), les images satellites peuvent être utilisées à des fins spécifiques :

- comme référentiel géométrique pour l'ensemble de la base de données du système ;

- pour identifier et tracer les limites des parcelles par PIAO. Le calcul de la topologie donne ensuite automatiquement les paramètres géométriques associés aux parcelles avec les incertitudes déjà mentionnées précédemment. Les limites manquantes ou erronées sont ensuite relevées sur le terrain par des moyens traditionnels de levés.

Quand les niveaux de précision obtenus avec cette approche ne sont pas compatibles avec les spécifications requises, les images satellitaires sur support numérique et sur support analogique peuvent compléter utilement les moyens traditionnels plus précis de levés : nombre et localisation des parcelles, aide à la navigation sur le terrain, description de la forme des parcelles, validation directement sur le terrain des résultats des levés pour détecter d'éventuelles erreurs et y remédier ainsi immédiatement, planification du chantier et suivi de son état d'avancement.

Dans le cas de projets qui englobent la mise en place d'un livre foncier avec délivrance de titres de propriétés, les équipes doivent se rendre sur le terrain pour rencontrer l'ensemble des parties, obtenir un consensus et procéder au bornage des parcelles. Dans ce cas, le coût supplémentaire pour les levés des coordonnées précises des bornes en se servant des outils traditionnels est réduit en comparaison du montant total du projet (coût des équipements de levés, personnel supplémentaire). L'utilisation d'une approche photogrammétrique très précise ne se justifie plus dans ce cas car la précision géométrique est déjà obtenue par les moyens terrestres. Les spatio-cartes sont alors largement suffisantes dans ce cas-là.

Etablissement de la valeur foncière des unités cadastrales

Tous les projets n'incluent pas la détermination de la valeur foncière des parcelles. Quand c'est le cas, les cri-

tères peuvent varier d'un projet à l'autre. Ainsi, le modèle de calcul de la taxe foncière dans la province de Santa Fe en Argentine prend en compte comme critères la qualité pédologique des sols, la présence et la nature de bâtiments, l'occupation des sols, la distance au centre d'approvisionnement et de distribution le plus proche. Les images SPOT ont été utilisées pour identifier l'usage du sol, pour localiser les bâtiments et pour compléter dans le Nord de la Province la cartographie de la qualité des sols. Comme ces éléments sont saisis directement sous une forme numérique et géocodée, ils peuvent être intégrés automatiquement dans la base de données pour procéder ensuite au calcul de la valeur des parcelles.

Description juridique des parcelles cadastrales

Les équipes d'adjudication ont besoin de rencontrer les différentes parties sur le terrain pour définir les limites des parcelles. La disponibilité de documents visuels comme les spatiocartes ou des agrandissements au 1:10.000 des zones d'intérêt peut faciliter l'analyse des réclamations et la résolution des conflits.

Dans le programme PROCEDE au Mexique, des sorties sur papier au 1:10.000 d'images SPOT P sont utilisées comme documents graphiques joints aux dossiers des titres de propriété.

Edition finale des documents

Les images servent également au moment de l'édition finale, en particulier pour produire des planches cadastrales composées d'un fonds de spatiocarte sur lequel sont superposées les informations cadastrales traditionnelles (limites, identifiant, habillage, n° de coupe...). La spatiocarte donne le contexte géographique des parcelles cadastrales. Ce type de document est produit à l'échelle du 1:50.000 dans le cas de la Province de Santa Fe.

Les images facilitent également la réalisation du tableau d'assemblage des planches cadastrales.

CONCLUSION

Les images satellites offrent une alternative technique intéressante pour réduire les coûts et les délais de réalisation ou de mise à jour de systèmes d'information cadastraux et de registres fonciers.

Les projets de cadastre actuellement en phase de démarrage dans le monde doivent être terminés dans des délais très brefs allant de 2 à 5 ans ce qui justifie la recherche constante de nouvelles solutions. Les unités de production de spatiocartes les plus performantes dans le monde sont capables de produire jusqu'à 4 spatiocartes au 1:50.000 par jour sur support numérique et sur support analogique une fois que les images sont disponibles.

En terme de prix, la filière de production des spatiocartes permet de réaliser ces produits à des coûts très attractifs par rapport aux méthodes cartographiques tra-

ditionnelles. Ils varient entre 5 FF et 50 FF au km² en fonction des traitements appliqués.

De plus, on a vu que l'utilisation des images satellites permettait d'aboutir à un squelette des limites cadastrales et par conséquent de réduire les travaux de levés sur le terrain.

Enfin, de la même manière que pour les photographies aériennes, les spatiocartes peuvent servir pour d'autres applications dans le cadre d'un système d'information territorial à finalités multiples. Elles permettent également de mettre à jour rapidement et à bas prix les cartes topographiques à moyenne échelle.

Une solution pour les pays en voie de développement consiste à adopter une approche progressive pour la mise en place des systèmes d'information cadastraux : démarrer par les zones prioritaires et/ou avec des moyens de levés peu précis mais rapides et économiques puis étendre à d'autres zones et améliorer la précision géométrique des informations au fur et à mesure où les ressources financières du pays et la volonté politique le permettent. Dans ce cas là, les images satellites peuvent jouer un rôle primordial.

Durant les phases de levés et de bornage des limites sur le terrain, l'intérêt de disposer de niveaux de précision identiques à ceux en vigueur dans les pays européens, doit être analysé non seulement sur le plan technique mais également sur le plan économique en prenant en compte les coûts, les délais, les ressources et le savoir-faire disponibles localement.

Plusieurs facteurs freinent pour le moment l'emploi de cette technologie dans le domaine du cadastre. Parmi les plus sérieux, on peut citer :

- le manque d'information sur les possibilités de cette approche chez les bailleurs de fonds, les experts chargés de rédiger les spécifications techniques, les enseignants et les organismes cadastraux nationaux;
- le lobbying très important exercé par les professions des géomètres et des photogrammètres;
- des cahiers des charges techniques qui fixent des niveaux de précision très élevés sans tenir compte de la réalité économique locale.

Mais la situation est en train d'évoluer depuis quelques années et de nombreux projets d'ampleur régionale ou nationale intègrent dans les spécifications la possibilité de recourir à cette technologie. Ainsi, les données SPOT P sont actuellement utilisées dans les provinces de Cordoba et de Santa Fé en Argentine et sur l'ensemble du Zimbabwe.

Mais il reste encore à produire de nombreux efforts de sensibilisation, de démonstration, d'éducation parmi les différentes communautés concernées par le cadastre. Ces efforts doivent également s'accompagner d'un réel transfert de technologie vers les administrations et des sociétés de services des pays concernés.

Ces efforts seront facilités dans les années à venir par l'arrivée de nouveaux satellites civils encore plus performants en terme de résolution.