

Impact des évolutions technologiques actuelles sur les levés cadastraux

■ Michel KASSER

Les méthodes de levés topographiques ont énormément évolué depuis une décennie, d'une part avec la pleine disponibilité du GPS, d'autre part avec la capacité de production massive et à bon marché des orthophotographies. Ces méthodes entraînent avec elles des modèles d'erreurs totalement différents de ceux des méthodes classiques avec lesquelles tous les levés cadastraux ont été menés dans le passé. Les différents systèmes cadastraux ont été dimensionnés pour s'adapter à des spécifications variées, incluant évidemment les modèles d'erreurs acceptables, et la transition avec les nouvelles méthodes nécessite souvent une réflexion approfondie pour pouvoir en tirer le plein bénéfice. Le problème posé par les systèmes géodésiques de référence est donc devenu subitement très important, essentiellement parce que d'une référence à caractère relatif nous sommes parvenus à une référence désormais absolue. Diverses conséquences de cet importante évolution sont évaluées ici en ce qui concerne les activités cadastrales, en particulier en suivant les développements récents en France.

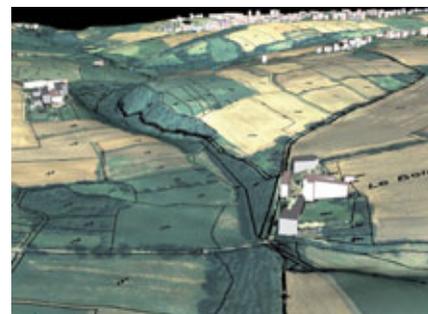
Texte de la conférence donnée en janvier 2005 à la DGI à Bercy.

Un regard rapide sur les rapports entre le Cadastre et l'information géographique

Il est toujours utile de le rappeler : en France, comme dans tous les pays bien administrés, la "paix foncière" est la principale base de la paix civile, et lorsque l'activité cadastrale fonctionne bien, peu de citoyens sont conscients de son importance dans les fondements de nos sociétés. Mais qu'on jette un œil sur des pays sortant de longues guerres civiles, maintenant ou il y a longtemps : on trouve presque toujours une nouvelle définition de la propriété et de l'exploitation des terres parmi les réformes jugées prioritaires. On désigne par "cadastre", en termes grand public, un ensemble très complexe et peu connu de réglementations, qui permettent à chacun de savoir exactement où commencent et où s'arrêtent ses droits, lui permettant en retour de se projeter dans l'avenir et d'investir en toute connaissance de cause. Les différentes sociétés ont créé des corpus réglementaires assez différents, selon leurs cultures, leurs traditions,

leurs religions,... et les "cadastres" qui en découlent sont donc des compromis entre les attentes régaliennes de l'Etat et les usages, ceux-ci étant presque toujours pré-éminents dans les choix finaux. La France a ainsi hérité d'un système foncier avec un cadastre non pas juridique mais orienté vers une bonne justice fiscale, et un ensemble de textes permettant une remarquable optimisation de l'exploitation agricole. Le terme "cadastre" lui-même est assez délicat à traduire dans d'autres langues du fait de la diversité des systèmes cadastraux : par exemple le terme "cadas" en anglais a une très forte connotation de lever à très grande échelle, au sens technique du terme, ce qui n'est pas le cas en France. Et le métier de géomètre privé est lui-même très largement dimensionné par le système cadastral de chaque pays, ce qui rend aussi les comparaisons internationales assez difficiles pour ces activités.

L'un des outils du cadastre est le plan cadastral. Ce plan à très grande échelle, donc très détaillé, a nécessité dans chaque pays des travaux très impor-



tants. Mais quelle que soit l'organisation nationale en la matière, ce plan a toujours été aussi utilisé comme outil de gestion par les collectivités locales, allant très au delà de la fonction première d'établissement de l'impôt, voire de définition officielle des contours des parcelles selon les pays. Bien évidemment, ce plan n'a pas été conçu en fonction de cet usage dont l'importance n'a beaucoup progressé que récemment (en France, depuis deux décennies environ), et il manque parfois des éléments importants pour un gestionnaire (en France, le plan cadastral ne lève pas le domaine public, ne comporte pas d'altimétrie, etc.), mais il rend déjà ainsi d'immenses services.

■ mots-clés

cadastre, levés cadastraux, système géodésique, RGF 93, BD parcellaire

■■■ La prise en compte officielle par l'Etat de l'importance capitale de cet emploi du plan cadastral est très variable selon les pays. En France, malgré les efforts de la communauté technique nationale, il a fallu attendre l'an 2000 pour atteindre cette reconnaissance, alors que d'autres administrations étrangères avaient déjà reçu cette extension de mission depuis plusieurs décennies. La France, pourtant pionnière en matière cadastrale, a donc agi avec une sage lenteur en la matière, mais se trouvant devant la situation de deux grandes administrations compétentes en matière d'information géographique (la DGI et l'IGN) mais totalement différentes, elle a reculé devant les obstacles sociaux d'une unification, et elle a opté pour des activités séparées mais coordonnées, au contraire de la Suède ou du Royaume-Uni par exemple.

Le plan cadastral, comme évoqué ci-dessus, n'est que l'un des outils du cadastre : et selon l'état d'avancement d'un cadastre national, certaines phases du travail peuvent s'avérer bien plus importantes et coûteuses que l'établissement du seul plan. Le plan exige un travail purement technique, et les techniques disponibles ont énormément progressé dans les dernières décennies. Il s'avère donc assez peu complexe de mener des levés à très grande échelle, sur des régions entières au besoin (peu complexe à spécifier mais encore très coûteux à produire, bien évidemment), les levés portant sur tous les objets apparents. Le problème majeur pour les cadastres en cours d'édification est généralement plutôt l'enquête foncière qui doit être menée afin de s'assurer que les droits en cours d'enregistrement ne donnent pas lieu à des contestations. Entre l'enquête de terrain, puis la décision d'attribution (parfois par un véritable tribunal foncier¹), on se trouve confronté à un travail énorme, et si les lois ont été écrites sans trop se soucier de la dépense, on se trouve parfois devant des coûts d'exécution difficilement surmontables, ce qui conduit à des temps

(1) Par exemple, en Tunisie, il faut réunir six juges fonciers pour statuer sur l'attribution d'une seule parcelle...

d'exécution réhébilitaires (un ou plusieurs siècles à la vitesse actuelle dans certains pays). L'extension récente de la panoplie des outils techniques disponibles ne conduit donc pas aux mêmes optimisations dans des pays cadastrés depuis longtemps (p. ex. l'Europe occidentale), ou dans des pays en cours de cadastration, qui sont fort nombreux actuellement. Pour ceux-ci, tout ce qui facilite l'enquête parcellaire est essentiel, et à cet égard la récente généralisation de l'emploi des orthophotographies a représenté une avancée technique fondamentale.

Mentionnons enfin, pour les collectivités locales, l'importance nouvelle accordée aux données sous forme numérique, bien plus faciles à manipuler que les plans papier classiques compte tenu des performances de la micro-informatique moderne. Ceci a néanmoins conduit à des contraintes nouvelles sur les données géographiques, qui par un hasard heureux (mais tout à fait indépendant) se sont trouvées compatibles avec les nouveaux outils techniques disponibles, comme le GPS précis par exemple.

Parmi ces contraintes, on peut citer :

- le besoin d'une référence géodésique unique, très précise et très facile d'accès, afin que tous les partenaires professionnels fournissent des données qui soient toutes dans cette même référence. C'est ce qui permet ensuite à toutes les "couches" d'informations géographiques diverses de pouvoir être "empilées" aisément dans un même SIG, afin de tirer le meilleur parti des informations fournies par des acteurs différents.
- le besoin de disposer des données sous une forme parfaitement continue (pas de hiatus entre des "feuilles" différentes). Ce besoin était sans intérêt à l'époque du plan papier, avec des levés caractérisés essentiellement par leur consistance interne, et les discontinuités au passage d'une feuille à une autre ne posaient alors guère de problème pratique pour les usagers. Mais dans une logique informatique, il en est tout autrement, puisque à partir du moment où on gère les données avec comme "clés" leurs seules coordon-

nées, on ne sait plus traiter des lacunes ou des recouvrements entre deux feuilles contiguës.

On note, ici comme partout, que la rançon d'une gestion de données géographiques sous forme informatique et donc beaucoup plus facile, c'est une complication nouvelle dans le formatage de ces mêmes données, dont le modèle d'erreur se doit d'être complètement différent. Donc il y a bien plus de travail à faire en amont chez le fournisseur de données, mais en contrepartie le nombre d'utilisateurs peut croître de façon très importante, sans avoir le besoin particulier de compétences très poussées comme par le passé. Le prix à payer pour la démocratisation de l'information géographique est donc là, mais par chance le contexte technique a évolué de façon très favorable, et ce prix n'est pas très élevé.

Ces nouveaux besoins évoqués ci-dessus ont ainsi nécessité des quantités d'actions nouvelles, que nous allons analyser dans le cas précis de la France. Mais ce cas particulier est assez représentatif de celui de nombreux autres pays, dont les pays occidentaux.

Le cadastre et la modernisation des références géodésiques

Comme nous l'avons vu, la modernisation des références géodésiques est un élément essentiel pour que l'information géographique fournie par un acteur soit facile d'emploi et surtout immédiatement compatible avec celle fournie par toutes sortes d'autres acteurs : c'est une condition nécessaire pour que toute la plus-value disponible dans les travaux de fournisseurs différents puisse être dégagée facilement par un usager quelconque : c'est pratiquement une condition sine qua non pour que des SIG puissent être employés dans de bonnes conditions. Examinons donc tout d'abord la nature des références employées dans les levés anciens, et la différence avec la référence géodésique actuelle.

La référence géodésique ancienne était le résultat de longues opérations de

mesures terrestres (triangulation), caractérisées uniquement par une précision locale, typiquement de 1 cm/km. L'enchaînement de décennies de mesures locales successives a permis de couvrir la France en un siècle, en fournissant des coordonnées cohérentes au niveau local sur des repères variés (points naturels ou bornes). Mais ces coordonnées, considérées par rapport à la référence mondiale actuelle (l'ITRF, dont la cohérence est de l'ordre de 1 cm !), présentaient des erreurs atteignant plusieurs mètres en périphérie du pays. Ceci d'ailleurs ne gênait personne, puisque les professionnels n'effectuaient que des mesures à caractère local. De sorte que si nous prenons une planche cadastrale quelconque en France, et que nous faisons des mesures GPS très précises par rapport à la référence mondiale ITRF sur quelques points caractéristiques de la feuille, nous trouverons que les coordonnées sont à corriger des mêmes valeurs sur l'ensemble des points, mais que ces corrections seront assez différentes (typiquement de l'ordre de 1 mètre) dans une feuille située à 100 km de là.

Ce type de coordonnées anciennes n'était déjà pas d'un usage très commode avec les méthodes classiques et exigeait de bonnes compétences techniques. Mais il est paradoxalement devenu encore un peu plus difficile d'emploi avec les mesures GPS de topographie (qui sont toujours différentielles), puisque désormais le point servant de référence peut être localisé n'importe où, y compris à de grandes distances, là où les erreurs du réseau sont très différentes de celles de la zone de travail. C'est pour cette raison que les systèmes géodésiques nationaux anciens ont progressivement été tous remplacés par une référence géodésique considérablement plus précise, qui peut assez largement être considérée comme une référence absolue à la surface de la Terre. La référence mondiale ITRF², entretenue par l'IGN (laboratoire



Figure 1. Vue d'artiste de la constellation de satellites européens Galileo, système de positionnement spatial de nouvelle génération qui, aux côtés des anciens GPS américain et Glonass russe, offrira vers 2010 des capacités de localisation particulièrement appréciables en zones urbaines.

LAREG³) par délégation de nombreux laboratoires géodésiques issus du monde entier, est obtenue par synthèses de mesures issues de 4 méthodes différentes (radioastronomie interférométrique VLBI, télémétrie laser sur satellites, GPS, DORIS⁴). Ceci permet de doter de coordonnées homogènes (ainsi que des vitesses de variation de ces coordonnées dues aux mouvements tectoniques) au niveau de précision de 1 cm, plusieurs centaines de points très bien définis. On extrait ensuite de l'ITRF des sous-ensembles de points ayant les mêmes vitesses (même plaque tectonique), ce qui permet de produire une référence géodésique invariable (coordonnées fixes) pour tous les points d'un même continent, par soustraction générale de la vitesse de ladite plaque tectonique. Pour l'Europe, on a ainsi défini le système EUREF, avec laquelle la référence géodésique française est directement compatible au niveau du centimètre : le RGF93, rendu obligatoire au début 2001 en France.

Il faut d'ailleurs bien préciser que l'accès à cette nouvelle référence officielle

a été rendu extrêmement facile :

- les stations GPS permanentes, dont l'IGN anime l'un des sous-ensembles (le RGP⁵), et dont l'Ordre des Géomètres-Experts pilotera sous peu un vaste réseau temps réel (réseau Teria), fournissent directement des coordonnées dans la référence RGF93 officielle.
- la plupart des anciens repères de géodésie (80 000) et de nivellement (400 000) font l'objet d'un contrôle de présence sur le terrain, la base de données géodésiques de l'IGN est ainsi mise à jour régulièrement, et elle est consultable gratuitement sur Internet : ceci encourage évidemment les usagers à l'interroger pour chaque nouvelle opération, et bien évidemment les coordonnées diffusées sont fournies dans la référence RGF93.
- le site Internet de l'IGN (www.ign.fr) fournit en outre de nombreuses explications techniques et un logiciel gratuit téléchargeable (Circé 2000) permettant la conversion de coordonnées.

Le point important dans cette révolution technique est donc lié à l'emploi de méthodes de positionnement spatial, GPS jusqu'ici et Galileo en plus dans quelques années (figure 1), pas tellement parce qu'elles ont rendu certaines phases du travail beaucoup moins onéreuses, mais surtout parce qu'elles ont

(2) ITRF = International Terrestrial Reference Frame

(3) LAREG = Laboratoire de Recherches en Géodésie

(4) Système mis en place par le CNES et l'IGN pour mesurer des orbites très précises de satellites, et qui forme un réseau mondial de stations au sol de très grande précision.

(5) RGP = Réseau GPS Permanent, une cinquantaine de stations GPS permanentes opérées par l'IGN et par divers partenaires (collectivités locales, chercheurs, météorologues, ...)

rendu obligatoire de s'adapter à des modèles d'erreurs complètement différents : erreurs locales proportionnelles aux distances autrefois, erreurs absolues maintenant.

Il a bien entendu fallu transposer cette nouvelle donne dans les textes réglementaires spécifiant les précisions des levés, l'arrêté de janvier 1980 dans le domaine étant devenu obsolète. Le nouvel arrêté qui le remplace a été pris en septembre 2003, il fait une nette distinction entre les erreurs locales (erreurs internes à un réseau, rattaché ou pas à la référence officielle) et les erreurs absolues (erreur totale sur des coordonnées fournies, incluant les erreurs internes et les erreurs de rattachement).

Ceci dit, si GPS a servi de précurseur en la matière, il est clairement apparu qu'il ne remplacerait pas l'ensemble des méthodes de topométrie terrestre, qui elles aussi avaient beaucoup progressé. Jusqu'ici par exemple, le GPS n'est pas fonctionnel de façon sûre dans des environnements urbains, les bâtiments cachant une grande partie du ciel et empêchant la réception d'une partie des signaux. La nécessité d'être en visibilité directe de 4 satellites au minimum n'est pas toujours remplie. En outre il est très imprudent de mesurer avec seulement 4 satellites, car cela ne permet pas de détecter les fautes liées aux réflexions parasites des ondes sur diverses surfaces voisines (bâtiments, sol,...). De ce point de vue, les topographes attendent avec intérêt le lancement du système européen Galileo, qui sera utilisable simultanément avec GPS vers 2008-2009, ce qui doublera le nombre de satellites utilisables en un lieu donné. Par ailleurs, la remise à niveau du système russe Glonass, lancé en même temps que GPS mais très incomplet faute d'entretien, est de plus en plus une hypothèse réaliste, ce qui conduira ainsi à tripler le nombre de satellites disponibles dans quelques années par rapport à maintenant. Ceci rendra beaucoup plus rares les zones de travail où la réception ne sera pas satisfaisante, et facilitera encore un peu plus le travail des géomètres.

On peut ainsi, après ces grandes vagues récentes de modernisations

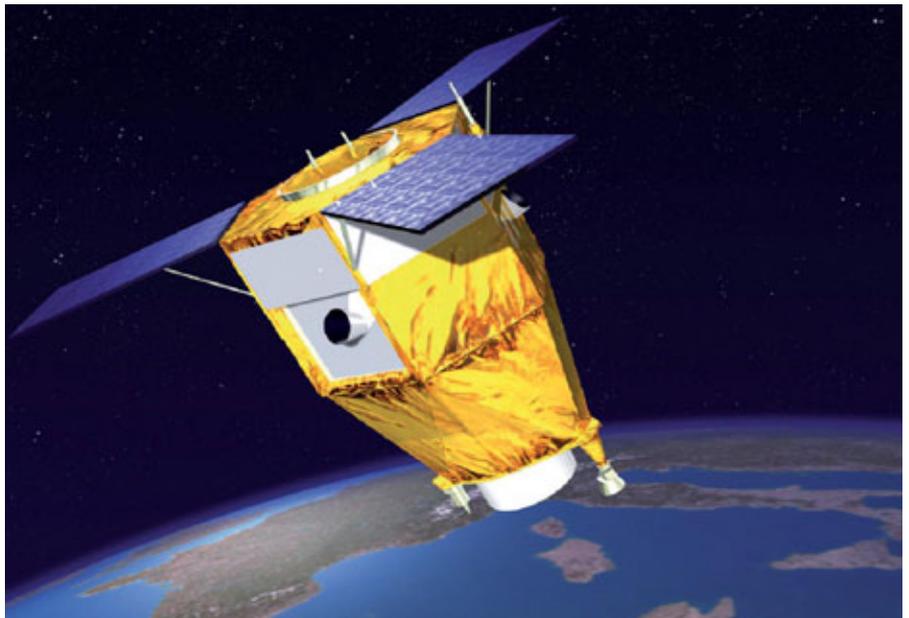


Figure 2. Les futurs satellites Pléiades, qui seront lancés par le CNES en 2009, auront une capacité d'acquisition d'image à pixel de très haute résolution qui en fera un complément, voire dans certains cas un substitut, de la prise de vue aérienne classique.

techniques qui ont entraîné une complète réorganisation réglementaire, voir venir une période où les bouleversements techniques seront moindres, et où les évolutions resteront du domaine de l'ergonomie et de la facilité du travail. L'outillage du topographe va sans doute se stabiliser autour de la combinaison GPS + Glonass + Galileo (avec réception de données de stations permanentes) avec un tachéomètre (avec ou sans pointé automatique), ainsi qu'un puissant système de gestion des données sur le terrain, le tout pouvant être intégré dans un seul instrument.

La nouvelle importance de l'imagerie aérienne ou spatiale en matière cadastrale

L'orthophotographie est une photographie (en général aérienne), qui a été déformée par calcul afin d'être en tout point superposable à une carte, donc avec une échelle parfaitement contrôlée. Les images voisines ainsi déformées sont ensuite assemblées en une image unique, qui peut couvrir une région ou un pays entiers. La généralisation de l'emploi de ce produit est liée

à une amélioration considérable de la facilité de fabrication depuis les années 90, et cette production est actuellement très largement automatisée.

L'orthophotographie combine en fait les intérêts de deux produits différents :
- L'image aérienne, qui est un document particulièrement facile à employer par tout le monde, sans besoin de formation spécifique : chacun y reconnaît les terrains qui lui sont familiers, chemins, maisons, mobiliers urbains, détails de la végétation, etc...
- La carte, sur laquelle les techniciens savent faire des mesures, mais qui exige entraînement et capacité d'abstraction pour en tirer pleinement parti, ce qui ne la rend pas accessible à grand monde.

On a donc assisté dans les dernières années à la création d'orthophotographies sur des pays entiers : par exemple en France, début 2004 était disponible la BD Ortho sur tout le pays avec un pixel de 50 cm, et un cycle d'entretien de 5 ans.

En matière cadastrale, l'orthophotographie a été particulièrement utile pour les travaux nouveaux, dans des pays en train de créer ou de moderniser leur cadastre : les coordonnées de chaque

point de l'image étant parfaitement compatibles avec les mesures faites sur le terrain par GPS par exemple, le volet lever topographique des enquêtes parcellaires devient extrêmement facile à traiter. Mais elle s'est également trouvée très utile pour l'intégration de planches cadastrales anciennes, avec des référentiels pas toujours très cohérents, dans une base de données moderne. A titre d'exemple, on pourra citer des travaux menés au Liban pour ré-employer des levés cadastraux menés plus d'un demi-siècle auparavant, et les intégrer dans une référence moderne unique. On pourra d'ailleurs aussi bien citer le cas de la France, où la BD Ortho sert à faciliter l'assemblage des planches cadastrales traditionnelles et à traiter des problèmes de jonction entre feuilles voisines.

Enfin il faut bien noter que de plus en plus, les images du sol ne seront pas fournies par les seuls avions, puisque au fil des ans une offre spatiale en images à pixels petits (50 cm à 80 cm) se fait jour progressivement (figure 2). Ces images offrant de plus une dynamique excellente, comparable aux images aériennes obtenues par les toutes nouvelles caméras numériques, et peuvent très bien être employées pour des orthophotographies de type BD Ortho, pour autant que leur coût d'accès soit concurrentiel. Ce n'est qu'un complément de moyens dans un pays bien équipé comme la France, mais ceci pourra devenir le moyen nominal dans quelques années pour des pays commençant seulement leur cadastre ou leur entretien à partir d'orthophotographies. Et puis il convient de bien évaluer l'impact futur des nouveaux outils Internet permettant de diffuser des données géographiques en ligne pour le grand public, parmi lesquelles le rôle de l'imagerie est absolument essentiel : en 2005 ont été lancés plusieurs sites comme GoogleEarth, ou WorldWind de la NASA, en 2006 c'est le tour du Géoportail français de service public opéré par l'IGN. Ces sites qui permettent à chacun un accès direct à l'image spatiale ou aérienne sont en train de bouleverser durablement la relation entre les citoyens et l'image détaillée du terrain.

Conclusions

Nous avons assisté depuis quelques décennies à une entrée progressive des outils spatiaux dans deux domaines de l'information géographique : le positionnement et l'imagerie. La révolution due au positionnement spatial est d'ailleurs en partie derrière nous, au contraire de l'imagerie à haute résolution qui n'a pas encore eu d'impact significatif. Dans ces deux cas, ces outils sont sur la première ligne des moyens utilisables pour les enquêtes et les levés cadastraux. Par ailleurs certaines facilités apportées par l'informatique ont certes permis de démocratiser l'accès à l'information géographique mais, en contrepartie, des exigences complètement nouvelles ont dû être prises en compte, ce qui a obligé les fournisseurs de données à beaucoup de travaux supplémentaires. Au total, on assiste donc à une activité dont l'impact économique ne cesse de croître.

Mais au delà des moyens techniques nouveaux, c'est surtout de l'apparition de nouveaux "modes de pensée technique" que nous devons être conscients : données continues, ayant une position absolue bien spécifiée, avec des méta-données bien renseignées. L'impact en matière cadastrale est majeur, parce que le rôle de gardien de la paix foncière du Cadastre est désormais obligé de composer avec le rôle de pourvoyeur de données géographiques à très grande échelle, rôle pour lequel il n'a généralement jamais été conçu à l'origine. Nous vivons donc en ce moment même une transition technique particulièrement intéressante ! ●

Bibliographie

Quelques articles récents de l'auteur pour compléter le propos :

Les stations GPS permanentes en France. Fiche technique du CNIG n° 49, 8 pages.

Les systèmes RGF 93 et Lambert 93.

Fiche technique du CNIG n° 50, 8 pages.

Les caméras numériques aéroportées.

Géomètre n° 11. Novembre 2001.

pp. 44-45.

Les nouvelles bases géodésiques françaises. Mensuration,

Photogrammétrie, Génie rural, 1/2002, pp. 24-26

Avec le RGF93, les éléments d'un bornage virtuel sont réunis. Géomètre n° 5. Mai 2002. p. 39.

L'orthophotographie institutionnelle. Géomètre n° 11. Décembre 2002. pp. 33-43.

Les nouveaux textes français en matière de précision des levés. XYZ, n° 96, 3^e trimestre 2003, pp. 31-34.

L'IGN, service public, sait aussi être gratuit. Géomètre n° 12. Décembre 2003. p. 30.

Les résultats... Rien que des résultats. L'arrêt du 16 septembre commenté.

La circulaire de mise en œuvre. Géomètre n° 12. Décembre 2003. pp. 32-43.

La géodésie française est l'affaire de tous. Géomatique Expert, n° 35, mai-juin 2004, pp. 25-30.

La géodésie française et mondiale : une évolution considérable en 25 ans. XYZ, n° 100, 3^e trimestre 2004, pp. 71-76.

ABSTRACT

The methods of topographic surveys evolved a lot in the last decades, on the one hand with the full availability of the GPS, on the other hand with the capacity of massive and cheap production of orthophotographies. These methods imply new error models, completely different from previous classic ones. The different cadastral systems have been adapted to varied constraints, obviously including the models of acceptable errors, and the transition with new methods often requires deep reflections. The problem put by the geodesic reference is now very important, essentially because we arrived to a quasi absolute ultra precise reference, from a purely relative one. Various consequences of that important evolution are valued here in what concerns the cadastral activities, in particular following the recent developments in France.