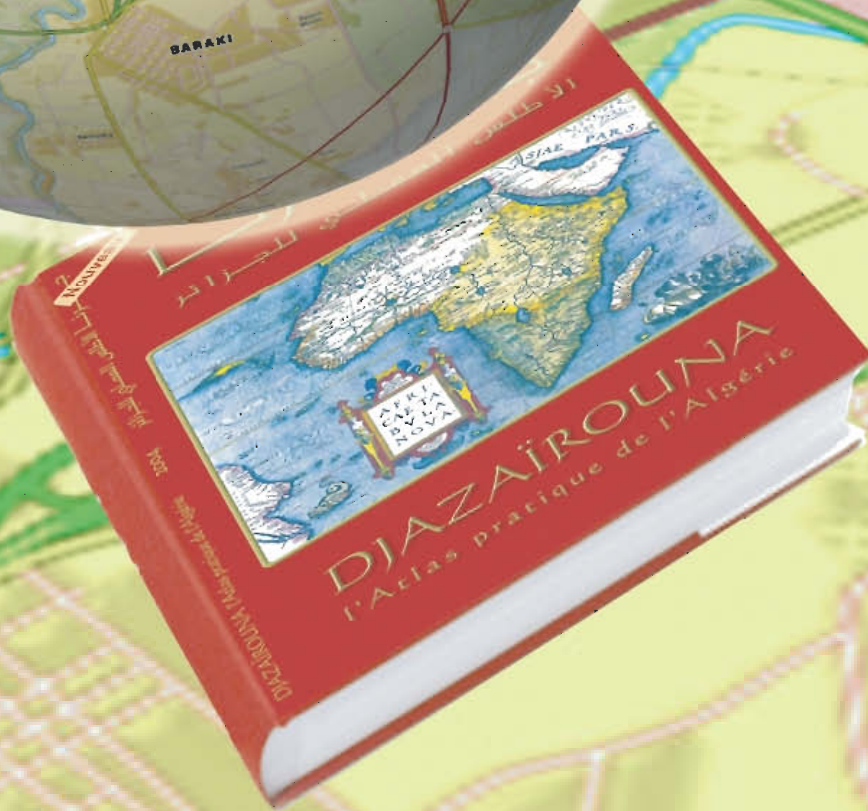
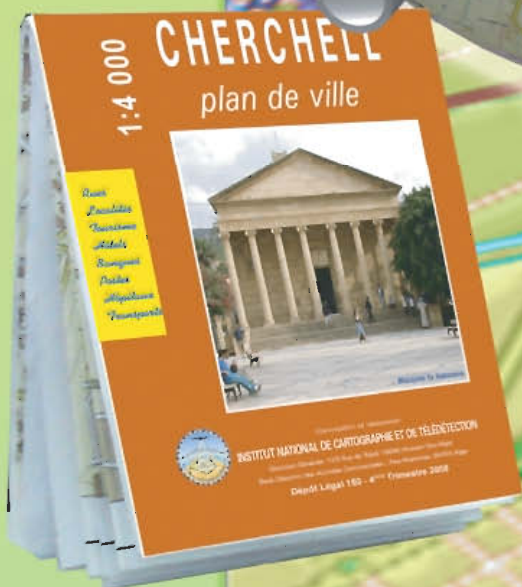
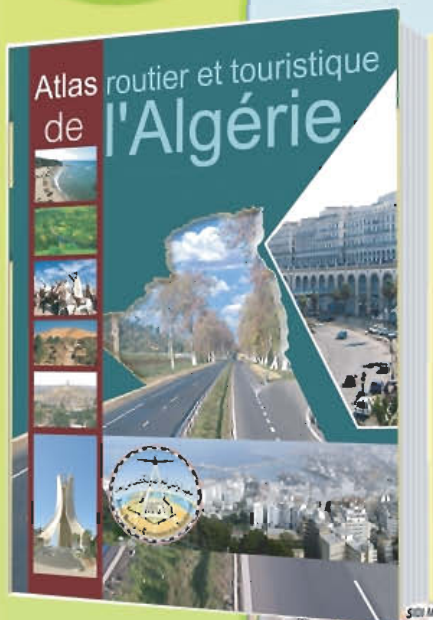




Bulletin des Sciences Géographiques

N°22





INCT BULLETIN DES SCIENCES GÉOGRAPHIQUES

N° 22
Octobre 2008

Sommaire / Contents

Pages

Publication semestrielle, de l'Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT), Algérie.

Fondée en Octobre 1997
N°22 - Octobre 2008
ISSN 1112-3745

Responsable de la revue : INCT

Éditeur : Centre de la Documentation et de la Conservation de l'Information Géographique, INCT, Alger.

Adresse : Bulletin des Sciences Géographiques, INCT, 123, rue de Tripoli Hussein Dey 16040, BP 430, Alger, Algérie.
Tél: (021) 47 09 20
(021) 47 00 30
Fax: (021) 23 43 81
(021) 47 00 29
E-mail : inct99@wissal.dz

Tirage :

500 Exemplaires

Comité de Rédaction :

- Mr. ABDEDOU Mohamed
Chargé de Mission Etude et Synthèse,
INCT (Président).
- Mr. DROUAI Fethallah
Chef du CDCIG / INCT.
- Mr. DEGAICHIA Fethi
Master, CT/ INCT.
- Melle. KEMIKEM Widad
Traductrice, CDCIG / INCT.

Comité de Lecture :

- Mr. ABDELLAOUI Hassen
Magister, INCT, (Président)
- Mr. BELBACHIR Mohamed Faouzi
Professeur, USTO.
- Mr. OMRANE Naceur
PhD, INCT.
- Mr. AYADI Abdelkrim
Directeur de recherche, CRAAG.
- Mr. KAHLOUCHE Salem
Directeur de recherche, CTS.
- Mr. OUGUINI Rachid
Maître de recherche, ASAL.
- Mr. GHEZALI Boualem
Chargé de recherche, CTS.
- Mr. SI MOHAMED Mohamed Arezki
Chargé de recherche, CTS.
- Mr. HADDAD Mahdi
Magister, INCT.

Algerian Permanent GPS Network : First Results	02
<i>Par M. HADDAD</i>	
Choix Optimal du Modèle Troposphérique pour la Détermination précise des Coordonnées des Stations GPS	07
<i>Par H. NAAMAOU, S. KAHLOUCHE, S. TOUAM & H. DEKKICHE</i>	
Sources d'Erreurs et Combinaisons Linéaires des Trois Fréquences du système Galileo pour le Positionnement Différentiel	12
<i>Par L. TABTI, A. ZEGGAI, B.GHEZALI & S. TOUAM</i>	
Automated Updating of Building Data Bases From Digital Surface Models and Multi-Spectral Images: Potential and Limitations	18
<i>Par F. ROTTENSTEINER</i>	
Analysis of Planimetric Accuracy of Airborne Laser Scanning Surveys	27
<i>Par G. VOSSelman</i>	
Application of Geomatics in Photovoltaics	34
<i>Par J. BESENICAR, B. TRSTENJAK & D. SETNICA</i>	
Investigation of Elevation Bias of the SRTM C- And X-Band Digital Elevation Models	38
<i>Par K. BECEK</i>	
Apport de l'Analyse Orientée-objet d'Image Landsat ETM+ et de l'Approche Paysagère pour l'Aménagement Forestier en Zones Semi-arides. Cas de la Forêt Senalba Chergui-Djelfa, Algérie	45
<i>Par K. BENCHERIF</i>	
Etude et Cartographie de l'Erosion des Formations Alluviales de la Moyenne Seybouse (N-E algérien)	55
<i>Par F. ASSASSI, K. KHANCHOUL & C. BENABBAS</i>	

© 2008

Tout droit réservé pour tous pays,
textes, illustrations, photos.

Algerian permanent GPS network : first results

M. HADDAD

National Institute of Cartography and Remote Sensing.
123, rue de Tripoli - BP 430, Hussein Dey, Algiers, Algeria.
E-mail : inct99@wissa1.dz Fax : +213 21 23 43 81

ملخص : تبيّن الإهتزازات الأرضية التي تضرب شمال الجزائر والمقاييس الخاصة بقياسات الأرض المحلية بأن نشوء حركات القشرة الأرضية ما زال نشيطا. هذا التشوه يُترجم عموماً بتقارب أوروبا-آسيا-إفريقيا. يسمح استعمال تقنيات الأقمار الصناعية تحدد من التخلص من الصعوبات الكلاسيكية و تقدم إضافة إلى الفوائد التقنية مكسب في الوقت ، في الدقة وفي الكلفة. من بين درج أجهزة التحديد الفضائي تبقى أجهزة تحديد المواقع الحالية GPS الأداة الأكثر ملائمة للحاجات الحركية الأرضية والمراقبة الزلزالية ، كما تقدم حقل كبير من التطبيقات الخاصة بقياسات الأرض والأداءات المهمة أكثر بكثير من الأجهزة الأخرى. يتمثل الهدف من هذه الدراسة من جهة في التقدير الدقيق للإحداثيات محطات GPS الثلاثة الجزائرية الدائمة الجديدة بإمماج معطيات ومُنتجات IGS وذلك بإستعمال البرنامج العلمي بيرنيس 5.0 ، ومن جهة أخرى في متابعة تغير السرعة التي تسببها الحركات الأرضية .

الكلمات الأساسية: شبكة GPS الجزائرية الدائمة، AFREF، بيرنيس 5.0 ، إحداثيات ، الحركية الأرضية ، IGS ، حركات القشرة الأرضية ، سلسلة زمنية ، السرعة .

Résumé : La sismicité qui touche le nord de l'Algérie et les mesures géodésiques locales montre que la déformation tectonique est encore active. Cette déformation est interprétée généralement par la convergence de Afrique-Europe-Asie. L'usage des techniques de positionnement satellitaire permettrait à se liberer de contraintes classique et présente, en plus les avantages techniques, un gain dans le temps, dans la précision et dans le coût. Parmi la panoplie des systèmes de positionnement spatiaux actuels, le GPS reste l'outil le plus approprié pour les besoins géodynamiques et la surveillance sismique, comme il presente un grand champ d'applications géodésiques et des performances beaucoup plus intéressantes que les autres systèmes.

L'objectif de cette étude consiste d'une part en l'estimation précise des coordonnées des trois nouvelles stations GPS permanentes Algériennes en intégrant les données et les produits IGS en utilisant le logiciel scientifique Bernese 5.0, et d'autre part reconduire le déplacement des vitesses causé par les mouvements géodynamiques.

Mots-clés : Réseau GPS Permanent Algérien, AFREF, Bernese 5.0, coordonnées, Géodynamique, IGS, tectonique, série du temps, vitesse.

Abstract : seismicity which marks out Northern Algeria and local geodetic measures shows that the tectonic deformation is still active. This deformation is generally interpreted as the result of Eurasia-Africa convergence. The use of satellites positioning techniques would allow to get free from classical constraints and offer, besides the technical advantages, a gain in time, in precision and in cost. Among the panoply of existing spatial positioning systems, the GPS remains the most appropriate tool for the geodynamic needs and the seismic surveillance, as it offers a large field of geodetic applications and much more interesting performances than the other systems.

The objective of this study consists of on one hand in the precise estimation of the coordinates of the three new permanent Algerian GPS stations while integrating the IGS data and products and that by using the Bernese 5.0 scientific software, and on the other hand in showing out the velocities displacement caused by geodynamic movements.

Keywords : Algerian permanent GPS network, AFREF, Bernese 5.0, coordinates, Geodynamic, IGS, tectonic, repeatability, time series, velocities.

1. Introduction

Northern Algeria, a limit of the European and the African tectonic plates, is the place of intense tectonic deformation marked by the occurrence of catastrophic strong earthquakes (Algiers 1365, Algiers 1716, Oran 1790, Mascara 1810, Jijel 1856, Gouraya 1891, Tenes 1922, El Asnam 1954 et 1980, Constantine 1985, Tipasa 1989, Mascara 1994, Ain Temouchent 1999, Beni Ouartilane 2000, Zemmouri 2003). One of the surveying techniques of these phenomena consists in the setting of geodetic precise networks into national scale (geodynamic) or local scale (seismic surveillance), so as to quantify the deformations. The access to this cinematic knowledge goes through, in particular, the direct measure of the displacements and crustal deformations by geodesy. The permanent GPS technique allows the obtention of continuous temporal series of stations positions, which allows to detect the geophysics effects, particularly those of tectonic origin, which can affect the position of stations in course of time.

The objective of this paper consists in the precise estimation of the coordinates and the velocities of the three new permanent Algerian GPS stations (DZOR, DZAL, DZCO). The GPS data are processed with the Bernese v5.0 software, together with eight IGS stations (CAGL, GRAS, MAS1, MATE, NOT1, SFER, VILL and ZIMM) that serve as ties with the IGS05. By the term of the good accuracy obtained on the position of the whole of the stations: 1-4 mm for the planimetry components and 1-8 mm for the vertical component, the Algerian permanent GPS network constitute no doubt a basic geodetic infrastructure for the GPS works of the different Algerian institutions. The geophysical interpretation of the velocities components estimated at 2.4 cm/year towards the North East for the Oran station and at 2.6 cm towards the North East for both Algiers and Constantine stations, although they are marginally significant, will allow to complete information related to the geodynamic and seismologic behaviour Algeria.

2. Geodynamical context of the Western Mediterranean

The Mediterranean basin is characterized by an active global tectonic. Folds, faults and high orogenic accidents characterize the area such as the Rif, the Atlas, the Betic Cordillera, the Alps, the Apennines and the Pyrenees. With these important deformation zones, alternate continental blocks with small deformations: the High Plateau (Algeria), the Corsica – Sardinia block, the Sicily and the Iberian Meseta. These major deformations are the result of the continental collision of the North - European and African platforms which converge with a globally North - South direction since seventy millions years, with a rising extension East-West with approximately a half-centimeter rate per year in Algiers to reach the average of a centimeter in the Sicily meridian.

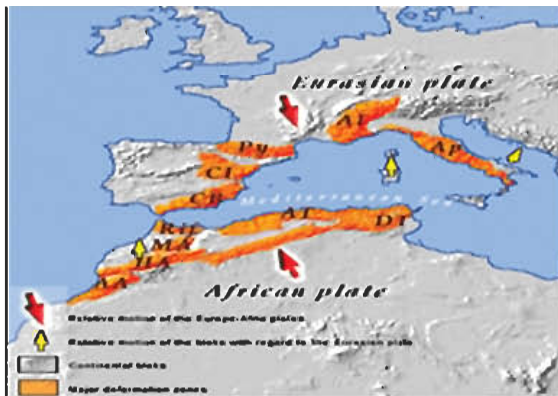


Fig. 1 Great tectonic structures in western Mediterranean.

AA: Anti-Atlas, Al: Alps, Ap: Appennins, AS: Saharian Atlas, AT: Tellian Atlas, CB: Betic Cordelira, CI: Iberic Chain, DT: Tunisian Dorsal, HA: High Atlas, Py: Pyrenees, MA: Medium Atlas.

This relative displacement is accompanied by a rotation of the two plates which rotation axis is situated near Rabat: there is then a quasi non-existent movement. Figure (1) shows the great tectonic structures in the western Mediterranean (Rebai, 1996).

3. Algerian permanent GPS network

The Algerian permanent GPS network was initiated in 2006 by the National Institute of Cartography and Remote Sensing in the framework of the AFREF project (AFrican REFerence Frame). Actually, three stations are already operational: DZAL (Algiers), DZOR (Oran) and DZCO (Constantine). The time period of GPS observations from these three stations covers two weeks in 2007: 1420 and 1421 (084 GPS day to 097 GPS day) and two other weeks in 2008: 1447 and 1475 (097 GPS day to 110 GPS day). The GPS data from the Algerian network are processed, together with eight IGS stations (CAGL, GRAS, MAS1, MATE, NOT1, SFER, VILL and ZIMM) that serve as ties with the IGS05. Figure (2) illustrates the Algerian Permanent GPS and IGS stations used in our data processing.

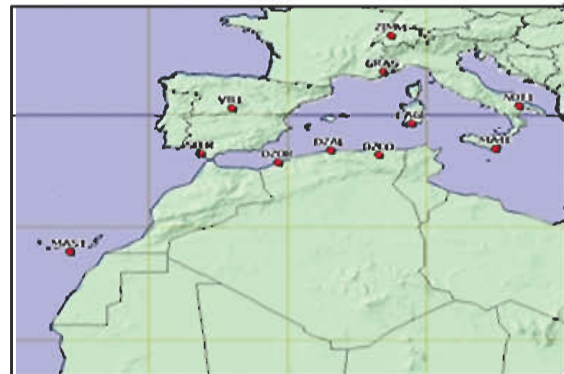


Fig. 2 Algerian Permanent GPS and IGS stations used.

4. Data processing

The Bernese GPS Software v5.0 (Dach et al., 2007 & 2004) was used to process the data. The standard method was based on the script file RNX2SNX. The RNX2SNX.PCF is intended for a double-difference based analysis of RINEX GNSS observation data from a regional network. Station coordinates and troposphere parameters are estimated and stored in Bernese and SINEX format to facilitate further processing and combination. For each session, the

corresponding normal equation information is saved for a subsequent multi-session solution (allowing the estimation of station velocities). The basic options of the used processing strategy are:

- The consideration of "absolute" GNSS receiver and satellite antenna phase center offset (I05).

- Observation files with significant gaps or unexpectedly big residuals will automatically be removed from the processing to ensure a robust processing and a reasonable network solution.

- Phase ambiguity fixing is attempted for baselines up to 2000 km length based on the Quasi-Ionosphere-Free (QIF) resolution strategy.

- The final network solution is a minimum constraint solution, realized by three no-net-translation conditions imposed on a set of IGS05) reference coordinates. The coordinates of all involved fiducial stations are subsequently verified by means of a 3-parameter Helmert transformation. In case of discrepancies, the network solution is recomputed based on a reduced set of fiducial stations.

Besides some standard files (orbit and pole information, satellite clocks information, GOT00.2 ocean loading parameters, etc.), some other files are specifically required to execute this RNX2SNX PCF: coordinate file (IGS 05.CRD), velocity file (IGS05.VEL), and list of reference sites in the coordinate file (IGS05.FIX).

To obtain a set of station coordinates and NNR-NUVEL-1A velocities for the three new Algerian stations, necessary a priori information for the double-difference analysis done by RNX2SNX.PCF, we used the precise point positioning approach

5. Results

5.1 Repeatability coordinates rms values

To appreciate the quality of results, we are interested to the weekly coordinate repeatability. A bad repeatability indicates possible environmental, station, or processing problems. It also may be caused by geophysical phenomena (e.g., Earthquake).

The obtained weekly coordinate repeatability, the daily reduced normal equation files (NEQs) results are combined by week using the ADDNEQ2 program. The geodetic datum of the network is defined based on minimum constraint solution. The tables (1), (2), (3) and (4) represent respectively the weekly 1420, 1421, 1474 and 1475 repeatability coordinates rms (Root Mean Square) values:

Table 1. Repeatability coordinates rms values, week 1420.

Station	Repeatability (mm)		
	N	E	U
CAGL 12725M003	0.38	0.73	1.61
DZAL	0.48	0.80	1.33
DZCO	0.51	0.75	2.49
DZOR	1.04	0.63	3.19
GRAS 10002M006	0.70	0.58	.35
MAS1 31303M002	0.91	0.64	1.57
MATE 12734M008	0.91	0.39	2.60
NOT1 12717M004	0.56	1.23	2.01
SFER 13402M004	0.32	0.33	2.02
VILL 13406M001	0.55	0.43	1.63
ZIMM 14001M004	0.44	0.69	1.33

Table 2. Repeatability coordinates rms values, week 1421.

Station	Repeatability (mm)		
	N	E	U
CAGL 12725M003	1.83	2.32	4.15
DZAL	0.79	1.80	3.57
DZCO	1.32	1.96	2.01
DZOR	1.08	1.66	3.04
GRAS 10002M006	2.00	4.18	7.57
MAS1 31303M002	2.92	1.88	2.07
MATE 12734M008	2.90	2.59	3.98
NOT1 12717M004	3.03	3.25	3.22
SFER 13402M004	1.16	1.14	1.89
VILL 13406M001	1.32	2.24	3.30
ZIMM 14001M004	4.11	17.58	7.19

Table 3. Repeatability coordinates rms values, week 1474.

Station	Repeatability (mm)		
	N	E	U
CAGL 12725M003	1.28	1.77	5.20
DZAL	0.88	1.12	1.99
DZCO	0.73	1.13	3.54
DZOR	0.64	1.46	2.82
GRAS 10002M006	0.74	0.52	3.05
MAS1 31303M002	0.26	0.96	2.99
MATE 12734M008	0.82	0.39	1.78
NOT1 12717M004	0.60	1.62	2.81
SFER 13402M004	0.73	0.71	4.14
VILL 13406M001	0.82	0.73	3.72
ZIMM 14001M004	1.28	0.69	2.39

Table 4. Repeatability coordinates rms values, week 1475.

Station	Repeatability (mm)		
	N	E	U
CAGL 12725M003	0.99	1.25	1.58
DZAL	0.68	0.81	3.21
DZCO	0.59	0.34	2.69
DZOR	1.29	1.90	1.12
GRAS 10002M006	0.80	1.05	2.06
MAS1 31303M002	0.52	0.79	1.67
MATE 12734M008	0.71	0.41	1.05
NOT1 12717M004	1.11	0.87	3.92
SFER 13402M004	0.69	1.21	1.41
VILL 13406M001	0.67	0.38	2.03
ZIMM 14001M004	0.85	1.09	2.24

We get for the whole of the stations repeatabilities going from 1-4 mm for the planimetric components (except the ZIMM station, week 1421: 17.6 mm) and of 1-8 mm for the vertical component. These results clearly show the accuracy of obtained results is very satisfactory in relation with the requirements in the subject.

5.2 Final coordinates

The Bernese GPS Software allows to estimate final site coordinates in a network analysis. The normal equation systems from different sessions are combined in a multi-session solution with ADDNEQ2. All coordinate parameters belonging to the same station are combined to one single set of coordinates. The resulting coordinates then refer to the middle epoch (October 07, 2007).

A seven-parameter Helmert transformation is applied to compare each individual solution with the combined solution. The geodetic datum of the network is defined based on minimum constraint solution. The table (5) represents the repeatability coordinates rms values of the combined solution:

Table 5. Repeatability coordinates rms values of the combined solution (weeks: 1420, 1421, 1474 and 1475).

Station	Repeatability (mm)		
	N	E	U
CAGL 12725M003	1.32	1.76	3.76
DZAL	1.04	1.60	2.54
DZCO	1.52	1.35	3.36
DZOR	1.39	1.54	3.37
GRAS 10002M006	1.02	2.05	3.79
MAS1 31303M002	1.85	1.28	4.31
MATE 12734M008	1.55	1.40	3.09
NOT1 12717M004	1.79	1.95	2.85
SFER 13402M004	0.90	1.27	3.18
VILL 13406M001	1.08	1.89	3.87
ZIMM 14001M004	2.52	8.87	4.54

5.3 Velocities

Using ADDNEQ2 program, the normal equation systems from different sessions are recombined again in a multi-session solution with ADDNEQ2. The velocity estimation is activated by the option "Set up station velocities" in panel "ADDNEQ2 3.1. The geodetic datum of the network is defined based on minimum constraint solution. The table (6) represents the estimated velocities

Table 6. Estimated velocities.

Site		A priori value	Estimated value	RMS error
CAGL	VU	0.0003	-0.0010	0.000
	VN	0.0161	0.0158	0.000.
	VE	0.0215	0.0199	0.0001
DZAL	VU	0.0001	0.0010	0.0004
	VN	0.0200	0.0180	0.0001
	VE	0.0174	0.0191	0.0001
DZCO	VU	0.0001	0.0050	0.0004
	VN	0.0203	0.0174	0.0001
	VE	0.0182	0.0194	0.0001
DZOR	VU	0.0001	0.0033	0.0004
	VN	0.0196	0.0170	0.0001
	VE	0.0169	0.0176	0.0001
GRAS	VU	-0.0003	0.0011	0.0004
	VN	0.0164	0.0155	0.0001
	VE	0.0201	0.0207	0.0001
MAS1	VU	0.0009	-0.0107	0.0006
	VN	0.0179	0.0184	0.0001
	VE	0.0165	0.0166	0.0001
MATE	VU	0.0012	0.0021	0.0005
	VN	0.0194	0.0194	0.0001
	VE	0.0232	0.0233	0.0001
NOT1	VU	-0.0007	0.0038	0.0005
	VN	0.0199	0.0184	0.0001
	VE	0.0211	0.0209	0.0001
SFER	VU	0.0029	0.0054	0.0004
	VN	0.0170	0.0171	0.0001
	VE	0.0133	0.0153	0.0001
VILL	VU	-0.0018	0.0027	0.0005
	VN	0.0168	0.0171	0.0001
	VE	0.0196	0.0168	0.0001
ZIMM	VU	0.0023	0.0007	0.0004
	VN	0.0161	0.0163	0.0001
	VE	0.0196	0.0178	0.0001

The Oran station (DZOR) shows a 2.4 cm/year displacement to the North East. Both stations of Algiers (DZAL) and Constantine (DZCO) show as concerns them a 2.6 cm/year displacement to the North East. This result is in accordance with the seismotectonic results which show a generalized radial extension affecting the north of Algeria.

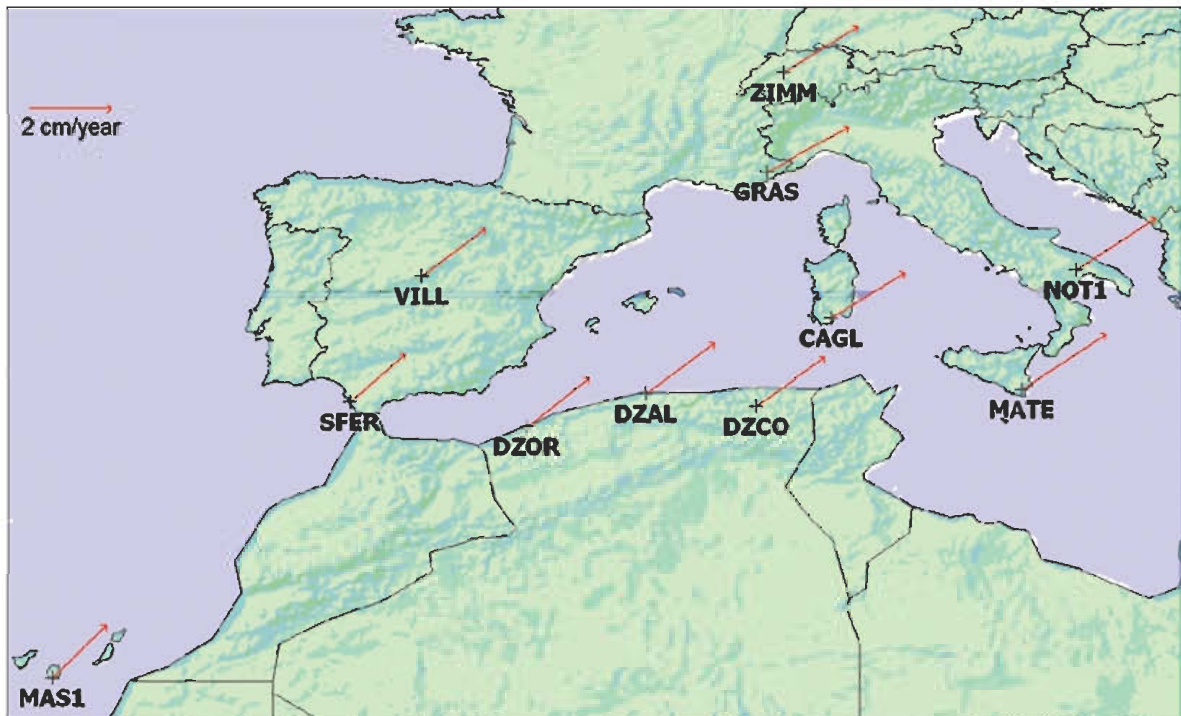


Fig. 3 Estimated velocities.

6. Conclusion

The main objective of the present study refers in general to the mastery of positioning technology by GPS satellites and its application to concrete needs. Concerning the data processing of the whole of the stations, the weekly repeatability coordinates rms values obtained by combination of daily reduced normal equation files (NEQs) are 1-4 mm for planimetric components (exception of the station ZIMM, week 1421 : 17.6 mm), 1-8 mm for vertical components. We conclude that the quality of processing results is acceptable regarding to the international criteria in permanent GPS.

Concerning the obtained results on components velocities, although they are still that marginally significant becoming one year time interval between the measures, show a 2.4 cm/year displacement to the North East for Oran station and 2.6 cm/year displacement to the North East for the two Algiers and Oran stations. Moreover, these results have the advantage of being independent from the cinematic model NNR-NUVEL-1A and of being based only on GPS measures.

In perspective, the Algerian permanent GPS network densification represents a capital stake for the modernization of the national geodetic infrastructure and for a better knowledge of the deformations of geodynamic origin, especially in northern Algeria where the seismic activity is strong. Finally, we will keep in mind the increasing importance represented by the spatial geodesy for the studies of the earth crust deformations. The tectonic applications represent a capital stake for the future of the geodesy. Indeed, that exist today to search for more accuracy if not those of the geophysicians.

Bibliographic references

- Dach R., Fridez P., Hugentobler U., 2004. *Tutorial Bernese GPS Software 5.0.*
- Dach R., Hugentobler U., Fridez P., Meindl M., January 2007. *Bernese GPS Software Version 5.0.*
- Legrand J., 2002 : "Utilisation du logiciel de l'université de Berne pour le traitement de données GPS en production. Automatisation des processus et stratégies de calculs". *Mémoire d'ingénieur, IGN.*
- Rebaï N. et al., 1996 : "Crustal Deformations in the Mediterranean area computed from SLR and GPS observations". *J. Geodynamics, Vol. 21 N° 1.*

Choix Optimal du Modèle Troposphérique pour la Détermination Précise des Coordonnées des Stations GPS

H. NAAMAOU, S. KAHLOUCHE, S. TOUAM, H. DEKKICHE
Centre des techniques spatiales (CTS). division de géodésie spatiale
BP 13. Arzew. 31200. Oran. Algérie

ملخص : يتركز موضوع هذا المقال حول الدراسة المقارنة لمختلف نماذج التروبوسفير للتطبيقات الجيوديزية. إن الهدف من هذه الدراسة هو تحديد منهجية تسمح تبعا لطول القواعد الملاحظة بتعين نموذج التروبوسفير المثالي لتطبيقه في تحليل مقاييس GPS تتضمن المعطيات المستعملة في المعالجة ثلاثة خطوط أساسية مختلفة الأطوال، زهران - مرجاجو، الجزائر - تمنراست و الجزائر مدريد. إستعملت ملاحظات GPS مع البرنامج العلمي لجامعة برن. برنامج برنيس للأجهزة تحديد المواقع 2.4V.

الكلمات الأساسية : أجهزة تحديد المواقع GPS، التروبوسفير، الإنكسار، مكونة رطبة، مكونة جافة، محطة دائمة.

Résumé : Le thème développé à travers cet article porte sur l'étude comparative des différents modèles troposphériques pour des applications géodésiques. Le but est de définir une méthodologie permettant de déterminer, en fonction de la longueur des bases observées, le modèle troposphérique optimal à appliquer à l'analyse des mesures GPS. Les données GPS utilisées lors du traitement comportent trois lignes de base de différentes longueurs, à savoir "Oran-Murdjadjo", "Alger-Tamanrasset" et "Alger-Madrid". Le traitement des observations GPS a été effectué avec le logiciel scientifique de l'université de Berne "Bernese GPS Software Version 4.2".

Mots clés : GPS, troposphère, réfractivité, composante sèche, composante humide, station permanente.

Abstract : The developed theme through this article focuses on the comparative study of different tropospheric models for geodetic applications. The goal is to define a methodology for determining, according to the length of bases observed, the optimal tropospheric optimal model to be applied to the analysis of GPS measurements. The GPS data used in the treatment involving three bases of different lengths, "Oran-Murdjadjo", "Alger-Tamanrasset" and "Alger-Madrid." The processing of the observation GPS was executed with the scientific software of the University of Berne "Bernese GPS Software Version 4.2".

Key words : GPS, troposphere, refractivity, dry component, wet component, permanent network.

1. Introduction

Aujourd'hui, le GPS (Global Positioning System) fait parti de la panoplie des outils dédiés aux travaux géodésiques et topographiques. L'existence de cet outil plus évolué et plus précis, rend nécessaire la maîtrise de la technique GPS et son adaptation aux diverses applications utilisant des données localisées. Cependant, cette technique connaît un handicap majeur. Si la précision sur la détermination des coordonnées horizontales peut descendre en dessous du centimètre, il n'en est pas de même pour la composante verticale qui est principalement perturbé par la troposphère.

Bien que l'on puisse considérablement minimiser les effets atmosphériques sur les observations, le milieu de propagation, notamment la troposphère, demeure essentiellement la limite de précision du système. Plusieurs modèles et méthodes de correction troposphérique peuvent être utilisés.

C'est dans ce contexte, qu'une équipe au CTS s'est proposée de présenter à travers cet article une étude comparative des différents modèles troposphériques pour des applications géodésiques. L'objectif est de définir une méthodologie permettant de déterminer, en fonction de la longueur des bases observées, le modèle troposphérique optimal à appliquer à l'analyse des mesures GPS. Les données GPS utilisées lors du traitement comportent trois lignes de base de différentes longueurs, à savoir "Oran-Murdjadjo", "Alger-Tamanrasset" et "Alger-Madrid".

Le traitement des observations GPS a été effectué avec le logiciel scientifique de l'université de Berne "Bernese GPS Software Version 4.2" [4]. Nous avons bénéficié de l'opportunité et des avantages offerts par ce logiciel qui nous a permis de tester les différents modèles troposphériques.

2. Généralités sur le délai Troposphérique

La troposphère est la partie de l'atmosphère terrestre située entre la surface du globe et une altitude d'environ 8 à 18 km. Elle se compose principalement d'azote (78%) et d'oxygène (21%). Le quasi totalité de la vapeur d'eau et les aérosols se trouvent dans la troposphère [6].

C'est un milieu non dispersif pour les ondes radio de fréquence supérieure à 30 GHz [5]. En traversant cette couche basse de l'atmosphère, l'onde GPS subit un retard (figure 1) dépendant de la pression atmosphérique, de la température et de la teneur en vapeur d'eau. L'effet est le même pour les deux fréquences GPS [1].

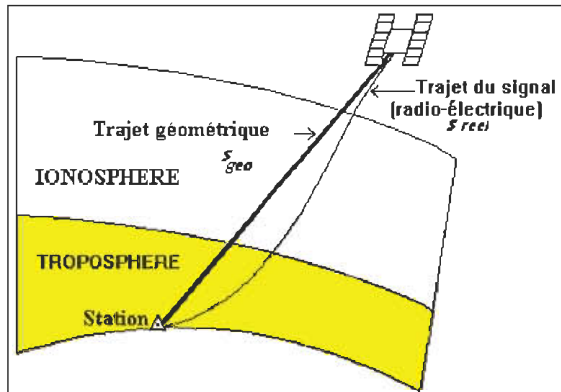


Fig. 1 Trajet du signal GPS dans l'atmosphère.

La distance géométrique, L_{geo} , entre le satellite et le récepteur est :

$$L_{geo} = \int_{S_{geo}} ds$$

Cependant, à cause de la variation de l'indice de réfraction de la troposphère et du principe de Fermat qui considère que le temps de propagation de la lumière entre deux points quelconques devrait être un minimum, la trajectoire réelle entre le satellite et le récepteur est légèrement courbée pour des angles inférieurs à 90°. Cette distance, notée L_{reel} , est :

$$L_{reel} = \int_{S_{reel}} n(s) ds$$

Où $n(s)$ représente l'indice de réfraction variant en fonction de la position spatiale.

Le délai troposphérique $\Delta\tau$ est la différence entre le temps de propagation réel de l'onde et le temps de propagation géométrique de la même onde, tel que :
Où $n(s)$ représente l'indice de réfraction variant en fonction de la position spatiale.

$$\Delta\tau = \frac{1}{c} \left[\int_{S_{reel}} n(s) ds - \int_{S_{reel}} ds \right]$$

Avec :

c : Vitesse de la lumière dans le vide.

Cette dernière relation peut se mettre sous la forme suivante :

$$\Delta\tau = \frac{1}{c} \left[\int_{S_{reel}} n(s) ds - \int_{S_{reel}} ds + \int_{S_{reel}} ds - \int_{S_{geo}} ds \right]$$

$$\Delta\tau = \frac{1}{c} \left[\int_{S_{reel}} (n(s) - 1) ds + \int_{S_{reel}} ds - \int_{S_{geo}} ds \right]$$

$$\Delta\tau = \frac{1}{c} \left[\int_{S_{reel}} (n(s) - 1) ds + \Delta_{geo} \right]$$

Où Δ_{geo} représente la différence entre la trajectoire réelle et la ligne géométrique. Pour des angles d'élévation importants, ce terme peut être négligé. En multipliant $\Delta\tau$ par la vitesse de la lumière c et en négligeant Δ_{geo} , on obtient [8] :

$$\Delta L = 10^{-6} \int_S N ds$$

Avec :

$N = 10^6 (n-1)$: réfractivité du milieu traversé

ds : distance élémentaire dans la direction du zénith.

Une bonne approximation valable dans le domaine des micros ondes est donnée par [2] :

$$N^{trop} = 77.6 \frac{P_s}{T} - 12.96 \frac{e_v}{T} + 3.73 \cdot 10^5 \frac{e_v}{T^2}$$

Avec :

P_s : pression en millibars.

T : température en degrés Kelvin.

e_v : pression partielle de vapeur d'eau en millibars.

Du fait que la pression de vapeur d'eau devient négligeable à une altitude de l'ordre de 10 km, la réfractivité peut être définie de la manière suivante [3] :

$$N^{trop} = N^{sèche} + N^{humide}$$

Où $N^{sèche}$ et N^{humide} représentent respectivement la réfractivité de la partie sèche et la réfractivité de la partie humide.

La partie sèche peut être déterminée avec une grande précision à partir des mesures de pression et de température au sol. Par contre, le délai humide est particulièrement difficile en raison de la forte variabilité de la vapeur d'eau en fonction de l'altitude. De plus, sa mesure par ballons sondes ne permet pas d'en suivre les variations temporelles [9]. Une possibilité de s'affranchir de ce problème est l'estimation des paramètres troposphériques qui permet de calculer une valeur approchée du délai zénithal humide [7].

3. Méthodologie Adoptée

Afin de mener à bien notre travail qui consiste à une étude comparative des différents modèles troposphériques pour des applications géodésiques, nous avons effectué une campagne d'observations GPS comportant trois stations : Arzew, Oran et Murdjajo. L'objectif est de déterminer, en fonction de la longueur des bases observées, le modèle troposphérique optimal à appliquer à l'analyse des mesures GPS. Les récepteurs utilisés lors de cette campagne sont de type Ashtech ZXII-3 bifréquences. Les deux premières stations (Arzew et Oran) ont quasiment la même altitude et la distance les séparant est d'environ 38 km. Par contre, la ligne de base "Oran-Murdjado" d'une longueur de 9 km, présente une dénivelée de 550 m. D'autres sessions d'observations GPS comportant trois stations du réseau ALGEONET (ALgerian GEOdynamical NETwork) ont été utilisées : Alger, Tamanrasset et Madrid. Les deux stations Alger et Tamanrasset ont été observées pendant 24 heures avec la station permanente Madrid. Lors des traitements, nous avons utilisé d'une part, les éphémérides précises pour réduire les erreurs d'orbites, et d'autre part, la combinaison linéaire L3 afin de s'affranchir de l'effet ionosphérique. Le logiciel de traitement de données GPS utilisé dans le cadre de ce travail est Bernese Version 4.2. La méthodologie adoptée comporte trois grandes étapes :

- 1^{ère} étape : préparation des données.
- 2^{ème} étape : traitement des observations GPS.
- 3^{ème} étape : analyse des résultats obtenus.

4. Traitement et Analyse des Résultats

Les observations GPS traitées sont constituées de trois lignes de base de différentes longueurs. Il s'agit des bases "Oran-Murdjado" (≈ 9 Km) de forte dénivelée (≈ 550 m), "Alger-Tamanrasset" (≈ 2000 Km) et "Alger-Madrid" (≈ 760 Km)". Les tests effectués ont porté sur la détermination, en fonction de la longueur de la ligne de base mesurée, du modèle troposphérique optimal à appliquer à l'analyse des données GPS. L'analyse des résultats est basée sur les valeurs de l'écart type (RMS).

Base "Oran-Murdjado"

Les figures 2, 3 et 4 illustrent la variation du RMS sur les coordonnées géographiques (λ , ϕ , h_c) des deux stations en fonction de la stratégie de traitement adoptée pour le choix du modèle troposphérique. En abscisse, les chiffres de 1 à 6 représentent la stratégie de traitement, telle que :

- 1 : Sans modèle troposphérique
- 2 : Saastamoinen sans fonction de projection.

- 3 : Hopfield sans fonction de projection
- 4 : Saastamoinen avec fonction de projection.
- 5 : Essen et Froome
- 6 : Fonction de Dry Niell sans modèle à priori

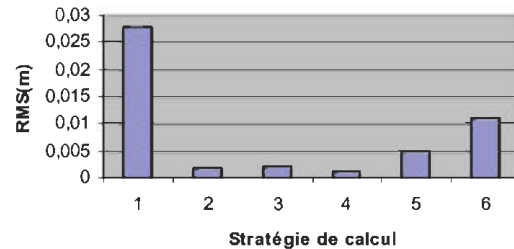


Fig. 2 RMS sur l'altitude.

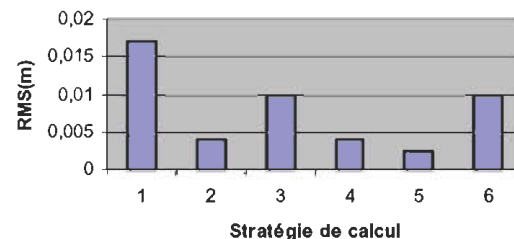


Fig. 3 RMS sur la latitude.

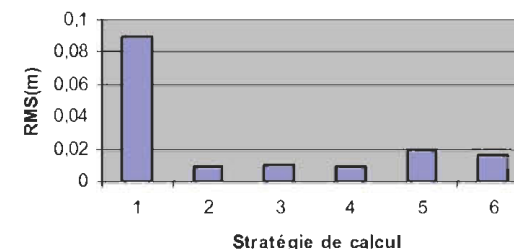


Fig. 4 RMS sur la longitude.

Nous remarquons que :

- les RMS sur les coordonnées (λ , ϕ , h_c) obtenus avec la stratégie (1) de traitement sans modèle troposphérique, sont importants (≈ 10 cm sur λ).
- L'utilisation des modèles troposphériques avec ou sans leurs fonctions de projections (stratégies 2, 3 et 4) donne des RMS similaires sur les trois composantes (ϕ , λ , h_c), (≈ 4 mm sur ϕ , 9 mm sur λ et 2 mm sur h_c).
- L'emploi du modèle de Froome (stratégie 5) fournit des résultats plus précis sur (ϕ , h_c) (≈ 2 mm sur ϕ et 5 mm sur h_c) que sur la longitude (≈ 2 cm).
- l'emploi de la fonction de Dry Niell sans modèle à priori (stratégie 6) donnent des résultats moins précis (1 cm sur les trois composantes); ceci s'explique par le fait que l'on traite une ligne de base dont les deux extrémités ne sont pas dans la même couche atmosphérique.

Base "Alger-Tamanrasset"

Les figures 5, 6 et 7 montrent la variation du RMS en fonction de la stratégie de traitement adoptée pour le choix du modèle troposphérique.

Notre analyse porte sur la comparaison des résultats obtenus avec ceux de la campagne GPS du projet ALGEONET-1998, considérés comme une solution de référence. L'analyse du RMS a permis de vérifier la qualité du traitement.

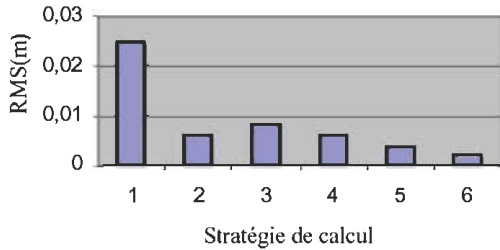


Fig. 5 RMS sur l'altitude.

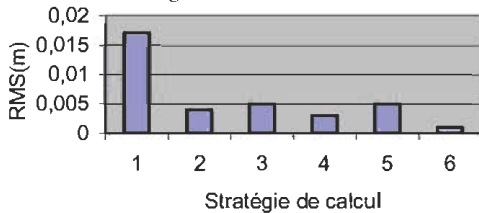


Fig. 6 RMS sur la latitude.

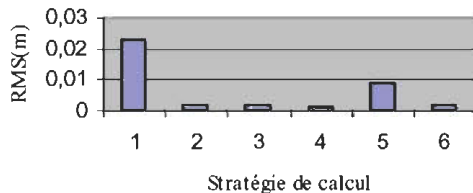


Fig. 7 RMS sur la longitude.

Les figures 2, 3 et 4 montrent que :

- les RMS sur les coordonnées (φ , λ , h_e), obtenus sans l'application du modèle troposphérique (stratégie 1), sont importants ($\cong 3$ cm).
- L'utilisation des modèles troposphériques avec ou sans leurs fonctions de projections (stratégies 2, 3 et 4) donne des RMS similaires ($\cong 3$ mm sur (φ , λ) et 7mm sur h_e).
- L'utilisation du modèle d'Essen et Froome (stratégie 5) donne des résultats moins précis par rapport à ceux obtenus pour la base Oran-Murjadjo ; ceci s'explique par le fait que les deux stations (Alger et Arzew) ne sont pas dans le même horizon ($\cong 1$ cm sur λ , et 6 mm sur φ et h_e).
- L'emploi de la fonction de Dry Niell (stratégie 6) a permis d'obtenir de meilleurs résultats (RMS $\cong 2$ mm sur les trois composantes).

Base "Alger- Madrid"

Le calcul de la ligne de base Alger-Madrid ($\cong 760$ km) a été effectué avec les mêmes conditions que celui de la base Alger-Arzew. Les trois figures 8, 9 et 10 montrent la variation du RMS en fonction de la stratégie de traitement adoptée pour le choix du modèle troposphérique.

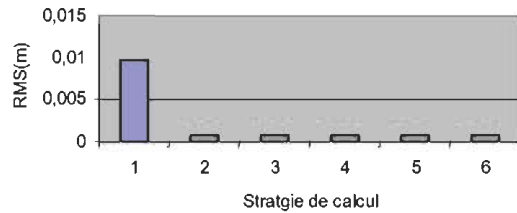


Fig. 8 RMS sur l'altitude.

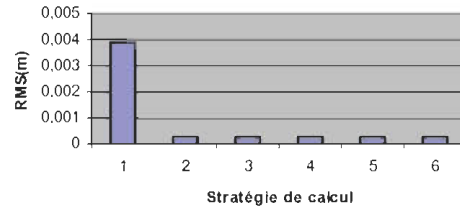


Fig. 9 RMS sur la latitude.

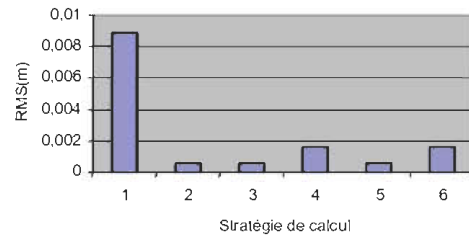


Fig. 10 RMS sur la longitude.

D'après les figures 8, 9 et 10, nous remarquons que :

- Pour les trois composantes, l'emploi des modèles troposphériques de Saastamoinen et de Hopfield avec ou sans leur fonctions de projections (stratégies 2, 3 et 4) donnent presque les mêmes résultats ($\cong 7$ mm sur h_e et λ , et 3 mm sur φ).
- Le modèle d'Essen et Froome et la fonction de Dry Niell (stratégies 5 et 6) donnent presque les mêmes résultats sur les composantes (λ , φ) ($\cong 0.3$ mm sur φ et 0.7 mm sur λ). Par contre, sur la composante h_e , le RMS atteint 1.6 mm avec la fonction de Dry Niell.

5. Conclusion

Le but de cette étude vise principalement à proposer une stratégie de traitement des données GPS permettant d'améliorer la précision de la composante verticale. Les résultats obtenus des traitements nous ont permis de conclure que:

- Le paramètre troposphérique est très corrélé avec les trois composantes de la ligne de base.
- L'effet de la troposphère ne peut pas être négligé dans la détermination des altitudes précises par la technique GPS.
- La non utilisation des modèles troposphériques donne évidemment des résultats de mauvaise qualité. Bien que l'on puisse considérablement minimiser les effets troposphériques sur les observations GPS, le milieu de propagation demeure essentiellement la limite de précision du système.

- Les meilleurs résultats sont obtenus en employant les modèles de Saastamoinen avec sa fonction de projection.

- L'utilisation du modèle de Hopfield donne pratiquement des résultats similaires à ceux obtenus avec le modèle de Saastamoinen.

- La fonction de Dry Niell sans modèle à priori permet d'avoir des résultats meilleurs sur les 3 composantes pour les longues lignes de bases.

En perspective, il est intéressant d'appliquer la méthodologie proposée dans cet article avec d'autres jeux de données effectuées en différentes époques de l'année (quatre saisons). Ceci, nous permet de mieux étudier l'évolution de la troposphère qui pourra servir à la détermination de l'intervalle de temps optimal d'ajustement du retard zénithal dû à la composante humide.

Références Bibliographiques

Duquenne F., 2000 : *Les techniques de positionnement précis par GPS*. Rapport technique, ESGT/France.

Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J., 1994 *Global Positioning System. Theory and Practic*. Springer-Verlag, New York, Third edition.

Hopfield H., 1969 : *Two quadratic refractivity profile of correcting satellite data*. Journal of Geophysical Research.

Hugentobler U., Schaer H., Fridez P., 2001 : *Bernese GPS Software Version 4.2*. Université de Berne.

Kahlouche S., 1986 : *Performances de la technique Doppler sur satellites pour le positionnement absolu et différentiel*. Thèse de doctorat IGN/France.

Kleijer F., 2004 : *Troposphere Modeling and Filtering for Precise GPS Leveling*. PHD Thesis. University of Delft.

Legrand J., 2000 : *Utilisation du logiciel de l'université de berne pour le traitement des données GPS*. Mémoire d'ingénieur ESGT. France.

Naamaoui H., 2005 : *Modélisation de l'effet troposphérique pour la détermination précise des réseaux GPS. Cas des stations permanentes*. Mémoire de Magister, CNTS, Arzew.

Ning L., 2001 : *Precise Relative Positioning of Multiple Moving Platforms using GPS Carrier Phase Observables*. PHD Thesis. University of Calgary.

Sources d'erreurs et combinaisons linéaires des trois fréquences du système Galileo pour le positionnement différentiel

L. TABTI, A. ZEGGAI, B. GHEZALI, S. TOUAM
Division de Géodésie Spatiale - Centre des Techniques Spatiales.
1, Avenue de la Palestine BP 13, 31200 Arzew
Email : thouaria@yahoo.fr

ملخص : يمكن أن تحدد دقة التفاضل لغاليلو بدرجة أعلى من تلك التي تحدها حالياً أجهزة تحديد المواقع GPS (من درجة السنتيمتر أو أفضل). على أية حال، يؤدي استعمال هذه الطرق إلى بعض الصعوبات والمتطلبات في العلاقة مع خط الأساس ومختلف مصادر الأخطاء.

يتمحور تطور المناهج الملائمة، المستندة على تعدد الدمج الخطي الذي يعرضه نظام غاليلو للإزالة أو تخفيض المفاعلات التي تعود بشكل رئيسي إلى وسط الانتشار، الجداول الفلكية للأقمار الصناعية، تشويش القياسات والمسالك المتعددة.

يتمثل الهدف من هذه المقالة في تطبيق منهجية تسمح بتحديد دمج خطي أفضل للترددات الثلاثة لغاليلو القابلة للتطبيق على التحديد التفاضلي. إختيار الدمج الخطي يعتمد بشكل رئيسي على طول خط الأساس وتأثير كل خطأ على نوعية النتائج المزودة من قبل غاليلو وحاجات المستعمل.

الكلمات الأساسية : غاليلو، دقة التفاضل، مدار، تشويش، مسلك متعدد، دمج خطي، عموض.

Résumé : La précision du positionnement différentiel par GALILEO peut atteindre un degré de précision supérieur à celui fourni actuellement par GPS (de l'ordre du cm ou mieux). Cependant, l'utilisation de ces méthodes entraîne quelques contraintes et exigences en relation avec la ligne de base et les différentes sources d'erreurs.

Le développement de méthodes plus appropriées, basées sur une multitude de combinaisons linéaires qu'offrent le système GALILEO, permet l'élimination ou la réduction des effets dues principalement au milieu de propagation, aux éphémérides des satellites, au bruit des mesures et aux trajets multiples.

L'objectif de cet article consiste à mettre en œuvre une méthodologie permettant de déterminer la meilleure combinaison linéaire des trois fréquences GALILEO applicable au positionnement différentiel.

Le choix de la combinaison linéaire dépend principalement de la longueur de la ligne de base, de l'influence de chaque erreur sur la qualité des résultats fournis par GALILEO et des besoins de l'utilisateur.

Mots clés : GALILEO, positionnement différentiel, troposphère, orbite, ionosphère, bruit, multi trajet, combinaison linéaire, ambiguïté.

Abstract : The accuracy of the differential positioning by GALILEO can reach a degree of superior accuracy to the one supplied currently by GPS (of the order of the cm or better). However, the use of these methods involve some constraints and requirements in relation with the baseline and the different sources of errors.

The development of more appropriate methods, based on a multitude of linear combinations that the GALILEO system offers, permits the elimination or the reduction of the effects due mainly to the middle of propagation, to the ephemeris of the satellites, to the noise of the measures and to the multipaths.

The objective of this article consists in the implement of a methodology permitting to determine the best linear combination of the three frequencies GALILEO applicable to the differential positioning.

The choice of the linear combination depends mainly on the length of the baseline, of the influence of every error on the quality of the results provided by GALILEO and the user's needs.

Key words : GALILEO, differential positioning, troposphere, orbit, ionosphere, noise, multipath, linear combination, ambiguity.

1. Introduction

Le système GPS a été conçu et mis en place pour répondre aux besoins militaires, et s'est ensuite ouvert aux applications civiles, dont l'importance et la diversité ont progressivement pris une ampleur qui n'avait pas été imaginée lors du lancement de ce programme.

A l'inverse, GALILEO est un système civil, dont l'une des motivations a été de compléter le système américain qui a quelques faiblesses; notamment, dans la précision en temps réel, la fiabilité, la continuité et la disponibilité.

GALILEO propose alors plusieurs niveaux de services à accès plus ou moins restreint : un service ouvert et gratuit (OS - Open Service) équivalent à l'actuel SPS du GPS sans SA, un service commercial (CS-Commercial Service), un service public réglementé (PRS - Public Regulated Service) ou service gouvernemental, un service de sauvegarde de la vie (SoL - Safety of Life) et un service de recherche et de sauvetage (SAR - Search And Rescue).

La constellation finale prévue est composée de 30 satellites répartis sur trois plans orbitaux inclinés de 56° sur l'équateur. Chaque satellite est placé en orbite quasi circulaire à une altitude de 23 616 Km, soit une période de révolution de 14 heures 21 minutes. Cette configuration des satellites permettra ainsi une couverture correcte des régions de haute latitude atteignant 75°.

Chaque plan orbital comprend neuf satellites régulièrement répartis dont un est gardé en réserve permettant le remplacement d'un satellite défaillant. Actuellement, 02 satellites sont en service : GIOVE-A et GIOVA-B lancés respectivement les 28/12/2005 et 27/04/2008 [9].

Le thème développé à travers cet article consiste d'une part, à une étude sur les principaux effets sur les mesures GALILEO, notamment le milieu de propagation, les éphémérides des satellites, le bruit des mesures et le multi trajet, et d'autre part, à mettre en œuvre une méthodologie permettant de déterminer la meilleure combinaison linéaire des trois fréquences GALILEO applicable au positionnement différentiel.

L'analyse a montré que le choix de la combinaison linéaire dépend principalement de la longueur de la ligne de base, de l'influence de chaque erreur sur la précision des résultats et des besoins de l'utilisateur.

L'horloge interne de chaque satellite fournit une fréquence fondamentale $f_0=10,23$ MHz. Quatre (04) bandes de fréquences (E2-L1-E1, E6, E5b, et E5a) seront utilisées par les satellites GALILEO pour transmettre dix (10) signaux (tableau 1) [2], [3].

Tableau 1. Bandes de fréquences GALILEO.

Bandes de fréquences (MHz)	Signaux émis	Fréquence centrale (MHz)	Longueur d'onde (cm)
E2-L1-E1 1559-1591	(E2-L1-E1) _A , (E2-L1-E1) _B , (E2-L1-E1) _C	1575.420	19.03
E6 1260-1300	E6 _A , E6 _{BI} , E6 _{BQ}	1278.750	23.44
E5b 1188-1215	E5b _L , E5b _Q	1207.140	24.8
E5a 1164-1215	E5a _L , E5a _Q	1176.450	25.4

2. Positionnement différentiel

Le mode de positionnement différentiel consiste à déterminer la position d'un utilisateur, en temps réel, relativement à un point de référence. Le résultat du traitement est donc un vecteur dont l'origine est le point de référence et l'extrémité la position de l'utilisateur. Soient un récepteur r et un satellite s , les équations d'observations de la mesure du code P (pseudo distance) et de la phase ϕ pour une fréquence f_i du système GALILEO s'écrivent respectivement sous la forme suivante [7] :

$$P_{r,i}^s = \rho_r^s + d\rho_r^s + \delta_{r,i} - \delta^{s,i} + T_r^s + \frac{f_1^2}{f_i^2} I_r^s + \varepsilon_{r,i}^s \quad (1)$$

$$\phi_{r,i}^s = \rho_r^s + d\rho_r^s + \delta_{r,i} - \delta^{s,i} + T_r^s - \frac{f_1^2}{f_i^2} I_r^s + \lambda_i N_{r,i}^s + \varepsilon_{r,i}^s \quad (2)$$

Avec :

p : distance géométrique entre le récepteur r et le satellite s

dp : erreur d'orbite

δ : erreur des horloges récepteur r et satellite s

i : E2-L1-E1, E6, E5b et E5a

T : retard troposphérique

I : retard ionosphérique

ε : bruit du récepteur et erreur du multi trajet

λ : longueur d'onde

N : ambiguïté entière.

2.1 Positionnement différentiel sur la phase

Comme le GPS, les observations GALILEO ne sont pas parfaites et sont affectées par différentes erreurs qui peuvent être éliminées ou réduites par les combinaisons linéaires des observations ou des fréquences.

La double différence sur la phase est la combinaison de mesures destinée aux applications de grande précision (centimétrique ou mieux); car elle exploite les avantages de la simple différence par récepteur. Soient deux récepteurs (inc et ref) et deux satellites (si et sj), l'équation de la double différence s'exprime simplement par :

$$\nabla\Delta\phi = \Delta\phi^{si} - \Delta\phi^{sj} = (\phi_{inc}^{si} - \phi_{ref}^{si}) - (\phi_{inc}^{sj} - \phi_{ref}^{sj}) \quad (3)$$

Les équations (4, 5 et 6) décrivent les équations d'observations simplifiées associées à la double différence de mesure de phases. Elles montrent que les termes dépendant uniquement du récepteur et du satellite sont mathématiquement éliminés par cette combinaison de mesures. Leurs expressions pour les trois fréquences (E2-L1-E1, E5b, E5a) utilisées pour le service ouvert (OS) de GALILEO sont données par :

$$\nabla\Delta\phi_1 = \frac{1}{\lambda_1} (\nabla\Delta\rho + \nabla\Delta d\rho + \nabla\Delta T) - \frac{\nabla\Delta I_1}{\lambda_1} + \nabla\Delta N_1 + \nabla\Delta\epsilon_1 \quad (4)$$

$$\nabla\Delta\phi_2 = \frac{1}{\lambda_2} (\nabla\Delta\rho + \nabla\Delta d\rho + \nabla\Delta T) - \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \frac{\nabla\Delta I_1}{\lambda_1} + \nabla\Delta N_2 + \nabla\Delta\epsilon_2 \quad (5)$$

$$\nabla\Delta\phi_3 = \frac{1}{\lambda_3} (\nabla\Delta\rho + \nabla\Delta d\rho + \nabla\Delta T) - \frac{\lambda_3}{\lambda_1} \frac{\nabla\Delta I_1}{\lambda_1} + \nabla\Delta N_3 + \nabla\Delta\epsilon_3 \quad (6)$$

Telles que ϕ_1 , ϕ_2 et ϕ_3 représentent les phases observées respectivement sur les porteuses E2-L1-E1, E5b et E5a, et λ_1 , λ_2 et λ_3 les longueurs d'ondes associées.

Les principales inconnues de la méthode du positionnement différentiel par mesure de phase sont la position de l'utilisateur et les inconnues d'ambiguïtés entières. Pour tenir compte des termes secondaires intervenant dans l'équation d'observation de la double différence, trois méthodes sont envisageables :

- Considérer ces termes comme des inconnues - supplémentaires du problème.
- Modéliser ces termes.
- Utiliser des combinaisons linéaires de fréquences permettant d'éliminer ou de réduire l'effet de ces erreurs sur la précision de la mesure et sur la résolution d'ambiguïté.

En pratique, la dernière méthode est la plus couramment utilisée dans le positionnement précis. Ce choix est lié aux performances du système qui se dégradent progressivement en fonction de la distance au point de référence ainsi que particulièrement des conditions atmosphériques.

2.2 Forme générale de la combinaison linéaire (LC) de trois fréquences

L'équation 7 représente la forme générale de la combinaison linéaire des trois phases :

$$\nabla\Delta\phi_{LC} = [K_1 \ K_2 \ K_3] \begin{bmatrix} \nabla\Delta\phi_1 \\ \nabla\Delta\phi_2 \\ \nabla\Delta\phi_3 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Avec :

K_1, K_2, K_3 : coefficients représentant des nombres entiers afin d'assurer la conservation du caractère entier des ambiguïtés après combinaison.

ϕ_{LC} : nouvelle mesure de phases.

La fréquence f_{LC} et la longueur d'onde λ_{LC} associées à la mesure de phase ϕ_{LC} sont données par :

$$f = [K_1 \ K_2 \ K_3] \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\lambda_{LC} = \frac{1}{\frac{K_1}{\lambda_1} + \frac{K_2}{\lambda_2} + \frac{K_3}{\lambda_3}} \quad (9)$$

Avec : $\frac{K_1}{\lambda_1} + \frac{K_2}{\lambda_2} + \frac{K_3}{\lambda_3} > 0$

D'après les équations de la double différence (4), (5), (6) et de la combinaison des trois phases (7), la double différence de la combinaison linéaire en cycle peut s'écrire comme suit :

$$\nabla\Delta\phi_{LC} = \frac{1}{\lambda_{LC}} (\nabla\Delta\rho + \nabla\Delta d\rho + \nabla\Delta T) - \nabla\Delta N_{LC} - \left(K_1 + K_2 \frac{\lambda_2}{\lambda_1} + K_3 \frac{\lambda_3}{\lambda_1} \right) \frac{\nabla\Delta I_1}{\lambda_1} + \nabla\Delta\epsilon_{LC} \quad (10)$$

Où :

-Le premier terme représente les erreurs cohérentes avec la fréquence (*troposphère et orbite*).

-Le deuxième terme représente la combinaison linéaire des ambiguïtés qui est formulée par :

$$N_{LC} = K_1 \times N_1 + K_2 \times N_2 + K_3 \times N_3,$$

-Le troisième terme représente les erreurs dépendantes de la fréquence (*ionosphère*).

-Enfin, le dernier terme représente la combinaison des erreurs indépendantes de la fréquence (*bruit du récepteur et multi trajet*).

La réduction de chaque erreur dépend de la longueur de la ligne de base observée

2.3 Principales combinaisons linéaires (LC) des trois fréquences

Les observations de phase triple fréquence peuvent être linéairement combinées afin d'obtenir des porteuses dont les propriétés sont différentes des porteuses originales (E2-L1-E1, E5b et E5a). Les propriétés des nouvelles porteuses sont mises à profits pour le développement des algorithmes de

résolution des ambiguïtés. Les trois fréquences auront l'avantage d'améliorer la fiabilité et la consistance du système, car il devient possible d'avoir plusieurs combinaisons qui peuvent à la fois avoir une grande longueur d'onde et réduire l'effet des erreurs atmosphériques, du bruit de mesure et de trajets multiples [4].

Le tableau 2 représente les meilleures combinaisons triple fréquences du service ouvert avec la longueur d'onde résultante et l'ambiguïté entière :

Tableau 2. Combinaisons triple fréquences du service ouvert du système GALILEO.

Combinaisons linéaires (LC)	K1	K2	K3	λ_{LC} (m)	N_{LC}
E2-L1-E1	1	0	0	0.1903	N_1
E5b	0	1	0	0.2480	N_2
E5a	0	0	1	0.2540	N_3
EWL	0	1	-1	9.768	N_2-N_3
WL	1	-1	0	0.814	N_1-N_2
ML	1	0	-1	0.751	N_1-N_3

La fréquence de EWL (0,1,-1) est de $f_2-f_3=30.69$ MHz, ce qui correspond à une longueur d'onde de 9.768m. L'équation d'observation de cette combinaison est donnée par :

$$\nabla\Delta\phi = \frac{1}{\lambda}(\nabla\Delta\rho + \nabla\Delta d\rho + \nabla\Delta T) + \nabla\Delta N - \left(\frac{\lambda_1}{\lambda} - \frac{\lambda_2}{\lambda_3}\right) \frac{\nabla\Delta I_1}{\lambda_1} \nabla\Delta\varepsilon \quad (11)$$

A partir de E2-L1-E1 et E5b, on peut former la combinaison WL (1,-1,0) telle que :

$$\nabla\Delta\phi = \frac{1}{\lambda}(\nabla\Delta\rho + \nabla\Delta d\rho + \nabla\Delta T) + \nabla\Delta N - \left(1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_3}\right) \frac{\nabla\Delta I_1}{\lambda_3} \nabla\Delta\varepsilon \quad (12)$$

La fréquence est alors $f=f_1-f_2=368.28$ MHz, et la longueur d'onde correspondante est 0.814 m.

Et, à partir de E2-L1-E1 et E5a on peut former la combinaison ML de fréquence $f_1-f_3= 398.97$ MHz et une longueur d'onde de 0.751m. L'équation d'observation de la combinaison ML (1, 0, -1) est donnée par :

$$\nabla\Delta\phi = \frac{1}{\lambda}(\nabla\Delta\rho + \nabla\Delta d\rho + \nabla\Delta T) + \nabla\Delta N - \left(1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_3}\right) \frac{\nabla\Delta I_1}{\lambda_1} \nabla\Delta\varepsilon \quad (13)$$

3. Choix optimal de la combinaison linéaire des trois fréquences

Le choix de la meilleure combinaison linéaire dépend principalement de la longueur de la ligne de base observée et de l'influence de chaque source d'erreur sur la qualité des résultats.

Pour des raisons d'indisponibilité de données GALILEO, l'étude menée à travers cet article consiste à déterminer la combinaison linéaire optimale dépendant uniquement des principales sources d'erreurs à savoir, les effets dues au milieu de propagation, aux éphémérides des satellites, au bruit de mesure et au multi trajet.

3.1 Effet troposphérique et orbitale

La troposphère est un milieu non dispersif, son effet sur la position est donc le même pour les trois fréquences GALILEO et sur tous les types d'observation (code et phase). Il n'est donc pas possible de le corriger en utilisant deux ou trois fréquences différentes. Cet effet intervient comme une correction T à apporter à la distance par rapport à un trajet dans le vide.

D'après l'équation [10], on peut écrire cette erreur (en cycle) comme suit :

$$\nabla\Delta G_{LC} = \frac{1}{\lambda_{LC}} \cdot \nabla\Delta\rho + \nabla\Delta d\rho + \nabla\Delta T, \quad (14)$$

$$= \beta_G \frac{\nabla\Delta\rho + \nabla\Delta d\rho + \nabla\Delta T}{\lambda_1}$$

Tel que : $\beta_G = (\lambda_1 / \lambda_{LC})$, indique l'influence des erreurs géométriques par rapport à E2-L1-E1; Ce qui signifie que si la longueur d'onde λ_{LC} est supérieure à λ_1 alors l'influence des erreurs géométriques (en cycle) par rapport à E2-L1-E1 est diminuée. Par contre, cette erreur exprimée en mètre est constante et égale à 1.

Le tableau 3 fournit l'erreur troposphérique et orbitale pour chaque combinaison linéaire.

Tableau 3. Erreurs dues à la troposphère et à l'orbitale (combinaisons linéaires triple fréquence)

Combinaisons linéaires (LC)	L'erreur troposphérique et orbitale (en cycle)
E2-L1-E1	1
E5b	0.76
E5a	0.74
EWL	0.019
WL	0.234
ML	0.253

Le tableau 3 montre que l'influence des effets troposphérique et orbital (0.019) est relativement minime pour la combinaison EWL qui est caractérisée par une grande longueur d'onde (9.768 m).

Dans le cas où $\frac{K_1}{\lambda_1} + \frac{K_2}{\lambda_2} + \frac{K_3}{\lambda_3} = 0$, cette

combinaison aura une longueur d'onde infinie, et donc l'effet des erreurs géométriques en cycle sera nul. Cette combinaison, notée GF, est appelée "libre géométrie (geometry-free)".

Puisque nous disposons de trois fréquences, nous pouvons donc avoir trois combinaisons libre-géométrie (alors qu'avec deux fréquences on en a seulement une). Le tableau 4 fournit les trois combinaisons libres géométries :

Tableau 4. Combinaisons libres géométries.

Combinaisons linéaires (LC)	K ₁	K ₂	K ₃
GF ₁₂	118	-154	0
GF ₁₃	115	0	-154
GF ₂₃	0	115	-118

Ces combinaisons augmentent l'erreur de l'ionosphère, le bruit et les trajets multiples car elles sont caractérisées par une longueur d'onde infinie. Les combinaisons libres géométries sont indépendante de la géométrie (orbites et les coordonnées de station). Elles contiennent le retard ionosphérique, les effets des trajets multiples et l'ambiguïté de phase (non entière). Cette combinaison n'a pas d'usage dans la pratique, parce qu'elle est caractérisée par une longueur d'onde indéterminée.

3.2 Effet ionosphérique

L'ionosphère est un milieu dispersif; c'est-à-dire que l'indice de réfraction dépend de la longueur d'onde. Une conséquence importante de la dispersion du milieu ionosphérique est que, sur les trois fréquences, les mesures de phase ne sont pas affectées de la même manière (même pour une fréquence les mesure de phase et de pseudo distances ne sont pas affectées de la même manière). Pour des distances plus ou moins grandes, l'effet de l'ionosphère peut considérablement dégrader la qualité de la mesure ce qui présente donc un obstacle pour le processus de fixation des ambiguïtés. L'erreur ionosphérique de la combinaison linéaire de la double différence exprimée en mètre s'écrit :

$$\nabla\Delta I_{LC} = \alpha_I \nabla\Delta I_1 \quad (15)$$

Avec :

$$\alpha_I = \left(K_1 + K_2 \frac{\lambda_2}{\lambda_1^2} + K_3 \frac{\lambda_3}{\lambda_1^2} \right) \lambda_{LC} \quad (16)$$

Et, celle exprimée en cycle a la forme suivante :

$$\nabla\Delta I_{LC} = \beta_I \frac{\Delta\nabla I_1}{\lambda_1} \quad (17)$$

$$\beta_I = K_1 + K_2 \frac{\lambda_2}{\lambda_1} + K_3 \frac{\lambda_3}{\lambda_1} \quad (18)$$

Le tableau 5 fournit l'erreur ionosphérique commise par chaque combinaison linéaire triple fréquence :

Tableau 5. Erreurs ionosphériques pour les combinaisons linéaires triple fréquence.

Combinaisons Linéaires (LC)	L'erreur ionosphérique	
	En cycle β_I	En mètre α_I
E2-L1-E1	$\nabla\Delta I_1 / \lambda_1$	$\nabla\Delta I_1$
E5b	$1.30(\nabla\Delta I_1 / \lambda_1)$	$(1.30)^2 \nabla\Delta I_1$
E5a	$1.33(\nabla\Delta I_1 / \lambda_1)$	$(1.33)^2 \nabla\Delta I_1$
EWL	$-0.03(\nabla\Delta I_1 / \lambda_1)$	$-1.74 \nabla\Delta I_1$
WL	$-0.29(\nabla\Delta I_1 / \lambda_1)$	$-1.30 \nabla\Delta I_1$
ML	$-0.33(\nabla\Delta I_1 / \lambda_1)$	$-1.33 \nabla\Delta I_1$

Il est plus intéressant d'éliminer l'erreur ionosphérique en combinant E2-L1-E1 et E5a (rapport: $\lambda_1 / \lambda_3 = 0.74$) au lieu de combiner E2-L1-E1 et E5b (rapport: $\lambda_1 / \lambda_2 = 0.76$). Néanmoins, pour les grandes lignes de base et la résolution des ambiguïtés, il est préférable d'utiliser la combinaison E5b et E5a qui a une grande longueur d'onde et un rapport ($\lambda_2 / \lambda_3 = 0.97$) plus grand.

3.3 Effet du bruit de mesure et multi trajet

L'erreur du multi trajet se produit quand le signal arrive au récepteur après plus d'un trajet à cause de réflexions près du récepteur. Le multi trajet, erreur difficile à corriger, ne dépend pas de la distance entre les sites d'observation mais bien de l'environnement des sites d'observation et du type d'antenne. Le bruit de mesure est tout bruit généré par le récepteur lui-même lors de la réception des mesures de code ou de phase.

Le bruit de mesure sur la phase est égale à % de la longueur d'onde : $\sigma_\varphi = \alpha\% \lambda_i$. Donc, pour la double différence ce bruit est amplifié et devient : $\sigma_\varphi = 2\alpha\% \lambda_i$ [8]

Si l'erreur causée par le bruit et le multi trajet sur E2-L1-E1 est le même que sur E5a et E5b, l'erreur sur la combinaison linéaire des trois fréquences de la double différence sera formulée comme suit :

$$\nabla\Delta \sigma_{LC} = \frac{1}{\lambda_1} \sqrt{K_1^2 + K_2^2 + K_3^2} \sigma \text{ (cycle)} \quad (19)$$

$$\nabla\Delta \sigma_{LC} = \frac{\lambda_{LC}}{\lambda_1} \sqrt{K_1^2 + K_2^2 + K_3^2} \sigma \text{ (mètre)} \quad (20)$$

Nous remarquons que toutes les combinaisons exprimées en cycle (équation 19) provoquent une amplification du bruit de mesure et des trajets multiples. Par contre, les combinaisons formulées en unité de mètre (équation 20), seules les longueurs d'ondes de la combinaison linéaire supérieures à celle de E2-L1-E1 qui intensifient ces erreurs.

Tableau 7. Erreurs (bruit + trajets multiples).

Combinaisons linéaires (LC)	Erreur (bruit + multi trajet)	
	En cycle	En mètre
E2-L1-E1	σ	0.1903σ
E5b	σ	0.2480σ
E5a	σ	0.2540σ
EWL	1.41σ	13.7728σ
WL	1.41σ	1.1477σ
ML	1.41σ	1.0589σ

Le tableau 7 montre que l'effet du bruit de mesure et du multi trajet sur les combinaisons (EWL, WL, ML) est plus important que celui sur les combinaisons (E2-L1-E1, E5a, E5b). Par conséquent, l'erreur sur la position déterminée sera plus élevée.

Il existe d'autres combinaisons linéaires permettant la réduction de l'influence du bruit et du multi trajet mais elles sont généralement caractérisées par une courte longueur d'onde, ce qui rend difficile la résolution d'ambiguïté.

4. Conclusion

GALILEO est un système de positionnement adapté aux différents types d'utilisateurs (grand public, commercial, service public, recherche et sauvetage, etc.). L'utilisation des trois fréquences (E2-L1-E1, E5a et E5b) triple le nombre de mesures, permettant ainsi une meilleure résolution des ambiguïtés et une amélioration des corrections troposphériques. De plus, la durée de la session d'observations nécessaire pour l'obtention d'un positionnement précis, serait automatiquement écourtée. D'autre part, la constellation prévue est composée d'un grand nombre de satellites qui émettent sur plusieurs fréquences, ce qui permettra une amélioration des produits en temps réel.

Le choix de la combinaison linéaire dépend principalement de la longueur de la ligne de base, de l'influence de chaque erreur sur la précision de cette ligne de base et des besoins de l'utilisateur. Pour les grandes lignes de base, l'ionosphère et la troposphère pourront être les principales sources d'erreurs; Dans ce cas, la meilleure combinaison est celle qui permet de minimiser ces erreurs en unité de cycle pour permettre la résolution des ambiguïtés. Concernant les courtes lignes de base, l'effet dû au milieu de propagation (ionosphère et troposphère) est quasiment éliminé par la double différence. En revanche, l'effet des autres sources d'erreurs,

notamment le bruit des mesures et les trajets multiples, restera important. Par conséquent, la combinaison idéale sera celle qui permet de réduire l'influence de ces erreurs.

En conclusion, plus la longueur d'onde associée à la combinaison linéaire est élevée, plus la résolution des ambiguïtés est aisée. A l'inverse, plus la longueur d'onde est faible, plus la précision sur la mesure est meilleure.

Références Bibliographiques

- DURAND S., 2003 : "Amélioration de la précision" de la localisation différentielle temps réel par mesure de phase des systèmes GNSS: étude détaillée des équations d'observation et du problème de résolution des ambiguïtés entières". Thèse de Docteur de l'Observatoire de Paris.
- EUROPEAN COMMISSION, 2002 : "GALILEO High Level Mission Definition". Document, Ver.3.0, 23.02.2002.
- EUROPEAN COMMISSION, 2003: "The Galileo project : GALILEO Design Consolidation".
- HAN S., RIZOS C., 1999: "The Impact of Two Additional Civilian GPS Frequencies on Ambiguity Resolution Strategies". School of Geomatic Engineering - University of New South Wales Sydney, NSW 2052, Australia.
- PHALKE S., 2006 : "GPS and Galileo Performance Evaluations for Multiple Reference Station Network Positioning". Ph.D. thesis, Geomatics Engineering, University of Calgary.
- RICHERT T., 2005 : "The Impact of Future Global Navigation Satellite Systems on Precise Carrier Phase Positioning". Ph.D. Thesis, Geomatics Engineering, University of Calgary.
- TIBERIUS C., PANY T., EISSFELLER B., JONG K., JOOSTEN P., VERHAGEN S., 2002: "Integral GPS-Galileo ambiguity resolution. Institute of Geodesy and Navigation". University Federal Armed Forces Munich Germany.
- ZHANG W., 2005 : "Triple Frequency Cascading Ambiguity Resolution for Modernized GPS and GALILEO." Master thesis, UCGE Report 20228, Geomatics Engineering, University of Calgary.
- Site Web de l'AGENCE SPATIALE EUROPEENNE (ESA) : www.esa.int

Automated updating of building data bases from digital surface models and multi-spectral images: potential and limitations

F. ROTTENSTEINER

Cooperative Research Centre for Spatial Information, Dept. of Geomatics, University of Melbourne,
723 Swanston Street, Melbourne VIC 3010, Australia - franz@unimelb.edu.au

ملخص : تُقِيمُ طريقة التحديث الآلي لقواعد معطيات البناء من نماذج السطح الرقمية DSM و دليل النباتات المختلفة . يُمكنُ أَنْ تُؤَلِّدَ نماذج السطح الرقمية من معطيات آلة المسح الليزرية المحمولة جواً أو بتقنيات جمع الصورة. تكتشف المباني ألياً من المعطيات الداخلية . تُقَارَنُ نتائج كشف المباني من قاعدة معطيات البناء الحالي ، تغيير من خلال المعطيات الحالية ومجموعة المعطيات الجديدة المحددة. تصنف المباني كيفما كانت مؤكدة ، متغيرة ، جديدة ، أو مهتمة. يعتبر كشف تغيير الحقيقة بأن المعطيات الأصلية ونتائج كشف المباني يُمكنُ أَنْ يأخذاً طوبولوجيا مختلفة وتلك الاختلافات الصغيرة بين المعطيات من العهدين قد يكون سببها تعميم الأخطاء ، من المعطيات ، أو بقرار الكاشف الغير كافي . إن أداء الخوارزمية قد حُلِّلَ لِتَسْمَعَلَ DSMs المولدين من معطيات ALS و جمع الصورة. يبين تقييم الخواص المختلفة لمعطيات كشف تغيير البناء و أيضاً بعض من تقنيات المنهج. إذا متطلبات الدقة لخطوط البناء العامة ليست عالية جداً ، عملية التحديث الآلية يُمكنُ أَنْ تصبح آلياً ، بشرط أن يستعمل DSMs العالي النوعية. في بيئة نصف آلياً. يُمكنُ للتبادل الإنساني أَنْ يحدث قواعد معطيات البناء وأن تُخَفِّضَ ب 40%-60% .

الكلمات الأساسية : تغيير الكشف، نماذج سطحية رقمية، دمج المعطيات.

Résumé : La méthode pour la mise à jour automatique de bases de données de construction à partir des Modèles de Surface Numériques (DSM) l'index de végétation normalisé est évalué. Le DSM peut produit de données à partir du scanner à Laser Aéroporté (ALS) ou par les techniques d'appariement d'image. Les résultats de la détection de la construction sont comparés à la base de données de construction actuelle, et changent entre la base de données actuelle et le nouveau ensemble des données déterminés. Les constructions sont classées tel qu'ils ont été confirmés, changés, nouvelles, ou démolies. Le changement de détection considère que les données originales et les résultats de la détection de la construction peuvent avoir une topologie différente et que les petites différences entre les données des deux époques peuvent être causées par la généralisation des erreurs, par un mauvais alignement des données, ou par résolution de détecteur insuffisant la performance de l'algorithme est analysée en utilisant le DSMs produit des données de ALS et par appariement d'image.

Si les exigences de la précision des contours de la construction ne sont pas très hautes, le processus de la mise à jour automatique peut être automatisé, pourvu que le DSMs utilisés soient d'une qualité supérieur .

Dans un environnement semi-automatique, pour mettre à jour la base de données de construction peut être réduit par 40%-60% par l'interaction humaine.

Mots clés : Changement de détection, modèles de la surface numérique, fusion des données.

Abstract : A method for automatic updating of building data bases from Digital Surface Models (DSM) and a normalised difference vegetation index is evaluated. The DSM can be generated from Airborne Laserscanner (ALS) data or by image matching techniques. Buildings are detected automatically from the input data. The building detection results are compared to an existing building data base, and changes between the existing data base and the new data set are determined. Buildings and building parts are classified as being confirmed, changed, new, or demolished. Change detection considers the fact that the original data and the building detection results can have a different topology and that small differences between the data from the two epochs might be caused by generalisation errors, by a misalignment of the data, or by insufficient sensor resolution. The performance of the algorithm is analysed using DSMs generated both from ALS data and by image matching. The evaluation shows the different properties of these data for building change detection and also some of the limitations of the method. If the accuracy requirements for the building outlines are not very high, the automatic updating process can be automated, provided that high-quality DSMs are used. In a semi-automatic environment the amount of human interaction for updating building data bases can be reduced by 40%-60%.

Key words : Change Detection, Digital Surface Models, Data Fusion.

1. Introduction

In many industrial countries there exist 2D topographic data bases with a building layer. Keeping such a data base up-to-date has been estimated to require up to 40% of the costs necessary to generate it from scratch (Champion, 2007). To reduce these costs it is desirable to automate this process. Using highresolution aerial imagery and / or airborne laser scanner (ALS) data, it should be feasible to detect changes of urban development automatically (Matikainen et al., 2004, Champion, 2007). If the accuracy requirements are not very high, human intervention can be restricted to a check of the changed building outlines and a manual digitisation of incorrect or inaccurate results.

Even if the accuracy requirements are high (e.g. for updating the cadastre), the manual effort required for map updating can be reduced significantly by embedding automated change detection into a semi-automatic system. In such a system, the automated module focuses the human operator's attention by highlighting areas of change. Whereas the new building outlines are still digitised manually, the amount of human interaction is reduced because buildings found to be unchanged by the automated process need not be inspected at all and because potential new buildings are already highlighted.

There are two general strategies for change detection: It can be based either on a comparison of sensor data for two different epochs or on a comparison of an existing data base to more recently collected sensor data (Vosselman et al., 2004). If 3D data are available for the acquisition time of the original data base, changes in buildings will result in height differences between the original data and a more recently acquired DSM, which can be used for change detection. Vögtle and Steinle (2004) presented such an algorithm. Based on an evaluation of the overlap ratios between buildings in the old and the new data sets, buildings are initially classified as new, demolished, or other. The height changes between the original DSM and the more recently acquired data are evaluated to further classify other buildings as not-altered, added-on, or reduced.

If no 3D data are available for the acquisition time of the original data, it is a common strategy for change detection to first detect buildings in the new data and then compare the building footprints thus derived to the original data base. Vosselman et al. (2004) present a method for comparing an existing map with the results of a building detection technique using ALS data.

They give a list of errors that might result in differences between the existing map and the newly extracted buildings and show how to compensate for the errors caused by generalisation and false alignment. Matikainen et al. (2004) detect buildings in ALS data and aerial images and compare the results to an existing building data base. Buildings in the existing data base are classified as *detected*, *partly detected*, and *not detected*, whereas buildings in the new data set are classified as *new*, *enlarged*, or *old*. A joint visualisation of these classification results is presented on a per-pixel basis, but no further objectbased analysis is carried out. Champion (2007) uses a DSM generated by image matching to verify the buildings of an existing data base. The original building outlines are compared to step edges extracted from the DSM. A similarity measure evaluating the percentage of the length of the building outlines having a match in the set of step edges is used to classify a building as validated, modified, or destroyed. New buildings are detected using the DSM and a tree layer derived from multispectral images and the DSM.

In (Rottensteiner, 2007), a method for building change detection from a DSM and a normalised difference vegetation index (NDVI) derived from a multi-spectral image was presented. It is based on a comparison of the results of an algorithm for automatic building detection (Rottensteiner et al., 2007) to the existing map, taking into account that deviations between the two data sets might be due to different degrees of generalisation and to small registration errors. This method will be presented in a revised form in Section 2.

The main goal of this paper is a thorough evaluation of this method. In (Rottensteiner, 2007), first results achieved for two different data sets were presented, and a pixel-based evaluation of the updated building data base showed that DSM errors had a significant impact on the classification accuracy. In Section 3, a more thorough evaluation will be carried out using the same data sets. Confusion matrices of the different change classes will be presented, and completeness and correctness will be assessed for each of these classes. The separability of these classes will be discussed, and the effectiveness of the method in reducing human intervention in a semi-automatic environment as described above will be assessed. The results achieved for DSMs from ALS and image matching will also be compared. Conclusions will be drawn in Section 4.

2. Building change Detection

Building change detection requires a DSM generated by image matching or from ALS data. Optionally, a geocoded NDVI image and a model of the height differences between the first and last pulses of ALS data can be used, too. These input data, along with a Digital Terrain Model (DTM) generated from the DSM by hierarchic morphologic filtering, are used for building detection based on the theory of Dempster-Shafer for data fusion (Rottensteiner et al., 2007). The existing building data base can also be considered in this process.

The results of building detection are compared to an existing building data base, and changes between the existing data base and the new data set are determined by a comparison of two label images: the "existing label image" L^e and the "new label image" L^n . Change detection starts with a topological clarification in order to achieve topological consistency between the two label images.

This is followed by the actual classification of changes. It is the goal of change detection to (1) classify the buildings in the existing data base as confirmed, changed, or demolished, (2) detect new buildings, (3) show demolished and new building parts for the changed buildings, and (4) determine the outlines of the changed and the new buildings. The individual stages of change detection will be described in the subsequent sections.

2.1 Building Detection

Building detection starts with a Dempster-Shafer fusion process carried out for each pixel of the DSM to achieve a classification of the input data into one of four classes: buildings, trees, grass land, and bare soil. A heuristic model for the distribution of the evidence from each input data set to the four classes is applied. Initial building regions are determined as connected components of building pixels. A second Dempster-Shafer fusion process eliminates regions still corresponding to trees. The new label image L^n is one of the results of the building detection algorithm (Rottensteiner et al., 2007).

For building change detection the existing label image L^e can be used as a further input data set in the first Dempster-Shafer fusion process. Usually the amount of change will be limited, so that the original data base gives an indication where buildings are to be expected. This can be modelled by the probability P_C that the status of a pixel has changed. If a pixel is inside the building in L^e , the probability of the pixel still being inside a building at the later epoch is $(1 - P_C)$, whereas the

probability that it is no longer inside a building is P_C . If a pixel is not inside a building in L^e , the probability of the pixel being inside a building at the later epoch is P_C whereas the probability that it is still not a building is $(1 - P_C)$. This can be used as a model for the assignment of probability masses to the four object classes. Thus, the original data base introduces a bias for no changes to have occurred into the classification process. P_C is chosen by the user, typically between 20 % and 40 %

2.2 Topological Clarification

In order to achieve topological consistency between the existing label image L^e and the new label image L^n , correspondences between labels from the two data sets must be found. For each co-occurrence of two labels $r \in L^e$ and $l' \in L^n$, the overlap ratios $P_{nc} = n_{nr} / n_n$ and $P_{en} = n_{nr} / n_e$ are computed, where n_{nr} is the number of pixels assigned to l' in L^n and to r in L^e , n_n is the total number of pixels assigned to r , and n_e is the total number of pixels assigned to l' . Correspondences with both P_{nc} and P_{en} smaller than a threshold t_m (e.g. 10 %) are eliminated. If the topology of the two data sets was identical except for *new* or *demolished* buildings, each label would have exactly zero or one corresponding label in the other data set. As this is usually not the case, each label can have zero, one, or more correspondences. If a label in L^e has M corresponding labels in L^n , the original building is split into M parts. This can reflect the actual demolition of a building part or not, because the building detection algorithm tends to split buildings at height discontinuities. If a label in L^n has N corresponding labels in L^e , N existing buildings are merged. This occurs with terraced houses having identical roof heights. If a set of M labels $l_i^e \in L^e$ corresponds to a set of N labels $l_j^n \in L^n$ buildings are both split and merged, and there are ambiguities with respect to the correct correspondences of some of the new labels.

2.2.1 Clarification of the ambiguous cases

This is achieved by modifying the new label image. Any label l' that corresponds to more than one label in L^e and / or has a significant overlap with the background is split into two or more labels. First, new buildings are identified. A binary image of new building pixels (i.e., building pixels in the new label image corresponding to the background in the existing label image) is generated. Morphological opening is used to remove noise at the building outlines. If there remain new building pixels in the filtered image, new labels corresponding to new

building parts are detected by a connected component analysis. A label image L^c combining the existing labels L^e and these new labels is created. Each label in L^n corresponding to more than one label in L^e is split so that each of the new labels corresponds to exactly one label of L^e . To compensate for smoothing effects of the morphological filter at the fringes of new building parts, the Voronoi diagram of L^c is used to assign pixels to one of the new labels.

2.2.2 Clarification of the merged cases

Labels can be merged because the buildings are close to each other or because a new building has been constructed between them. In a similar way as described above, new building labels are detected. The merged label in L^n is split into several new labels, each corresponding to a new building or to exactly one label in L^e .

2.2.3 Clarification of the split cases

This clarification process starts with growing the new labels by morphologic closing. If two labels are found to be neighbours in the closed label image, the splitting is supposed not to be caused by a real change, and the two labels are merged in L^n . Otherwise, the separation is assumed to be the result of the demolition of a building part, and the original labels are maintained.

2.3 Classification of Changes

As a result of topological clarification, an improved version $L^{n\text{ imp}}$ of the new building label image L^n is obtained. Each of the labels in $L^{n\text{ imp}}$ corresponds to zero or to one label in L^e . Each of the labels of L^e corresponds to zero, one, or N labels of $L^{n\text{ imp}}$. Again, overlap ratios are computed for each co-occurrence of two labels $l^e \in L^e$ and $l^n \in L^{n\text{ imp}}$, and marginal correspondences are eliminated. A building is classified as *new* if its label $l^n \in L^{n\text{ imp}}$ does not have any correspondence in L^e . An existing building is classified as *demolished* if its label $l^e \in L^e$ does not have any correspondence in $L^{n\text{ imp}}$. For all remaining labels $l^e \in L^e$, a binary image of *demolished* pixels (pixels assigned to l^e in L^e , but not to any of its correspondences in $L^{n\text{ imp}}$) and a binary image of *new* pixels (pixels assigned to any of the correspondences of l^e in $L^{n\text{ imp}}$, but not to l^e in L^e) are created. If neither *demolished* nor *new* pixels remain after a morphological opening of these binary images, the building is classified as *confirmed*; otherwise, it is classified as *changed*. For *changed* buildings, connected components in the binary images of *demolished* and *new* pixels are considered to correspond to

demolished building parts and new building parts. For a *changed* building l^e having multiple correspondences in $L^{n\text{ imp}}$, the area corresponding to the label in $L^{n\text{ imp}}$ having the largest overlap with l^e is classified as *changed*. All the other labels corresponding to that building could also be classified as *changed* from the point of view of the existing data base. However, in the updated data base, these labels will correspond to new entities, so that they could also be classified as *new*. Thus, the new class *split off* is introduced for these “new” buildings corresponding to a part of an existing one (Fig. 1).



Fig 1. Classification of changes for multiple overlap cases Left top: original label image. Left bottom: results of topological clarification. Right: change map.

After the classification, two images representing the change detection results are generated: (1) a *change map* using different colours for *new*, *demolished*, *confirmed*, and *split off* buildings as well as for *confirmed*, *new*, and *demolished* parts of *changed* buildings, and (2) a label image representing the new state. For generating the label image representing the new state, there are two options. The first option is to use the improved version of the new label image. If the original map is more accurate, the original outlines can be used for *confirmed* buildings, whereas the new outlines of *changed* and *split off* buildings can be a combination of the original outlines for the unchanged building parts and the outlines of the *new building parts*.

3. Experiments

3.1 The Test Data Sets

The first data set used for evaluation was captured over Fairfield (NSW). It consisted of ALS points with a spacing of 1.2 m. The first and the last laser pulses as well as the intensity of the returned signal were recorded. A colour stereo pair and a digital orthophoto with a ground resolution of 0.15 m were also available. From the red band of the orthophoto and the intensity of the ALS signal, a “pseudo-NDVI” image was generated. DSMs of a grid width $\Delta = 1$ m were derived for both the first and the last pulse data. The outlines of the buildings were determined by photogrammetric plotting with a planimetric accuracy of 0.2 m. In order to simulate actual changes, the existing data base was generated from these outlines by adding and removing buildings or building parts.

The size of the test area was 500 x 400 m². The second data set, covering an area of about 1100 x 1100 m² in Toulouse (France), was provided by EuroSDR (EuroSDR, 2007). It consisted of a DSM generated by image matching, an RGB and an infrared orthophoto, and an existing building data base. Both the DSM and the orthophotos had a resolution of $\Delta = 0.501$ m. The DSM was very noisy, especially in the shadow regions. The numerical resolution of the DSM heights was identical to Δ so that the only height values occurring were full multiples of Δ . Reference data were generated by digitizing the building outlines in the digital orthophoto with a planimetric accuracy of about 1.0 m.

3.2 Results and Discussion

In Fairfield, the algorithm for building detection described in Section 2.1 was applied to the DSMs generated from ALS data, the surface roughness parameters and the pseudo-NDVI. In Toulouse, the DSM and an NDVI generated from the orthophotos were used. Surface roughness was not considered. In both cases, the parameters of the algorithm were tuned in the way described in (Rottensteiner et al., 2007). Furthermore, the existing data base was considered in both cases, setting the probability of a change to $P_c = 35\%$. In the change detection process, the size of the structural element used for morphologic filtering (cf. Sections 2.2 and 2.3) was set to 3 m. Thus, changes having a smaller linear extent smaller than 3 m could not be detected. This compensates for small misalignments between the existing data base and the new data and for errors of building detection at the building outlines (Rottensteiner et al., 2007). The change detection algorithm was also used to compare the original data base to the reference. The resulting change maps, including the reference, are presented in Figures 2 and 3 for Fairfield and Toulouse, respectively. In Fairfield, the change map was generated using a grid width of 0.5 m; in Toulouse it was identical to the DSM grid width (0.501 m). In Fairfield, changes affecting the main buildings are detected correctly, even though it can be seen that in some cases, new building parts are classified as new buildings and vice versa. The separation of these classes is difficult. In case of doubt, the change detection algorithm assumes a new building. The few incorrect new building parts are the result of an over-estimation of the building extents. All *demolished* buildings and building parts were detected. All except two demolished building parts are correct. However, with demolished buildings, the trend observed in (Rottensteiner et al., 2007) is confirmed: For small structures, the results of building detection become uncertain.

Thus, the small buildings classified as *demolished* in the back yards, mostly garden sheds and garages, were not really demolished, but they were actually too small to be detected. The results achieved in Toulouse are not as good as those achieved in Fairfield due to the poor quality of the DSM. Again, it can be observed that small buildings are not detected in the new data set. Some changes are detected correctly, e.g. the new and *demolished* buildings in the south-west of the scene. However, there are two large areas of false positive detections: the area in the northeast corner of the scene merges a correctly detected new building with a parking lot, and the area in the east is actually a sports field. In both cases the DSM had height variations larger than 3 m in essentially horizontal areas. The obvious over-estimation of the large building complex in the western part of the scene is caused by the uncertainty of the DSM in the shadow areas. Other problems were related to trees partly overhanging buildings and to the general lack of ground points in the forested areas.

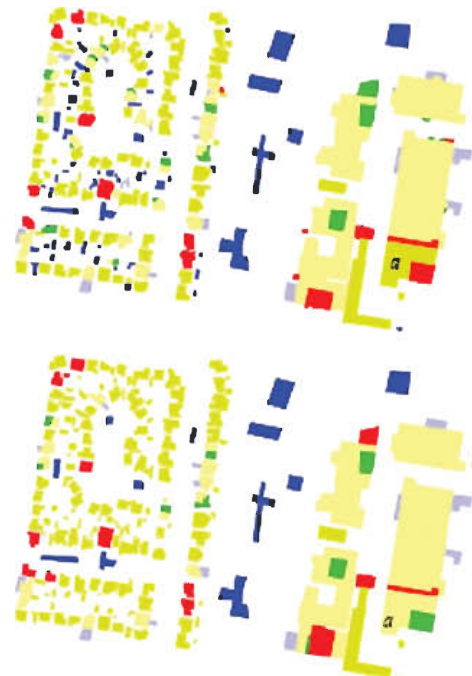


Fig. 2 Change maps for Fairfield. Top: Results of automatic change detection. Bottom: Reference. Ochre/yellow: confirmed buildings / building parts. Blue/light grey: demolished buildings / building parts. Red/green: new buildings / building parts

3.3 Evaluation of the Results

In order to evaluate the results, the change maps derived by the automatic process were compared to the reference change map. Confusion matrices and the derived quality metrics completeness and correctness (Rottensteiner et al., 2007) were determined on a per-pixel basis.

For the Fairfield data set, these metrics were also derived on a per-building basis to assess the effectiveness of the automated process in reducing the amount of human intervention.

3.3.1 Fairfield

Table 1 shows the per-pixel confusion matrix for the change detection results obtained for the Fairfield data set. The completeness and correctness of the results on a perpixel basis are shown in Table 2. At a first glance, the quality metrics in Table 2 do not look very good. The only class with both completeness and correctness larger than 90% is changed. The class having both the worst completeness and the worst correctness is new building part, closely followed by new building. Table 1 reveals that this is caused by the fact the separation between these classes is very uncertain. The confusion matrix also shows that another major source of error is a misclassification of confirmed pixels as changed, and vice versa. These problems are connected.



Fig. 3 Change maps for Toulouse. Top: Results of automatic change detection. Bottom: Reference. Ochre/yellow: *confirmed buildings / building parts*. Blue/light grey: *demolished buildings/ building parts*. Red/green: *new buildings / building parts*. Pink: *split-off buildings*.

If a new building structure is found and if it is classified as a *new building part*, the existing building will be classified as *changed*; if the new structure is classified as a *new building*, the existing building is not affected and might be classified as *confirmed*. This becomes obvious for building a in Fig. 2. Whether a new building structure is a new building or an addition to an existing building cannot really be decided by the automated process, because this might actually be determined by circumstances such as property boundaries that are not reflected in the sensor data at all. It can be argued that on a per-pixel level, the separation between the classes *confirmed* and *changed* is not very meaningful. After all, both class labels refer to a building pixel in the existing data base found also to be a building pixel at the later epoch. Similarly, *demolished building* and *demolished building part* have the same interpretation for a single pixel, as have *new building* and *new building part*. On a per-pixel level, it makes sense to merge these pairs of classes, forming the new classes *confirmed building pixel*, *new building pixel*, and *demolished building pixel*. The confusion matrix and the quality metrics for these classes are shown in Table 3. The quality metrics are better than those in Table 2. For *confirmed building pixels*, both completeness and correctness are larger than 95%. Completeness is reasonably good for all classes. Only for *new building pixels* it is slightly below 90%, which is caused by problems at the outlines of buildings that are very close to each other. The major error sources are a relative large number of *new building pixels* corresponding to the background in the reference and the large number of false positive *demolished building pixels* corresponding to the small buildings in the backyards that were not detected by the algorithm.

Table 1. Confusion matrix for Fairfield [pixels]. A: Automatic, R: Reference. Cf: confirmed, Cd: changed, NP: new building part, N: new building, DP: demolished building part, D: demolished building, B: Background.

	Cf (A)	Cd (A)	NP (A)	N (A)	DP (A)	D (A)	B (A)
Cf (R)	50440	6190	0	0	1033	5822	4
Cd (R)	7257	77243	0	0	88	0	0
NP (R)	0	0	4340	2362	0	0	128
N (R)	0	1261	1719	9510	0	0	621
DP (R)	0	785	0	0	6040	0	0
D (R)	0	0	0	0	0	15664	0
B (R)	0	0	1702	2128	0	0	593163

Table 2. Completeness and correctness for Fairfield, derived from the confusion matrix in Table 1.

	<i>Cf</i>	<i>Cd</i>	<i>N_p</i>	<i>N</i>	<i>D_p</i>	<i>D</i>	<i>B</i>
Completeness [%]	79.4	91.3	63.5	72.5	88.5	100.0	99.4
Correctness [%]	87.4	90.4	55.9	67.9	84.3	72.9	99.9

Table 3. Confusion matrix [pixels] and completeness (*Comp*) and correctness (*Corr*) for Fairfield, using a reduced set of classes. *A*: Automatic, *R*: Reference. *C*: confirmed pixel, *N*: new building pixel, *D*: demolished building pixel, *B*: Background.

	<i>C (A)</i>	<i>N (A)</i>	<i>D (A)</i>	<i>B (A)</i>	<i>Comp [%]</i>
<i>C (R)</i>	141130	0	6943	4	95.3
<i>N (R)</i>	1261	17931	0	749	89.9
<i>D (R)</i>	785	0	21704	0	96.5
<i>B (R)</i>	0	3830	0	593163	99.4
<i>Corr [%]</i>	98.6	82.4	75.8	99.9	

The ultimate outcome of automatic change detection is an updated version of the data base. From that point of view, only the classes building and no building are to be discerned. The resulting values of completeness and correctness for building pixels are 95.4% and 97.2%, respectively. These excellent quality metrics are relevant if the change detection results are used directly to generate the new content of the data base. In a semi-automatic work flow as described in Section 1, perbuilding quality metrics are more closely linked to the effectiveness of the automated procedure. Table 4 presents the completeness and the correctness of the change detection results on a per-building basis. There are two major error sources: a relatively large number of *confirmed* buildings classified as *changed* (13), and a large number of buildings classified as *demolished* despite not having changed at all (48). This results in a very low completeness for *confirmed* buildings, and in a very low *correctness* for *changed* and *demolished* buildings. If the results of automatic change detection are used in a semiautomatic context to highlight areas of change, the number of correctly detected confirmed buildings is related to the amount of work that is saved by the process because confirmed buildings need no further inspection. However, the classification of *confirmed* buildings should be reliable in order not to save work at the expense of missed changes. There is only one false positive *confirmed* building. It is building *a* in Fig. 2, where a new building part was erroneously classified as a new building. The user would inspect the actual change (the new building) anyway, so that no error would be committed by not checking that building. Thus, the assumption that buildings classified as *confirmed* need no further inspection is justified. The numbers in Table 4 are affected by the poor separability of *new buildings* and *new building parts*: two of the three false negative and one of five false positive new buildings can be attributed to this problem.

If change detection were carried out manually, the user would have to inspect all buildings in the existing data base (184) and detect the new ones (17). Of the existing buildings, 78 or 42.4% need no further attention. This is a considerable reduction of the work load of a human operator. In addition, new buildings are highlighted, with only one “real” false negative.

Table 4. Completeness and correctness for Fairfield on a per-building basis. *Cf*: confirmed building, *Cd*: changed building, *N*: new building, *D*: demolished building.

	<i>Cf</i>	<i>Cd</i>	<i>D</i>	<i>N</i>
Completeness [%]	56.1	88.9	100.0	84.2
Correctness [%]	98.7	51.6	20.0	76.2

The effectiveness of the automatic change detection module is restricted by the large number of missed small buildings. In (Rottensteiner, 2007), it was shown that buildings smaller than 50 m² could hardly be detected using ALS data of 1 m resolution. In many building data bases, such small buildings are not considered. If this is the case, the effectiveness of automatic change detection is much higher, because the changes affecting larger buildings are reliably detected. Table 5 presents completeness and correctness for buildings having an area larger than 50 m². There is a considerable improvement in the quality numbers. The number of existing buildings requiring inspection is 109, of which 65 or 59.6% are correctly classified as *confirmed*. Again, the quality metrics are affected by the problems related to the separability of classes.

For instance, the remaining *new* buildings missed by the algorithm are classified as *new building parts* of a changed building, so that actually all *new* buildings were highlighted by the algorithm.

3.3.2 Toulouse

Table 6 shows completeness and correctness on a per-pixel basis for the classes distinguished by the change detection algorithm for Toulouse. These numbers are affected by the same problems of separability as those for Fairfield (cf. Table 2), but they are considerably worse because the building detection algorithm requires a high-quality DSM. For instance, as most of the pixels in the two large areas of false positive building pixels highlighted in Fig. 3 are classified as *new building part*, the correctness of that class is only 2.7%.

Table 7 presents completeness and correctness for a restricted number of classes generated by merging the classes having a similar interpretation on a per-pixel level. The numbers are better than those in Table 6, but still not as good as those achieved in

Fairfield. The correctness of *new building pixels* remains low. If only the classes *building* and *no building* are discerned, completeness and correctness are 86.9% and 71.0%, respectively. Due to errors at the building outlines, correctness is only improved to 76.9% if the two areas of false positives in Fig. 3 are eliminated. Although a visual inspection of Fig. 3 seems to indicate that some changes have been detected correctly, the quality of the DSM is not good enough for the algorithm to work effectively. This is emphasised by the fact that only one building is found to be *confirmed*; thus, only one building need not be inspected in a semi-automated work flow.

Table 5. Completeness and correctness on a per-building basis for buildings larger than 50 m² in Fairfield. Cf: *confirmed building*, Cd: *changed building*, N: *new building*, D: *demolished building*.

	Cf	Cd	D	N
Completeness [%]	81.3	88.9	100.0	88.9
Correctness [%]	98.5	55.2	75.0	76.2

Table 6. Completeness (Comp) and correctness (Corr) on a per-pixel basis for Toulouse. Cf: *confirmed*, Cd: *changed*, S: *split off*, NP: *new building part*, N: *new building*, DP: *demolished building part*, D: *demolished building*, B: *Background*.

	Cf	Cd	S	NP	N	DP	D	B
Comp [%]	10.2	74.8	100.0	47.4	67.5	72.9	68.8	97.0
Corr [%]	84.1	75.1	12.9	2.7	52.4	53.6	60.4	99.7

Table 7. Completeness and correctness on a per-pixel basis for Toulouse, using a restricted number of classes. C: *confirmed pixel*, N: *new building pixel*, D: *demolished building pixel*, B: *Background*.

	C	N	D	B
Completeness [%]	81.2	71.1	80.7	97.0
Correctness [%]	95.1	17.2	63.1	99.7

4. Conclusions

A method for change detection for updating building data bases from DSMs and an NDVI image was evaluated. The results of change detection are presented so that the user can easily assess which buildings are *confirmed*, *new*, *demolished*, or *changed*, and in case of *changed buildings* also the nature and extent of these changes. The evaluation has shown that some of these classes cannot be discerned reliably even under good circumstances. This partly due to the nature of the problem, because the appearance of a new building and an addition to an existing building might be identical in remotely sensed data. The quality of the results is also restricted by the accuracy and the resolution of the sensor data in relation to the building size: small buildings are often missed by the building detection algorithm if the DSM resolution is about 1 m. For

good DSMs, good results could be achieved on a per-pixel level, with both completeness and correctness of the results being above 95%. Thus, if the remaining problems with small buildings and with building outlines are negligible for the data base to be updated, the change detection algorithm can be used to automatically derive the new state of the data base. If the accuracy requirements are very high, the change detection process can be embedded in a semi-automatic working environment to highlight areas of change to a human operator. It was shown that such an approach can reduce the amount of human intervention by 40% even in the presence of many small buildings.

If only buildings larger than 50 m² are considered the reduction was almost 60%. It is one restriction of the algorithm that it requires an excellent DSM. Good results can be expected for ALS-based DSMs having a resolution of 1 m or better. In our experiments, the results achieved using a DSM generated by image matching were not very good, because the DSM quality was not sufficient for the algorithm. This may be due to problems of the specific matching algorithm used to generate the Toulouse DSM, and our findings thus cannot be generalized for all DSMs generated from imagery. Applying advanced image matching techniques and/or multiple-overlap imagery might alleviate the problems found with the Toulouse DSMs. Future work will concentrate on improving the geometrical quality of the building outlines by image edges.

Acknowledgements

The Fairfield data set was provided by AAMHatch, Australia (www.aamhatch.com.au). The Toulouse data set was distributed by EuroSDR in their test on the detection of unregistered buildings for updating cadastral data bases (EuroSDR, 2007).

Bibliographic References

- Champion, N., 2007. 2D Building change detection from high resolution aerial images and correlation digital surface models. In: IAPRSIS XXXVI-3 / W49A, pp. 197-202.
- EuroSDR, 2007. Detection of unregistered buildings for updating cadastral databases. <http://buildings-detection.free.fr> (accessed 19 Nov. 2007).
- Matikainen, L., Hyypä, J., Kaartinen, H., 2004. Automatic detection of changes from laser scanner and aerial image data for updating building maps. In: IAPRSIS XXXV-B2, pp. 434-439.

Rottensteiner, F., Trinder, J., Clode, S., Kubik, K., 2007. Building detection by fusion of airborne laserscanner data and multi-spectral images: Performance evaluation and sensitivity analysis. *ISPRS Journal for Photogrammetry and Remote Sensing*, 62(2), pp. 135–149.

Rottensteiner, F., 2007. Building change detection from digital surface models and multi-spectral images. In: *IAPRSIS XXXVI-3 / W49B* (on CD-ROM).

Vögtle, T., Steinle, E., 2004. Detection and recognition of changes in building geometry derived from multitempora laserscanning data. In: *IAPRSIS XXXV-B2*, pp. 428-433.

Vosselman, G., Gorte, B., Sithole, G., 2004. Change detection for updating medium scale maps using laser altimetry. In: *IAPRSIS XXXV-B3*, pp. 207-212.

Analysis of planimetric accuracy of airborne laser scanning surveys

G.Vosselman

International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation
(ITC), Enschede, the Netherlands vosselman@itc.nl

ملخص : أصبح إزدياد معدلات النبض للألات المسح الليزرية المحمولة جواً التي تحدد موقع الغيوم أهم مصدر لمعطيات الخرائط ما بعد إنتاج النماذج الأرضية الرقمية . بينما يعتبر تحديد دقة إرتفاع موقع الغيوم من أهم النماذج الأرضية ، حيث تتطلب أيضاً خريطة المباني والأجسام الأخرى تحليل دقة سطح موقع الغيوم . يقدّم هذا العرض منهجية لتقييم شريط التحشية النسبية والإنحرافات المعيارية للاندائيات X و Y باستعمال خطوط الحديد المباني إستعمالاً ألبا في التداخل الأمامي بين الأشرطة. تحليل ثلاث كتل من 200 - 250 مليون نقطة تبين أن شريط التحشية الثابت يوضح تغير المساحة المسطحة بين خطوط الحديد في شريط التداخل الأمامي. تبين بأن شريط التحشية تحت 3-4 سنتيمتر و مهدة تحديد التشويش من 2 سنتيمتر فقط يمكن أن يحصل عليها من صور أجهزة تحديد المواقع GPS تشمل مستقبلين في الداخل ومحطات الإشارة المتعددة في الأرض .

الكلمات الأساسية : آلة المسح الليزري، إستخلاص ميزة 3-D، مسح جوي، تحليل دقة، مباني.

Résumé : Avec l'augmentation de taux d'impulsion des scanners à laser aéroporté qui localise les nuages, ces scanners devient une source des données intéressante pour la cartographie après la production de modèles de terrain numériques. Alors que la précision de la hauteur des nuages localisés est une importance primordiale pour les modèles de terrain, cartographie urbaine et autres objets exige une analyse de la précision planimétrique des nuages pointés. Cet exposé présente une méthodologie qui estime les écarts relatives à la bande et les déviations standard des coordonnées X- et Y- utilisant automatiquement les lignes de crête extraite des constructions entre les bandes. Une analyse de trois blocs avec 200-250 millions de points chacun montre que les écarts de la bande constante expliquent le décalage planimétriques entre les lignes de crête de la bande. Il est démontré que les écarts de la bande au-dessous de 3-4 centimètre et la plate-forme de positionnement de bruit de seulement de 2 centimètre peuvent être obtenu avec configurations GPS qui consistent en deux receveurs intégré et stations de référence multiple dans le terrain.

Mots-clés : scanner à laser, extraction de caractéristique 3-D, levé aérien, analyse de la précision, constructions.

Abstract : With the increasing pulse rates of airborne laser scanners point clouds become an interesting data source for mapping beyond the production of digital terrain models. Whereas height accuracy of point clouds is of prime importance for terrain models, mapping of buildings and other objects also requires an analysis of planimetric accuracy of point clouds. This paper presents a methodology to estimate relative strip offsets and standard deviations of X- and Y-coordinates using automatically extracted ridge lines of buildings in overlaps between strips. An analysis of three blocks with 200-250 million points each shows that constant strip offsets explain the majority of planimetric shifts between ridge lines in strip overlaps. It is demonstrated that strip offsets below 3-4 cm and platform positioning noise of only 2 cm can be obtained with GPS configurations consisting of two onboard receivers and multiple reference stations in the terrain and a low flying height.

Key Words : Laser scanning, 3-D feature extraction, aerial survey, accuracy analysis, buildings.

1. Introduction

In the last decade airborne laser scanning has rapidly become the preferred technology for the acquisition of digital terrain models. Traditional fields of applications, like water and forest management, required high height accuracies, but were less demanding with respect to planimetric accuracy (Crombaghs et al., 2000, 2002; Ahokas et al., 2003), in particular in areas with moderate terrain slope. In recent years, pulse frequencies of laser scanners increased to nowadays up to 250 kHz. With such scanners point clouds can be acquired with 10-20 points / m² from low speed aircrafts or helicopters. These point densities enable applications like mapping building contours (Clode et al., 2004; Wang et al., 2006; Sohn and Dowman, 2007; Sampath and Shan, 2007), change detection (Matikainen et al., 2003; Vosselman et al., 2004; Vu et al., 2004) and 3D building modelling (Brenner, 2005; Rottensteiner, 2003). For this kind of mapping applications, the analysis of planimetric accuracy is highly relevant.

The accuracy with which objects can be outlined in point clouds depends on the point distribution around the object's outline as well as on the location accuracy of the laser points. In the worst case (scan lines parallel to object outline), the uncertainty due to the point distribution is equal to the distance between the scan lines. The location accuracy of the laser points depends on the systematic and stochastic errors in the GPS, IMU, mirror angles, and range measurements. Vosselman and Maas (2001) showed that the effects onto planimetry are often much larger than onto the height. Several approaches for strip adjustment have been presented to estimate and correct for specific instrumental errors (Burman, 2000; Kager, 2004). The effects of these errors on the laser point coordinates are often difficult to separate. For mapping purposes, however, this does not need to be a major concern, as long as it is known that the combined effect of the measurement errors onto the point coordinates is below some error level.

To analyse both planimetric and height accuracies of laser point clouds, Csanyi and Toth (2007) designed special ground targets. Target coordinates measured in the point clouds were compared those surveyed with GPS and resulted in estimated planimetric accuracy of 5-10 cm and height accuracy of 2-3 cm. While especially designed targets allow an accurate analysis, for most laser scanning projects it will not be feasible to set up many targets in the field.

In this paper a largely automated analysis of planimetric accuracy of several laser scanning surveys is presented which makes use of building roofs. Ridge lines of gable roofs can accurately be extracted from point clouds (Vosselman, 2002). As ridge lines are estimated as lines of intersection of two extracted roof planes, their location is not affected by the distribution of points around the ridge line. Hence, their accuracy can be completely attributed to measurement errors of the sensors. An estimate of the measurement accuracy is obtained by comparing ridge line locations extracted from overlapping strips. Although this comparison is relative between the strips, and therefore does not include a check on the absolute georeferencing of the block, it does show distortions of the point clouds and allows estimating the stochastic planimetric accuracy. Because many points are usually located on both roof faces of a gable roof, the noise in the range measurements will be largely eliminated by the plane fitting. Offsets between ridge lines in overlapping strips should therefore be explained by systematic and random errors in the GPS and IMU measurements.

After describing the characteristics of the processed laser scanning blocks in the next section, the method to extract the ridge lines and estimate strip offsets is presented in section 3. The results of the processed blocks are analysed in section 4.

2. Data Sources

Three datasets were analysed for the presented study. The first dataset consists of 16 strips acquired for the Dutch national elevation model AHN over the province of Brabant. The overlap between the strips is quite small, because the data provider removed the ends of the scan lines (Table 1). This, of course, also reduced the amount of roofs that could be extracted from the overlap. The second dataset is a small part of the recently conducted pilot study to acquire a high point density elevation model over the province of Zeeland. The third dataset was acquired last year over the city of Enschede with a point density of 20 pts/m² (Fig. 1). Data of this survey was delivered in three files per strip, corresponding to the forward, nadir and backward looking scan lines. To speed up the processing only data from the nadir looking scan lines was used, reducing the point density to 10 pts/m².

Table 1. Characteristics of the datasets.

Block	# strips	# pts x 10 ⁶	# pts / m ²	Strip width (m)	Overlap (m)	Flight height (m)
Brabant	16	218	0.5	550	55	1000
Zeeland	9	241	10	460	100	375
Enschede	15	254	10	330	100	275

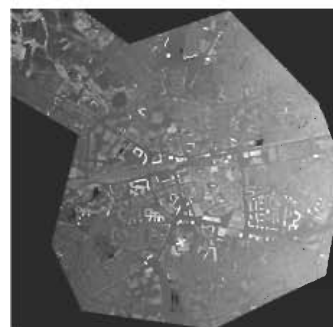


Fig. 1 Height image of the Enschede dataset.

Both the Zeeland and Enschede dataset were acquired with the FLI-MAP 400 system of Fugro-Inpark mounted in a helicopter (Fugro, 2007). Two GPS receivers on board of the helicopter were combined with multiple reference stations on the ground to determine the platform position. In case of

3. Measurements of Strip Offsets

3.1 Data preparation

With some 10-20 million points per strip datasets can not be processed in computer memory in one piece but need to be split up. After determining the points in the overlap area between two strips, the overlap is split into pieces of some one million points.

3.2 Extraction of ridge line pairs

For each piece of an overlap, the point clouds of both strips are first segmented into planes. This segmentation is done with a surface growing algorithm using a 3D Hough transform for detection of seed surfaces (Vosselman et al., 2004). As the Hough transform may be time consuming on large datasets, it was only applied to sets of 20 points to detect the presence of a plane. When a plane was found, the distance of nearby points (defined by a kd-tree) to the plane were tested and a point was added to the now growing surface when the distance was below some threshold. The parameters of the plane were re-estimated after adding points to the surface. However, to speed up the algorithm, this was only done after the number of points in the surface increased with 50%.

Planar segments of a minimum number of points and a slope in between 30 and 70 degrees are selected for further processing. For all pairs of nearby segments, an intersection line is computed. If both segments have points near a common part of this intersection line, a ridge line is found. Once ridge lines have been extracted from both strips, they have to be matched to determine the ridge line pairs. Two ridge lines are considered to correspond to the same building ridge if the ridge lines have a similar orientation and the centre point of one ridge line segment is within some distance of the ridge line in the other strip. The extraction of ridge line pairs is performed in a batch process for complete blocks. For the Enschede block, which had most points in the overlap, processing took about 20 hours on a 2 GHz PC with 2GByte RAM.

Occasionally, incorrect ridges are extracted due to errors in the segmentation step. Two examples are shown in Fig. 2. The right face of the roof in Fig. 2(a) is non-planar as can be seen from the large dispersion on the far right side. Still these points were classified as belonging to the same plane. In Fig. 2(b), the segmentation algorithm failed to distinguish between two nearly parallel planes.

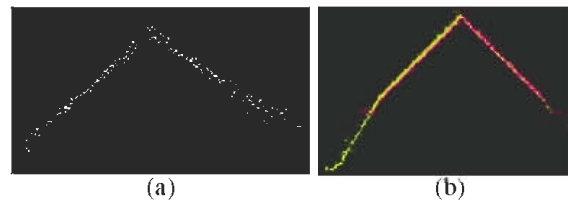


Fig. 2 Segmentation errors due to (a) a non-planar surface or (b) under-segmentation of two planes with slightly different slopes. Points from two strips in yellow (bright) and pink (dark).

In such cases the derived ridge lines are often incorrect. In particular when under-segmentation occurs in one strip, but not in the overlapping strip, the ridge line positions will differ and result in an incorrect offset estimation. A manual inspection step was therefore included to avoid that erroneous ridge lines were used in the computation of the strip offsets. Point clouds and ridge lines were inspected when the offsets in height or planimetry between the ridges were larger than twice the average offset sizes. For the Enschede dataset this resulted in 72 ridge line pairs to be removed out of the total number of 2115 detected pairs.

For the low point density dataset of Brabant (0.5 pts/m²), all buildings had to be checked manually. This was required to eliminate measurements on buildings like the one in Fig. 3. The points of two strips are shown in green (bright) and purple (dark). Because of the large distance between the scan lines and the usage of an oscillating mirror, the southern roof part is only covered by two nearby parallel scan lines in the strip shown in purple. Such a configuration of points would lead to an unreliable estimation of the slope of the roof plane and therefore also result in an unreliable estimation of the ridge line. Such cases could be detected automatically by inspection of the theoretical variances of the estimated plane parameters or a check on the sizes of the eigenvalues of the moment tensor of the point cloud. In the latter case, two small eigenvalues would indicate that all points are nearly collinear. For the purpose of estimating the ridge lines with cm accuracy, the point set on a roof face is good enough if it contains at least ten points and has a minimum bounding rectangle with a width of at least 1 m.



Fig. 3 Roof planes with only two nearly collinear scan lines.

3.3 Offset computations

Offsets have been computed between complete strips as well as for small strip parts.

3.3.1 Strip offsets

A ridge line pair in an overlap will only give information on the offset perpendicular to the ridge line. In order to determine two dimensional offsets between strips, the information of all ridge lines in an overlap has been combined. Let (x_1, y_1) be the position of the centre of a ridge line in strip 1 and let

$$x \cos \alpha_2 + y \sin \alpha_2 - d_2 = 0 \quad (1)$$

define the corresponding ridge line in the overlapping strip 2. The distance between the two ridge lines is then calculated as

$$e = x_1 \cos \alpha_2 + y_1 \sin \alpha_2 - d_2 \quad (2)$$

and the distance after applying an offset $(\Delta x, \Delta y)$ as

$$e = (x_1 + \Delta x) \cos \alpha_2 + (y_1 + \Delta y) \sin \alpha_2 - d_2 \quad (3)$$

The offsets $(\Delta x, \Delta y)$ between the strips have been computed such that the square sum of all distances between the corresponding ridge lines in an overlap was minimised.

3.3.2 Local offset vectors

To obtain insight into drifts in the determination of the sensor position, it is useful to compute offsets at multiple locations in a strip overlap. Therefore, offsets were computed for every set of five nearby ridge lines. In case all ridge lines in a set had a similar orientation, estimation of a two-dimensional offset vector is, of course, not possible. In this case additional ridge lines were added until the ridge line orientations spanned a range of at least 45 degrees.

4. Accuracy Analysis

For the three different blocks, offsets between the strips were computed with the above described method. Furthermore, the root mean square value of the distances between the corresponding ridge lines was calculated. After applying the offsets to the ridge lines of one strip, the remaining differences between the corresponding ridge lines were used to calculate the standard deviation of the planimetric misclosures. Local offset vectors for sets of a few buildings were only derived for the Enschede dataset.

In the Brabant dataset as well as in the Zeeland dataset insufficient ridge lines were available to study the offset drift in the overlaps. In the Brabant dataset this was due to the low point spacing as well as the narrow overlap. The Zeeland dataset was recorded in a very rural area with only one small village and hence contained only few buildings.

4.1 Brabant dataset

Fig. 4 shows the height image of the 16 strips of the Brabant dataset together with the location of the extracted roof ridges. The estimated offsets and accuracies are given in Table 2. Strip 56 was split in a western and eastern part, denoted by 56W and 56E respectively. The offsets in flight direction (X-direction) clearly show alternating high and low values. Most likely these offsets are caused by a boresight misalignment in the pitch rotation. As the terrain in this dataset has little height variation, one would expect that an offset would be sufficient to largely remove the discrepancies between the strips.

Table 2. Offsets and accuracies of the Brabant dataset.

Strip 1	Strip 2	# Roofs	Δx (cm)	Δy (cm)	RMS (cm)	StDev (cm)
53	54	23	-46.1	28.6	39.3	8.0
54	55	20	-23.3	25.9	27.5	7.7
55	56W	18	-29.3	31.1	36.6	4.1
55	56E	5	-44.8	25.2	26.1	2.4
56W	57	11	6.3	28.3	22.7	9.1
56E	57	4	6.0	34.4	29.8	2.1
57	58	25	-53.1	38.7	48.5	5.5
58	59	18	6.3	32.1	25.0	5.5
59	60	22	-61.2	43.4	57.3	7.8
60	61	17	-2.9	27.5	20.7	7.4
61	62	20	-48.9	40.7	49.2	5.9
62	63	19	7.9	29.0	24.1	13.8
63	64	19	-59.4	36.1	55.6	8.0
64	65	21	7.0	30.0	25.1	12.9
65	66	20	-67.8	29.7	51.3	17.6
66	67	7	9.9	31.9	23.0	5.7
67	68	5	-63.2	33.1	50.4	3.5

After applying the offsets, the standard deviations computed from the remaining ridge line residuals indeed are significantly lower than the RMS values. However, the planimetric accuracy is not homogeneous, but varies between 5 and 18 cm¹. This indicates the presence of small non-constant deformations of the strip point clouds.

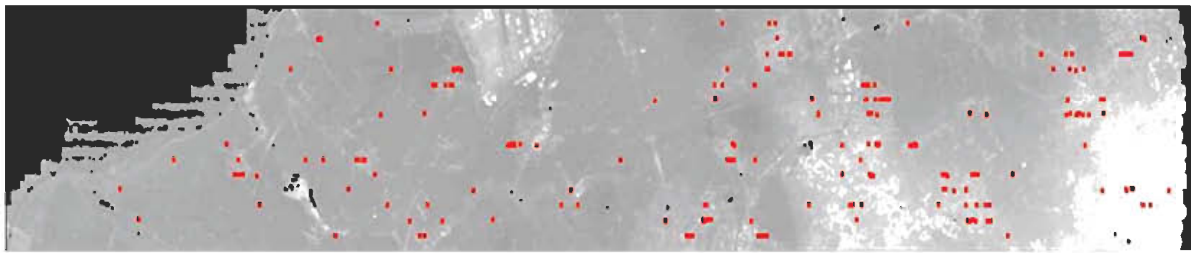


Fig. 4 Distribution of 257 roof measurements in the Brabant dataset.

After applying the offsets, the standard deviations computed from the remaining ridge line residuals indeed are significantly lower than the RMS values. However, the planimetric accuracy is not homogeneous, but varies between 5 and 18 cm¹. This indicates the presence of small non-constant deformations of the strip point clouds.

4.2 Zeeland dataset

Considering the relatively low flying height and usage of multiple reference stations, offsets in the investigated strips of the Zeeland block were quite high (Table 3). In this case the offsets were caused by a malfunctioning IMU which was already noted by the service provider. In most overlaps the effect of this error onto the planimetric strip offsets proved to be largely constant. Hence, the standard deviations after applying the offsets were again significantly lower than the RMS values. This was not the case for the last overlap (bottom row of Table 3). Here, the application of the relatively small offset did not lead to a significantly lower square sum of residuals.

Table 3. Offsets and accuracies of the Zeeland dataset.

# Roofs	Δx (cm)	Δy (cm)	RMS (cm)	StDev (cm)
9	-28.4	7.6	18.6	1.5
65	-10.2	-10.1	9.6	3.7
11	-13.0	-12.0	15.9	6.0
29	-14.1	-33.0	26.3	9.9
53	-21.7	-39.7	33.1	6.0
15	-4.7	-8.7	17.4	16.0

4.3 Enschede dataset

Fig. 5 shows the locations of the ridge lines extracted from the Enschede dataset. The areas in the overlap are shown in yellow (light grey). Green (dark grey) areas are only covered in one strip. In the south west part of the dataset a small area was covered by three strips, causing a wide yellow area with two or threefold overlaps.

A total number of 2043 ridge lines were extracted (Fig. 5). Although the distribution of ridge lines over the area is inhomogeneous, all strip overlaps contain at least 50 ridge lines. This allows an accurate estimation of the offsets as well as an analysis of drifts within an overlap. The offsets, RMS values and standard deviations in Table 4 show that this block has a very high accuracy. Without applying any corrections, the RMS values of the offsets between ridge lines are below 8 cm for all strip overlaps. The offsets between the strips are typically in the order of only 2-3 cm with the exception of the offsets between strip pairs 16-18, 10-7 and 9-8.

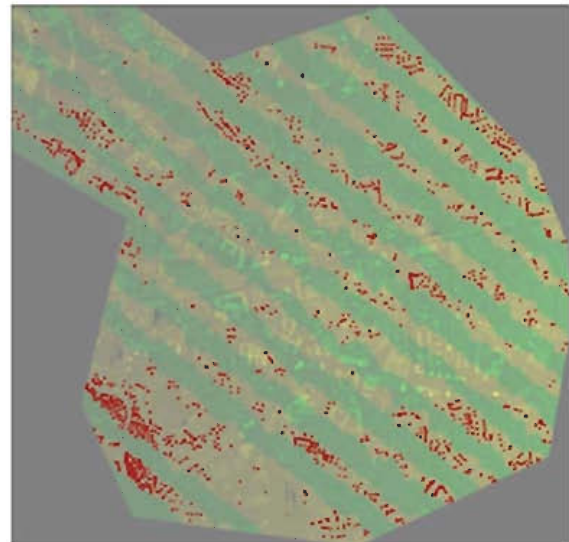


Fig. 5 Distribution of 2043 roof measurements in the Enschede dataset.

Inspection of the flight directions revealed that these three strip pairs consisted of strips with flight lines in opposite directions whereas all other strips pairs had the same flight direction. The offsets between the strip pairs with opposite flight directions are about 8-9 cm. Most likely all strips were shifted by some 4-4.5 cm due to a small calibration error (in addition to other even smaller systematic offsets). At a flight height of 275 m this could e.g. have been caused by a boresight misalignment of 0.009 degree.

¹ The standard deviations that are even lower are not reliable as they were computed from only a few buildings.

Table 4. Offsets and accuracies of the Enschede dataset with relative flight directions (parallel (P) / opposite (O)).

Strip 1	Strip 2	Flight direct.	# Roofs	Δx (cm)	Δy (cm)	RMS (cm)	StDev (cm)
17	19	P	165	-2.1	0.7	3.2	2.9
19	16	P	126	3.7	-3.0	4.8	3.4
16	18	O	78	1.7	8.1	6.2	3.0
18	15	P	150	-2.0	-0.8	3.5	3.1
15	13	P	182	1.7	-2.2	3.5	2.8
13	10	P	75	3.3	-2.6	4.3	2.9
10	7	O	228	0.2	-9.6	7.2	2.8
7	4	P	211	2.7	-1.8	4.0	3.3
4	14	P	129	3.9	-1.4	4.5	3.5
14	12	P	128	-0.7	-2.5	3.3	2.8
12	9	P	54	2.1	-2.8	3.8	2.8
9	8	O	188	0.1	8.8	6.9	2.6
8	5	P	180	2.7	-2.9	4.2	3.1
5	1	P	149	-2.0	-0.5	2.5	2.1

For every set of five nearby ridge lines, local offset have been computed to investigate drifts in the platform positioning. Fig. 6 shows the offset vectors at the point of gravity of the ridge lines used for the offset computation. Local offsets ranged up to 14 cm. In general, the offset vectors have similar sizes and directions throughout a strip overlap. In some strip overlaps systematic changes can be observed. E.g. in the second overlap in the northeast corner, offsets are clearly larger in the east part of the overlap.

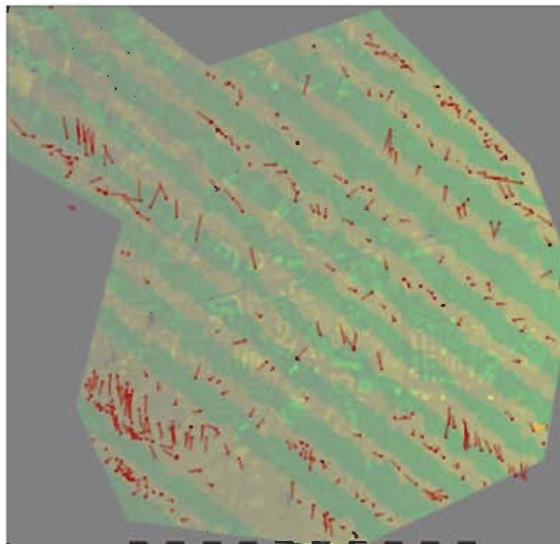


Fig. 6 Displacement vectors in Enschede dataset. The black dashes at the bottom of the figure correspond to 100 m in terrain and 10 cm in offset vector scale.

After correction for the global strip offsets (i.e. neglecting the drifts), standard deviations of the differences between the ridge lines have been computed (Table 4).

These standard deviations are consistently low with an average of 3.0 cm. These values include both the random positioning errors as well as the non-constant components of systematic errors. Considering that the values are standard deviations of position differences, it can be concluded that the standard deviation of the combined random and non-constant systematic errors in the X- and Y-coordinates is about 2.1 cm. This demonstrates the low noise level of platform positioning with the configuration of two receivers on board of the platform and multiple reference stations.

5. Conclusions

In the presented research it was shown that the planimetric accuracy of laser scanning surveys can be assessed largely automatically by extracting and comparing ridge lines in overlapping strips. The whole process can run as a batch job and only required smaller checks to eliminate incorrectly extracted ridge lines. In the three examined blocks offsets between strips proved to have a large constant component. Hence, a simple translation of strips could already significantly improve the planimetric accuracy of the point clouds.

The analysis of the dataset of Enschede demonstrated the high accuracy that can be obtained in platform positioning. With a little additional calibration, offsets between strips could be reduced to a maximum of 3-4 cm. Planimetric standard deviations of 2 cm have been achieved.

These estimated offsets as well as the standard deviation of remaining planimetric errors can be combined with the point density to derive the measures for the quality of cartographic features like building outlines extracted from point clouds. With the high point density datasets that currently become available it is expected that point clouds will not just be the main data source for producing digital elevation models, but also become of increasing importance for semi-automated mapping and map updating.

In addition to what was demonstrated in this paper, the extracted ridge lines can also be used for the determination of the height accuracy. If planimetric accuracy is of no concern, height accuracy may, however, be faster analysed by selecting horizontal patches in the strip overlaps (Crombaghs et al., 2000, 2002). Furthermore, the ridge line pairs could also serve as input to a strip adjustment procedure to remove both planimetric and height errors in the strips. While the basic observation in this adjustment is the distance between surfaces (Friess, 2006), the usage of line pairs easily allows to distinguish between planimetric and height accuracy.

Acknowledgements

The Brabant dataset was kindly provided by the Directorate-General of Public Works and Water Management (Rijkswaterstaat). The Zeeland dataset was kindly provided by AHN steering committee.

Références Bibliographiques

- Ahokas, E., Kaartinen, H., Hyypä, J., 2003. A Quality Assessment of Airborne Laser Scanner Data. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing, and Spatial Information Sciences*, Dresden, Germany, vol. 34, part 3/W13, pp. 1-7.
- Brenner, C., 2005. Building reconstruction from images and laser scanning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 6 (3-4), 187-198.
- Burman, H., 2000. Adjustment of laserscanner data for correction of orientation errors. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing, and Spatial Information Sciences*, Amsterdam, the Netherlands, vol. 33, part B3/1, pp. 125-132.
- Clode, S.P., Kootsookos, P.J., Rottensteiner, F., 2004. Accurate Building Outlines from ALS Data. In: *Proceedings 12th Australasian Remote Sensing and Photogrammetry Conference*, October 18-22, Fremantle, Perth, Western Australia. http://eprint.uq.edu.au/archive/00001316/01/clode_et_al_perth.pdf (accessed November 13, 2007).
- Csanyi, N., Toth, C.K., 2007. Improvement of Lidar Data Accuracy Using Lidar-Specific Ground Targets. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 73 (4), 385-396.
- Crombaghs, M., Min, E. de, Brügelmann, R., 2000. On the Adjustment of Overlapping Strips of Laser Altimeter Height Data. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing, and Spatial Information Sciences*, Amsterdam, the Netherlands, vol. 33, part B3/1, pp. 230-237.
- Crombaghs, M., Oude Elberink, S., Brügelmann, R., Min, E. de, 2002. Assessing height precision of laser altimetry DEMs. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing, and Spatial Information Sciences*, Graz, Austria, vol. 34, part 3A, pp. 85-90.
- Friess, P., 2006. Towards a rigorous methodology for airborne laser scanning. *Proceedings International Calibration and Orientation Workshop (EuroCOW 2006)*, 7 p. http://www.isprs.org/commission1/euroCOW06/euroCOW06_files/papers/PeterFriessEuroCOW_2006.pdf (accessed March 28, 2008).
- Fugro, 2007. FLI-MAP. <http://www.flimap.nl/> (accessed November 12, 2007).
- Kager, H., 2004. Discrepancies Between Overlapping Laser Scanning Strips- Simultaneous Fitting of Aerial Laser Scanner Strips. *International Society for Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Istanbul, Turkey, vol. 35, part B/1, pp. 555-560.
- Matikainen, L., Hyypä, J., Hyypä, H., 2003. Automatic Detection of Buildings from Laser Scanner Data for Map Updating. In: *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Dresden, Germany, vol. 34, part 3/W13, pp. 218-224.
- Rottensteiner, F., 2003. Automatic generation of high-quality building models from LIDAR data. *IEEE Computer Graphics & Applications* 23 (6), 42-50.
- Sampath, A., Shan, J., 2007. Building Boundary Tracing and Regularization from Airborne Lidar Point Clouds. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 73 (7), 805-812.
- Sohn, G., Dowman, I., 2007. Data fusion of high-resolution satellite imagery and LiDAR data for automatic building extraction. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 62 (1), 43-63.
- Vosselman, G., 2002. Strip Offset Estimation using Linear Features. 3rd International Workshop on Mapping Geo-Surficial Processes using Laser Altimetry, Columbus, Ohio, USA, October 7 - 9, <http://www.itc.nl/personal/vosselman/papers/vosselman2002.columbus.pdf> (accessed October 30, 2007).
- Vosselman, G., Gorte, B.G.H., Sithole, G., Rabbani, T., 2004. Recognising structure in laser scanner point clouds. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 46, part 8/W2, Freiburg, Germany, October 4-6, pp. 33-38.
- Vosselman, G., Kessels, P., Gorte, B.G.H., 2005. The Utilisation of Airborne Laser Scanning for Three-Dimensional Mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 6 (3-4), 177-186.
- Vosselman, G., Maas, H.-G., 2001. Adjustment and filtering of raw laser altimetry data. In: *Proceedings of OEEPE Workshop on Airborne Laserscanning and Interferometric SAR for Detailed Digital Terrain Models*, Stockholm, Sweden, OEEPE Publication N°. 40, on CD-ROM, 11 p.
- Vu, T.T., Matsuoka, M., Yamazaki, F., 2004. LIDAR-based change detection of buildings in dense urban areas. In: *Proceedings IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS'04*, vol. 5, pp. 3413 - 3416.
- Wang, O., Lodha, S. and Helmbold, D., 2006. A Bayesian Approach to Building Footprint Extraction from Aerial LIDAR Data. *Third International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission (3DPVT)*, Chapel Hill, USA.

Application of geomatics in photovoltaics

J. BESENICAR, B. TRSTEMJAK, D. SETNIKA

^aIGC, Slovenia - besenicar.jure@siol.net ^bERC – ENERGETIKA d.o.o., Stanetova 27, Celje, Slovenia - boris.trstenjak@erc-energetika.si ^cGeodetski zavod Celje, d.o.o., Ul. XIV. Divizije 10, Celje, Slovenia - dusan.setnikar@gz-ce.si

ملخص: تكتشف الأمم المتحدة في تقريرها المتعلق بحماية المناخ عن استخدام أكبر مصدر من مصادر الطاقة المتجددة. في بداية هذه القائمة الأنظمة الفوتوفولتكية التي تولد القوة من الطاقة الشمسية بشكل موثوق وبدون أي تأثير على البيئة. للإستغلال هذه الفوائد بشكل مثالي يجب أن نتخذ ونوجه الأنظمة الفوتوفولتكية بشكل صحيح في البيئة لمطابقة المواصفات المطلوبة (زمن العزل، منطقة التوجيه، المعطيات القانونية، قوة الشبكة الساكنة و / أو الدينامكية الخ) لتبرير استعمال الأنظمة الفوتوفولتكية بطريقة اقتصادية طبقت الجيوماتية تبعاً للقرارات. عززت سلوفينيا في السنوات الـ 15 الماضية النظام الوطني للبناء التحتي Geoinformation المستعمل على نحو واسع في القطاع الحكومي والخاص في مختلف التطبيقات الموضوعية و المشروع الموجّه. تبين هذه المساهمة تطبيق قاعدة معطيات الجيوماتية الوطنية القياسية للبناء التحتي في مجال الفوتوفولتايك. إن استعمال قواعد المعطيات مثل العزل، نموذج المنسوب رقمي، صور ذات الإسقاط العمودي الرقمي، سجل أراضي الأرض، سجل أراضي البناءات، و المخططات الفضائية لحماية البيئة الموصوفة بالتفصيل تُشير إلى دورهم في عملية تحقيق الأمثلية. كل العملية مدعومة بالأمثلة العملية بما في ذلك المكونات التقنية والإقتصادية.

الكلمات الأساسية: المناخ، بيئة، تطبيق، GIS، نظام ثلاثي الأبعاد، طاقة شمسية، فوتوفولتايك.

Résumé : Le rapport des nations unies sur le climat montre que pour sauver le climat il faut utiliser les plus grandes ressources d'énergie renouvelables. En tête de cette liste les systèmes photovoltaïques qui produisent sérieusement la puissance de la lumière du soleil et sans aucun impact sur l'environnement. Pour exploiter ces avantages optimalement les systèmes photovoltaïques doivent être correctement-localisés et orientés dans l'environnement pour répondre aux caractéristiques techniques exigées (temps d'isolement, zone d'orientation, législation de données, réseau de puissance statique et / ou dynamique etc.). Pour justifier de manière économe l'usage des systèmes photovoltaïques la géomatique a été appliquée dans par décision. La Slovénie a systématiquement dans les 15 dernières années, développée le système national d'infrastructure geoinformation qui est utilisé beaucoup dans le secteur gouvernemental et privé pour les différentes applications thématiques et projet orienté. Cette contribution montrerait l'application de la base de données géomatique nationale standard d'infrastructure dans le domaine de la photo-voltaïque. L'usage de base de données tel que l'isolement, modèle d'élévation numérique, orthophoto numérique, le cadastre, cadastre de constructions,

cadastre des équipements d'infrastructure publique et les plans spatial de protection de l'environnement sont décrits en détail en indiquant leur rôle dans le processus d'optimisation. Le processus entier est soutenu par des exemples pratiques y compris les composants techniques et économiques.

Mots-clés: Climat, Environnement, Application, GIS, Système à trois dimensions, Énergie Solaire, photovoltaïque.

Abstract : The United Nations climate report discloses that saving the climate is to make greater use of renewable energy resources. On the top of this list are photovoltaic systems generating the power from sunlight reliably and without any impact on the environment. To optimally exploit these advantages the photovoltaic systems must be properly located and oriented in the environment to meet the required specifications (insulation time, area orientation, legislation data, static and/or dynamic power network etc.). To economically justify the use of the photovoltaic systems the geomatic was applied in the decision making process. Slovenia has in last 15 years systematically built up the system of national geoinformation infrastructure which is widely used in governmental and private sector for different thematic and project oriented applications. This contribution would like to show the application of the standard national geomatic infrastructure data base in the photovoltaic domain. The use of the data bases such as insulation, digital elevation model, digital orthophoto, land cadastre and land register, cadastre of buildings, cadastre of public infrastructure facilities and environmental spatial protection plans is described in detail indicating their role in the optimization process. The entire process is supported with practical examples including the technical and economical components.

Key words : Climate, Environment, Application, GIS, Three-Dimensional System, Solar Energy, Photovoltaic.

1. Preface

1.1 Solar energy

The solar illumination radiation of Slovenia was elaborated by the quasi-global radiation model. Solar energy depends on the incidence angle (astronomical

* Corresponding author.

and terrain conditions) and on the duration of solar radiation. The annual global and quasi-global radiation energy was calculated as the sum of all energies over all decades. (Figure 1).

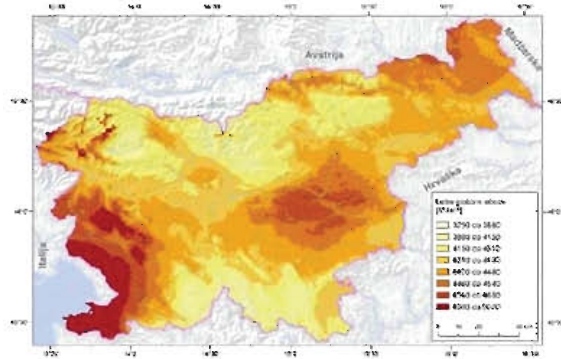


Fig. 1 Energy of annual global radiation in Slovenia.

1.2 Photovoltaics

Photovoltaics is a solar power technology that uses solar cells or solar photovoltaic arrays to convert sunlight directly into electricity. Photovoltaics is also the field of study relating to his technology and there are many organizations devoted to work on photovoltaics. The manufacture of photovoltaic cells has expanded dramatically in recent years. Mostly the installations are grid-tied, ground-mounted or building-integrated. (Figure 2)



Fig. 2 Ground-mounted and building-integrated photo-voltaic arrays.

1.3 Geomatics infrastructure

In last 15 Years Slovenia has build up numerous geoinformation infrastructure databases ranging from property registers, technical infrastructure databases and various registers to support the management of the real estates. The entire geo-infrastructure follows international standards and is governmentally owned. Figure 3 shows few examples of geomatic databases.

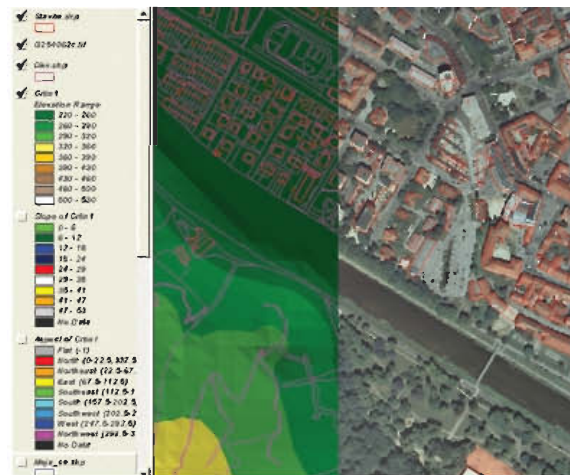


Fig. 3 Land cadastre, cadastre of buildings, digital terrain model and its optional derivatives (slope inclination and orientation). DOF.

2. Legal basics

The basics for the realisation of entire European Union climate- energy package of measures (worth 60 billion €) are action programmes which have to be ratified by national parliaments. In this context Slovenia will have to increase the part of renewable energy resources by 2022 from 16% to 25%. This way European Union will decrease the external dependence from oil and gas and essentially increase energy security.

One of the most important alternative sources of energy is photovoltaic which essentially contributes to friendly European environment.

3. Problem definition

In order to identify the necessary geoinfrastructure databases, the entire process of operational photovoltaics had to be defined. The process comprises 2 steps. In the first run the estimation of the entire technical feasibility and economical investment are elaborated. If the estimation is positive then the second run is realised which brings the project to the operational production of electrical power.

This paper has the intention to show how the geomatics is used in the first run in order to produce reliable technical and economical results for later actual execution of the project. The following abbreviations are used in the process diagram for the geo databases :

- solar illumination radiation – SIR
- land cadastre and land register – LCLR
- cadastre of buildings and land register – CBLR
- environment protection plan – EPP
- public infrastructure – PI
- digital terrain model – DTM
- digital orthophoto - DOF
- topographic data / buildings - TDB

Figure 4 shows the process diagram of the photovoltaic project and identification of the geomatic databases.

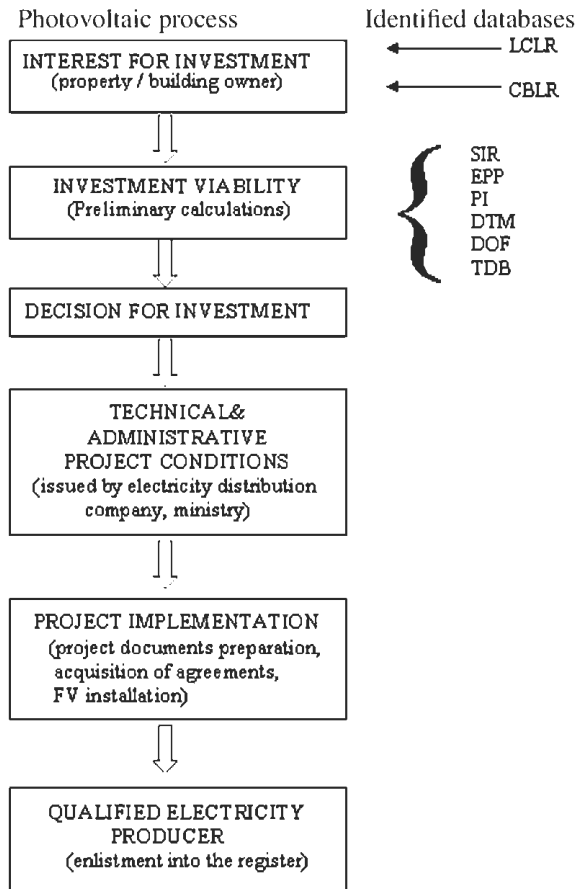


Fig. 4 Photovoltaic process and geomatic databases.

4. Determination of components

4.1 Determination of the object

The object under consideration is determined either from land cadastre or from cadastre of buildings with necessary attributes. The ownership is identified from land register.

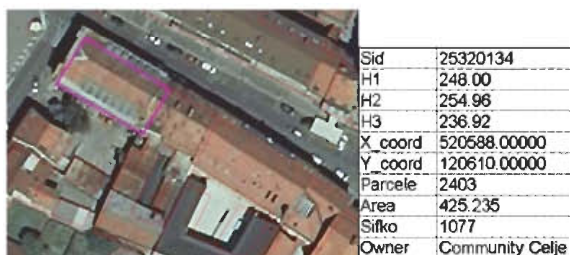


Fig. 5 Determination of the object (cadastre of buildings with DOF, selected attributes from cadastre of buildings and land register).

4.2 Determination of the solar radiation

The solar radiation is determined from the solar radiation database. Solar radiation is determined in MJ/m²/year. It depends on the location of the object in the particular radiation zone. Medium values for those 4 zones are varying from 3700 to 4500 MJ.

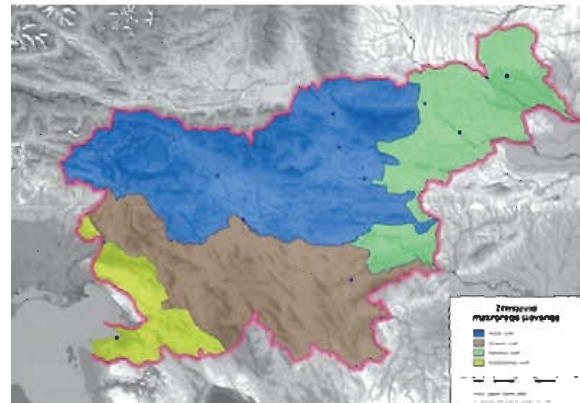


Fig. 6 Solar determination radiation regions (alpine, dinaric mountain, panonian basin and Mediterranean region).

4.3 Area of the object

In case of the parcel, the area is determined directly from land cadastre. If the object is building the area of the roof is determined directly from cadastre of buildings or by counting the pixels (0,5m x 0,5m) in digital orthophoto. In both cases the area has to be corrected by the inclination factor.



Fig. 7 Area determination.

4.3 Azimuth

Azimuth determination for parcels is determined by digital slopes orientation database.

The azimuth of the roof can be determined through computation based on the measured coordinates of the relevant points on the roof. Due to simplicity the azimuth in the operational photovoltaic system is defined just by overlaying a compass based diagram on the displayed object. The reading is recorded manually.

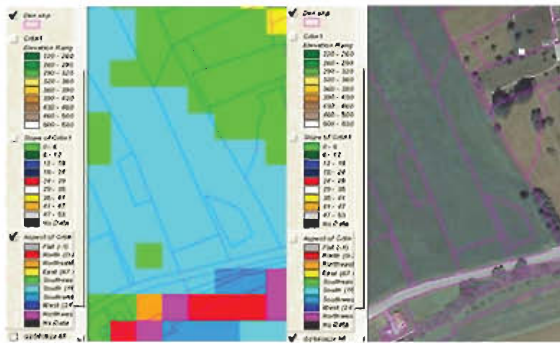


Fig. 8 Azimuth determination for parcel.

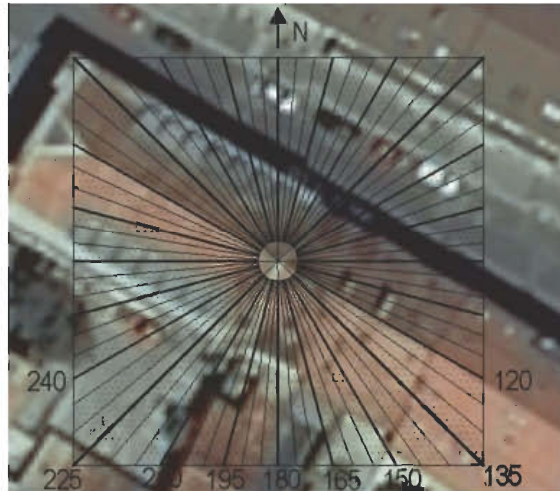


Fig. 9 Azimuth determination for object.

4.4 Inclination

Inclination of the roof is determined by using formula

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{b}{a}$$

where b = roof height obtained from the cadastre of buildings
 a = horizontal component of a steep, measured from DOF

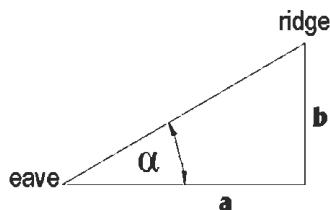


Fig. 10 Inclination determination.

4.5 Determination of solar energy for the object

To properly estimate the effect of inclination angle and azimuth the relevant diagram was generated for northern latitude of 45 degrees. The diagram defines the approximate percentage areas of solar energy in dependence of inclination and azimuth.

Now, the total solar energy on the object can be computed as follows :

$$SE_{total} = SE \cdot Area \cdot IA$$

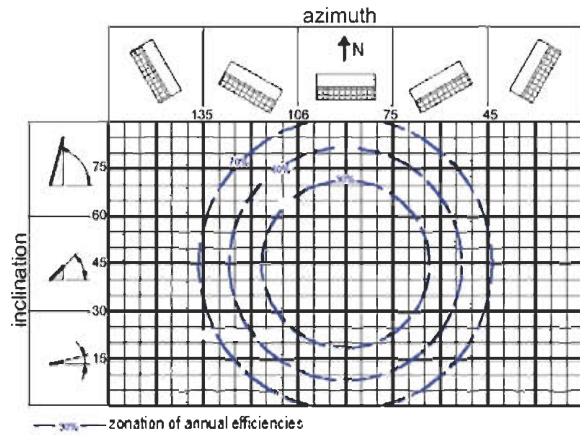


Fig. 10 Solar energy as the function of inclination and azimuth.

where SE_{total} = Total solar energy [KW/day]
 SE = Solar energy in Slovenian zone [W/m²/day]
 $Area$ = area of the object [m²]
 IA = Solar energy as the function of inclination and azimuth [%]

With determined SE_{total} it is now possible to estimate the economic viability of the potential solar power plant. If the result is positive further computations take place regarding technicalities of the entire project. If, again, the results are positive the actual elaboration of solar power plant takes place having all necessary economic, legal and technical implications.

5. System operability

The main goal of this project was to equip the photovoltaic engineers with fast and reliable tool to estimate the economically viable conditions for potential solar power exploitation. More detailed computations are made during project documents preparation. Therefore the operations are kept as simple as possible allowing effective relevant computations (the entire process requires at max 10 minutes). On the other hand the geoinformation infrastructure proves to be extremely usable especially in the domain of time and costs savings.

6. Future developments and recommendations

It must be emphasized that the described application of the geomatics is one of many being already operational. These are ranging from communities to enterprises management, support to water and energy supply, environment protection and many others. But as the rule of thumb we have to bear in mind that potential applications will only be successful if the user processes are clearly defined allowing optimal use of geomatics.

Bibliographie

Zaksek, K., Oštir K., Podobnikar T , 2003. Solar illumination radiation of Slovenia. Geodetski vestnik 47/2003 (1&2), pp. 55-63.

Investigation of elevation bias of the SRTM C- and X-band digital elevation models

K. Becek

UBD, Geography Department, Jalan Tungku Link, Gadong, BE1410, Brunei Darussalam -
kbecek@fass.ubd.edu.bn

ملخص : يفتم العرض نتائج الدراسة المقارنة لإرتفاع النباتات معطيات المهمة الطبوغرافية للمكوك الفضائي، لكل من شريطين C و X (SRTM.C/X). قارنت معطيات الشريط C/XSRTM مقابل نموذج الأرض الرقمي ذات تمييز عالي. فوارق الوحدة الصورية في SRTM.X سالبة في SRTM.C تتعلق بالأرض (زراعة، بيت، شجرة، ماء)، تبين نتائج التحقيقات بأن SRTM.X لا يمثل نسبة الأرض المزروعة بنباتات معينة و أن النطاق X يخترق الغطاء العميق للنباتات أكثر من الشريط C. أختيرت المنطقة التي تقدر بحوالي 159 كيلومتر مربع على الساحل الذهبي، كوينزلاند، أستراليا كعطوف اختبار. تقدر منطقة الإهتمام تقريبا ب 57% مغطات بنباتات متنوعة من الأرض المعشبة والشجيرات للتشجير. سمحت طريقة الدراسة بتطوير النموذج الإحصائي الذي يربط إرتفاع النباتات والنسبة المئوية بغطاء القطعة الأرضية. بعد التحقق من أنواع النباتات يمكن أن يستعمل هذا النموذج لتقييم وإزالة النموذج InSAR. أن يكون هذا النموذج مستعمل أيضا لتقييم كميات الكتلة العضوية وتباينها. من المأمول أن النتائج ستحفز أيضا التحقيقات لتطوير نظام InSAR المتعدد التردد لجمع معطيات منسوب الأرض و خواص الكتلة العضوية.

الكلمات الأساسية : الكشف عن بعد، نباتات، إسترجاع، متعدد التردد، DEM/DTM, SAR, غطاء الأرض.

Résumé : Cet exposé présente les résultats de l'étude comparative de l'élévation de la végétation causée par le produit des données de la mission topographique de la navette spatiale pour les deux bandes C- et X (SRTM.C/X). Les données des bandes SRTM.C/X ont été comparées contre un modèle de terrain numérique à haute résolution. Les différentes pixel basées dans SRTM.X moins dans SRTM.C ont été correspondues avec l'occupation des sols (agriculture, maison, arbre, eau.). Les résultats des études incluent que SRTM.X ne représente pas un haut canopé de végétation et que la bande X pénètre la couverture de la végétation plus profonde que la bande C. Comme le test du site, une zone approximativement de 159 Km² sur la côte d'or, Queensland, l'Australie, a été sélectionné. La zone d'intérêt est approximativement de 57% couverte de végétation qui varie de prairie et arbrisseaux. La méthode d'étude a permis le développement du modèle statistique liant l'élévation au pourcentage de la couverture de la végétation d'une parcelle donné. Ce modèle, une fois vérifié sur variétés de types de végétation, pourrait être utilisé pour estimer et éliminer l'élévation du modèle de l'élévation InSAR. Ce modèle pourrait aussi être utilisé pour estimer des quantités de la

biomasse et leurs variations. Il est espéré que les résultats stimuleront aussi des conclusions pour le développement du système InSAR à multifréquence pour rassembler les données de l'élévation du terrain et attribue de la biomasse.

Mots-clés : Télédétection, Végétation, Récupération, Multifréquence, DEM / DTM, SAR, occupation des sols.

Abstract : The paper presents results of a comparative study of the vegetation-caused elevation bias of the space shuttle topographic mission data product, both C- and X-band (SRTM.C/X). The SRTM.C/X bands data were compared against a high-resolution digital terrain model. Pixel-based differences in SRTM.X minus SRTM.C were correlated with land cover ('agriculture', 'house', 'tree', 'water'). Findings of the investigations include that the SRTM.X does not represent a canopy top of vegetation and that the X-band penetrates deeper vegetation cover than the C-band. As a test site, an area of about 159 km² on the Gold Coast, Queensland, Australia, was selected. The area of interest is about 57% covered by vegetation varying from grassland and shrubs to forest. The study method allowed the development of a statistical model relating the elevation bias to the percentage of the vegetation cover of a given land parcel. This model, once verified on varieties of vegetation types, could be utilised to estimate and eliminate the elevation bias from the InSAR elevation model. This model could also be utilised for estimating biomass quantities and their variations. It is hoped that the results will also stimulate investigations towards developing a multi-frequency InSAR system for collecting both terrain elevation data and attributes of biomass.

Key words : Remote Sensing, Vegetation, Retrieval, Multifrequency, DEM/DTM, SAR, Land Cover.

1. Introduction

The shuttle radar topography mission elevation data product (SRTM) is one of the most valuable global resources of topographic data to date (Rabus, et al., 2003). It was developed for about 80% of the global landmasses using C-band ($\lambda = 5.3$ cm or $f = 5.7$ GHz) InSAR (interferometry synthetic aperture radar) technology. The vertical (absolute) accuracy is quoted at ± 3.3 m – 7.3 m (Rodríguez, et. al., 2005).

Pixel size for the U.S. territories is one arc-second (~30 m), and for the remainder of the globe three arc-second (~90 m). The second instrument flown during the same *Endeavour* mission (February, 2000) used the X-band electromagnetic spectrum ($\lambda = 3.1$ cm or $f = 9.7$ GHz), but without the so-called scan mode which provided the data for selected areas of the globe only. These data are available at one arc-second pixel size (~30 m) at a cost of €400 for 15' by 15' tile. Both elevation data products (note neither DTM nor DEM) exhibit elevation bias due to the partial penetration of vegetation by the electromagnetic waves at those bands (C and X). The effect will be referred to as impenetrability of vegetation cover. The level of impenetrability is the layer of vegetation above the ground which is not penetrable by the C- or X-band. The magnitude of the impenetrability depends on many factors related to complex interactions between electromagnetic waves and the 3D object—the vegetation cover. The current scientific position is that the C-band penetrates the vegetation (forest) to about 50% of its thickness, whereas the X-band is reflected from the top of the tree canopy (Carabajal et al., 2006; Balzter et al., 2007). This position seems to be contradicted by at least a few authors who demonstrated that C/X-band impenetrability may be very similar (Werner et al., 2005; Simard et al., 2006). Moreover, it will be shown that the X-band impenetrability can be smaller than the C-band. These inconsistencies are most likely caused by the size, shape, and orientation of scatters within the tree canopy, and can theoretically be used for quantitative assessment of vegetation or biomass. Quantitative assessments of vegetation structure using SRTM data were studied by (Kellendorfer et al., 2003), who considered determination of vegetation height, using for reference the 'bald-Earth' elevation and SRTM error mitigation procedure. Walker et al., 2007, considered the quality of the SRTM C- and X-band elevation data and their suitability for retrieval of the vegetation canopy height. Balzter et al., 2007, experimented with an airborne L-band and derived and smoothed the 'bald-Earth' elevation model and X-band canopy height. The reported accuracy of that experiment is remarkably high probably because of the relatively flat test site. In this paper, the impenetrability of vegetation cover is investigated. The test site, located in Australia, consists of various types of land cover, varying between grassland, urban, and tree cover with various densities. The main goal of the investigation is to document the existence of situations where X-band impenetrability is less than that of C-band, or in other words, when X-band microwaves penetrate the vegetation cover deeper than C-band waves. An attempt is also made to relate the difference in impenetrabilities to the height, density, and type of vegetation cover.

Answers to those questions can lead to the development of a multifrequency (C/X/L-band) microwave system for mapping the vertical structure of vegetation cover.

2. Material and methods

2.1 Test site

The test site comprises the northern part of Gold Coast City, Queensland, Australia (top left: 153.25 E, 23.75 S, and bottom right: 153.5 E, 28 S). All water bodies were masked out from further consideration. The area of the considered terrain was about 153.9 km². A sun-shadowed view of the test site is shown.

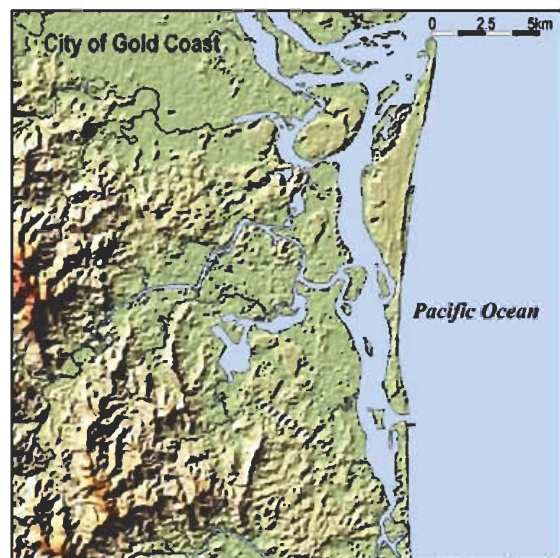


Fig. 1 Sun-shadowed view of the test site. Gold Coast City, Queensland, Australia.

In Figure 1. The geomorphology of about half of the site is composed of low, flat alluvia; the remainder is formed by eroded hills and valleys of volcanic origin.

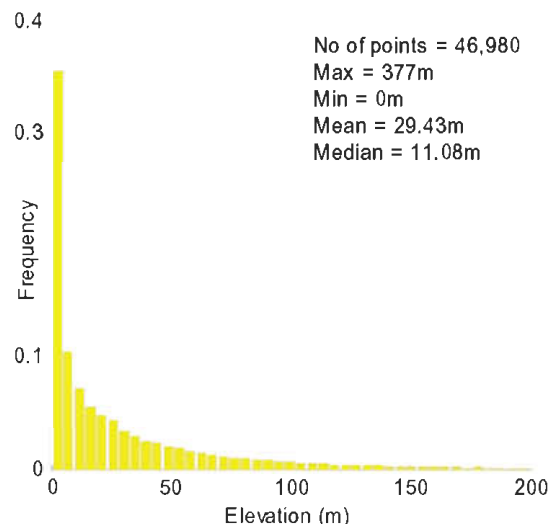


Fig. 2 Histogram of elevations of the test site.

The highest point is about 377 m a.m.s.l. The mean and median elevations are about 29 m and 11 m, respectively. Figure 2 shows a histogram of the terrain's elevation, which resembles an exponential distribution. The degree of the terrain's roughness can be seen in Figure 3. The mean slope for AOI is about 3°, which is classified as flat terrain. The AOI land cover can be divided into four land cover classes, e.g., a) agricultural land (predominantly under sugar cane and pastoral areas); b) trees and shrubs usually forming dry rainforest and open eucalyptus forests of grey gum (*Eucalyptus punctata*) open-crowned tree, blue gum (*Eucalyptus tereticornis*), and stringybark and tallowwood (*Eucalyptus microcorys*) trees. Mean tree height is about 20 m, but it can reach 45 m in instances; c) high-density housing estates with very low to none tree cover; and d) water bodies in the form of small dams or lakes, and artificial channels connected to rivers. Land cover of about 10%, 57%, 19%, and 14% constituted classes a, b, c, and d, respectively.

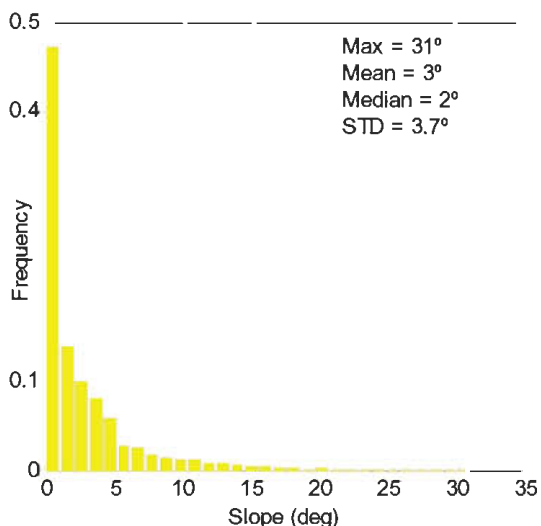


Fig. 3 Histogram of the terrain's slopes of the test site.

2.2 Data

2.2.1 SRTM Data

The SRTM.C, so-called finished data, version 2 (cell S28E153.hgt.zip) were downloaded from the JPS/NASA site : <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/SRTM3/Australia/>. This is the recommended source of the SRTM.C because its three arc-second downsampling has been achieved using the so-called averaging procedure (Becek, 2007). A 15 arc-minute SRTM.X one arc-second cell (starting at 153.25 E, 28.0 S – bottom left corner) has been purchased from the German Aerospace Center (DLR). All pixels falling within water bodies were removed. Every pixel from the SRTM.X data set was associated with the so-called height error map value

HEM), a pixel-based accuracy measure provided as a part of the X-band data package. The HEM value is statistically determined from a neighbourhood of pixels mainly considering the phase and baseline stability. Thus, it is a relative measure of the precision. The HEM varies in a range from 0 to 255. The C-band elevations are referred to the sea level means. The X-band ellipsoidal elevation was converted to mean sea level using the AusGeoid98 model <http://www.ga.gov.au/geodesy/ausgeoid/>. The C-band pixels were also associated with an accuracy measure derived from the slope of the terrain. In the following section, a procedure facilitating that is described.

2.2.2 DTM Data

As reference terrain elevation data, a set of spot elevations was used. The accuracy of the photogrammetrically/lidar derived elevations is better than ± 0.3 m (1σ). The mean density of the spot elevations was about 48 points /ha.

2.2.3 Land Cover Data

The Digital Cadastral Data Base (DCDB), one of the standard 'spatial' products available in Queensland, Australia, at minimal cost, was used for parcel-based land cover classification. By means of photointerpretation of high-resolution 2003 aerial photography (0.15-m pixel), about 71,500 land parcels were classified as 'Agriculture', 'House', 'Water', and 'Tree'. The 'Tree' parcels were also assigned visually assessed percentages of tree cover. Figure 1 shows DCDB in the background of an aerial photograph.



Fig. 4 Parcel-based classification of land cover including the percentage of tree cover. 'A' denotes 'Agriculture', 'H' – 'House', 'T35' – 35% of 'tree' cover, and 'W' – 'water'.

2.3 Method

In the following, the data processing procedure will be presented. As a basic unit for calculations and data aggregations, a buffer with a 45-m radius

centred on the centre of every C-band pixel was used. For every such buffer, the following data were available :

- a) Average X-band elevation (calculated from up to 12 points),
- b) Average reference elevation (calculated from 13.3 (1 -108) - in average - reference spot elevations,
- c) Type of land cover,
- d) Percentage of tree cover,
- e) Aspect calculated from C-band data,
- f) Slope calculated from C-band data,
- g) HEM value for X-band pixels, and
- h) A pixel based accuracy of C-band elevations.

Buffers with missing data in any field or containing SRTM.X pixels with HEM>10 were omitted from further processing. Overall, 53,190 buffers were available for further processing. Data preparation also included identification of horizontal mis-registration of both C- and X band data in relation to the reference DTM. This was performed by calculating the cross-correlation plot for two perpendicular transects (N-S and E-W). No shift was detected at the lag level of 2.5 m. In the next step, the differences in elevations between SRTM and reference DTM for every buffer were calculated :

$$\begin{aligned} dC &= C - \langle R \rangle, \\ dX &= \langle X \rangle - \langle R \rangle, \\ dCX &= C - \langle X \rangle \end{aligned} \quad (1)$$

where dC, dX, dCX = difference in elevation, C, X and $R = C-, X$ -band elevations, and R is the reference elevation, $\langle \rangle$ = spatial (buffer) averaging operator.

Variation of difference (σ_d^2) was calculated for every buffer as a sum of the variations of the C/X-band ($\sigma_{C/X}^2$) and variations of the reference elevation (σ_R^2):

$$\sigma_d^2 = \sigma_{C/X}^2 + \sigma_R^2 \quad (2)$$

he pixel-based variation of the C/X-band data ($\sigma_{C/X}^2$) was calculated as a sum of the variation of the SRTM instrumental error and error caused by impenetrability in conjunction with C/X - pixel size (Becek, 2008):

$$\sigma_{C/X}^2 = 1.55^2 + 1/12 * d^2 * \tan^2(s) \quad (3)$$

where $d = 30$ m or 90 m for X- or C-band pixel $s =$ slope of terrain within a pixel, and 1.55 m is an experimentally derived standard deviation of the instrumental errors of the SRTM.

In the next step, using a reciprocal of the variance (2) as the weight, the weighted average differences $dCw, dXw, dCXw$, and their standard deviations were calculated for every parcel (belonging to one of the land cover classes). The calculations were done using well-known formulas:

$$d(\cdot)w_i = \left\langle \frac{\sum d(\cdot)g}{\sum g} \right\rangle_i \quad (4)$$

$$g = 1 / \sigma_d^2 \quad (5)$$

where $d(\cdot)w_i$ = weighted difference dC, dX , or dCX for i -th parcel
 $\langle \rangle$ = spatial (parcel) averaging operator.

The standard deviation of the average difference (Equation 4) can be calculated using the following formula:

$$\sigma_d^2 = \sigma^2 / \sum g \quad (6)$$

Where σ = the standard deviation of an average difference with the weight equal to 1, and g = weight (Equation 5).

Calculated average differences for every parcel were subsequently analysed as a function of the land cover.

3. Results

The vegetation impenetrability and anthropogenic obstructions found above the surface of the Earth introduce asymmetry into the histogram of elevation differences (SRTM minus 'bald-Earth' reference elevations) (Heipke, et al., 2002). Histograms in Figure 5, 6, and 7 were developed for vegetation impenetrabilities (Equation 2). The mean differences for SRTM.C/X minus the reference elevation are 6.62 m and 2.53 m, respectively. Hence, the mean difference for SRTM.C minus SRTM.X is about 4 m.

The histograms in Figures 5 and 6 do not follow the Gaussian-fitting curve. This is because they represent a compound probability distribution function of two stochastic processes: one is the 'bald-Earth' difference between SRTM and reference DTM, which follows the Laplace distribution; the second one is created as the same difference but considered over vegetated areas—it follows the Gaussian distribution. The Gaussian probability density function is given by the well-known formula:

$$f(x|m, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-0.5\left(\frac{x-m}{\sigma}\right)^2}, \quad (7)$$

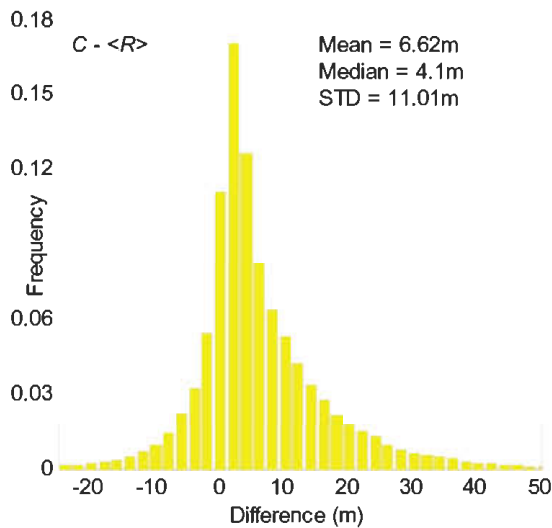


Fig. 5 Histogram of buffer-based elevation differences C-band minus reference elevation.

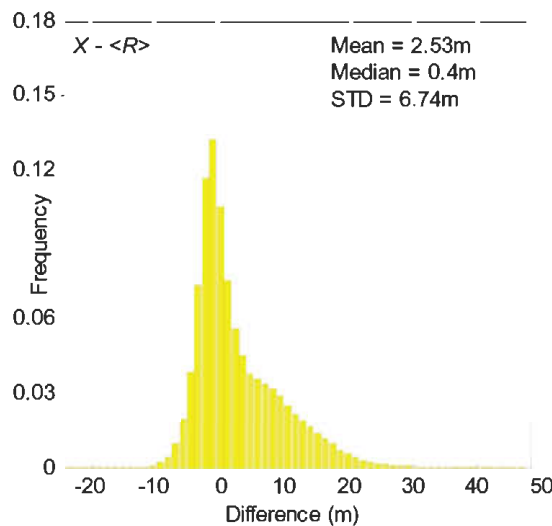


Fig. 6 Histogram of buffer-based elevation differences X-band minus reference elevation.

where m = mean value, and σ = standard deviation.

The Laplace probability density function is given by (Norton, 1984):

$$f(x|\mu, b) = \frac{1}{2b} e^{-\frac{|x-\mu|}{b}}, \quad (8)$$

where μ = location parameter, b = scale parameter.

For N independent and identically distributed differences d_1, d_2, \dots, d_N , estimator of $\mu - \tilde{\mu}$ is the median of differences, and the estimator of $b - \tilde{b}$ can be calculated using the maximal likelihood estimator from:

$$\tilde{b} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |d_i - \tilde{\mu}|, \quad (9)$$

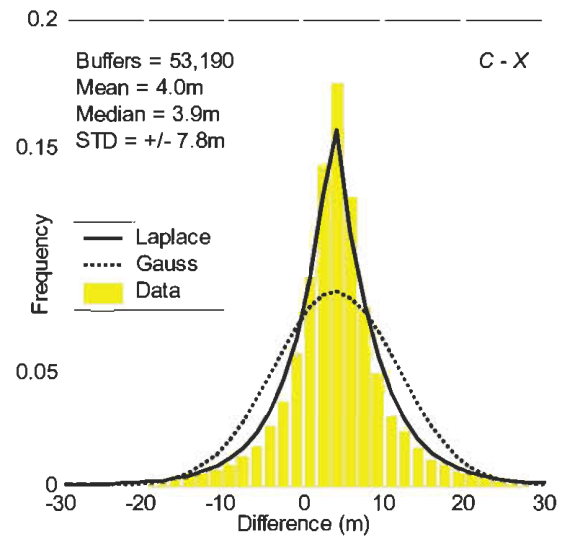


Fig. 7 Histogram of differences C-band minus X-band. Laplace fitting curve was drawn for $\mu = 3.9$ m and $b = 4.96$ m. Gaussian fitting curve was drawn for $m = 4.0$ m and $\sigma = \pm 7.8$ m.

The difference d_{CX} for the whole AOI shown in Figure 7 follows the Laplace distribution. The mean difference is 4.0 m, which means that the X-band vegetation impenetrability is less than the C-band one.

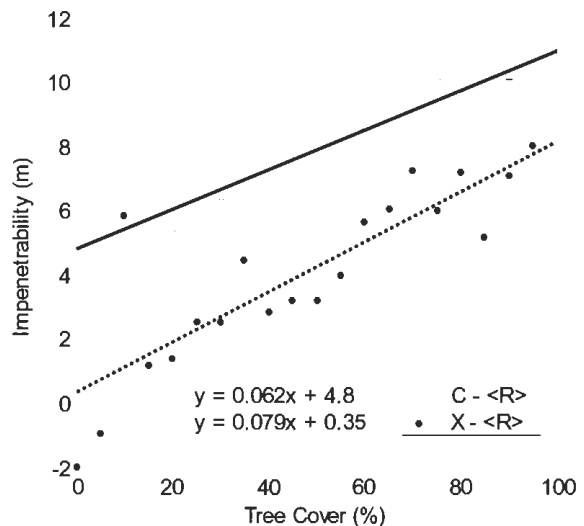


Fig. 8 Impenetrability of the C/X-band versus percentage of the parcel-based tree cover.

A potentially far-reaching consequence for vegetation cover investigations is the relationship between SRTM bias and the percentage of vegetation cover of a given area. This effect is illustrated in Figure 8. For example, any future changes to vegetation cover in terms of spatial extensions (horizontal and vertical) can be easily identified by comparing multi-temporal C- or X-band impenetrability of a given area.

However, it is necessary to note that the data for the C-band vegetation impenetrability shown in Figure 8 indicate about 4.8 m positive bias (SRTM is above the ground) for the vegetation-free parcels. This issue will be further investigated in the near future.

Differences dC and dX , or elevation bias, are shown in Table 9.

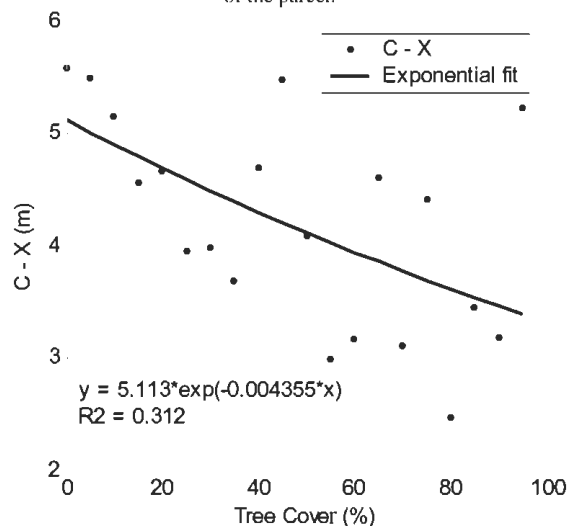
Table 9. SRTM C/X elevation bias for land cover classes.

Land Cover Class	Difference (m)	
	$dC \pm 1\sigma$	$dX \pm 1\sigma$
Agriculture	2.96 ± 3.56	-1.46 ± 1.49
House	4.24 ± 7.12	0.28 ± 4.18
Tree (0-100%)	8.29 ± 9.97	3.69 ± 6.27
Water	4.34 ± 6.82	0.32 ± 4.54

Closer consideration of the results in Table 9, in particular for 'Agriculture,' can lead to a conclusion that perhaps both C- and X-band SRTM datasets contain certain reference biases, e.g., C-band elevations are about 3 m too high, and X-band elevations are about 1.5 m too low. This could explain the remarks regarding the 4.8-m bias made in the previous paragraph. The negative X-band SRTM elevation bias of the order of about 2.6 m was reported by Heipke et al., 2002. However, Ludwig et al., 2006, have not reported such an elevation bias.

Weighted average difference $dCXw$ per Equation 4 was calculated for every land cover type. The results are very similar, varying between 3.95 m for 'House' and 4.43 m for 'Agriculture' and 'Trees'. The standard deviation varied between ± 2.79 m for 'Agriculture' and ± 6.88 m for 'Trees'.

Fig. 10 Weighted average difference SRTM.C minus SRTM.X versus tree cover expressed as a percentage of the area of the parcel.



he weighted average difference $dCXw$ for 'Tree' was also calculated for every parcel as a function of the average percentage of tree cover. The results are shown in Figure 10. The data appear to follow the exponential fitting curve. The difference is that $dCXw$ reaches its lowest level of about 3.3 m for parcels fully covered by trees. The relatively low value of R^2 is mainly caused by inexperienced photointerpreters who estimated the percentage of the tree cover.

4. Conclusions

A comparison of both C- and X-band SRTM elevation products and a high-resolution reference DTM over a large test area in the Gold Coast, Queensland, Australia, focused on the influence of the vegetation cover, which was in the leave-on state, on elevation bias and provided an inside look into some of the properties of the InSAR C- and X-band technology of elevation determination. There is evidence that the X-band SRTM penetrates the vegetation cover deeper than the C-band SRTM. This effectively means that the vegetation-caused error in the X-band SRTM is smaller than that in the C-band SRTM. However, this has to be further investigated due to possible systematic error in the C-band SRTM. It was also shown that there is a linear relationship between the percentage of land cover and the magnitude of the vegetation-caused bias. This property of both SRTM datasets can be utilised for quantitative observations of variations of vegetation cover. The level of the vegetation-caused impenetrability, e.g., about 10 m, is responsible for an error exceeding SRTM mission error specification. In addition, this is valid for about 30% of the global landmasses covered by forests. Further investigations are needed and planned towards identifying the best data source of vegetation cover to be used to correct the SRTM elevation data product and those which will be derived in the future using the InSAR technology.

Bibliographic references

- Balzter, H., Rowland, C.S. & Saiche, P., 2007. Forest canopy height and carbon estimation at Monks Wood National Nature Reserve, UK, using dual-wavelength SAR interferometry. *Remote Sensing of Environment*, 108(3), pp. 224-239.
- Becek, K., 2006. Accuracy Evaluation of the SRTM Topographic Data Product over Selected Sites in Australia and Brunei Darussalam. *Reports on Geodesy*, 77(2), pp. 283-289.

- Becek, K., 2007. Comparison of Decimation and Averaging Methods of DEM's Resampling. Proceedings of the Map Asia 2007 conference, Kuala Lumpur, <http://www.gisdevelopment.net/technology/ip/ma07267.htm> (accessed – March 2008).
- Becek, K., 2008. Investigating Error Structure of SRTM Elevation Data Product. *Submitted to the Geophysical Research Letters*.
- Carabajal C.C. & Harding, D.J., 2006. SRTM C-band and ICESat Laser Altimetry Elevation Comparisons as a Function of Tree Cover and Relief. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(3), pp. 287-298.
- Gesch, D., 2005. Vertical Accuracy of SRTM Data of the United States: Implications for United States: Implications for Topographic Change Detection. SRTM Data Validation and Applications Workshop June 14, 2005, http://edc.usgs.gov/conference/SRTM/presentations/Slides06_Gesch.pdf (accessed - April 2008).
- Heipke, C., Koch, A. & Lohmann, P. 2002: *Analysis of SRTM DTM - Methodology and practical results*. Proceedings of ISPRS Commission IV Symposium in Ottawa, July 2002.
- Kellndorfer, J.M., Walker, W.S., Pierce, L.E., Dobson, M.C., Fites, J. Hunsaker, C., Vona, J., Clutter, M., 2004. Vegetation height derivation from Shuttle Radar Topography Mission and National Elevation data sets. *Remote Sensing of Environment*, 93(3), pp. 339-358.
- Ludwig, R., & Schneider, P. 2006. Validation of digital elevation models from SRTM X-SAR for applications in hydrologic modeling. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 60(5), pp.339-358.
- Norton, R.M., 1984. Double Exponential Distribution: Using Calculus to Find a Maximum Likelihood Estimator. *The American Statistician*, 38(2), pp. 135-136.
- Rabus, B., Eineder, M., Roth, A., & Bamler, R., 2003. The shuttle radar topography mission—a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 57(4), pp.241-26.
- Rodríguez, E., Morris, C.S., Belz, J.E., Chapin, E.C., Martin, J.M., Daffer, W., & Hensley, S., 2005. An assessment of the SRTM topographic products. *Technical Report JPL D-31639, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California*, 143 pp.
- Schumann, G., Matgen, P., Cutler, M.E.J., Black, A., Hoffmann, L., & Pfister, L., 2007. Comparison of remotely sensed water stages from LiDAR, topographic contours and SRTM. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, (2007).
- Simard, M., Zhang, K., Rivera-Monroy, V.H., Ross, M.S., Ruiz, P.L., Castañeda-Moya, E., Twilley, R. R. & Rodriguez, E., 2006: Mapping Height and Biomass of Mangrove Forests in the Everglades National Park with SRTM Elevation Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(3), pp. 299-311.
- Walker, W., Kellndorfer, J. & Pierce, L. 2007. Quality Assessment of SRTM C-and X-band Interferometric Data: Implications for the Retrieval of Vegetation Canopy Height. *Remote Sensing of Environment*, 106(4) pp 428-448.
- Werner, M., Roth, A., Marschall, U., Eineder, M. & Suchandt, S. 2005. Comparison of DEMs derived from SRTM/X-and C-Band. *Workshop: "The Shuttle Radar Topography Mission –Data Validation and Applications"*, June 14-16, 2005, Reston, Virginia, USA.

Apport de l'analyse orientee-objet d'Image landsat ETM+ et de l'approche paysagère pour l'aménagement forestier en zones semi-arides. Cas de la forêt Senalba Chergui-Djelfa, Algérie

K. BENCHERIF

B.P.119, Département de foresterie, Faculté des Sciences, Université de Tlemcen, Algérie
Tél. : 0772-11-86 -60 Fax : 043-21-18-06. Email : bencherifk@yahoo.fr

ملخص :

إن إستراتيجية التهيئة الغابية الواجب إتباعها في ظل تدهور المشهد الغابي في المناطق الشبه جافة أن تضمن حماية المشاهد الطبيعية و التنوع البيئي على الصعيد المحلي و الاقليمي شرط لا تستوفيه الا المقاربة التحليلية للمناظر. يمكن لهذا التحليل ان يعتمد على بيانات أخرى حول توزيع الوحدات الطبيعية في المنطقة التي ندرسها. لهذا الغرض، تحاول هذه المداخلة أن تدرس إسهام التحليل الموضوعي الموجه للصور الفضائية من صنف لندسات في تجزئة الفضاء الغابي حتى مستوى غابة صنلبة (الجلفة) إلى مواضيع متجانسة و بالتالي إسهامها في رسم خريطة الوحدات الطبيعية. تدل النتائج على أن التصنيف الموضوعي الموجه أحسن من التصنيف بالبكسل (pixel) آد مكنت من تبسيط مضمون الصورة الفضائية مع الاحتفاظ بالمعلومات المفيدة المتمثلة في خطاءات متجانسة طيفيا و مكانيا مثل مجموعات الصنوبر الحلبي (كثيفة و متماسكة، كثيفة مجزئة، خفيفة) الإحراج.

Résumé : Dans les conditions de dégradation que connaît le paysage forestier en zones semi-arides, la stratégie d'aménagement à adopter devra garantir la protection paysagère et la conservation de la biodiversité à l'échelle locale et régionale, une condition que seule l'analyse paysagère semble être capable de satisfaire. Cependant, cette analyse devra compter sur la disponibilité d'une information cartographique fiable sur la répartition des diverses unités paysagères à travers le territoire forestier étudié. A cet effet, cette contribution étudie l'apport de l'analyse orientée-objet d'une image satellitaire de moyenne résolution spatiale de type Landsat ETM+ pour la segmentation de l'espace forestier au niveau de la forêt domaniale Senalba chergui (Djelfa) en objets homogènes et par conséquent son apport pour la cartographie des unités paysagères. Les résultats montrent que la classification par objet est plus performante que la classification par pixel puisqu'elle a permis de simplifier le contenu de

l'image tout en conservant l'information recherchée, en l'occurrence des types d'occupation homogènes spectralement et spatialement tels que les divers peuplements de pin d'Alep (dense et compacts, denses et fragmentés, clairs), les matorrals arborés et les matorrals.

Abstract : In the conditions of deterioration of the forest landscape in semi-arid zones, the planning strategy to adopt should guarantee the landscape protection and the conservation of biodiversity on a local and regional scale, a condition that only the landscape analysis approach seems to be capable to satisfy. However, this analysis should count on the availability of reliable mapping information on the distribution of the various landscape units through the studied forest territory. To this effect, this paper studies the contribution of the object-oriented analysis of medium spatial satellite imagery as Landsat ETM+ for the segmentation of the forest space in the state forest Senalba chergui (Djelfa) into homogeneous objects and therefore its contribution for landscape units mapping. The results show that by object classification is more effective than the by pixel one as it permitted to simplify the image content while keeping the needed information, in this case, spectrally and spatially homogeneous land cover types as various Aleppo pine stands (dense and compact, dense and broken up, clear), high shrub-lands and low shrub-lands.

1. Introduction

L'évolution de l'espace forestier d'un coté et les rapports entre la forêt et la société conduisent à des changements rapides en matière de planification et de gestion. Ces changements méritent d'être accompagnés par une démarche de réflexion et de recherche pour enrichir la définition, les outils et les méthodes de l'aménagement forestier. La nouvelle stratégie forestière qui a été décidée en Algérie est basée sur la planification intégrée des espaces naturels qui est basée sur certains critères et concepts

dont les plus importants sont, l'aménagement forestier durable et la gestion écosystémique, La gestion écosystémique peut être mise en pratique pour toutes les ressources naturelles: faune, flore, écosystèmes, paysage etc. Elle est basée sur une série de principes scientifiquement fondés dont l'approche écosystémique, la réflexion au niveau du paysage et l'intégration des différentes échelles (**Shlaepfer, 1997**). L'analyse étant une étape préalable à toute planification, l'analyse d'un paysage est le processus de description et d'interprétation de l'écologie d'une région (**Bradley et Hammond, 1992**) qui permet d'intégrer l'information environnementale à travers l'ensemble des types d'occupation du sol et fournit par conséquent un nouvel outil pour évaluer la gestion de l'espace forestier et les changements écologiques dans le temps (**Kepner and al. 2007**).

L'approche paysagère doit être mise en relation avec la notion d'écosystème. La forêt pré-stéppique est tout à la fois un paysage, mais aussi un milieu écologique particulier se développant dans un contexte steppique aride. Une atteinte à l'intégrité d'un tel paysage n'est pas sans conséquence sur la protection des espèces animales et végétales qui y vivent. Au sens commun du terme, le paysage désigne la physionomie d'un espace que l'on embrasse du regard ou celle d'une contrée que l'on traverse, parcourt ou survole. Dans un cas comme dans l'autre, cette notion est inséparable de celle d'espace visuel (**Gay M et Cheret V., 1996**). Globalement, une unité paysagère est homogène, constitue un tout et possède sa propre identité (**Ducrot, 2005**). Mais comme les écosystèmes forestiers méditerranéens présentent une grande diversité botanique et structurale, il est difficile de concevoir et de définir la notion d'unité paysagère. Dans ce cas, homogénéité ne signifie pas la présence d'un seul élément répétitif mais au contraire, une unité paysagère est composée de plusieurs éléments organisés de façon qu'ils constituent son identité.

Dans sa dimension horizontale, le paysage apparaît comme l'arrangement dans certaines proportions de plusieurs affectations du sol (**Bruneau, 1985**). Etant donné que les unités paysagères sont définies par une physionomie et une structure (**Mac Garigal, 2000**), elles correspondraient au niveau d'un territoire forestier méditerranéen aux divers objets géographiques où on distingue principalement les types de végétation herbacée, arbustive et arborée. Une des approches possibles pour évaluer et gérer ces formations peut se résumer à identifier, cartographier, et évaluer des unités et sous-unités paysagères composant le territoire à aménager. La représentation cartographique de l'occupation du sol peut se concevoir de plusieurs manières dont l'une est la

reconnaissance de la couverture du sol à partir d'interprétations automatiques d'images satellitaires. D'un point de vue de la télédétection, les méthodes multi-spectrales traditionnelles sont liées à une certaine résolution du capteur à un certain niveau d'échelle. Les données Landsat appartiennent à une échelle cartographique de 1:50.000 dans laquelle le rôle de la classification par max. de vraisemblance est encore puissant (**Kok R et al. 2000**). Cependant, l'analyse par pixel n'est pas très utile dans les images à grande variance interne et les méthodes basées sur des classifications spectrales ne peuvent être utilisées de manière opérationnelle pour la cartographie des zones forestières hétérogènes. Généralement, les classifications par pixel sont moins réussies pour l'identification de couverts lâches et ouverts telles que la végétation buissonnante méditerranéenne. (**Steven et al. 2001**). En plus, la classification par pixel qui consiste à effectuer des calculs pour chaque pixel afin de les classer individuellement, présentent de nombreuses confusions et les résultats sont assez moyens (**Guish, 2004 ; Puech., 2000**).

Pour contrecarrer ce problème, l'analyse basée sur l'objet autorise une bonne solution, bien qu'elle soit plus performante sur des images de très grande résolution (IKONOS, QUICKBIRD, données lidar) et sur les photographies aérienne) (**Caloz et al. 2003**). En effet, au lieu de ne retenir que l'information spectrale, les objets sont caractérisés par davantage de propriétés telles que la forme, la texture, le voisinage et le contexte (**Baatz et Shape, 2000**). L'approche objet-orienté et quelle que soit la classification utilisée, paraît être très prometteuse pour la cartographie forestière et la caractérisation des écosystèmes méditerranéens (**Mallinis G et al. 2002**). L'approche est utilisée avec succès sur des images Landsat etm+ pour la classification des types de peuplements forestiers où la délimitation de zones homogènes est souvent difficile ainsi que pour la reconnaissance des zones forestières dégradées (**Schwarz et al. 2001**).

Notre zone d'étude est un modèle de forêt hétérogène où se côtoient enchevêtrées divers types de peuplements de pin d'Alep, des formations de type matorral, des enclaves, des vides etc. Il en résulte qu'une importante information sémantique nécessaire à l'interprétation d'une image n'est pas représentée dans des pixels individuels mais dans des objets images homogènes significatifs et dans leurs relations mutuelles. D'autre part, et conformément à l'approche systémique, l'information doit être cherchée non pas au niveau d'une sous-parcelle ou parcelle mais au niveau de plusieurs peuplements dont le regroupement forme une unité paysagère. L'objectif est de tisser un lien entre les objets générés par l'analyse orientée-objet de l'image

Landsat et les différentes unités paysagères composant le territoire forestier étudié. Cette étude n'a pas la prétention de prendre en compte toutes les facettes du concept paysage mais d'abord cette notion en adoptant le principe contenu-contenant dont l'approche se traduit par une transcription spatiale à travers l'identification de limites des objets géographiques (le contenant) alors que l'approche par le contenu s'exprime par une description de ce qui en fait la spécificité de ces objets (contenu).

2. La zone d'étude

La forêt domaniale «Senalba chergui» représente une petite partie de tout un ensemble forestier et pastoral des monts de Ouled Naïl (Atlas saharien - DJELFA) où elle occupe les collines montagneuses sur une superficie de 19000 hectares. Située au Nord-ouest de la ville de Djelfa, elle occupe le dernier rempart contre le désert.

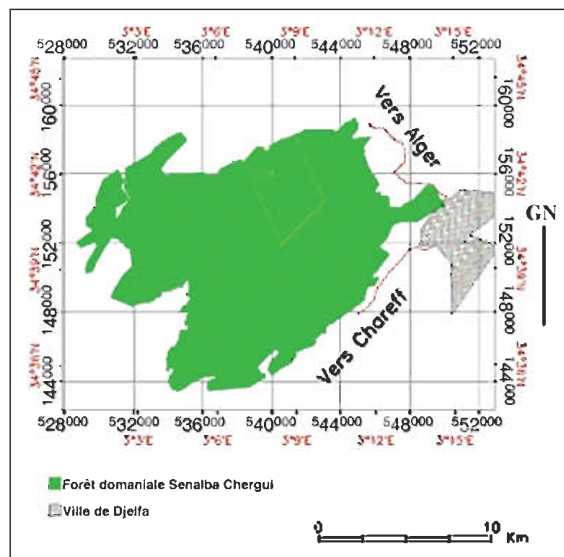


Fig. 1 Localisation de la zone d'étude.

La végétation est dominée par trois essences, le pin d'Alep qui forme de très belles futaies, le chêne vert qui se mélange en sous-bois et le genévrier disséminé sur les crêtes au sol érodé. Cependant, ce sont les formations forestières basses de type matorral qui occupent la moitié de la surface et témoignent de la dégradation que connaît cette région. Les espèces qui composent ces formations sont identiques au sous-bois des pineraies et sont représentées par le chêne vert (*Quercus ilex*), le genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*), le genévrier de phénécie (*Juniperus phoenicia*), le pistachier lentisque (*pistacia lentiscus*) la phyllaie (*Phyllirea angustifolia*), l'ergot de coq (*Crataegus monogyna*), le romarin (*Rosmarinus officinalis*), les cistes (*Cistus ssp*) et les genets (*Genista ssp*). La

strate herbacée est souvent constituée d'alfa (*Stipa tenacissima*) et plusieurs espèces de graminées.

3. Matériels et Méthodes

3.1 Données satellitaires et terrain

Une fenêtre couvrant la zone d'étude est extraite de la scène p196r036 de Landsat ETM+. Sa date d'acquisition est le 24-03-2001 alors que sa résolution spatiale est de 30 mètres. Le capteur ETM+ de Landsat fournit des données dans sept bandes, allant du domaine du visible : TM1 : 0,45 - 0,515 μm (bleu), TM2: 0,525 - 0,605 μm (vert), TM3 : 0,63 - 0,690 μm (rouge), jusqu'au spectre infrarouge (IR); TM4: 0,73 - 0,90 μm (proche IR), TM5 : 1,55 - 1,75 μm (moyen IR), TM7: 2,09 - 2,35 μm (moyen IR), et TM6 : 10,40 - 12,5 μm (IR thermique) et enfin un canal panchromatique de résolution 15 m, P : 0,52 - 0,90 μm (Girard M.C. et Girard C.M 1999). Généralement et avant toute analyse, des corrections doivent être apportés à l'image. Il s'agit essentiellement de rectifications géométriques, c'est-à-dire, la transformation du niveau brut de prétraitement dans lequel a été acquise l'image, en niveau cartographique pour permettre le positionnement des sites étudiés sur le terrain et la superposition de la carte résultante des traitements sur un fond cartographique régulier. L'image a été corrigée géométriquement par rapport au système de projection Lambert Nord Algérie par la méthode polynomiale de deuxième degré avec une erreur résiduelle sub-pixel de l'ordre de 0,77. La correction est réalisée au moyen de six points d'appui identifiés simultanément sur l'image et sur la carte topographique de Djelfa, feuille 340 à l'échelle 1/50000.

Quant aux corrections atmosphériques et radiométriques, plusieurs auteurs ont vérifié et confirmé qu'elles ne sont pas nécessaires quand la zone d'étude ne contient pas de variations visibles dans les conditions atmosphériques et aussi quand les méthodes appliquées telles les classifications n'exigent pas des mesures de réflectance absolues. [Wallerman, J. 2003 ; Louy et al. 2002 ; Chartier et al. 2000]. Toutefois, des améliorations de dynamique et de contraste ont été effectuées pour une interprétation visuelle aisée de l'image.

3.2 L'analyse orientée-objet

En principe, l'information sur les "objets" ou "groupe de pixels local" est la base pour la classification orientée objet. L'objet image peut prendre en compte le contexte spatial d'un ensemble de pixels voisins. L'extraction d'objets caractéristiques passe par deux étapes principales, la segmentation et la classification. La segmentation signifie le regroupement de pixels sur le critère d'homogénéité.

L'image est subdivisée en objets homogènes dont le contraste est plus accentué. Les objets obtenus par segmentation peuvent être classés à travers deux méthodes: la classification basée sur l'échantillonnage par la méthode du k-plus proche voisin et la classification Basée sur la fonction de l'appartenance. La première est recommandée lorsque plusieurs caractéristiques différencient les objets alors que la deuxième devient un choix optimal dans le cas contraire (Ivits, E et Koch, B. 2000).

La classification par le k plus proche voisin qui est une méthode de la classification supervisée, a besoin de zones test dans un espace multidimensionnel. Les objets issus de la segmentation sont classés à travers leur ressemblance à ces zone d'entraînement pour chaque classe. Le reste d'objets dans l'image appartient à leur plus proche échantillon dans chacune des classes. Il utilise habituellement l'information spectrale de canaux comme caractéristique de l'espace pour la description de classes qui seront classées. Cependant, après segmentation, en plus d'attributs spectraux, les objets auront de l'information supplémentaire telle que la forme, la texture, le contexte etc. Dans la méthode de Fonction d'appartenance, les segments sont classés par fonctions d'appartenance qui sont basées sur les ensembles flous, la logique floue étant une approche mathématique pour mesurer des situations incertaines (willhauck, 2000).

3.3 Méthodologie

Pour apprécier la qualité de la classification orientée objet, nous avons jugé utile d'entamer l'étude par une classification supervisée par la méthode du max de vraisemblance. Les zones tests sont les mêmes que celles utilisées ultérieurement dans la méthode orienté objet.

L'analyse orietée-objet de l'image a été réalisée grâce au logiciel de traitement d'image envi4.4 et plus particulièrement son module *ENVI Feature Extraction* qui permet une telle analyse sur tout type de données images. Cependant, l'un des aspects excitant et innovateur de ce module est sa capacité de faire visualiser les résultats à chacune des étapes du traitement d'image (ENVI, 2007).

3.3.1 Segmentation de l'image

Sous *ENVI Feature Extraction*, la génération d'objets passe par quatre étapes : la segmentation de l'image, le fusionnement de segments, l'affinement des objets et le calcul des attributs. Les deuxième et troisième étapes sont optionnelles et permettent d'améliorer les résultats en fonction des objectifs de l'utilisateur.

Tout d'abord, l'utilisateur peut choisir l'échelle de la segmentation qui correspond au niveau de finesse de la segmentation en fonction des objets qu'il souhaite caractériser. Un grand facteur d'échelle se traduira par des objets de grande taille. Pour l'image Landsat ETM+ utilisée, un facteur d'échelle de 45 a été choisi afin de distinguer en plus des différentes formations forestières, des objets tels que les enclaves et les clairières.

Les étapes 3 et 4 ont été jugées inutiles une fois les résultats visionnés. La quatrième étape permet de calculer pour chaque objet, les attributs spectraux, spatiaux de texture et de couleur.

Les attributs spatiaux concernent la forme, la compacité, l'élongation, la convexité, la concavité, la rodontité etc. Les attributs spectraux sont la valeur minimale, maximale moyenne et de l'écart type des pixels compris dans un objet (région).

Les attributs de texture sont la moyenne, la variance et l'entropie. Enfin les attributs de l'espace couleur sont le ratio de bandes, la teinte, la saturation et l'intensité. Les trois bandes de l'image (infrarouge bleu etm4, rouge etm3, et vert etm2) ont été utilisées dans la segmentation.

3.3.2 Classification de l'image

Après la segmentation, deux méthodes de classification sont proposées par le logiciel, l'une supervisée et l'autre par fonction d'appartenance.

Disposant de données terrain et de zones d'entraînements, il nous a semblé utile de choisir la méthode supervisée par la méthode du k plu proche voisin. Après la sélection des zones tests, nous avons choisi les attributs (spatiaux, spectraux, de texture et de couleur) à utiliser dans la classification.

Généralement, l'utilisateur choisit l'attribut le plus performant pour chaque classe mais dans notre cas, nous avons choisi la sélection automatique des attributs étant donné que cette option est plus utile en présence d'un grand nombre d'objets.

4. Résultats

4.1 Classification par pixel

La figure 3 représente la carte d'occupation du sol issue de la classification supervisée par la méthode du max de vraisemblance et dont la précision globale est de 89%. Le coefficient kappa lui est de 0.8683. Le tableau 1 représente la matrice de confusion de cette classification.

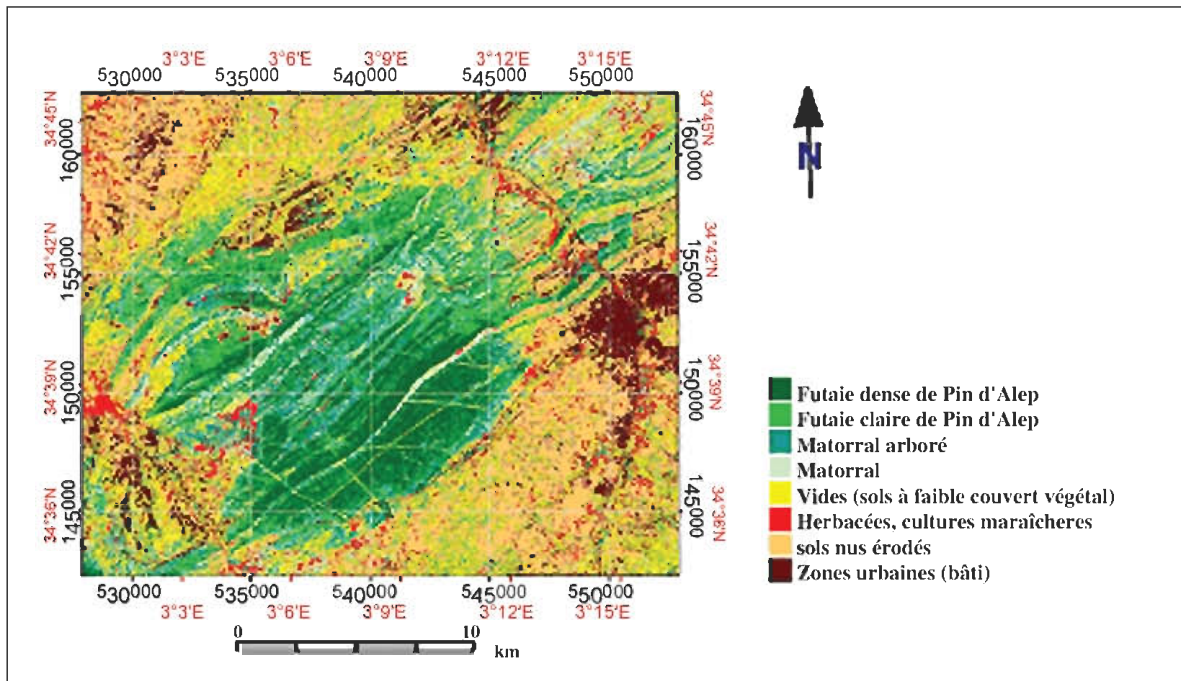


Fig. 2 Carte d'occupation du sol, résultat de la classification par pixel de l'image.

Tableau 1. Matrice de confusion de la classification supervisée par max de vraisemblance.

CLASSE	FT. DS	FT.CL	MAT.ARB	MAT	VD	VEG.AC	SL.NE	ZN.UR	TOTAL
N.CL	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FT. DS	92.31	0	0	0	0	0	0	0	6.63
FT.CL	7.69	100	0	0	0	0	0	0	8.84
MAT.ARB	0	0	84.62	32.26	12.50	0	0	0	18.23
MAT	0	0	11.54	54.84	0	0	0	0	11.05
VD	0	0	3.85	12.90	87.50	0	0	0	6.63
VEG.AC	0	0	0	0	0	100	0	0	17.68
SL.NE	0	0	0	0	0	0	100	0	4.97
ZN.UR	0	0	0	0	0	0	0	100	25.97
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100	100.00

N.CL: non classés ; FTDS : futaie dense ; FTCL : futaie claire ; MAT.ARB : matorral arboré ; MAT : matorral ; VD : vides ; VEGAC : végétation active ; SLNE : sols nus érodés ; ZNUR : zone urbaine (bâti)

4.2 Classification par objet

La figure 2 permet d'apprécier l'intérêt de la segmentation en présentant l'image avant et après segmentation. Des zones confuses et hétérogènes sont homogénéisées, simplifiant le contenu de

l'image et le réduisant en nombre restreint d'objets géographiques très contrastés. La figure 4 est la carte issue de la classification par objet par la méthode du k plus proche voisin.



Fig. 3 Image Landsat ETM+432 (RGB) couvrant la zone d'étude avant segmentation

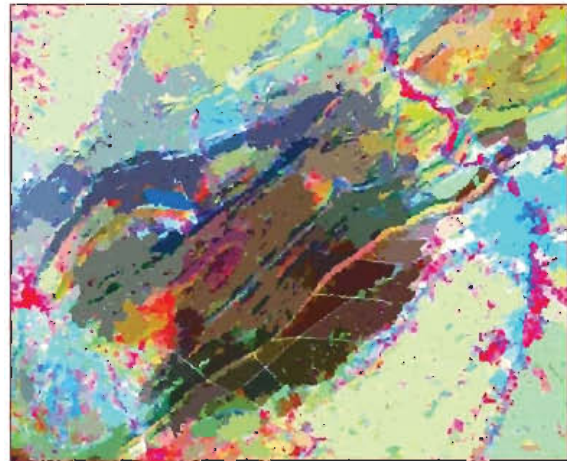


Fig. 4 Image Landsat ET M+432 (RGB) couvrant la zone après segmentation.

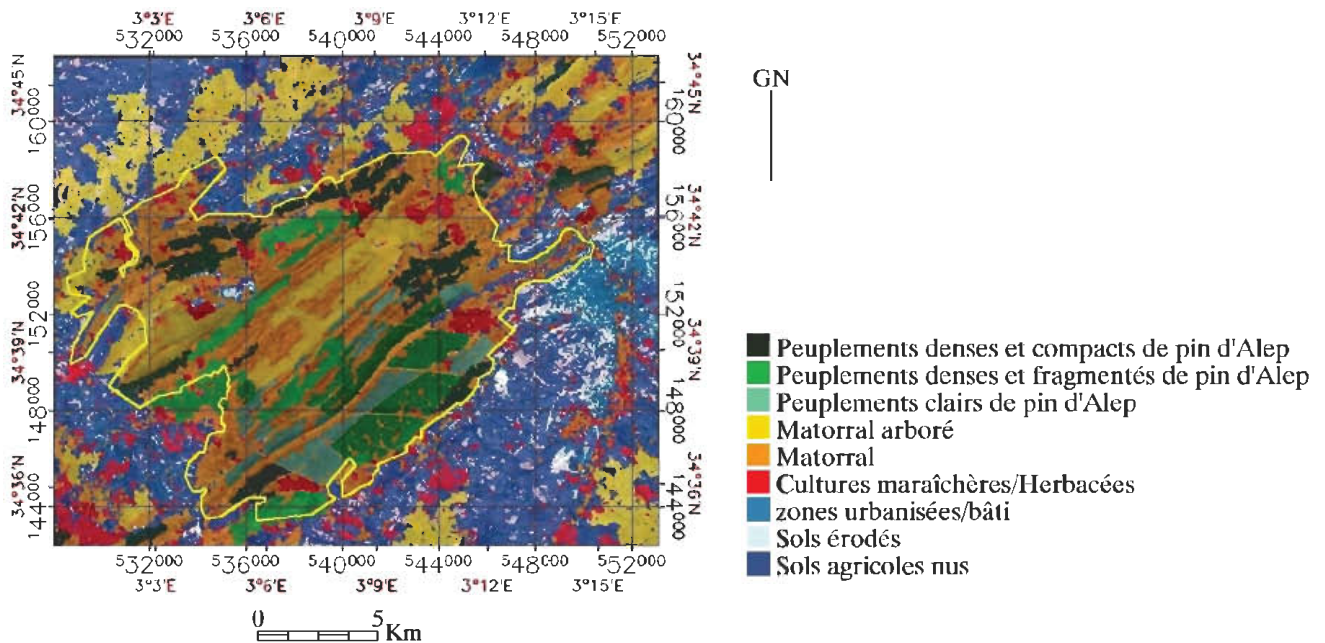


Fig. 5 Carte d'occupation du sol, résultat de la classification par objet de l'image.

5. Discussions

La classification par objet semble apporter de la transparence, la simplicité et la netteté à la carte d'occupation du sol. Visuellement, l'effet « sel-poivre » souvent observé dans les classifications par pixel a disparu alors que les limites des objets sont devenues plus tranchées. Cet avantage cependant est accompagné d'une homogénéisation telle que certains objets sont fusionnés avec d'autres bien que différents. Les enclaves forestières par exemple qui sont assez bien délimitées dans la classification par pixel sont complètement fusionnées avec les formations de matorral dans la classification par objet.

Il semble que deux principaux attributs sont liés à cet état, l'un spectral et l'autre de contexte (spatial). Les enclaves forestières sont des portions habitées de la forêt ou sont pratiquées différentes cultures maraîchères. L'environnement immédiat de ces enclaves n'est jamais représenté par des forêts mais des formations de dégradation du type matorral. En période printanière pluvieuse (tel notre cas), une végétation active apparaît là où souvent le sol est nu ce qui donne à ces surfaces une physionomie similaire aux formations forestières basses. L'effet du contexte est aussi observé chez d'autres classes d'occupation du sol : les coupes par bandes ou par trouées ainsi que les parcelles très claires

s'intègrent aux peuplements denses qui dominent en surface. Le même effet mais inverse est observé dans les futaies claires où certaines parcelles denses sont dissoutes dans les parcelles claires qui dominent. Les vides disséminés en petites surfaces à travers les différentes formations forestières sont invisibles dans la classification. Dans tous les cas, le contexte spatial s'est manifesté comme étant un attribut très important dans la classification. En effet, c'est l'objet dominant en surface qui assigne à la classe d'occupation du sol son aspect physiognomique permettant de satisfaire une des conditions de l'analyse paysagère pour l'aménagement forestier. Toutefois, une attention particulière doit être prêtée au facteur d'échelle qui semble être celui qui est le plus déterminant alors que le choix des autres critères reste relativement empirique. Des valeurs comprises entre 45 et 50% semblent convenables pour une meilleure segmentation et donc pour une meilleure classification.

La classification par pixel par la méthode du Max de vraisemblance demeure toujours efficace mais trop compliquée pour une analyse à l'échelle paysagère. En effet, l'attribut spectral du pixel permet de distinguer entre objets différents même à l'intérieur de grandes surfaces physiognomiquement homogènes ce qui valorise cette approche dans les analyses à l'échelle du peuplement. Toutefois et dans les conditions de notre contexte d'étude, certaines précautions doivent être prises :

- Les zones tests doivent être décrites directement sur terrain et localisées par GPS, ceci pour combler les insuffisances souvent observées sur les cartes forestières ;

- Les images doivent être acquises l'année même de l'étude pour éviter les changements dus aux incendies ou aux pratiques sylvicoles. La matrice de confusion (voir tab.1) confirme à travers certaines confusions les propos avancés : des pixels de matorral bas et matorral haut (arboré) sont classés comme vides alors que des pixels de futaie denses sont classés futaie claire témoignant d'un changement survenu entre 1996 (date d'élaboration de la carte d'occupation du sol) et 2001 (date d'acquisition de l'image).

L'analyse orientée objet présente un problème d'évaluation. L'évaluation des résultats de la classification est plus compliquée pour l'analyse objet-orienté qu'une évaluation de la classification par pixel utilisant une matrice de confusion. Actuellement, la matrice de la confusion traditionnelle ou K-Factor pour l'évaluation des classes est possible mais trop simple pour l'évaluation de l'objet. Un simple grand objet mal classifié a un impact énorme sur le facteur K en comparaison à beaucoup

de petits objets correctement classés. Bien sûr, l'évaluation par contrôle visuel, comme appliquée en photogrammétrie est toujours possible

Avant l'estimation de l'exactitude globale, les objets individuels sont évalués sur leurs traits spécifiques (Kok, R, and al. 2000). C'est cette dernière méthode qui a été utilisée pour évaluer notre classification orientée objet et il semble que les résultats sont satisfaisants et la précision pourrait atteindre les 100% si une nomenclature adaptée pour contourner les confusions était disponible.

5.1 Relation Analyse Paysagère- Analyse Orienté objet

5.1.1 L'analyse paysagère pour l'aménagement forestier en zones semi-arides

La structure d'un peuplement forestier est déterminée en premier lieu par l'arrangement spatial, les dimensions et la distribution par espèces des arbres. Classiquement, l'aménagement forestier manipule des arbres individuels au niveau de la plus petite unité de gestion, la parcelle (le peuplement) alors que l'aménagement forestier à l'échelle paysagère ou régionale implique la gestion et le suivi de centaines de parcelles. Pour aborder un tel problème, il est nécessaire de disposer d'un système de travail qui aborde l'échelle et la complexité du problème. L'approche systémique fournit un tel système en regroupant les arbres en peuplements, les peuplements en paysage, les paysages en bassins versants, les bassins versants en régions etc.

L'aménagement forestier implique la gestion d'arbres individuels. Cependant, pour la réalisation de certains objectifs, il est nécessaire de lier l'aménagement à des niveaux plus hauts. En effet, la protection paysagère et la conservation de la biodiversité peuvent être l'affaire de l'aménagement à l'échelle régionale ou globale. L'analyse paysagère est seule capable de satisfaire une telle condition en délimitant des objets homogènes de surfaces importantes. D'autre part, cette cartographie à l'échelle locale ou régionale est une base d'information sur la ressource qui soit immédiatement utilisable par les gestionnaires et les utilisateurs et qui permette de se faire une idée sur la disponibilité et de l'évolution de cette ressource sur des étendues de dimensions variables (Bonn et al. 1996).

L'aménagement et le suivi de l'espace forestier en zones semi-arides fragiles doivent être menés à plusieurs niveaux (échelles) pour garantir la réalisation des objectifs à travers une variété d'écosystèmes forestiers. A l'échelle intra peuplement, les opérations sylvicoles d'exploitation et de plantation sont de courte durée et ont un effet direct sur des arbres individuels à l'intérieur du peuplement.

A l'échelle du peuplement, les traitements sylvicoles conduisent pendant plusieurs décennies vers la structure souhaitée. Enfin à l'échelle du paysage, différents traitements sylvicoles appliqués à plusieurs peuplements déterminent avec le temps les éléments paysagers d'une structure forestière. Ce dernier niveau souvent négligé par les forestiers est le point de passage entre au moins le niveau arbre et le niveau forêt dans le système hiérarchique et peut refléter non seulement les effets positifs des actions sylvicoles mais aussi les effets négatifs d'actions anthropogènes (défrichements) et naturelles (incendies, évolution régressive).

5.1.2 Apport de la méthode orientée objet pour l'analyse paysagère

Les méthodes d'aménagement proposées dans ces zones étaient incompatibles avec la réalité terrain. En effet, ces aménagements présentaient invariablement les forêts plus homogènes qu'elles ne le sont en réalité (**Grim, S, 1986**). Cette présentation était pourtant à l'échelle du peuplement. L'approche orientée objet a tendance elle aussi à homogénéiser les forêts mais à l'échelle du paysage, ce qui est fondamentalement différent puisque le sens même de l'approche paysagère est le critère d'homogénéité. En plus, la tendance a été souvent vers une gestion préventive et de protection, qui hélas, n'a pas elle aussi réussi, puisque une simple reconnaissance-terrain dévoile non seulement le degré de fragmentation mais aussi l'ampleur de la dégradation et du rétrécissement de l'espace boisé. L'analyse orientée objet a dévoilé à travers cette homogénéisation non seulement les proportions de surfaces réellement forestières (peuplements de pin d'Alep) et celles de dégradation (matorral) mais aussi leur répartition précise dans le territoire étudié. Une organisation stricte de la gestion forestière est nécessaire et implique une méthode tenant en compte la grande hétérogénéité structurale et de densité des peuplements forestiers, mais aussi un système rigoureux de suivi et de surveillance. Pourtant, ces mesures ne pourraient être efficaces qu'à la seule condition d'établir en premier lieu un bilan initial qui soit une référence pour évaluer les actions futures sur ces surfaces et leur évolution. Or, pour les forêts semi-arides en général et celles pré-steppiques en particulier, l'approche doit être différente. En effet ces forêts sont soit éparpillées à travers d'autres paysages non forestiers (tell algérien), soit isolées au milieu d'immenses paysages steppiques (Atlas algérien). La réalisation des objectifs de cette gestion ne peut aboutir qu'en adoptant une échelle de travail adaptée à ce contexte. L'approche classique (au moins dans le cas de notre

étude) et qui s'appuie sur l'échelle du peuplement (parcelle, sous-parcelle), dans les conditions de régression forestière observée, n'est pas efficace et seule l'approche paysagère semble être en mesure de réaliser ces objectifs.

La méthode d'aménagement qui décide de l'objectif et donc des actions futures doit normalement tenir compte d'une information fiable sur les états de surface. En effet, si on se réfère au fondement de l'aménagement forestier qui est le peuplement forestier, l'étude de celui-ci se heurte fréquemment à des difficultés pratiques : accessibilité difficile, délimitation malaisée entre zones homogènes et non-homogènes mais surtout la difficulté d'acquiescer et de conserver une vision globale (**Grim, S, 1989**). Or, le principal avantage de la télédétection satellitaire est la perception simultanée d'une vaste étendue (**Bonn et al. 1996**). L'analyse orientée objet en délimitant des objets homogènes de surfaces importantes délimite en réalité des types physiologiques d'occupation du sol correspondant chacun à un ensemble de peuplements. Ce critère d'homogénéité qui est à la base de la définition des unités et sous unités paysagères autorise une analyse paysagère non seulement pour la zone d'étude mais pour d'autres territoires similaires. Une telle analyse est de nature descriptive et consiste principalement en une représentation cartographique des éléments paysagers forestiers.

L'approche orientée objet a permis une stratification expéditive du territoire forestier. Les strates correspondant à des types différents d'occupation du sol se distinguent physiologiquement par leur hauteur (futaie adulte très haute, matorral arboré haut, matorral bas, herbacées très bas) et par leur densité (futaie dense, futaie claire). Cette information écologique partielle est utile pour une stratification expéditive exploitable à l'échelle du paysage. La classification par objet s'apparente à une stratification forestière indispensable pour l'aménagement forestier. Complétée par d'autres informations écologiques (type de sol, exposition, composition floristique ...), elle permettra de définir une typologie paysagère où chaque unité paysagère constitue une unité d'analyse. D'après **Lapierre et Harvey (2002) in (Doyon, 2003)**, l'identification du dynamisme forestier passe par une information sur la proportion de chacun des types écologiques permettant d'identifier et de localiser les cibles de restauration des conditions paysagères et de les incorporer à la stratégie d'aménagement. Enfin, cette stratification reflète la structure spatiale des éléments du paysage forestier étudié. Or il est reconnu de plus en plus que cette structure spatiale est un facteur significatif pour la détermination de la biodiversité. (**Vogiatzakis, I.N and Careddu, M.B, .2003**).

6. Conclusion

L'approche orientée-objet pour l'analyse d'images satellitaires de moyenne résolution a permis de préciser le contenant (les limites) des grands types d'occupation du sol et d'homogénéiser leur contenu au niveau du territoire forestier étudié. Cet avantage qui manque à l'approche par pixel encourage à intégrer cette approche à l'approche paysagère d'aménagement forestier étant donné que celle-ci est basée principalement sur le critère d'homogénéité des unités paysagères. Toutefois la combinaison des deux méthodes doit se limiter à la seule collecte de l'information cartographique étant donné que l'approche paysagère dans le système écosystémique exige un complément d'information phytosociologique, pédologique et climatique que l'image satellite ne peut fournir.

Références Bibliographiques

- Baatz, M and Schape, A, 1999. Object-oriented and Multiscale image Analysis in Semantic Networks, Proc. of the 2nd international symposium on operationalization of remote sensing, August 16th – 20th, Enschede. ITC
- Bonn.F et Rochon.G, 1996. Précis de télédétection, volume 2, applications thématiques. Presse de l'université du Québec, AUPELF, 633 p
- Bradley.T and Hammond.H, 1992. landscape analysis and planning summary, a component of wholistic forest use. SFF Web site. *Silva Ecosystem Consultants*.
- Bruneau.M, 1985. Identification and dynamics of the agriculture environments in the northeast of Thailand. Cartosat, serie n°56. Paris, France
- Caloz.R et Pointet.A, 2003. Analyse comparative de la classification contextuelle et du maximum de vraisemblance: synthèse et cas d'étude *Télédétection*, 2003, vol. 3, n° 2-3-4, pp. 311–322.
- Chartier, M et Servain, S, 2000. Apports de la télédétection satellitaire à l'étude de l'environnement de sites archéologiques en milieu tempéré, le cas de la vallée de l'Aisne. *cybergeo*. 176. pp1-7. www.cybergeo.fr
- Doyon.F, 2003. L'aménagement intégré des ressources en milieu forestier: concepts et outils. Synthèse. Colloque sur la planification forestière, Université du Québec à Rimouski. 31 oct. - 1^{er} nov. 2002. Ed. IQUAFF. Québec. 46 pages
- Ducrot, D, 2005. Méthode d'analyse et d'interprétation d'images de télédétection multisources. Extraction de caractéristiques de paysages. Mémoires de recherches. Habilitation à diriger des recherches. INP Toulouse, France. 235p.
- ENVI, 2007. User's Guide. Ed. Research Systems, Inc. USA.
- Gay M and Cheret V, 1996. Evaluation cartographique de la dynamique d'un paysage. *Série Géográfica*, vol. 6: 37-57.
- Girard.MC.et.Girard.CM, 1999. Traitement des données de télédétection. Ed. DUNOD. Paris, pp 51-52
- Grim, S, 1989. Le pré-aménagement forestier. Volume 1.Ed.CEE et ministère d l'hydraulique d'Algérie. 369 p.
- Guis.H, 2004. Caractérisation par télédétection des unités paysagères favorables à la multiplication des populations de Culicoides, vecteurs de la fièvre catarrhale ovine dans le bassin méditerranéen : Cas de la Corse. Mastère spécialisé de la conférence des grandes écoles. Ed. CIRAD-EMTV. Projet SILAT. Systèmes d'information localisés pour l'aménagement du territoire, 60p rapport.
- Ivits, E and Koch, B., 2000, object-oriented remote sensing tools for biodiversity assessment: a European approach, <http://www.definiens-imaging.com>
- Kepner.W, Watts.C, Edmonds.C, Richter.H and al. 2007. A Landscape Approach to Monitoring and Assessing Environmental Condition in the Upper San Pedro River Basin. <http://www.epa.gov/crdlvweb/land-sci/san-pedro.htm>
- Kok.R (de), Buck.A, Schneider.T, Ammer.U, 2000: Analysis of image objects from VHR imagery for forest GIS updating in the Bavarian alps. ISPRS, Vol. XXXIII, Amsterdam, 2000. 8p.
- Louy.O, Borne.F et Marceau.DJ, 2000. Etude de la variabilité spatiale de couverts forestiers en fonction de l'échelle d'observation". *Géomatique Expert*, 9, PP20-30.
- MacGarigal.K, 2002. Landscape pattern metrics. Encyclopaedia of environmetrics. Volume2. Ed. John Wiley and sons, Sussex, England, pp1135-1142.
- Mallinis and al., 2002: An object oriented approach for the discrimination of forest areas under the criteria of forest legislation in Greece using very high resolution data. The international Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 34, Part XXX.
- Puech C, 2000. Utilisation de la télédétection et des modèles numériques de terrain pour la connaissance du fonctionnement des hydrosystèmes. Mémoire de recherche. Habilitation à diriger des recherches, Mécanique des milieux, géophysique et environnement, INPG Grenoble. 105p.

- Schlaepfer, R, 1997. Ecosystem-Based Management of Natural Resources: a Step towards Sustainable Development. International Union of Forestry Research Organisations, Occasional Paper n°.6, Vienna.
- Schwarz, M., Stein Meier. CH, Waser, L, 2001. Detection of storm losses in alpine forest areas by different methodical approaches using high-resolution satellite data, in: 21st EARSOL symposium, Paris.
- Steven.M (de Jong), Hornstra.T and.Maas. HG, 2001. An integrated spatial and spectral approach to the classification of Mediterranean land covers types: the SSC method. *JAG*. Volume 3, 176-183.
- Vogiatzakis.IN and Careddu.MB, 2003. Mapping the distribution and extent of *Quercus suber* habitats in Sardinia, literature review and a proposed methodology. Geographical Paper No. 171.
- Wallerman.J, 2003. Remote Sensing Aided Spatial Prediction of Forest Stem Volume. Doctoral dissertation. ISSN 1401-6230, ISBN. Swedish University of Agricultural Sciences .Umeå. Printed by: SLU Grafiska Enheten, Umeå, Sweden, (2003). 91-576-6505-2
- Willhauck. G, 2000. Comparison of object oriented classification techniques and standard image analysis for the use of change detection between spot multispectral satellite images and aerial photos, ISPRS, Vol. XXXIII, Amsterdam
-

Etude et cartographie de l'érosion des formations alluviales de la moyenne Seybouse (N-E Algérien)

F. ASSASSI, K. KHANCHOUL & C. BENABASS

* Laboratoire de Géologie, Faculté des Sciences de la terre, Université Badji Mokhtar-Annaba, B.P. 12, Sidi Amar, 23000 Annaba, Algérie. Email : assassi_1@yahoo.fr

** Laboratoire de Géologie et Environnement, Université de Constantine

ملخص : تتمثل منطقة الدراسة، المحددة وسط سيبوس (منطقة قالمة)، أساساً من طابع زراعي. تعتبر هذه الأراضي من بين أغنى الأراضي في الجزء الشرقي للجزائر. على أية حال، تآكل التربة عملية ضارة إلى مهانة الأراضي في منطقة الدراسة. إن العرض الرئيسي من هذه الدراسة هو الوصول ابتداءً من المعطيات والتحليل الخرائطية إلى مفهوم صلاحية الأراضي الخاصة بالزراعة و ضمان حمايتها باستعمال تقنيات المحافظة على التربة طبقاً لتصنيفها. تصنيف الأراضي، و صلاحيتها للزراعة وتحليل التضاريس سمح لنا بإبراز الإفتراحات التالية: بالنسبة للأراضي المنتجة أو الأراضي البعيدة عن خطر التآكل، لا توجد ضرورة خاصة للمحافظة على التربة. يوصى باستعمال تقنيات الدوران للأراضي الزراعية النصف حادة. يجب أن تخصص الأراضي للزراعة المتعددة الأصناف.

الكلمات الأساسية: سيبوس، شرفة، تربة، تآكل، زراعة.

Résumé : La zone d'étude qui se limite à la moyenne Seybouse (région de Guelma) est essentiellement à vocation agricole. Ces terres comptent parmi les plus riches de l'Est algérien. Cependant, l'érosion des sols est un des symptômes inquiétants de la dégradation des terres dans la zone d'étude. L'objectif de ce travail est d'arriver à partir des données élaborées et analyses cartographiques à une approche sur l'aptitude des terres à l'agriculture et assurer leur protection par l'utilisation de techniques de conservation des sols en se basant sur la classification de ces derniers. La classification des terres, leur aptitude culturelle nombreuses cultures doivent être destinées à la polyculture de montagne.

Mots clés : Seybouse, terrasse, sol, érosion, agriculture.

Abstract : The study area, limited by the middle Seybouse (Guelma region), is essentially of agricultural vocation. The terrains are accounted among the richest soils of the eastern part of Algeria. However, erosion is considered a harmful process to the degradation of soils in the study area. The main purpose of this study is to provide, based on collected data and mapping, an approach on the aptitude of soils to agriculture and insure their

protection by the use of soil conservation techniques according to the soil classification. The soil classification, their aptitude to cultivation and the analysis of the relief allowed us to provide the following suggestions: for soil producers, where the lands are out of danger from erosion, no special practice of soil conservation is necessary. Techniques of rotation are recommended for the lands of semi-intense agriculture. The lands submitted to numerous cultures must be destined to the mountain mixed farming.

Key words : Seybouse, terrace, soil, erosion, agriculture.

1. Introduction

Les vastes terres à vocation agricole et les ressources en eau dans la région de Guelma conditionnent le succès du développement économique et social fortement lié à la maîtrise de l'irrigation et à l'aptitude à l'agriculture.

La région de Guelma est inscrite dans le grand bassin versant de la Seybouse du Nord – Est algérien. Le bassin couvre une superficie d'environ 6474 km², drainé par un chevelu hydrographique très développé (Fig. 1).

Le cours d'eau principal de l'Oued Seybouse prend sa source dans les hautes plaines des Heractas et des Sellaouas au Sud, pour finir son trajet dans la plaine orientale du littoral de Annaba et enfin se jeter dans la mer Méditerranée au Nord (Ghachi, 1982).

Toutefois, notre aire d'étude se limite à la moyenne Seybouse qui prend cette appellation à partir de la confluence de l'Oued Bouhamdane avec l'Oued Cherf jusqu'à la confluence de l'Oued Seybouse avec l'Oued Mellah. La région est à vocation agricole où ses terres comptent parmi les plus riches de l'Est algérien. Elles sont généralement formées de dépôts récents des terrasses alluviales de l'Oued Seybouse et ses affluents.

Ces formations quaternaires constituent le domaine des plaines agricoles dont la richesse est conférée par un manteau limoneux quasi constant et des réserves d'eau souterraines sous forme de nappes aquifères.

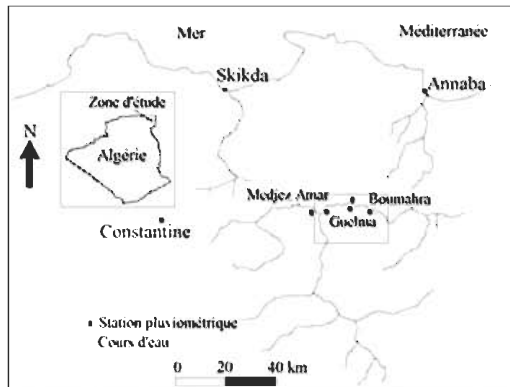


Fig. 1 Situation géographique de la zone d'étude .

2. Cadre géologique et géomorphologique

2.1 Géologie

Le sous-bassin versant de la moyenne Seybouse fait partie du Tell Nord-oriental de l'Algérie. Cet ensemble s'étend de la région de Constantine (à l'Ouest) à la frontière Algéro-Tunisienne (à l'Est). Le Tell oriental algérien correspond à la chaîne Alpine (Villa, 1980). Il est constitué par un empilement de nappes définissables, en général du Trias au Précambrien, parfois adhérent à un socle paléozoïque ou plus ancien de nature cristallophyllienne complexe. Dans ces superpositions anormales, sont également impliquées des formations oligomiocènes ou quaternaires, essentiellement continentales, en dehors de quelques affleurements marnaux septentrionaux très limités (Marre, 1987; Villa, 1980).

Pour qualifier l'origine du relief et les paramètres qui font que ce dernier ait des formes diverses, il est essentiel de confronter ces formes avec les facteurs responsables de leur origine et de leur évolution; la lithologie peut expliquer ces formes. L'analyse de la carte géologique et des différentes observations faites sur terrain par les auteurs a permis de rassembler les faciès qui possèdent plus ou moins les mêmes caractéristiques lithologiques d'où on distingue quatre affleurements de résistance variable (Fig. 2). Par ailleurs, les changements de faciès à l'intérieur d'une même couche sont très fréquents (Assassi, 1994). Ils s'agit de terrains sédimentaires d'âges Crétacé, Oligocène, Miopliocène, Miocène et Quaternaire dont on a :

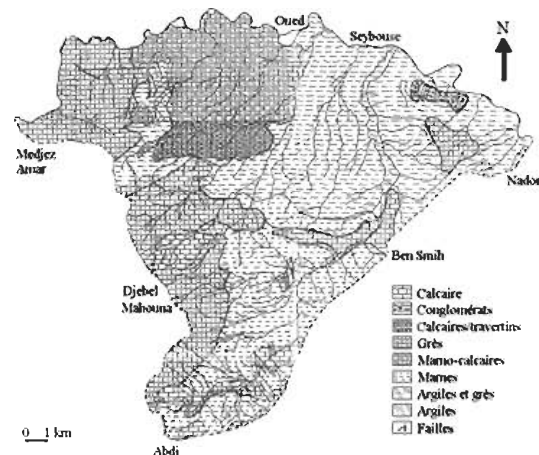


Fig. 2 Carte lithologique de la zone d'étude.

- 1- les calcaires qui regroupent les calcaires noirs à nummulites planutatus, calcaires et marno-calcaires bitumineux à silex, Tufs et calcaires lacustres de Guelma. Ces calcaires occupent presque toute la zone Guelmoise.
- 2- les grès de nature variée qui constituent le massif de la Mahouna et quelques affleurements à la limite de Ben Smih et à l'Ouest de Boumahra.
- 3- les marno-calcaires à silex, situées au Sud de notre zone d'étude.
- 4- les marnes où on note les marnes et marno-calcaires claires, marnes et marno-calcaires à ammonites, qui couvrent presque toute la partie sud-est de la région étudiée, avec quelques affleurements aux environs de Bendjerah.

2.2 Géomorphologie

L'étude physiographique, ainsi que nos observations de terrain ont montré que le relief de notre zone d'étude présente une multitude de formes topographiques; il s'agit essentiellement de hautes montagnes (Djebel Mahouna et Djebel Serdj El Houda), dont l'altitude varie entre 1411 et 1200m et qui occupe presque 1.5% de la superficie totale de la zone d'étude. On note également une chaîne de collines, comportant les basses montagnes telles que les djebels Fedj el Madfoun et Aine el Alleq, qui occupent 35% de la surface totale dont les altitudes varient entre 600 et 800m. Ces collines sont séparées par des vallées étroites, entre autres celles de l'Oued el Maiz, Oued Zimba et Oued Boussora. Elles se concordent à la plaine par un glacis-piémont, avec une pente de 10%. La diminution d'altitude vers le Nord-Est fait apparaître un nouveau relief qui est la plaine alluviale de Guelma, s'étalant de l'Est à l'Ouest.

Cette dernière est caractérisée par deux niveaux très distincts :

- la plaine de la vallée actuelle de l'Oued Seybouse, d'altitude variant entre 180 et 200 m d'Est en Ouest.
- la plaine de la vallée ancienne dont l'altitude varie entre 260 et 230m, considérée comme étant la plaine très importants, ce qui contribue vraisemblablement à l'accentuation de la morphogénèse au niveau des versants et des berges.

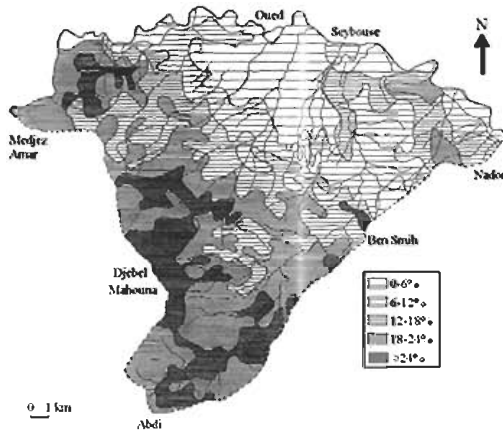


Fig. 3 Carte des pentes de la zone d'étude.

3. Analyse climatique

Les conditions climatiques, plus que d'autres facteurs, jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau. Pour caractériser le climat des terrains de recherche, nous avons choisi deux stations pluviométriques, Medjez Amar (altitude moyenne de 250 m) et Guelma (altitude moyenne de 301 m), dont nous disposons pour la plupart, d'une longue série de données pluviométriques et de températures mensuelles qui s'étalent de 1975/76 à 1996/97. Le bassin de l'Oued Seybouse est soumis à un climat de type méditerranéen. L'étude des températures et des précipitations permet d'esquisser les saisons qui, avec d'autres facteurs, influent sur l'écoulement. Toutefois, on note le rôle joué par le relief sur la hauteur des précipitations; le gradient pluviométrique est élevé au sud du secteur d'étude. Les pluies enregistrées aux deux stations mettent en évidence deux saisons dont la durée varie selon la persistance climatique. La saison humide qui correspond à la saison pluvieuse s'étale d'Octobre à Avril et la saison chaude va de Mai à Septembre. La répartition des pluies annuelles présente d'importantes irrégularités (Fig. 4A). Les précipitations annuelles moyennes varient entre 523,72 mm à Guelma et 583 mm à Medjez Amar. L'étude de la répartition intermensuelle des précipitations est importante car les variations des précipitations conditionnent l'écoulement fluvial saisonnier et le comportement hydrologique annuel du bassin versant (Khanchoul, 2006).

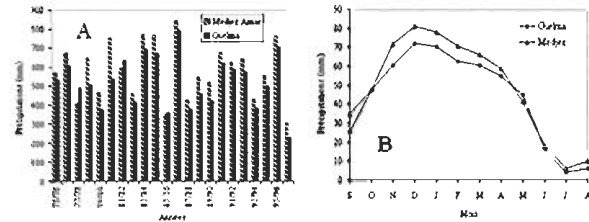


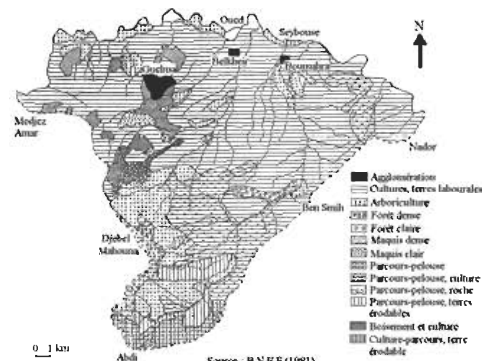
Fig. 4 Répartition annuelle (A) et mensuelle (B) des pluies (75/76 à 96/97).

La variabilité des précipitations est marquée en été et au début de l'automne ($C_v > 0.93$) qui s'explique par une indigence pluviométrique des mois secs d'été caractéristique du climat méditerranéen de l'Afrique du Nord d'une part et des pluies diluviennes des premiers orages de la fin de printemps et fin d'été d'autre part (Ghachli, 1982). En revanche, la variabilité des pluies mensuelles la plus faible se situe en saison pluvieuse ($0.71 < C_v < 0.83$). Cependant, les variations mensuelles fortes pendant les saisons pluvieuses sont plus importantes au cours du mois de décembre dans les deux stations analysées dont elles peuvent atteindre, en pluies mensuelles moyennes, 81mm à Medjez Amar et 71 mm à Guelma (Fig. 4B). On note toujours que l'hivers est la saison la plus pluvieuse et que le centre de la région, correspondant aux grandes vallées, est moins arrosé qu'ailleurs. La température moyenne annuelle est égale à 18°C. La température moyenne maximum étant atteinte au mois d'août avec 28 °C. En janvier la température moyenne atteint un minimum de 11°C.

4. Occupation du sol

L'analyse de la carte d'occupation du sol (Fig. 5) montre l'existence de deux grands domaines:

- Le domaine agricole, qui occupe 67.07% de la superficie totale de la zone d'étude, se caractérise par trois grands types de spéculation, entre autres, les terrains agricole, l'arboriculture et les oliviers.



Source : B.N.E.F (1981)
Carte modifiée par les auteurs en 2006

Fig. 5 Carte de l'occupation du sol.

- Le domaine forestier, qui représente 26.47%, est composé principalement de deux peuplements, qui sont les peuplements de chêne - liège et chêne zeen qui occupent les versants à fortes et moyennes pentes.

Les maquis, qui se présentent souvent en couverture végétale uniforme, occupent les piémonts des monts boisés de la chaîne numidique de Guelma. Cette unité occupe 4.31% de la superficie totale. Les terrains de parcours sont situés sur les hautes montagnes ainsi que les surfaces occupées par une végétation basse dégradée.

5. Identification des zones sensibles à l'érosion

Les processus de fragmentation et de météorisation fournissent des débris de taille variée qui peuvent être mobilisés et déplacés. Déterminer les terrains les plus exposés aux problèmes de l'érosion hydrique relève de la précision des risques potentiels d'érosion. Il s'agit tout d'abord d'identifier les différentes formes de l'érosion, puis cartographier les zones potentiellement érodables. Afin de réaliser une cartographie des zones potentiellement productrices de matériel sédimentaire, il convient de fournir un aperçu sur les facteurs qui conditionnent les modalités et les rythmes de l'érosion: l'agressivité des pluies, l'érodibilité des sols et des roches, la topographie et le couvert végétal. L'érosivité du climat dépend essentiellement des caractéristiques des précipitations, car elles conditionnent les modalités de l'érosion: saisonnalité des pluies, fréquence et intensité des orages. En effet, les pluies déclenchent les phénomènes de destruction des agrégats du sol nu sur les versants et le ruissellement assure le transport des particules détachées. Ainsi, les précipitations jouent manifestement un rôle important dans le déclenchement des processus géomorphologiques relevant de l'érosion hydrique. Pour la nature lithologique, nous distinguons les roches des formations meubles directement érodables, dès lors que les conditions favorables seront réunies (couvert végétal absent ou clairsemé, entrée en action d'un agent d'érosion, topographie,.....). Les marnes et les argiles seront livrées à l'érosion hydrique. A l'inverse, les roches cohérents telles que les calcaires ou les affleurements de grès ne pourront être érodés que si le matériel est préparé par l'altération à travers les fissures et les diaclases.

La topographie influence l'énergie du ruissellement superficiel et le développement de l'érosion, du moins lorsque le sol est nu ou peu couvert par la végétation. Les terrains montagneux, donc raides, avec une altitude et un relief excessifs sont connus comme étant des régions pouvant produire anormalement des quantités élevées de transports solides, particulièrement là où les roches sont vulnérables (Hadley et Schumm, 1961; Alnert, 1970) ou récemment affectées par une perturbation tectonique. Le couvert végétal est d'autant plus efficace contre l'érosion qu'il absorbe l'énergie cinétique des

gouttes de pluie, diminue l'effet de battance et contribue à réduire la vitesse du ruissellement à la surface du sol. La végétation peut intervenir contre l'érosion hydrique de surface de deux manières: d'une part, elle peut empêcher l'ablation du substrat, d'autre part, elle peut favoriser la sédimentation, en retenant les sédiments érodés plus à l'amont (Rey et al., 2004).

La spatialisation de la sensibilité des terrains à l'érosion va prendre en considération les facteurs de l'érosion sus-cités. Les connaissances sur les formes de l'érosion sont indispensables pour la réalisation des cartes surtout lorsque les zones de contact entre les cartes fournissent des interprétations contradictoires. En fonction des informations recueillies, trois classes en relation avec l'érosion sont sélectionnées et déterminent des niveaux croissants de sensibilité des terrains à l'érosion. Pour chaque facteur de l'érosion est réalisée une carte de sensibilité potentielle.

Pour le facteur topographique, nous avons distingué trois classes de sensibilité:

- sensibilité réduite: pentes de 0 à 6%,
- sensibilité moyenne: pentes de 6 à 12%,
- grande sensibilité: pentes supérieures à 12%.

Les seuils de sensibilité ont été choisis à la lumière des données bibliographiques sur l'érosion de l'extrême nord-est algérien. Egalement les classes de sensibilité à l'érosion en fonction de la lithologie ont été retenues:

- sensibilité réduite : calcaires et grès.
- sensibilité moyenne: différents types de flyschs, conglomérats argileux pour la plupart.
- grande sensibilité : argiles, marnes, marno-calcaires et les formations quaternaires (alluvions et colluvions).

A partir de la carte de l'occupation du sol, les classes de sensibilité retenues sont les suivantes:

- sensibilité réduite : forêt et maquis denses, parcours denses, roches nues et le tissu urbain,
- sensibilité moyenne : maquis dégradés et les parcours clairsemés
- grande sensibilité : zones de cultures et les sols nus.

La méthode utilisée permet de réaliser un croisement entre les cartes thématiques sous forme de combinaisons les plus logiques possibles. A chaque combinaison particulière entre les paramètres est affecté un degré relatif de sensibilité des terrains à l'érosion mécanique (Tableau 1).

Un premier croisement est effectué entre la carte de sensibilité potentielle en fonction de l'occupation du sol et celle en fonction des pentes. En effet, les zones en pente forte sont couvertes de forêts et maquis, alors que les versants en pente inférieures à 10% se distinguent par des espaces agricoles. Au résultat de ce premier croisement, nous superposons également

la carte lithologique. La lithologie est généralement prise en compte à travers ses conséquences sur les formations superficielles. Elle n'a d'influence directe sur l'érosion que lorsque le substrat est affleurant.

Tableau.1 Illustration de la méthode de croisement entre les cartes.

Occupation du sol	Pentes	Lithologie	Résultats
SR	GS-SM	SR-SM	SR
GS	SM-GS	GS	GS
GS	SR	GS	SR
GS	SM	GS	SM
SM	GS-SM	GS	GS

SR : sensibilité réduite; SM : sensibilité moyenne; GS : grande sensibilité.

A ce niveau de la cartographie, nous avons rencontré un problème dans la détermination du degré de sensibilité pour un certain type de terrain. Ainsi, nous avons considéré comme peu sensibles (sensibilité réduite) les zones de cultures en fonction de l'occupation du sol. Or, suivant le croisement des trois cartes (Assassi et al., 2008), ces terrains en pente faible et développés sur des formations quaternaires épaisses ou recouvrant un substrat gréseux devraient être classés comme moyennement sensibles. Basée sur la connaissance des phénomènes érosifs, ces zones ne présentent pas de sensibilité inquiétante à l'érosion.

La combinaison des principales couches d'information permet de définir la sensibilité de la zone d'étude (Fig. 6). Pour la majorité des terrains analysés, nous remarquons que les surfaces sont moyennement sensibles à grande sensibilité (Fig. 6).

Il s'agit d'une façon générale:

- des zones agricoles, quels que soient la pente et le type de sol.

- des zones à couverture végétale moins résistante ou clairsemée (cultures et culture –parcours avec terre érodable), en particulier sur pente forte, surtout lorsque les sols sont profonds et peu caillouteux (région Est de Boumahra).

- des zones très pentues et sur substrat très fragile (marnes et argiles) sur lesquelles des ravines se forment très rapidement sans protection végétale efficace (bas versants de Djebel Mahouna jusqu'à Medjez Amar et à Ben Smih).

Les zones à sensibilité réduite occupent une très faible surface. Ces zones correspondent principalement aux zones de cultures développées sur des pentes généralement inférieures à 12%. Dans ce cas, les ravines sont peu fréquentes et le système de drainage est lâche.

6. Propositions d'application

La terre est une ressource irremplaçable, sa conservation améliore la stabilité de notre environnement. Une politique de conservation des sols très active doit être menée dans cette région. La classification des terres et leur aptitude culturale, basée essentiellement sur la pente, lithologie, formations superficielles, occupation actuelle du sol, dynamique), nous a permis les suggestions suivantes (Fig. 7).

Pour les terres productrices ou celles sont soumises à une culture annuelle, elles ne posent pas de danger d'érosion et aucune pratique spéciale de conservation du sol n'est nécessaire; seuls des sapements de berge au niveau de la Seybouse et ses principaux affluents nécessitent des protections contre ce processus. Ces terres ont des aptitudes favorables à une agriculture intensive (arboriculture fruitière et la culture maraîchère).

Pour les terres d'agriculture semi-intense, elles ne sont actuellement exploitées que par les céréalicultures, dans ce cas, il faut procéder à une technique d'assolement (Assassi et al., 2008), qui est une succession d'alternances de cultures sur une même terre; en choisissant des plantes qui conservent mieux le sol ou qui le reconstituent; les légumineuses par exemple.

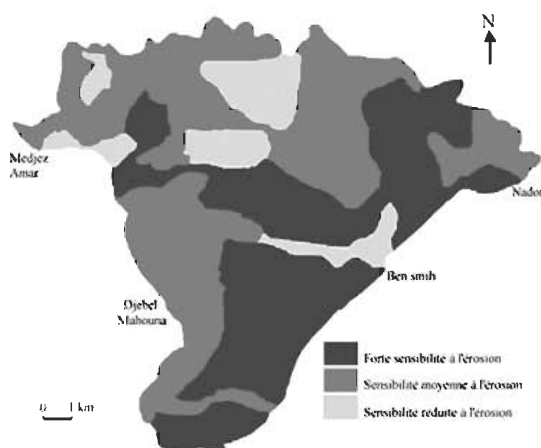


Fig. 6 Carte de sensibilité à l'érosion.

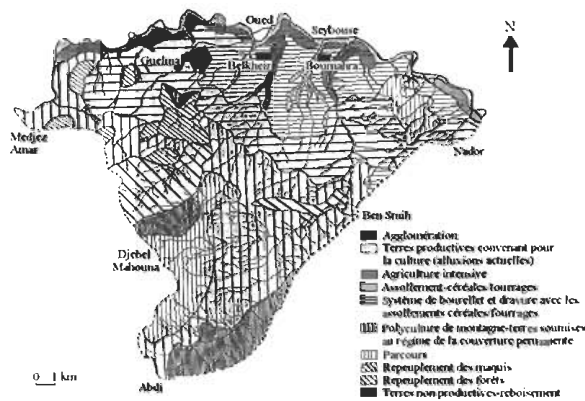


Fig. 7 Carte des propositions d'application de l'occupation du sol.

Concernant les terres soumises à de nombreuses cultures, occupées actuellement par les céréalicultures, des parcours dégradés et une faible présence d'arboriculture, on propose que ces terrains doivent être destinés à la polyculture de montagnes (cultures céréalières, fourragères, herbacées et arbustives) afin d'élever la productivité du sol et protéger le sol.

Les terres soumises au régime de la couverture permanente, les terres ne convenant pas au labour, ce sont des terres érodables, parfois occupées par des parcours dégradés, où on propose l'introduction de nouvelles espèces herbacées et /ou arbustives pour une meilleure productivité et une meilleure protection du sol.

7. Conclusion

Le secteur d'étude est constitué essentiellement d'épandages détritiques tertiaires et quaternaires meubles et souvent fins. Les formations lithologiques sont très sensibles à l'érosion; ainsi la présence de fortes pentes offrent des conditions plus favorables à l'écoulement et à la morphogénèse.

La destruction systématique de la basse terrasse renfermant des terres arables de bonne qualité par l'action des sapements des berges est un exemple concret de cette dynamique. L'action anthropique dans la dégradation semble bien déterminante comme l'illustre le cas de notre zone d'étude. L'homme a été décisif dans la rupture de l'équilibre du milieu, d'autant plus qu'il s'agit d'un milieu physique plus au moins sensible.

C'est dans ce contexte que les différentes tentatives de conservation des sols ont été proposées.

La défense des sols contre l'érosion doit être prioritaire partout où le terrain est déjà dégradé ou en voie de dégradation.

Afin de préserver et améliorer l'équilibre du milieu naturel et en même temps garantir une meilleure gestion rurale de la région, les terres doivent être travaillées en courbe de niveau, l'assolement doit être strictement respecté, les plantations forestières doivent être mises en défens pendant de nombreuses années.

Références Bibliographiques

- Ahnert, F. (1970): Functional relationships between denudation, relief, and uplift in large mid-latitude drainage basins. *American Journal of Science*, 268: 243-263.
- Assassi F., Benabbas, C. et Djabri, L. (2008): Les terrasses alluviales de la moyenne Seybouse (N-E algérien) Origine, mode de mise en place et applications. Actes du Séminaire National l'eau dans son environnement. Blida, pp.147-149.
- Assassi, F. et Djabri, L. (2000): Mise en évidence du processus de salinité des eaux superficielles – Vérification par les A.C.P dans le secteur Annaba Bouchegouf (Guelma). Colloque Méditerranéen sur l'eau et l'environnement. Alger. Actes pp. 81-88.
- Assassi, F., Djabri, L. et Souag, M. (1999): Pollution de l'oued Seybouse par les métaux lourds. *Bulletin International de l'eau et de l'environnement*. Edil-Inf-Eau; N°21, Algérie, pages 4-7.
- Assassi, F. (1994): Formations Pléistocènes de Guelma et ses environs (N-E algérien Premier Séminaire Maghrébin de Géologie appliquée. Annaba, Algérie.

- Djabri, L. (1996): Mécanismes de la pollution et Vulnérabilité des eaux de la Seybouse: Origine géologique, industrielle, agricole et urbaine. Thèse de Doctorat d'état, Université de Annaba , Algérie, 277p.
- Gaud, B. (1975): Etude préliminaire de l'aquifère de Annaba. Rapport interne. 150 pages.
- Ghachi, A. (1982): Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie: Le Bassin de la Seybouse OPU, 508p.
- Hadley, R.F. et Schumm, S.A. (1961): Sediment sources and drainage basin characteristics in upper Cheyenne River basin. U.S.G.S. Water Supply Paper, 1531-B: 137-196.
- Khanchoul, K. (2006). Quantification de l'érosion et des transports solides dans certains bassins versants de l'extrême nord-est algérien. Thèse de doctorat d'état, Université Badji Mokhtar-Annaba, Algérie, 278p.
- Marre, A. (1987): Le Tell oriental de Collo à la frontière Tunisienne. Etude de géomorphologie, OPU, Alger.
- Margat, J. (1982): Les ressources en eau du Bassin Méditerranéen. Revue Méditerranée N°2, France.
- Rey, F., Ballais, J.L., Marre, A., et Rovera, G. (2004): Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface. Géoscience, 336 : 991-998.
- Villa, J.M. (1980): La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-Tunisiens. Thèse de Doctorat d'état. Université de Toulouse, France, 665p.
-

مجموعة خبراء الأمم المتحدة في الأسماء الجغرافية مسابقة 2009 حول الأسماء الجغرافية - إفريقيا

بمناسبة انعقاد الدورة الخامسة و العشرين لمجموعة خبراء الأمم المتحدة في الأسماء الجغرافية للأول مرة في إفريقيا، تم تنظيم مسابقة للبلدان الإفريقية بغية تنمية الوعي. بمدى أهمية الأسماء الجغرافية و بالدور الذي تؤديه في علاقتنا بالمحيط وفي فهمنا لفضائنا. تشكل الأسماء الجغرافية عنصرا أساسيا في قاعدة المعطيات الجغرافية - الفضائية لكل بلد، على أنها لا يمكن أن تؤدي دورها بشكل جيد ما لم تكن الأشكال الكتابية مقننة و ذلك ما تصبو إليه مجموعة خبراء الأمم المتحدة.

المسابقة

تتعلق المسابقة بأحسن مقال أو شعر حول اسم أو مجموعة أسماء جغرافية خاصة (ويشار إليها أحيانا أيضا بعبارة "أسماء الأماكن" - أسماء مستوطنات أو أنهار أو جبال أو مناطق أو ما إلى ذلك). مثلاً، كيف اقتنى معلم جغرافي اسمه و أي علاقة خاصة تربط صاحب المقال أو الشعر أو عائلته بالمعلم لمسمى أو المشكلات التي قد تحول دون إيجاد الاسم أو جمعة أو تأثير اسم المكان المعين في حياة صاحب المقال أو الشعر أو تأثير تغيير الاسم أو ما ينجر من عواقب بسبب امتلاك مكان ما لأسماء عدة.

الهدف

ترمي المسابقة إلى التعرف على الأشخاص المهتمين بالبحث عن الأسماء الجغرافية لبلد و تقنينها و تكريمها، فهم بالتالي يساهمون في تطوير مصدر أساسي يكفل الإبقاء على الموروث الثقافي حيا و يضمن النمو الاقتصادي للبلد. تهدف مجموعة الخبراء عبر الإعلان عن هذه المسابقة، إلى تنمية الوعي. بمدى أهمية الأسماء الجغرافية من زاوية الحفاظ على التراث الثقافي و توفير نظرة إلى ما يحيط بنا عبر خرائط و أنظمة خاصة بالإعلام الجغرافي.

الجوائز

يحصل الفائزون على نسخة من مؤلف "دراسة الأسماء الجغرافية و قوانينها و لغتها"⁽¹⁾، أو الكتاب الكلاسيكي "قاموس المفردات في دراسة أسماء الأماكن"⁽²⁾، أو الدراسة التي أعدها باللغة العربية فريد بن رمضان و إبراهيم عطوي بعنوان "تسمية الأماكن و القبائل و الأشخاص في الجزائر"⁽³⁾، علاوة على إشتراك لمدة سنتين في جريدة "تومينا أفريكانا" (الأسماء الإفريقية) التي تصدر في جنوب إفريقيا و جملة من الإصدارات الحديثة لمجموعة خبراء الأمم المتحدة في الموضوع و المتعلقة بتقنين الأسماء الجغرافية.

-إشتراك لمدة سنتين لمجلة العلوم الجغرافية التي يصدرها المعهد الوطني للخرائط و الكشف عن بعد (الجزائر)

-إشتراك لمدة سنتين "لمجلة الإنسانيات" التي يصدرها مركز البحث في الأنثروبولوجية الاجتماعية و الثقافية (وهران)

المشاركون

المسابقة مفتوحة لكل مواطن من بلد إفريقي مهتم بأسماء الأماكن، سواء من جانب الحفاظ على التراث الثقافي أو إنتاج الخرائط أو العمل بنظام الإعلام الجغرافي أو أي مسعى آخر متصل بأسماء الأماكن.

التسجيل

يجب أن يحوي كل تسجيل العناصر التالية بإحدى اللغات الأربع التالية من بين اللغات الرسمية لهيئة الأمم المتحدة، أي العربية أو الإنجليزية أو الفرنسية أو الإسبانية :

1. اسم المشارك و بريده الإلكتروني و عنوانه و وظيفته ،
2. صورة المشارك و صورة عن المعلم المسمى الوارد في التسجيل (غير إجباري) ،
3. رسالتا تزكية من لدن موظفين في مؤسسات حكومية أو جامعية (من الأفضل تقديم تزكية من كلامها) ،
4. نص أصلي (مقال أو شعر) قابل للنشر لا يقل عن خمس مائة كلمة بالنسبة إلى المقال، و عن مائة و خمسين كلمة بالنسبة إلى الشعر، و لا يتعدى ألف كلمة في كلتا الحالتين. على النص أن يعكس المواضيع المذكورة ،
5. تصريح ينقل المؤلف بموجبه حقوق النشر لمجموعة خبراء الأمم المتحدة في الأسماء الجغرافية، و يعترف فيه بحق المنظمة في استعمال الصور و النص - كله أو جزءا منه - و طبعهما أو نشرهما على شبكة الأنترنت.

آخر أجل للتسجيل

يجب إرسال المادة عبر الأنترنت لأمانة مجموعة خبراء الأمم المتحدة في الأسماء الجغرافية بنيويورك قبل 1 نوفمبر 2009 كأقصى أجل، على البريد الإلكتروني التالي : zewoldi@un.org

الإعلان عن الفائزين

يتم الإعلان عن الفائزين بالجوائز عند افتتاح الدورة الخامسة و العشرين لمجموعة خبراء الأمم المتحدة في الأسماء الجغرافية، يوم 5 ماي 2009 بنيروبي. يكون قرار مكتب لجنة التحكيم المعينة من قبل مجموعة الخبراء نهائيا. يعترّم مكتب مجموعة الخبراء نشر عمل الفائز على موقع المجموعة الإلكتروني و ربما جمع أفضل الأعمال في نشرة إلكترونية خاصة.

أكتوبر 2008

(1) *Toponymy: the lore, laws and language of geographical names*, Natfali Kadmon, (New York: Vantage Press, 2002)

(2) *Lexique des termes utiles à l'étude des noms de lieux*, Henri Dorion et Jean Poirier (Québec: Presses de l'Université Laval, 1976)

(3) الجزائر مركز البحث في الأنتروبولوجية الاجتماعية و الثقافية منشورات (3)

United Nations Group of Experts on Geographical NAMES (UNGEGN) Toponymy Contest 2009 - Africa

On the occasion of the Twenty-fifth UNGEGN Session, the first to be held in Africa, a contest has been organized for African countries, to promote awareness of the importance of geographical names, the role they play in our relationship with the environment and in our spatial understanding. Geographical names form an essential component of a nation's geospatial data infrastructure, but will only function well if the written forms have been standardized, and that is what UNGEGN promotes.

The contest

The contest is to write an essay or poem about a particular geographical name or group of names (also referred to as *toponyms* or sometimes *place names* - names of settlements, rivers, mountains, areas, etc). For example, how the geographical feature got its name, what special relationship the author or his/her family has with the named feature, any specific problems in finding or collecting the name, the influence of the specific toponym on the author's life, the impact of a name change, or specific issues when a place has different names.

The objective

The contest aims to identify and honour those persons who are actively interested in researching and standardizing a country's geographical names and thus contributing to the development of a resource that is essential for a culture's survival as well as for a country's economic development. Through the publicity for this contest, UNGEGN aims to improve the understanding of the importance of toponymy, from the point of view of preserving cultural heritage and of providing an insight into our surroundings through maps and geographical information systems.

The prizes

The winners will receive:

1. A copy of one of the following:

- the toponymy publication *Toponymy, the lore, laws and language of geographical names* by Naftali Kadmon (New York: Vantage Press, 2002).
- the classic work *Lexique des termes utiles à l'étude des noms de lieux* by Henri Dorion and Jean Poirier (Québec : Presses de l'Université Laval, 1976),
- Arabic document التسمية و الأسماء و التسمية، أسماء الأماكن القبائل و الأشخاص في الجزائر (*Nomination et dénomination des noms de lieux, de tribus et de personnes en Algérie*) by فريد بن رمضان و إبراهيم عطوي (Farid Benramdane et Brahim Atoui), Algérie : Editions CRASC.

2. A two-year subscription to one of the following journals:

- Nomina Africana* published in South Africa.
- Bulletin Géographique* published in Algeria.
- Insaniyat* published in Algeria.

3. A set of recent UNGEGN documents relevant to the standardization of geographical names.

Participants

The contest is open to citizens of all African countries, who are interested in toponymy, either from the viewpoint of preservation of cultural heritage, map production, working with GIS, or other endeavours related to toponymy.

Entries

Each entry should contain the following elements, written in one of four of the official UN languages spoken in Africa, namely Arabic, English, French, or Spanish:

1. Name, email, address and position of the participant;
2. Photograph of the participant and (optional) of the named feature cited in the entry;
3. Two letters of recommendation from employees of government institutions or from academic institutions (preferably one from each);
4. An original text (essay or poem), free from copyright, of at least 500 words for an essay and 250 words for a poem, and with a maximum of 1000 words. This text should reflect the themes indicated above;
5. A declaration in which the author transfers copyright of the entry to UNGEGN, recognizing the right of UNGEGN to use and publish the photos and text, whole or partially, either in paper copy or on the web.

Closing date

The materials have to be submitted digitally to the UNGEGN Secretariat in New York on or before 1 February, 2009. The address of the UNGEGN Secretariat is: zewoldi@un.org.

Announcement of the winners

The winners of the prizes will be announced at the opening of the 25th UNGEGN Session, 5 May 2009, in Nairobi. The decision of the jury appointed by the UNGEGN Bureau will be final. It is the intention of the UNGEGN Bureau to publish the winning entries on the UNGEGN website, and possibly to assemble other top entries in a special web-based publication.

October 2008

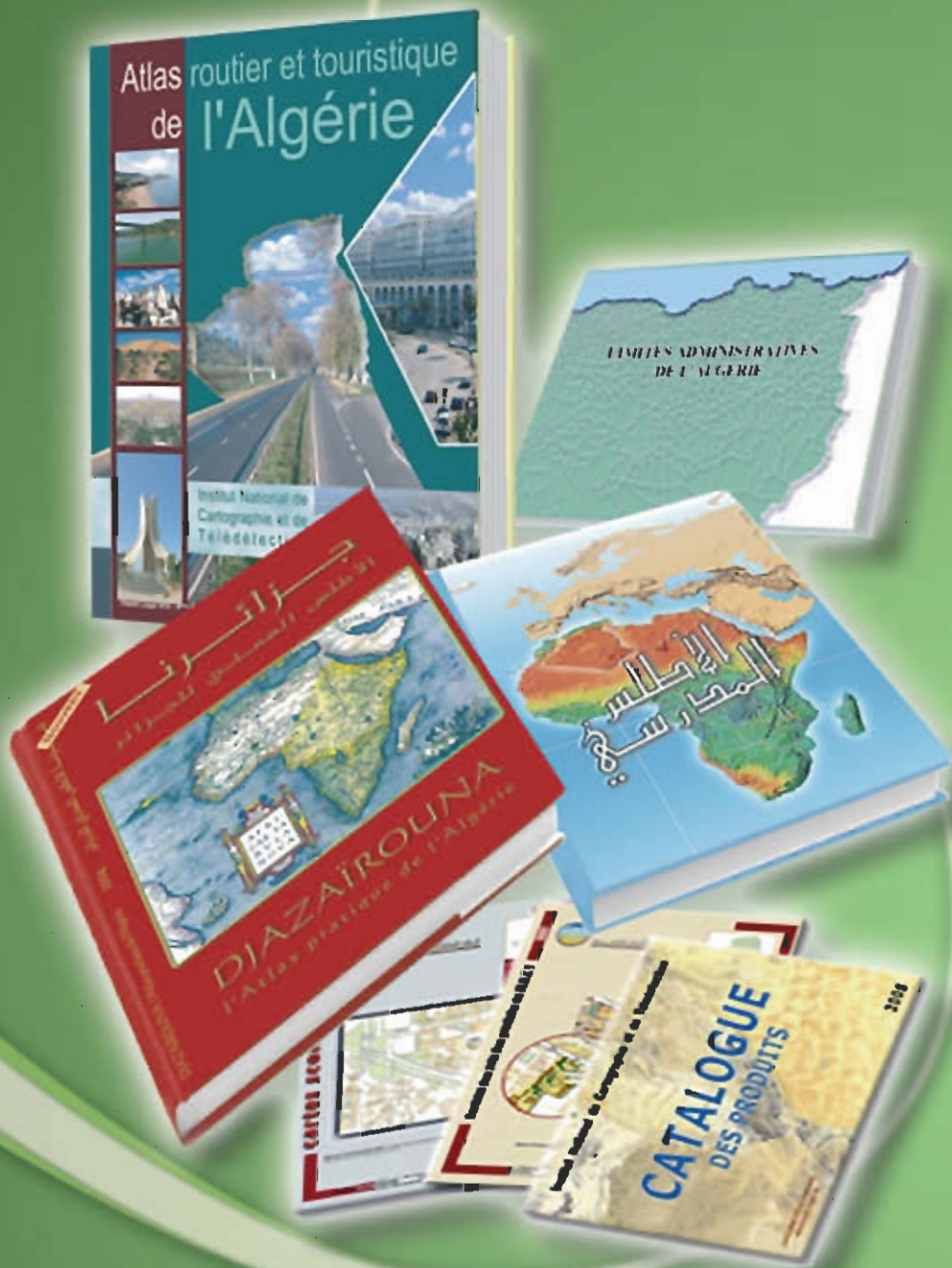
Atlas

ATLAS ROUTIER & TOURISTIQUE DE L'ALGÉRIE: 4980^{DA} TTC

ATLAS SCOLAIRE: 1200^{DA} TTC

DJAZAÏROUNA L'ATLAS PRATIQUE DE L'ALGÉRIE: 3000^{DA} TTC

ATLAS DES LIMITES ADMINISTRATIVES DE L'ALGÉRIE: 834,75^{DA} TTC



Cartes Scolaires

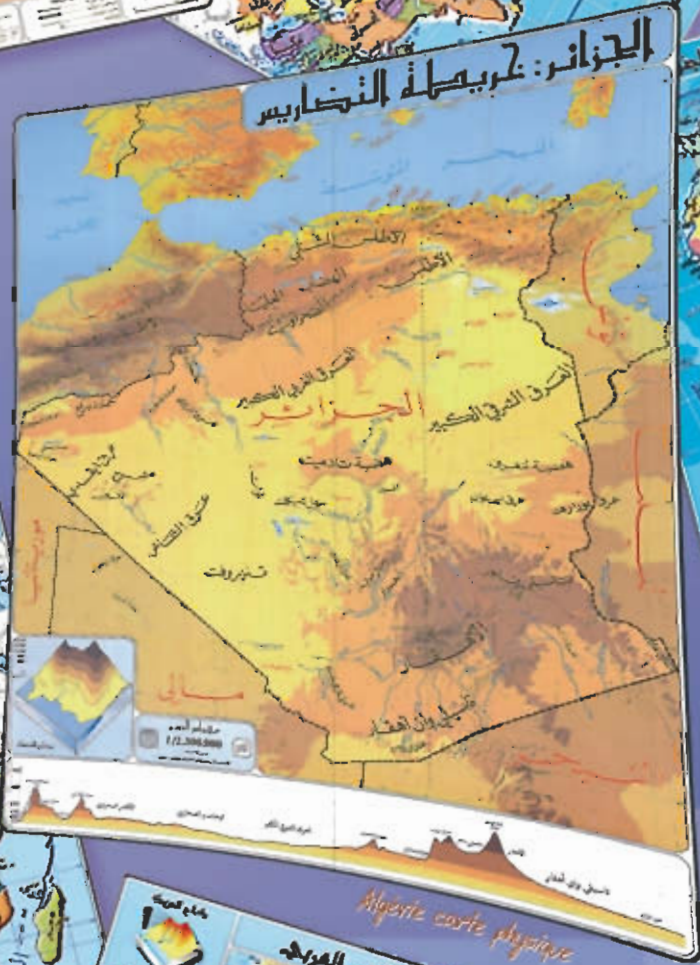
Carte du découpage administratif de l'Algérie



Carte politique de l'Asie



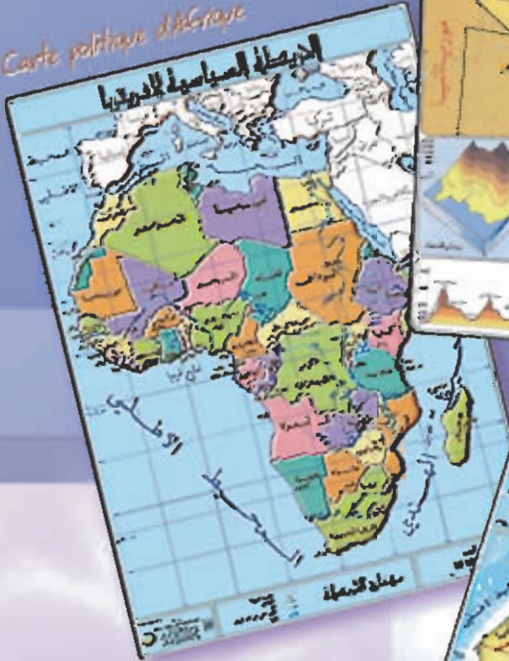
الجزائر: خريطة التضاريس



Carte politique administrative du Sud



Carte politique d'Afrique



Algérie carte physique



Carte physique du Maghreb Arabe



Carte politique du monde

PAPIER 120 GR: 150 DA TTC

PAPIER POLYART: 450 DA TTC

Cartes en Relief



CARTE EN RELIEF D'ALGERIE (VERSION ARABE) : 2340^{DA} TTC

CARTE EN RELIEF D'AFRIQUE : 4800^{DA} TTC

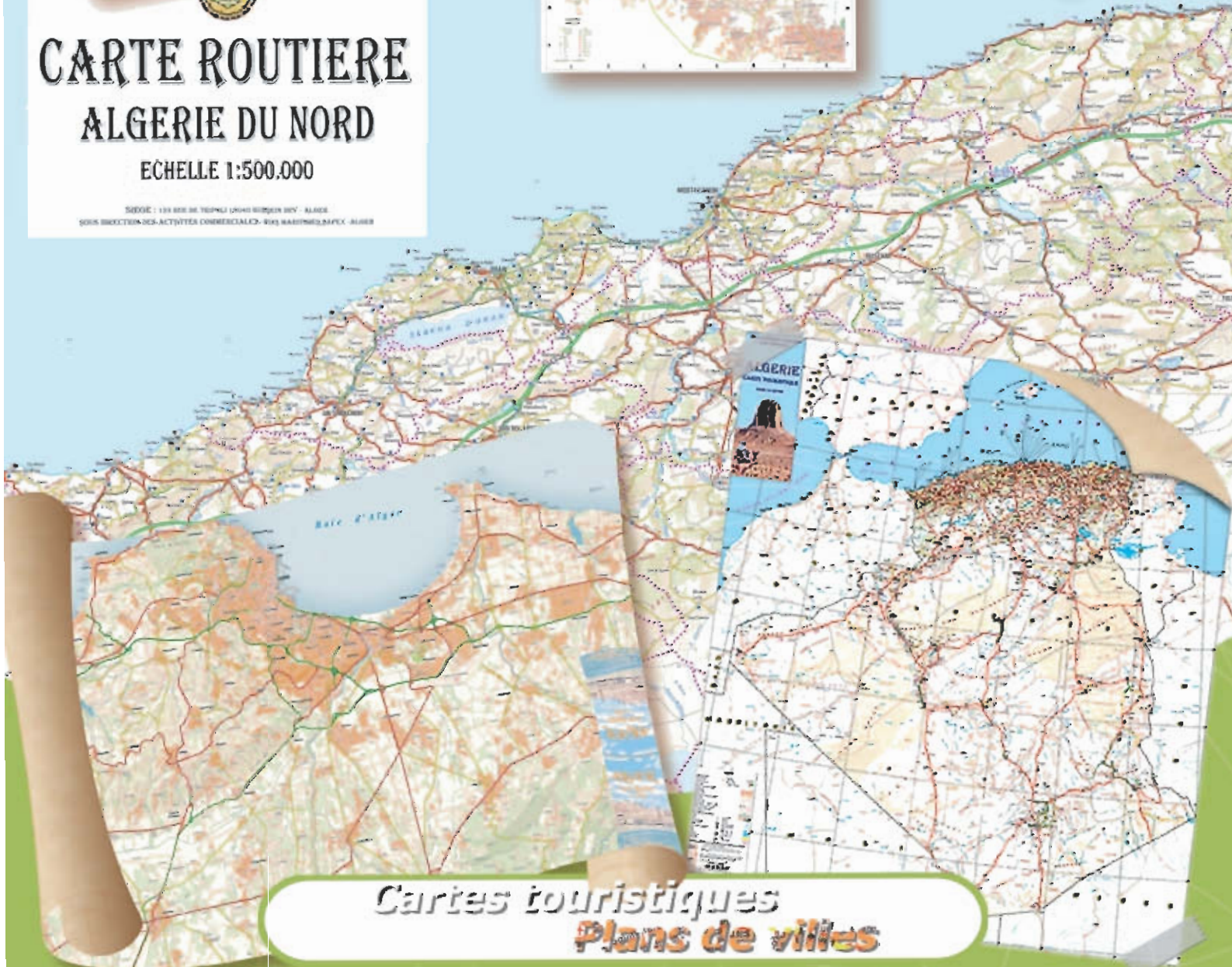
CARTE EN RELIEF DES DIFFÉRENTES VILLES : 1400^{DA} TTC



CARTE ROUTIERE ALGERIE DU NORD

ÉCHELLE 1:500.000

SIÈGE : 113 BOULEVARD TRAPANI 15000 BORDJ ALGERIE
SOUS DIRECTION DES ACTIVITÉS COMMERCIALES - 9103 MARIGNAN, BAFEC - ALGERIE



Cartes touristiques
Plans de villes

Avis aux Auteurs

Le **Bulletin des Sciences Géographiques** est indexé dans la **Bibliographie Géographique Internationale** à l'adresse suivante : http://prodig.univ-paris1.fr/umr/Poles_comptence/Pole_Documentation%20et%20valorisation.htm

La notice bibliographique de la publication figure dans le volume annuel **n° 112, 2007**, ainsi que dans la **base de données FRANCIS-Géographie du CNRS** interrogeable sur les serveurs internationaux Questel.Orbit, OCLC/PICA, RLG et sur CD-ROM (Service payants), et dans la **BGI** publié par l'UMR PRODIG qui paraît tout les ans :

http://prodig.univ-paris1.fr/umr/publications_documentaires/bgi_papier.htm

Elle a aussi été mentionnée dans la rubrique Publications du site **Infogéo** consultable sur Internet à l'adresse suivante : <http://prodig.univ-paris1.fr/infogéo/Fichiers/Ouvrages.htm>. La rubrique est actualisée régulièrement.

Le **Bulletin des Sciences Géographiques** est diffusé sur Internet, sur le site portail des revues scientifiques dénommé <http://www.webreview.dz> conçu et administré par le Centre de Recherche sur l'Information Scientifique et Technique (CERIST).

Pour soumettre un article...

Vous souhaitez proposer un article pour le Bulletin des Sciences Géographiques.

Pour faciliter votre démarche, nous vous adressons quelques recommandations :

- Ce Bulletin est un espace scientifique, consacré aux sciences géographiques.
- **NATURE DES ARTICLES** : Les articles adressés pour publication doivent traiter des sujets se rapportant aux Sciences Géographiques.
Les articles se répartissent en deux rubriques:
 - Recherche - développement
 - Synthèse.

LES ARTICLES DE RECHERCHE - DÉVELOPPEMENT : portent soit sur des travaux ayant une originalité et une contribution novatrice aidant au développement des sciences géographiques, soit sur des réalisations et études concrètes qui pressentent un intérêt dans la maîtrise des concepts des sciences géographiques.

LES ARTICLES DE SYNTHÈSES : ont pour but de faire ressortir, les théories, les méthodes, les techniques ou les procédés liés aux sciences géographiques, avec notamment des cas précis d'application.
- **LANGUES** : Les articles paraissent principalement, en Arabe, Français et Anglais.
- **CRITÈRES DE PUBLICATION** : Toute communication présentant de l'intérêt sera diffusée, quelle que soit son origine; l'appartenance de son auteur à l'INCT n'est pas exigée.
Les articles doivent être fournis au format WORD ou équivalent, en colonnes et dans un format A4 en double interlignes, avec une marge de 2,5 cm au maximum sur chacun des quatre côtés.
Chaque communication doit comporter un titre, qui doit être bref et informatif.
- **LE RESUMÉ** : Chaque article doit comporter un résumé en arabe accompagné d'un autre résumé en français et un autre en anglais de 100 à 200 mots.
- **MOTS CLÉS** : Citer 5 à 6 mots clés.
- **BIBLIOGRAPHIE** : Les références doivent être complètes et présentées dans l'ordre alphabétique des noms d'auteurs. La référence doit mentionner le nom et le prénom de l'auteur suivis de l'année d'édition, du titre de l'ouvrage, de l'éditeur et du lieu d'édition. Toute référence doit être clairement mentionnée dans le texte par le nom et prénom de l'auteur suivie des deux derniers chiffres de l'année de publication.
- **MODALITÉ DE PUBLICATION** : Tout article présenté pour publication est soumis à l'évaluation de deux membres du comité de lecture, en cas d'avis contraire, il est soumis à un troisième membre. Les articles non retenus ne sont pas retournés, à moins d'une demande de la part de l'auteur.
Deux exemplaires seront fournis gratuitement à chaque auteur ; d'autres seront fournis à la demande, dans la limite du stock.
- **DATES DE PARUTION** : Le Bulletin paraît deux fois par an, à la fin du mois d'octobre et du mois d'avril.
- **ENVOI DES MANUSCRITS** : les manuscrits sont envoyés par email à l'adresse suivante: inct99@wissal.dz



INSTITUT NATIONAL DE CARTOGRAPHIE ET DE TELEDETECTION

Crée par ordonnance 211 67 du 17/10/1967 modifiée par les ordonnances 84.68 du 23/04/1968 et 73.23 du 05/06/1973 et le décret présidentiel n°98.337 du 29/10/1998.

Siège: 123, rue de Tripoli - BP430 - Hussein Dey - 16040 - Alger

Tél: 213 021 47 09 20 & 021 47 00 30 **Fax:** 213 021 47 00 29 & 021 23 43 81

e-mail: inct99@wissal.dz

Bulletin d'abonnement

Tarif d'abonnement pour une année (comprenant deux numéros):

- Etudiant: 70 DA
- Particulier: 80 DA
- Etranger: 15 Euro

Prévoir en sus pour les frais d'expédition:

- Envoi Recommandé en Algérie : 400 DA
- Pour l'étranger: 10 Euro

Mode de règlement :

Pour l'Algérie :

- Par virement CCP N° 1552.04
- Par virement bancaire : CPA N° 101 401 78505 1
BEA N° Q 22 61 570

Pour l'étranger :

- Par virement bancaire: Banque Deutsche Bank AG Munich
Compte Nr, 85 960 BLZ: 700 700 10

Nom et prénom / raison sociale :

Fonction :

Adresse complète :

N°Tél : N°Fax : Email :

Date

Signature

**Retourner ce bulletin d'abonnement accompagné du règlement à
Monsieur le Directeur Général de l'Institut National de Cartographie
et de Télédétection**

123, rue de Tripoli- BP 430, Hussein Dey- 16040 Alger.
Tél: 213 021 47 09 20 & 021 47 00 30 Fax: 213 021 47 00 29 & 021 23 43 81
E-mail: inct99@wissal.dz,

ou ANT Vertriebs GmbH Fuerstenrieder Str. 166-81377 Munich R.F.A
Fax: 0049 89 71039 449

Ministère de la Défense Nationale

2^{ème} Région Militaire

Etablissement Régional de Cartographie et de Télédétection



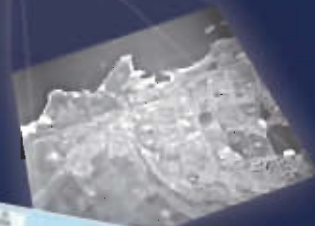
Portes ouvertes sur:

1^{er} Etablissement Régional de Cartographie et de Télédétection

Institut National de Cartographie et de Télédétection

Institut National de Cartographie et de Télédétection

Institut National de Cartographie et de Télédétection



du 22 au 26 Mars 2009
au Centre Territorial d'Information
2^{ème} Région Militaire
place 01 Novembre 1954 (ex: place d'Armes)
Oran