

# Bulletin des Sciences Géographiques

Édité et publié par l'Institut  
National de Cartographie  
et de Télédétection

n° 20



Octobre 2007 - 2<sup>ème</sup> Semestre • 10<sup>ème</sup> année • Prix 40 DA • Etranger 15 € • ISSN 1112-3745

*Sidi Fredj (Sidi Ferruch), vue du ciel, Par Yann Arthus-Bertrand*



# INCT BULLETIN DES SCIENCES GÉOGRAPHIQUES

N° 20  
Octobre 2007

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

Fondée en Octobre 1997  
N°20 - Octobre 2007  
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](mailto:inct99@wissal.dz)

**Publicité :**

ANT Vertriebs GmbH  
Postfach 210403 80764  
Munich Allemagne.

**Tirage :**

400 Exemplaires

**Comité de Rédaction :**

- Mr. ABDEDOU Mohamed  
Sous Directeur des Travaux Spécifiques  
et Arts Graphiques, INCT (Président).

- Mr. DROUAI Fethallah  
Chef du CDCIG, INCT.

- Mr. DEGAICHIA Fethi  
Master, CT, INCT.

- Mr. CHOUDER Med Tahar  
Ingénieur, 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, CNTS.

- Mr. OUGUINI Rachid  
Maître de recherche, ASAL.

- Mr. GHEZALI Boualem  
Chargé de recherche, CNTS.

- Mr. SI MOHAMED Mohamed Arezki  
Chargé de recherche, CNTS.

- Mr. HADDAD Mahdi  
Magister, INCT.

- Mr. BOURIAHI Djelloul  
Ingénieur, INCT.

## Sommaire / Contents

## Pages

<b>ANALYSE DES DONNEES ISSUES DE TROIS STATIONS DU RESEAU GPS PERMANENT ALGERIEN.....</b>	<b>03</b>
<i>Par M. HADDAD</i>	
<b>DEBRUITAGE DES SERIES TEMPORELLES DE COORDONNEES DE STATIONS DE GEODESIE SPATIALE : APPLICATION AUX STATIONS DORIS.....</b>	<b>08</b>
<i>Par S. KHELIFA , B. GHEZALI</i>	
<b>METHODE D'AJUSTEMENT ROBUSTE " M-ESTIMATEURS " : APPLICATION AU RESEAU CADASTRAL DE LA VILLE D'ORAN.....</b>	<b>16</b>
<i>Par B. GOURINE , B. GHEZALI, R. NAFTI, H. TAIBI</i>	
<b>METHODE D'AJUSTEMENT ROBUSTE "REWLSE" DES DONNEES GRAVIMETRIQUES.....</b>	<b>23</b>
<i>Par F. TOUATI</i>	
<b>APPROCHE CARTOGRAPHIQUE DE LA SITUATION SOCIO-ECONOMIQUE DE L'ESPACE DES HAUTES PLAINES SUD-ORANAISES.....</b>	<b>28</b>
<i>Par M. HADEID</i>	
<b>UNE NOUVELLE CARTOGRAPHIE DU DEFICIT HYDRIQUE : APPLICATION A L'EST ALGERIEN (ET L'ALGERIE DU NORD).....</b>	<b>39</b>
<i>Par A. MEBARKI</i>	
<b>UTILISATION DES SYSTEMES D'INFORMATIONS GEOGRAPHIQUES DANS LES EVALUATIONS FONCIERES. APPLICATION A LA VILLE DE DJELFA.....</b>	<b>46</b>
<i>Par H. BENYELLES, N. MEGA, F. BOUCHENAK KHELADI, A. GHARBI, A. ARIBI</i>	
<b>LE MITAGE DES TERRAINS AGRICOLES PAR L'URBANISATION. APPLICATION A LA VILLE DE SIDI BEL ABBES.....</b>	<b>53</b>
<i>Par A. DIAF, H. BENYELLES, K. BENHANIFIA, D. YOUSFI</i>	
<b>IDENTIFICATION DES FORMES DUNAIRES A PARTIR DE LA FUSION DES DONNEES OPTIQUE ET RADAR : APPLICATION SUR LE CORDON DUNAIRE DE ZAAFRA NE ET EL MESRANE (DJELFA).....</b>	<b>61</b>
<i>Par F. BACHIR BELMEHDI</i>	

Le Bulletin des Sciences Géographiques est indexé dans la  
*Bibliographie Internationale Geoabstracts et International  
Bibliography of the Social Sciences*

© 2007

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



# Analyse des Données issues de trois Stations du Réseau GPS Permanent Algérien

Mahdi HADDAD

Institut National de Cartographie et de Télédétection.

123, rue de Tripoli - BP 430. Hussein-Dey - Alger. Algérie.

Email : inct99@wissa.dz / haddad\_mahdi@yahoo.fr Fax : +213 (0) 21 23 43 81

**Résumé :** Dans le cadre de ses activités, l'Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT) a lancé un projet visant la définition d'un nouveau système géodésique tridimensionnel basé sur la technique du GPS permanent. Sur l'ensemble de neuf stations GPS permanent algériennes prévues dans ce projet, trois stations sont déjà opérationnelles, à savoir celles d'Alger, d'Oran et de Constantine. Le traitement des données issues de ces trois stations s'effectue avec le logiciel scientifique de l'université de Berne "Bernese GPS Software Version 5.0". La difficulté de l'emploi de ce logiciel et le caractère fastidieux de la préparation des traitements ainsi que les critères de choix des paramètres de calcul ont contraint l'INCT à automatiser au maximum son emploi.

L'objectif de cet article consiste d'une part, à définir une méthodologie de contrôle de la qualité des données de trois stations GPS permanent algériennes (Alger, Oran et Constantine) afin de s'assurer des performances et du choix des sites des récepteurs GPS (satellites visibles, effet multi-trajet, saut de cycles,...); et d'autre part, à effectuer une étude comparative des résultats fournis par le logiciel Bernese 5.0 en modes interactif et automatique (BPE) en utilisant les deux scripts PCF PPP et PCF RNX2SNX.

Les résultats obtenus ont montré que le module d'automatisation BPE fournit une solution proche de celle obtenue par le mode interactif.

**Mots Clés :** Bernese, mode automatique, mode interactif, contrôle qualité, GPS Permanent.

## 1. Introduction

Le développement des techniques et méthodes de traitement de données de positionnement à partir d'observations GPS vise des applications à caractère scientifique et utilitaire (cartographie, topographie, géodynamique, surveillance sismique, auscultation d'ouvrages, trajectographie, etc.).

Actuellement, il existe trois outils scientifiques principaux permettant le traitement précis des données GPS : BERNESE (Université de Berne), GAMIT/GLOBK (MIT) et GIPSY/OASIS (JPL).

Dans le cadre de la mise en place du réseau GPS fondamental (Ordre Zéro), l'INCT utilise le logiciel Bernese version 5.0. Si l'utilisation en mode interactif du logiciel de Berne sous Windows est déjà répandue au sein de l'INCT, l'utilisation du module d'automatisation Bernese Processing Engine (BPE) est pratiquement inexploitée.

Cette étude portera essentiellement sur les deux aspects suivants :

- contrôle de qualité des données issues des trois stations GPS permanent d'Alger, d'Oran et de Constantine.

- traitement des données GPS permanent d'Alger, d'Oran et de Constantine par le logiciel Bernese en modes interactif et automatique.

## 2. Réseau GPS Permanent Algérien (RGPA)

Le Réseau GPS Permanent Algérien (RGPA) a été initié en 2006 dans le cadre du projet AFREF (AFrican REFerence) au sein de l'Institut national de cartographie et de télédétection. Sur l'ensemble de neuf stations GPS permanent algériennes prévues dans ce projet, trois stations sont déjà opérationnelles, à savoir celles d'Alger (5 octobre 2006), d'Oran (28 novembre 2006) et de Constantine (14 janvier 2007). La configuration du RGPA, définie dans le cadre de ce projet, est illustrée dans la figure (1) :

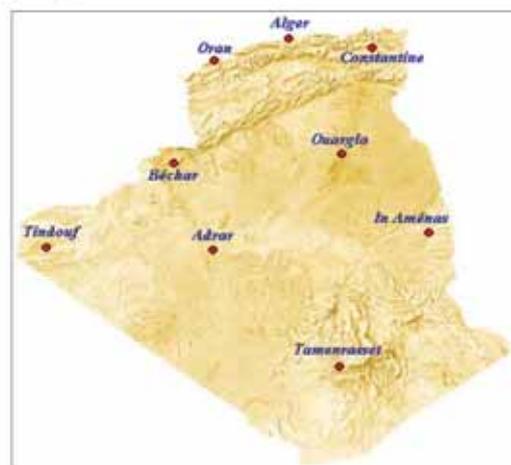


Fig. 1 Configuration du Réseau GPS Permanent Algérien (RGPA).

L'équipement GPS utilisé pour les trois stations opérationnelles est constitué de :

- Récepteur GPS : ASHTECH UZ-12
- Antenne GPS: ASH701945E\_M SNOW D/M element, REV.E, chokering with radome NGS
- Logiciel de gestion : ASHTECH Micro Manager.

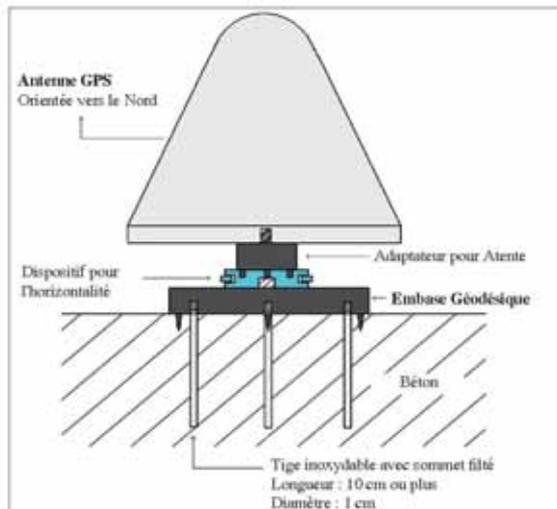


Fig. 2 Schéma de fixation de l'antenne (stations : Alger, Oran et Constantine).

Ces stations produisent des sessions d'observations journalières de 24 heures avec une cadence de 30 secondes. Les fichiers d'observations sont régulièrement téléchargés en format RINEX (Receiver INdependent EXchange) et transmis à l'INCT à travers un réseau d'interconnexion.

### 3. Contrôle de qualité des données issues de trois stations du RGPA

Le but du contrôle de qualité des données collectées par les trois stations opérationnelles du RGPA (Alger, Oran et Constantine) est de s'assurer des performances des récepteurs GPS utilisés et du choix des emplacements des stations GPS (multi-trajet, saut de cycles,...). A cet effet, deux logiciels dédiés au contrôle de qualité sont utilisés à savoir TEQC de l'UNAVCO (sous environnement DOS) et QC Leica GNSS V1.2 en version libre (sous environnement Windows).

Le tableau (1) fournit les résultats obtenus par les deux logiciels cités ci-dessus de la station d'Alger (session 15 janvier 2007) :

Tableau 1. Résultats de contrôle de qualité obtenus par TEQC et GNSS QC (Station d'Alger, session du 15/01/07).

Paramètre	TEQC	Leica GNSS QC
Satellites visibles	31	31
Observations possibles > 0°	31732	31738
Observations > 0°	-	26331
Observations possibles >10°	25165	25173
Observations > 10°	-	24458
Observations complètes >10°	24444 (97.0%)	24453 (97.1%)
Observations supprimées >10°	5	-
MP1	0,038 m	0,060 m
MP2	0,044 m	0,018 m
PDOP min., max., moy.	-	2.5 5.2 3.3
GDOP min, max, moy	-	2.9 6.4 4.0
Moyenne nbr. SV	-	8.5
Sauts de cycle >10°	-	18

Les figures 3 et 4 représentent respectivement l'effet multi-trajet et le bruit sur L2 obtenus avec le logiciel TEQC (station d'Alger, session du 15 janvier 2007):

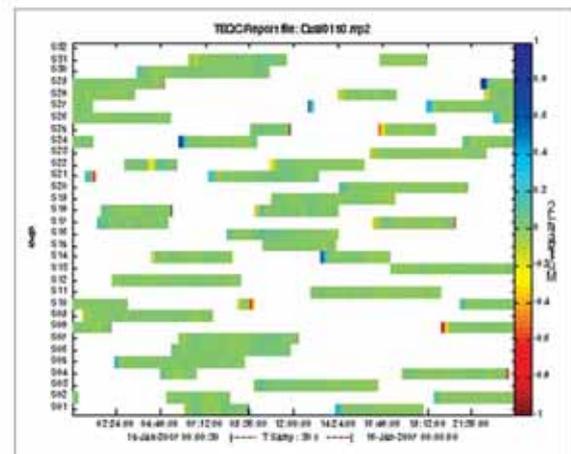


Fig. 3 Effet multi-trajets L2 en fonction du temps (Station d'Alger, session du 15/01/07).

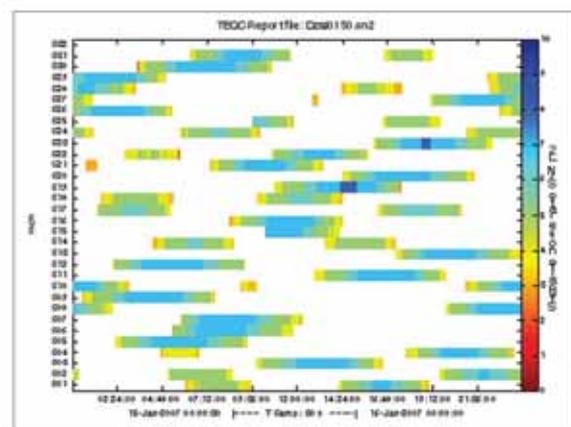


Fig. 4 Bruit sur L2 en fonction du temps (Station d'Alger, session du 15/01/07).

Les différents résultats fournis par les deux logiciels TEQC et QC Leica GNSS pour les trois stations opérationnelles du RGPA et obtenus lors des traitements de différentes sessions d'observations sont pratiquement identiques et acceptables. Ce qui justifie le bon choix des sites des trois stations et de l'équipement GPS utilisé.

#### 4. Traitement des données issues de trois stations du RGPA

A titre expérimental, les données GPS utilisées dans le traitement sont constituées de deux sessions de 24 heures datées du 15 janvier 2007 et du 1<sup>er</sup> février 2007 et elles sont obtenues à partir des trois stations du RGPA (Alger, Oran et Constantine). La détermination des coordonnées de ces trois stations a été effectuée avec le logiciel scientifique Bernese version 5.0 en mode interactif et automatique. La figure (5) représente la configuration des stations de référence de l'IGS (International GNSS Service) utilisées comme points d'appui :

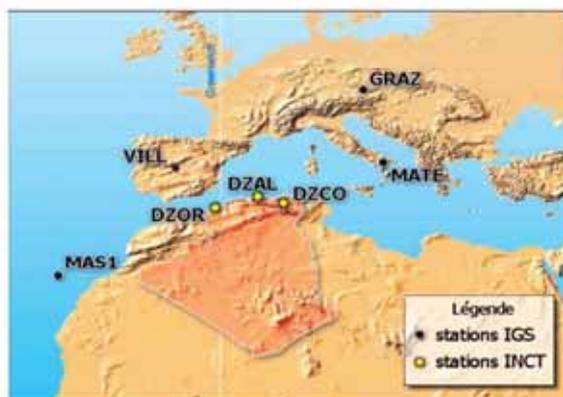


Fig. 5 Stations RGPA et IGS utilisées.

Le programme dénommé «NetDownload», développé par Marco Roggero de l'école polytechnique d'Italie, a été utilisé pour télécharger automatiquement les fichiers des éphémérides précises (sp3) et d'horloge (clk) à partir des sites Internet : ftp.unibe.ch et igscb.jpl.nasa.gov. NetDownload est un programme libre et accessible à partir du site Internet: <http://antartica60.spaces.live.com/blog/cns!340535DA8086D35A!766.entry>.

Les fichiers de mesures sont téléchargés à partir d'autres sites Internet : igs.ifag.de, gpsw.polito.it, igs.eng.ign.fr, geodaf.mt.asi.it et cdis.gsfc.nasa.gov. Par contre, les fichiers code p1p2 et p1c1 et les fichiers dits généraux ont été préparés par téléchargement manuel à partir du site : ftp.unibe.ch/aiub/CODE/yyyy.

Le traitement des deux sessions a été effectué en mode automatique (BPE) en utilisant les deux scripts PCF (Process Control File) PPP et RNX2SNX ainsi qu'en mode interactif.

Notons que le mode automatique PCF PPP permet uniquement le calcul des coordonnées à priori des stations qui serviront comme solution approchée pour le mode automatique PCF RNX2SNX et le mode interactif. Le PCF RNX2SNX offre le calcul des coordonnées des stations et des paramètres troposphériques à partir des fichiers RINEX d'un réseau régional de GNSS sur la base de la stratégie de résolution de l'ambiguïté dite QIF (Quasi Ionosphere Free) dédiée au traitement de longues lignes de bases.

Les tableaux 4 à 7 (présentés en annexe) illustrent les résultats relatifs à la résolution des ambiguïtés par la méthode QIF en modes interactif et automatique (RNX2SNX) pour les deux sessions (15 janvier 2007 et 1<sup>er</sup> février 2007).

#### 5. Comparaison des résultats obtenus

La solution obtenue en mode automatique PCF PPP a servi de solution à priori dans l'estimation des coordonnées finales des stations en adoptant le mode automatique PCF RNX2SNX et le mode interactif.

Les tableaux 2 et 3 fournissent les différences de coordonnées des stations des deux sessions d'observations obtenues par les deux modes PCF RNX2SNX et interactif.

Tableau 2. Différences de coordonnées déterminées en modes PCF RNX2SNX et interactif (15/01/07)

Station	DX (m)	DY (m)	DZ (m)
DZAL (Alger)	-0.0042	0.0030	-0.0033
DZCO (Constantine)	-0.0041	0.0029	-0.0033
DZOR (Oran)	-0.0033	0.0027	-0.0030
GRAZ 11001M002	-0.0039	0.0031	-0.0028
MAS1 31303M002	-0.0065	0.0033	-0.0047
MATE 12734M008	-0.0032	0.0034	-0.0024
VILL 13406M001	-0.0040	0.0027	-0.0030

Tableau 3. Différences de coordonnées déterminées en modes PCF RNX2SNX et interactif (01/02/07)

Station	DX (m)	DY (m)	DZ (m)
DZAL (Alger)	-0.0028	0.0016	-0.0045
DZCO (Constantine)	-0.0027	0.0015	-0.0045
DZOR (Oran)	-0.0051	0.0013	-0.0061
GRAZ 11001M002	-0.0004	0.0018	-0.0029
VILL 13406M001	-0.0033	0.0016	-0.0050

Les différences de coordonnées obtenues par les deux modes PCF RNX2SNX et interactif diffèrent de quelques millimètres. Finalement, les deux modes fournissent pratiquement des résultats identiques.

Néanmoins, le traitement en mode automatique PCF RNX2SNX permet d'une part, de réduire considérablement le temps d'exécution du traitement, et d'autre part, d'éviter les erreurs de transcription et de manipulation des données lors de l'introduction manuelle des paramètres du traitement (cas du mode interactif).

## 6. Conclusion

Une série de contrôle de qualité des données des trois stations GPS permanent (Alger, Oran et Constantine) a été effectuée.

Au terme des résultats obtenus, il en ressort que la qualité des données issues des trois stations GPS permanent (Alger, Oran et Constantine) est acceptable au vu des critères internationaux en matière de GPS permanent, notamment en ce qui concerne le nombre de satellites visibles, le nombre de mesures, l'effet multi trajet et le nombre de sauts de cycle.

Au vu de la précision obtenue pour les lignes de base par Bernese 5.0 en mode automatique PCF RNX2SNX et en mode interactif, il est évident que les résultats fournis par ces deux modes sont assez proches et ne diffèrent que de quelques millimètres. Néanmoins, le traitement en mode automatique PCF RNX2SNX permet à l'utilisateur de bénéficier de la simplicité de manipulation du logiciel Bernese 5.0.

En conclusion, on retiendra l'importance de la réalisation du réseau GPS permanent algérien et de sa densification qui représente un enjeu capital pour la définition d'un nouveau système géodésique national.

## 7. Recommandations

Au terme de cette étude, on retiendra les recommandations suivantes :

- Calcul hebdomadaire de l'ensemble du réseau GPS permanent algérien et des stations voisines des réseaux EPN et IGS. Les traitements doivent être effectués avec le logiciel de l'université de Berne version 5.0 en mode automatique (PCF SNX2RNX) par semaine GPS du jour 0 au jour 6 de la même semaine en utilisant des fichiers d'orbites précises de IGS au format SP3.
- Comparaison des 7 solutions transformées de la semaine, combinaison des équations normales sans contrainte.
- Densification du réseau GPS permanent algérien.
- Diffusion sur Internet des données des stations GPS permanent algériennes.
- Intégration d'au moins une station du réseau GPS permanent algérien dans le réseau IGS.
- Rattachement des stations GPS permanent au système géodésique en vigueur (Nord Sahara 1959), en vue d'une meilleure définition des paramètres de transformation entre les deux systèmes.

## Remerciements

L'auteur tient à remercier Monsieur Oukaci Hamid, Directeur Général de l'Institut National de Cartographie et de Télédétection, pour toute l'aide qu'il lui a apportée pour la mise en place des trois stations GPS permanent et pour l'accomplissement de ce travail.

## Références bibliographiques

- Altamimi Z., 2003: *Systèmes de référence terrestre : Définition et réalisation*. Institut Géographique National.
- Asgari J., 2005 : *Etude de modèles prédictifs dans un réseau de stations GPS permanentes*. Thèse de doctorat de l'observatoire de Paris en dynamique des systèmes gravitationnels. Ecole Doctorale Astronomie & Astrophysique d'Ile de France
- Dach R., Fridez P., Hugentobler U., 2004: *Tutorial Bernese GPS Software 5.0*
- Dupraz H., 1994 : *La méthode GPS*. École Polytechnique Fédérale de Lausanne – Cours de topométrie I.
- Haddad M., 2006: *Procédure de traitement des données GPS Permanent par l'utilisation du logiciel Bernese 5.0 en mode automatique*. Rapport technique INCT.
- Haddad M., 1999 : *Traitement des données GPS pour l'étude Géodynamique de l'Algérie du Nord : réseau ALGEONET*. Mémoire de fin d'études d'ingénieur. CNTS.
- Hofmann-Wellenhof B., et al., 1993: *GPS, Theory and Practice*. Edition Springer-Verlag.
- IGS Central Bureau, Jet Propulsion Lab/Caltech. *IGS Site Guidelines*.
- Légrand 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.
- Leica Geosystems. *Leica GNSS QC V1.2 - User Manual*.
- Louis L., 1989: *Ephémérides GPS*. GPS report N°2-1989. Observatoire Royal de Belgique.

**Tableau 4.** Résolution des ambiguïtés en mode automatique, PCF RNX2SNX (Session du 15/01/07).

File Res	Length (km)	#Amb	RMS0 (mm)	Max/RMS (L5 Cycles)	L5 Amb	Max/RMS (L3 Cycles)	L3 Amb	#Amb	RMS0 (mm)	#Amb (%)	
ALCO0150	315.0	98	0.9	0.106	0.037	0.095	0.024	8	0.9	91.8	
COGR0150	1399.1	92	1.1	0.459	0.142	0.089	0.026	4	1.2	95.7	
COOR0150	654.2	96	1.1	0.206	0.078	0.082	0.023	8	1.1	91.7	
GRMT0150	719.4	102	0.9	0.437	0.125	0.076	0.017	10	1.0	90.2	
ORMS0150	1664.4	82	2.1	0.497	0.165	0.098	0.026	8	2.2	90.2	
ORVI0150	601.8	90	1.1	0.289	0.074	0.086	0.020	2	1.1	97.8	
Tot:	6	892.3	560	1.3	0.497	0.111	0.098	0.023	40	1.3	92.9

**Tableau 5.** Résolution des ambiguïtés en mode interactif (Session du 15/01/07).

File Res	Length (km)	#Amb	RMS0 (mm)	Max/RMS (L5 Cycles)	L5 Amb	Max/RMS (L3 Cycles)	L3 Amb	#Amb	RMS0 (mm)	#Amb (%)	
ALCO0150	315.0	100	0.9	0.106	0.037	0.091	0.026	10	1.0	90.0	
COGR0150	399.1	96	1.1	0.471	0.141	0.098	0.026	4	1.2	95.8	
COOR0150	654.2	102	1.1	0.217	0.081	0.078	0.026	16	1.2	84.3	
GRMT0150	719.4	108	1.0	0.497	0.146	0.094	0.020	16	1.0	85.2	
ORMS0150	664.4	86	2.1	0.476	0.156	0.098	0.034	10	2.2	88.4	
ORVI0150	601.8	102	1.1	0.291	0.075	0.093	0.019	14	1.2	86.3	
Tot:	6	892.3	594	1.3	0.497	0.114	0.098	0.025	70	1.4	88.2

**Tableau 6.** Résolution des ambiguïtés en mode automatique, PCF RNX2SNX (Session du 01/02/07).

File Res	Length (km)	#Amb	RMS0 (mm)	Max/RMS (L5 Cycles)	L5 Amb	Max/RMS (L3 Cycles)	L3 Amb	#Amb	RMS0 (mm)	#Amb (%)	
ALCO0320	315.0	96	1.2	0.081	0.029	0.069	0.019	10	1.2	89.6	
ALVI0320	739.4	90	1.1	0.320	0.082	0.075	0.022	6	1.1	93.3	
COGR0320	1399.1	88	1.4	0.474	0.123	0.097	0.032	4	1.5	95.5	
COOR0320	654.2	96	1.2	0.177	0.056	0.097	0.026	10	1.3	89.6	
Tot:	4	776.9	370	1.2	0.474	0.080	0.097	0.025	30	1.3	91.9

**Tableau 7.** Résolution des ambiguïtés en mode interactif (Session du 01/02/07).

File Res	Length (km)	#Amb	RMS0 (mm)	Max/RMS (L5 Cycles)	L5 Amb	Max/RMS (L3 Cycles)	L3 Amb	#Amb	RMS0 (mm)	#Amb (%)	
ALCO0320	315.0	102	1.2	0.089	0.030	0.062	0.017	16	1.2	84.3	
ALVI0320	739.4	96	1.1	0.340	0.080	0.093	0.022	12	1.1	87.5	
COGR0320	1399.1	94	1.5	0.421	0.120	0.098	0.035	10	1.6	89.4	
COOR0320	654.2	112	1.3	0.424	0.074	0.097	0.025	24	1.4	78.6	
GRMT0320	719.4	20	1.3	0.229	0.088	0.096	0.040	8	1.3	60.0	
ORMS0320	1664.4	40	1.3	0.470	0.136	0.099	0.031	8	1.4	80.0	
Tot:	6	915.2	464	1.3	0.470	0.088	0.099	0.027	78	1.3	83.2

ALCO: DZAL - DZCO  
 COGR: DZCO - GRAZ  
 COOR: DZCO - DZOR  
 GRMT: GRAZ - MATE  
 ORMS: DZOR - MAS1  
 ORVI: DZOR - VILL  
 ALVI: DZAL - VILL

# Débruitage des Séries Temporelles de Coordonnées de Stations de Géodésie Spatiale : Application aux Stations DORIS

S. KHELIFA , B. GHEZALI

Centre National des Techniques Spatiales (CNTS), Division de Géodésie  
PB 13, Arzew -31200- Algérie, Email : khelifa\_sofiane@yahoo.fr

**Résumé :** Le présent article a pour objectif de présenter une méthodologie de débruitage des séries temporelles de coordonnées de stations de géodésie spatiale. La technique de débruitage adoptée est basée sur le seuillage des coefficients d'ondelettes obtenus à partir d'une décomposition discrète décimée du signal en utilisant deux méthodes : la méthode du seuil universel (cas d'un bruit blanc) et la méthode de seuillage dépendant du niveau (cas d'un bruit coloré). La méthodologie développée repose sur l'étude de la stationnarité des séries en traçant leur fonction d'autocorrélation, la détermination du type de bruit des séries par la variance d'Allan et le débruitage des séries par la transformée en ondelettes.

Les tests effectués ont porté sur l'analyse de séries hebdomadaires de jeux de coordonnées résiduelles de deux stations DORIS issues du centre d'analyse IGN/JPL et exprimées dans le repère géodésique local après enlèvement du modèle ITRF2000 de positions et vitesses.

Les résultats obtenus ont montré que la plupart des séries sont affectées par un bruit blanc et que la méthode optimale de débruitage basée sur le critère de minimisation de l'écart type est celle du seuillage doux.

**Mots clés :** Série temporelle, Débruitage, Ondelettes, Variance d'Allan, Fonction d'autocorrélation, DORIS.

**Abstract :** The objective of this paper consists in proposing a methodology of denoising of space geodesy stations coordinates time series. The denoising technique is based on the shrinkage wavelet transform coefficients obtained by a decimated discrete decomposition of the signal. We use VisuShrink method when the series is affected by a white noise and level-dependent thresholding method in the case of coloured noise.

The tests effectuated concern the analysis of weekly series of residual co-ordinates sets of two DORIS stations provided by IGN/JPL analysis centre and expressed in the local geodetic reference frame after removal of ITRF2000 model of positions and velocities.

The results obtained show that majority of the studied series are affected by a white noise and the optimal denoising method is the soft thresholding one.

**Key words :** Time series, Denoising, Wavelet, Allan variance, Autocorrelation function, DORIS.

## 1. Introduction

La richesse des mesures collectées par les systèmes spatiaux de géodésie spatiale permet aujourd'hui de représenter le déplacement des stations au sol sous forme de séries temporelles de coordonnées. Au-delà de la modélisation déterministe habituelle des phénomènes géophysiques, un nouveau domaine de recherche en géodésie s'est ouvert il y a quelques années, visant à la validation et à l'interprétation de ces séries temporelles.

L'objectif principal de cet article consiste à évaluer la qualité de ces séries temporelles de coordonnées de stations en faisant arbitrairement la distinction entre le "signal bruit" et le "signal utile", sans se préoccuper de la valorisation des résultats par leur interprétation.

La méthodologie d'analyse adoptée comporte trois (03) étapes :

1. Étude de la stationnarité ou de la non stationnarité des séries en traçant leur fonction d'autocorrélation.
2. Détermination du type de bruit des séries par la variance d'Allan.
3. Débruitage des séries par la transformée en ondelettes.

Les données utilisées lors du traitement sont constituées de séries hebdomadaires de jeux de coordonnées résiduelles de deux stations DORIS issues du centre d'analyse IGN/JPL conduites entre 1993 et 2003. Ces séries de jeux de coordonnées résiduelles sont exprimées dans le repère géodésique local après enlèvement du modèle ITRF2000 de positions et vitesses (mouvement tectonique des plaques).

## 2. Débruitage des séries : transformée en ondelettes

Depuis quelques années, les ondelettes sont apparues comme un nouvel outil de débruitage notamment grâce aux travaux de Donoho et Johnstone [Donoho & Johnstone, 94 et 95].

La majorité de ces algorithmes utilisent une décomposition discrète décimée du signal (décomposition par bancs de filtres) [Mallat, 89]. Cette décomposition a la particularité d'être orthogonale et de concentrer l'information en quelques grands coefficients d'ondelettes. L'idée de débruitage est de conserver que les plus grands coefficients (signal utile) et de mettre les autres (bruit) à zéro avant de reconstruire le signal.

### 2.1 Étapes de débruitage

Supposons que l'on ait des observations bruitées  $X_t$  d'un signal original informatif  $s_t$  :

$$X_t = s_t + r_t \quad \text{avec : } t = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

Où  $r_t$  est un bruit blanc gaussien centré indépendant et identiquement distribué de variance  $\sigma^2$ .

Soient  $W(\cdot)$  et  $W^{-1}(\cdot)$  respectivement les opérateurs direct et inverse de la transformée en ondelettes discrète et  $D(\cdot, \lambda)$  l'opérateur de débruitage associé au seuil  $\lambda$ .

La procédure de débruitage pour estimer le signal informatif  $s$  se traduit en trois étapes :

- La décomposition : le signal est décomposé dans une base d'ondelettes ;  $W = W(X)$
- Le seuillage des coefficients d'ondelettes (coefficients de détails) ;  $Z = D(W, \lambda)$
- La reconstruction : à partir des coefficients seuillés, on reconstruit le signal ;  $\hat{s} = W^{-1}(Z)$

### 2.2 Stratégies de seuillage

Nous proposons dans cet article, deux types de fonctions de seuillage (notée  $T_\lambda$  avec  $\lambda$  un seuil) [Donoho, 95] :

- *Seuillage dur* : soit  $W$  les coefficients d'ondelettes, et  $\lambda$  la valeur du seuil ( $\lambda > 0$ ). Si la valeur absolue de  $W$  est supérieure à  $\lambda$ , on garde ce coefficient tel quel, sinon on le met à zéro.

$$T_\lambda^{Dur}(W) = \begin{cases} W & \text{si } |W| > \lambda \\ 0 & \text{si } |W| \leq \lambda \end{cases}$$

- *Seuillage doux* : opère, en plus de l'annulation, une soustraction du seuil  $\lambda$  aux valeurs restantes, supérieures au seuil afin de s'assurer d'avoir enlevé l'effet du bruit même pour les forts coefficients.

$$T_\lambda^{Doux}(W) = \begin{cases} W - \lambda & \text{si } W \geq \lambda \\ W + \lambda & \text{si } W \leq -\lambda \\ 0 & \text{si } |W| \leq \lambda \end{cases}$$

### 2.3 Détermination du seuil

Les méthodes de seuillage proposées dans ce travail sont en l'occurrence celle de *VisuShrink* appliquée dans le cas d'un bruit blanc, et celle de seuillage dépendant du niveau dans le cas d'un bruit coloré. Elles sont basées sur la minimisation de l'erreur quadratique moyenne.

#### 2.3.1 Seuil universel (*VisuShrink*)

Cette méthode propose un seuil universel  $\lambda$  qui ne dépend que du nombre de mesures  $N$  et de la variance du bruit  $\sigma^2$ . Elle est utilisée quand le bruit est indépendant et identiquement distribué suivant une loi normale centrée (bruit blanc) ; Sa valeur est donnée par [Donoho&Johnstone,94] :

$$\lambda = \hat{\sigma} \sqrt{2 \log(N)} \quad (2)$$

La variance du bruit  $\sigma^2$  n'est pas toujours connue. On peut en calculer un estimateur robuste à partir de la médiane (Med) des valeurs absolues des coefficients de détail à l'échelle la plus fine comme suit [Donoho & Johnstone, 94] :

$$\hat{\sigma} = \frac{\text{Med}}{0.6745} \quad (3)$$

Le facteur 0.6745 est choisi suite à une calibration avec une distribution Gaussienne.

#### 2.3.2 Seuil dépendant du niveau

Un problème posé par le seuillage universel est la valeur unique du seuil pour toutes les bandes de fréquence de la décomposition en ondelettes ou, autrement dit, sa difficulté à prendre en compte un bruit coloré. Pour remédier à ce problème, nous proposons une méthode basée sur un seuil dépendant du niveau, donné par [Johnstone & Silverman, 97] :

$$\lambda = \sigma_J \sqrt{2 \log\left(\frac{N}{2^j}\right)} \quad (4)$$

Avec :  $\sigma_\tau = \text{Med}\{|W_l|\} / 0.6745$  et  $W_l$  représente les coefficients d'ondelettes à l'échelle  $l$  du signal bruité (original).

### 3. Détermination du type de bruit des séries : variance d'Allan

Les bruits observés peuvent être de deux natures différentes [Agnew, 92] :

- *Le bruit blanc* : c'est un bruit non corrélé avec le temps dont l'amplitude peut être facilement diminuée en augmentant le nombre de mesures ;
- *Le bruit coloré* (bruit de scintillation ou bruit de marche aléatoire) : c'est un bruit corrélé avec le temps.

Ces bruits sont bien connus dans le domaine spectral où on les détermine à partir de la fonction de densité spectrale de puissance. Le spectre de puissance  $S_X$  d'un grand nombre de phénomènes géophysiques est bien approximé en fonction de la fréquence  $f$  par la relation suivante [Agnew, 92] :

$$S_X(f) = P_0 f^\alpha$$

Où  $\alpha$  représente l'indice spectral.  $P_0$  est une constante.

Les bruits sont définis en fonction de leur *indice spectral* :

- *le bruit blanc* a un indice spectral égale à 0 ;
- *les bruits colorés* ont des indices spectraux différents de 0 :
- indice spectral = -1 : *bruit de scintillation (bruit de flicker)*,
- indice spectral = -2 : *marche aléatoire (random walk)*.

Habituellement, on obtient une estimation des différents types de bruits présents dans un signal par l'utilisation d'une variance. Les variances sont des outils statistiques définis dans le domaine temporel par leur séquence de calcul et dans le domaine des fréquences par leur fonction de transfert. En faisant varier le temps d'intégration  $t$  de la variance, on obtient une courbe caractérisant le type de bruit présent dans le signal.

La variance utilisée dans cet article est la *variance d'Allan* ou *variance à deux échantillons* qui a été développée dans le domaine temps/fréquence [Allan, 66, 87 ; Rutman, 78 ; Azoubib, 74]. Elle est définie comme le recouvrement de la variance à différentes espaces de temps d'une série  $(X_j)_{j=1,N}$  régulière sur un intervalle de temps constant de  $\tau_0$  et stationnaire (propriétés statistiques invariantes au cours du temps).

Pour un temps d'échantillonnage donnée  $\tau$  ( $\tau$  multiple de  $\tau_0$  tel que  $\tau = M\tau_0$ ), découpons l'échantillon initial  $(X_j)_{j=1,N}$  en sous échantillons de longueur  $\tau$  (figure 1) que l'on note :

$$(X_K)_{K=\{i,i+M-1\}}, i \in \{1, N-M+1\}$$

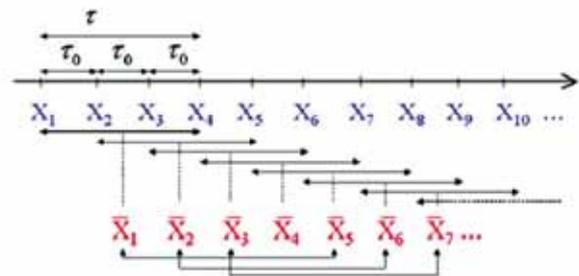


Fig. 1 Principe de sous échantillonnage par la variance d'Allan.

La moyenne de chacun de ces sous échantillons est :

$$\bar{X}_{K,M} = \frac{1}{M} \sum_{j=K}^{K+M-1} X_j, k \in \{1, N-M+1\}$$

Avec :  $M = \frac{\tau}{\tau_0}$

La variance d'Allan pour le temps d'échantillonnage  $\tau$  est alors définie par :

$$\sigma_X^2 = \left( \frac{1}{2} E[ (\bar{X}_{K+M,M} - \bar{X}_{K,M})^2 ] \right) \quad (5)$$

L'estimation de la variance d'Allan est [Le Bail, 04]:

$$\hat{\sigma}_X^2(\tau) = \frac{1}{2(N-2M+1)} \sum_{K=1}^{N-2M+1} (\bar{X}_{K+M,M} - \bar{X}_{K,M})^2 \quad (6)$$

La représentation de la variance d'Allan (figure 2) permet de déterminer le type de bruit de la série en fonction de la pente  $\mu$  du graphe [Le Bail, 04]:

$$\log(\hat{\sigma}_X^2(\tau)) = \mu \log(\tau), \text{ pour } \tau = \tau_0, 2\tau_0, 4\tau_0, \dots$$

- Si  $\mu = -1$  : c'est un bruit blanc (densité spectrale indépendante de la fréquence  $f$ ) ;
- Si  $\mu = 0$  : c'est un bruit de scintillation (densité spectrale variant en  $1/f$ ) ;
- Si  $\mu = 1$  : c'est un bruit de marche aléatoire (densité spectrale variant en  $1/f^2$ ).

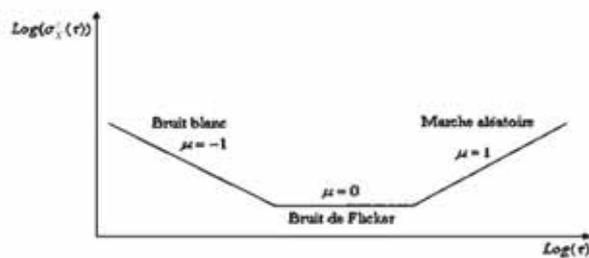


Fig. 2 Représentation de la variance d'Allan en échelle Log/Log.

L'ordonnée représente la variance d'Allan et l'abscisse est le temps d'échantillonnage  $\tau$ .

## 4. Application

### 4.1 Données utilisées

Les données utilisées dans le traitement sont constituées de séries hebdomadaires de jeux de coordonnées résiduelles (dN : composante Nord, dE : composante Est et dH : composante Verticale) de deux (02) stations DORIS (NOUA et SYPB) issues du centre d'analyse IGN/JPL (tableau 1). Ces séries de jeux de coordonnées résiduelles sont exprimées dans le repère géodésique local après enlèvement du modèle ITRF2000 de positions et vitesses (mouvement tectonique d'ensemble).

Tableau 1. Les deux stations étudiées.

Nom station	Pays	Date début et fin	Durée (ans)	Nombre d'obs.
NOUA	Nouvelle-Calédonie	1993-2000.5	7.5	347
SYPB	Antarctique	1999.2-2003.6	4.4	225

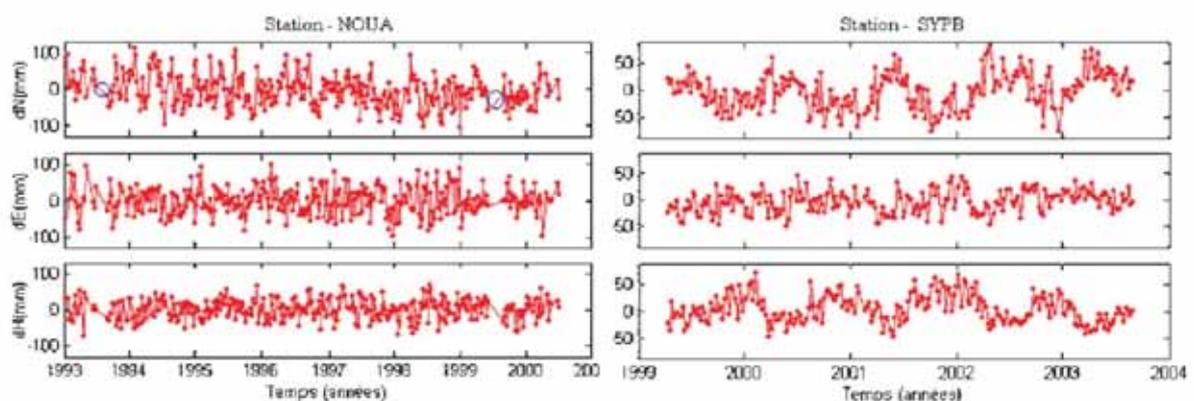


Fig. 3 Résidus sur les composantes (dN, dE et dH) des stations NOUA et SYPB.

### 4.2 Méthodologie de débruitage

La méthodologie adoptée pour le débruitage des séries temporelles DORIS est composée de trois (03) étapes [S. Khelifa, 2007] :

**1<sup>ère</sup> étape :** Identification de la stationnarité (ou de la non stationnarité) des séries.

La non stationnarité d'une série temporelle est caractérisée par la très lente décroissance de sa fonction d'autocorrélation.

**2<sup>ème</sup> étape :** Détermination du type de bruit des séries.

Cette étape porte sur la détermination du type de bruit d'une série temporelle régulière et stationnaire par la variance d'Allan. Si elle n'est pas stationnaire, il faut la rendre stationnaire par différentiation : à partir d'une série X, on définit une nouvelle série Y qui à l'instant t fait correspondre la différence entre la valeur de la série observée à l'instant t et celle observée à l'instant t-1 :  $Y_t = X_t - X_{t-1}$ .

**3<sup>ème</sup> étape :** Débruitage des séries.

Cette étape consiste à séparer le bruit du signal utile. La technique de débruitage utilisée est basée sur le seuillage des coefficients d'ondelettes obtenus à partir d'une décomposition discrète décimée du signal (décomposition par bancs de filtres) en utilisant la méthode de VisuShrink (cas d'un bruit blanc) et la méthode de seuillage dépendant du niveau (cas d'un bruit coloré). L'ondelette utilisée dans cette analyse est celle de Daubechies à 6 moments nuls jusqu'à la 3<sup>ème</sup> décomposition

### 4.3 Résultats et analyse

La figure 3 représente les séries originales de coordonnées résiduelles des stations NOUA et SYPB suivant les trois composantes Nord (dN), Est (dE) et Verticale (dH).

D'après la figure 3, nous remarquons que :

- La durée d'observation pour la station NOUA ( $\approx 8$  ans) est plus longue que celle pour la station SYPB ( $\approx 5$  ans).
- Les trois composantes (dN, dE et dH) de la station NOUA ne semblent pas avoir de tendance ou d'un effet saisonnier. Par contre, les composantes (dN et

dH) de la station SYPB semblent périodiques mais sans tendance apparente.

- Au cours des périodes 1993-1994 et 1999-2000 il y a des trous d'observations pour la station NOUA (cercele bleu).

La figure 4 représente la fonction d'autocorrélation (corrélogramme) pour les trois composantes (dN, dE et dH) des stations NOUA et SYPB.

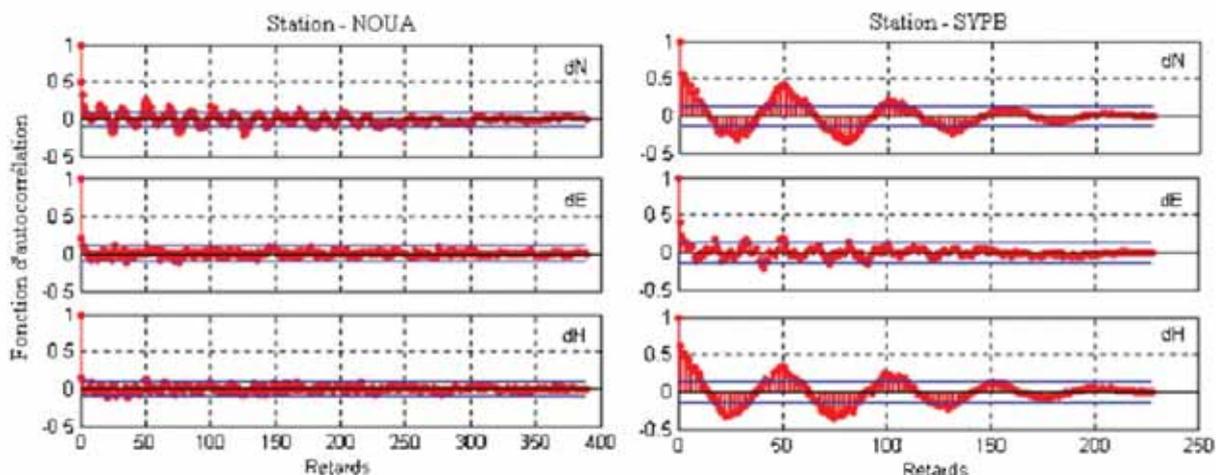


Fig. 4 Corrélogrammes des composantes (dN, dE et dH) des stations NOUA et SYPB (lignes en bleu représentent l'intervalle de confiance à 95%).

On constate clairement (figure 4) que les séries (dE) et (dH) de la station NOUA et la série (dE) de la station SYPB sont stationnaires. Par contre, la série (dN) de la station NOUA et les séries (dN) et (dH) de la station SYPB semblent être stationnaires, expliqué par l'existence d'une légère tendance (évolution à long terme). En effet, on observe un phénomène périodique de période de 52 semaines avec diminution progressive au cours du temps. Les graphes suivants représentent la variance d'Allan des composantes (dN, dE et dH) des

stations NOUA et SYPB. On constate clairement que le bruit affectant les séries (dE) et (dH) de la station NOUA (figure 5) et la série (dE) de la station SYPB (figure 6) est un bruit blanc. La figure 5 révèle que le bruit affectant la série (dN) de la station NOUA est une combinaison d'un bruit blanc dominant et d'un bruit de marche aléatoire faible. La figure 6 montre que le bruit affectant les séries (dN) et (dH) de la station SYPB est un bruit de scintillation.

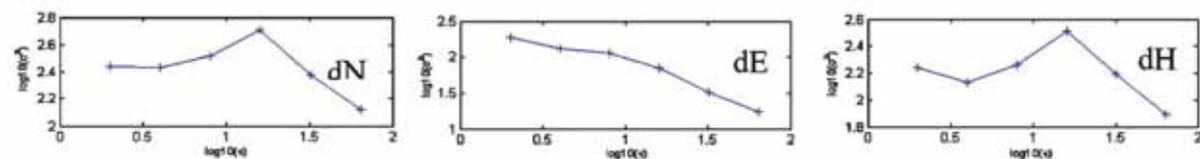


Fig. 5 Variance d'Allan des composantes (dN, dE et dH) de la station NOUA.

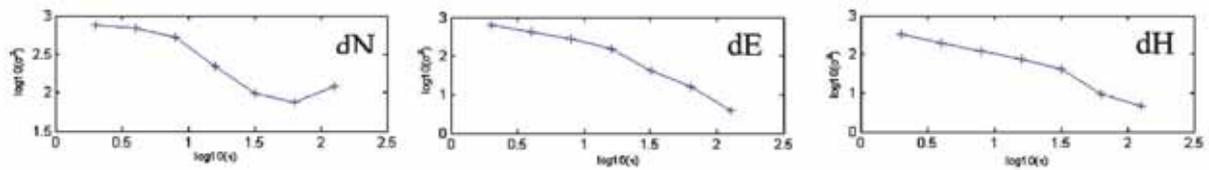


Fig. 6 Variance d'Allan des composantes (dN, dE et dH) de la station SYPB.

La figure 7 représente les séries originales (dN, dE et dH) des stations NOUA et SYPB et leurs séries débruitées par les deux stratégies de seuillage doux et dur. Les séries ont été débruitées en fonction du type de bruit affectant chaque série. Cependant, on a utilisé la méthode de seuillage universel pour les séries (dN, dE et dH) de la station NOUA et la série (dE) de la station SYPB, et la méthode de seuillage dépendant du niveau pour les séries (dN et dH) de la station SYPB.

Nous remarquons que les séries reconstruites (débruitées) suivent effectivement les variations de leurs séries originales. En outre, nous constatons des irrégularités (oscillations parasites) des séries reconstruites par le seuillage dur en quelques points ; ce qui est expliqué par le caractère discontinu de la fonction de seuillage dur. Tandis que pour les séries débruitées par un seuillage doux, nous remarquons qu'elles sont régulières; ceci est lié au caractère continu de la fonction de seuillage doux.

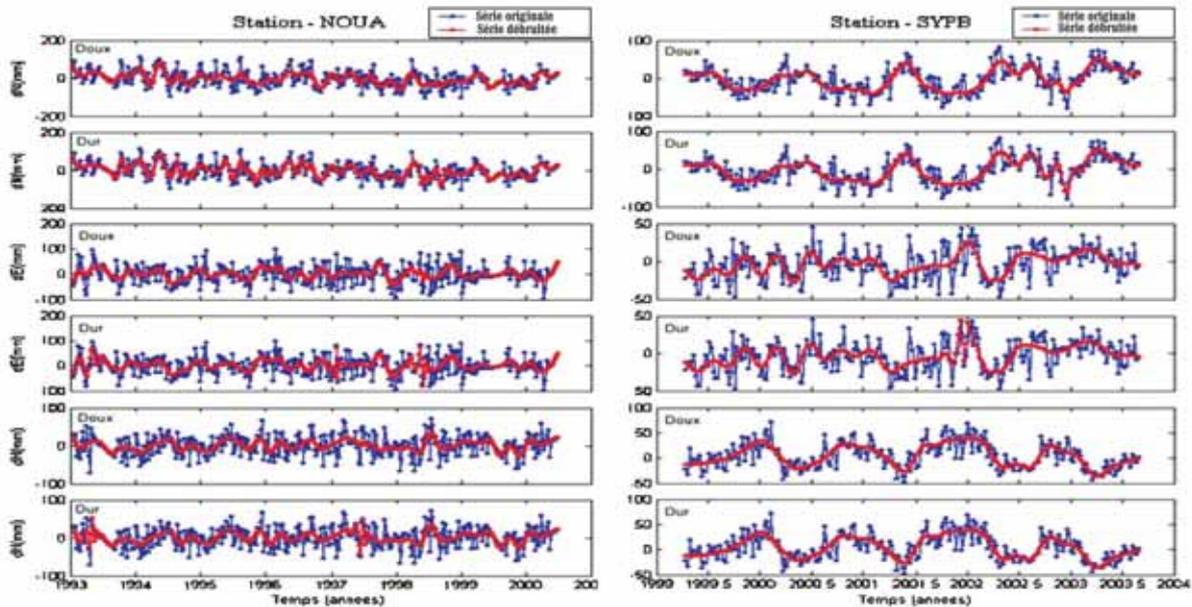


Fig. 7 Débruitage des composantes (dN, dE et dH) de la station NOUA par seuillage universel en utilisant les deux stratégies de seuillage (doux et dur).

Les tableaux 2 et 3 fournissent les statistiques sur les composantes (dN, dE et dH) des stations NOUA et SYPB, avant et après débruitage. Ces tableaux montrent que la réduction du bruit est assez considérable après le débruitage par les deux méthodes de seuillage, expliquée par la diminution considérable de l'écart-type. Par exemple, l'écart-type de la série débruitée (dE) de la station NOUA est de 17.02 mm pour le seuillage doux et de 20.01 mm pour le seuillage dur, à comparer au 36.33 mm de la série originale (tableau 2).

En outre, on constate que les statistiques de débruitage des séries reconstruites de la station SYPB par les deux stratégies de seuillage (tableau 3) sont quasiment identiques; ce qui explique que la station SYPB est moins bruitée que la station NOUA. En effet, le tableau 4 qui fournit le rapport signal sur bruit RSB des composantes (dN, dE et dH), exprimé en décibels (dB) par l'équation 7, montre que le RSB de la série (dH) de la station NOUA est de 1.07 dB, à comparer au 4.17 dB de la même série (dH) de la station SYPB.

$$RSB = 10 \log_{10} \left( \frac{\sum_{t=1}^N |X_t|^2}{\sum_{t=1}^N |X_t - \hat{X}_t|^2} \right) \quad (7)$$

Où  $X_t$  est le signal original et  $\hat{X}_t$  le signal débruité.

**Tableau 2.** Statistiques sur les composantes (dN, dE et dH) de la station NOUA, avant et après débruitage (mm).

Série		Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type
dN	Série originale	-106	112.70	-3.95	41.91
	Série débruitée par seuillage doux	-60.80	81.40	-3.92	26.06
	Série débruitée par seuillage dur	-78.97	85.31	-3.92	29.80
dE	Série originale	-98.20	100.80	0.45	36.33
	Série débruitée par seuillage doux	-46.50	48.43	0.48	17.02
	Série débruitée par seuillage dur	-81.87	73.25	0.55	20.01
dH	Série originale	-71.90	71	0.84	26.18
	Série débruitée par seuillage doux	-26.23	35.72	0.84	12.02
	Série débruitée par seuillage dur	-40.76	52.40	0.84	13.26

**Tableau 3.** Statistiques sur les composantes (dN, dE et dH) de la station SYPB, avant et après débruitage (mm).

Série		Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type
dN	Série originale	-79.40	82	-3.99	33.64
	Série débruitée par seuillage doux	-41.85	51.88	-4.04	25.89
	Série débruitée par seuillage dur	-64.53	51.78	-4.04	26.58
dE	Série originale	-47.20	44.90	-4.00	20.37
	Série débruitée par seuillage doux	-27.10	26.22	-4.03	12.02
	Série débruitée par seuillage dur	-27.10	44.36	-4.03	12.59
DH	Série originale	-48.20	72.80	3.94	25.60
	Série débruitée par seuillage doux	-36.60	37.89	3.91	19.98
	Série débruitée par seuillage dur	-36.60	37.89	3.91	19.98

**Tableau 4.** Rapport signal sur bruit (RSB) des composantes (dN, dE et dH) (dB).

Série	Station	Méthode de débruitage	Stratégie de seuillage	RSB
(dN)	NOUA	seuillage universel	Doux	2.36
(dE)	NOUA	seuillage universel	Doux	1.24
(dH)	NOUA	seuillage universel	Doux	1.07
(dN)	SYPB	seuillage dépendant du niveau	Doux	4.12
(dE)	SYPB	seuillage universel	Doux	2.06
(dH)	SYPB	seuillage dépendant du niveau	Doux	4.17

## 5. Conclusion

Le choix de la méthode de débruitage adéquate exige au préalable la connaissance du type de bruit affectant le signal. Dans le cadre de cet article, c'est la variance d'Allan qui a été employée pour déterminer le type de bruit.

Dans le cas d'un bruit blanc, c'est la méthode VisuShrink qui a été utilisée et dans le cas d'un bruit coloré nous avons choisi la méthode de seuillage dépendant du niveau.

En revanche, la variance d'Allan exige que la série soit régulière et stationnaire. A cet effet, nous avons adopté l'interpolation linéaire pour régulariser les séries (combler les trous) et la fonction d'auto-corrélation (ACF) pour étudier la stationnarité des séries. Si la série est non stationnaire, il faut la rendre stationnaire par différenciation.

L'application de la méthodologie adoptée aux séries temporelles des coordonnées des stations NOUA et SYPB a permis de ressortir les conclusions suivantes :

- Le bruit déterminé pour les deux composantes (dE) et (dH) de la station NOUA est un bruit blanc et pour la composante (dN) est une combinaison d'un bruit blanc dominant et d'un bruit de marche aléatoire faible. Par contre, pour la station SYPB, le bruit déterminé pour les composantes (dN) et (dH) est un bruit de scintillation et pour la composante (dE) est un bruit blanc.

- Le rapport signal sur bruit (RSB) des trois composantes (dN, dE et dH) de la station NOUA est faible, ce qui explique que ces trois composantes sont trop perturbées. En revanche, les composantes (dN, dE et dH) de la station SYPB sont moins bruitées.

- La méthode optimale de débruitage reposant sur le critère de minimisation de l'écart-type est celle du seuillage doux.

## Références

- D. Donoho and I. Johnstone, 1994, "Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage", *Biometrika*, 81: 425-455.
- D.C. Agnew, 1992, "The time-domain behaviour of power-law noises", in *Journal of Geophysical Research*, vol. 19, n°4, pp.333-336.
- D.W. Allan, 1966, "Statistics of Atomic Frequency Standard", *Proceedings of the IEEE*, 54, N°2, 221-231.
- D.W. Allan, 1987, "Time and frequency characterisation, estimation, and prediction of precision clocks and oscillators", *IEEE Trans UFFC*, vol 34, n.6.
- I. Johnstone and B. Silverman, 1997, "Wavelet threshold estimators for data with correlated noise", *J. Roy. Statist.*
- J. Azoubib, 1974, "Caractérisation des fluctuations aléatoires d'un processus temporel par la variance d'Allan", Rapport BIPM-74/7, exposé présenté au BIPM le 26 novembre.
- J. Rutman, 1978, "Characterization of phase and frequency instabilities in precision frequency sources : Fifteen years of progress", *Proceedings of the IEEE* 66, 1048-1075.
- K. Lebaïl, 2004, "Étude statistique de la stabilité des stations de géodésie spatiale - Application à DORIS-", IGN, LAREG, thèse de doctorat Soutenue à l'Observatoire de Paris.
- L. David Donoho, 1995, "De-noising by soft-thresholding", *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 41(3) : pp. 613-627.
- S. Khelifa, 2007, "Analyse de séries temporelles de coordonnées de stations de géodésie spatiale", Mémoire de Magister en Techniques Spatiales et Applications (Option : Géodésie), Arzew.
- S. Mallat, 1989, "A Theory for Multiresolution Signal Decomposition : The Wavelet Representation", *Proc. IEEE Trans on Pattern Anal. and Math. intel.*, Vol. 11, No 7.

## Méthode d'Ajustement Robuste "M-Estimeurs" : Application au Réseau Cadastral de la ville d'Oran

B. GOURINE, B. GHEZALI, R. NAFTI, H. TAIBI  
Centre des Techniques Spatiales – Division de Géodésie  
CTS, BP 13, 31200 Arzew – ALGERIE, Fax : (213) 041 47 36 65  
E-mail: bachirgourine@yahoo.com

**Résumé :** La méthode des moindres carrés demeure un estimateur peu robuste, bien qu'elle soit un procédé optimal sous le concept de la normalité. En effet, la présence de grosses erreurs ou d'erreurs systématiques dans les observations peut perturber d'une façon significative l'estimation des paramètres inconnus. Afin d'affaiblir les effets de ces erreurs et de garantir une solution fiable, nous proposons à travers cet article une méthode d'estimation robuste appelée "M-estimateurs" qui repose sur le principe des poids équivalents.

Les tests effectués ont porté sur l'ajustement d'un réseau cadastral de la ville d'Oran composé de 45 points géodésiques. Les résultats obtenus ont montré que la qualité du réseau ajusté par la méthode des M-estimateurs est nettement meilleure que celle fournie par la méthode des Moindres Carrés.

**Mots clés :** M-estimateurs, Robustesse, Poids équivalents, Ajustement, Réseaux géodésiques.

**Abstract :** The least squares method remains a non very robust estimator, although it is an optimal process under the concept of normality. Indeed, the presence of gross errors or systematic errors in the observations can disturb significantly the estimate of the unknown parameters. In order to decrease the effects of these errors and to guarantee a reliable solution, we propose through this paper a robust estimation method called M-estimators which based on the equivalent weights principle.

The tests carried out related to the adjustment of a cadastral network of Oran city composed of 45 geodetic points. The results obtained showed that the quality of the network adjusted by Mestimators is definitely better than that provided by Least squares method.

**Key words :** M-estimators, Robustness, Weights equivalent, Adjustment, Geodetic networks.

### Introduction

Généralement, le principe des méthodes de compensation ou d'ajustement repose sur la conception d'un modèle théorique d'un vecteur de mesure noté  $y$  par une fonction  $f$  telle que :  $y \approx f(x)$  où  $x$  est le vecteur des paramètres (inconnues). Le problème consiste à déterminer le vecteur  $x$  des paramètres vérifiant "au mieux" la relation  $y \approx f(x)$  suivant un critère donné. Le modèle n'est en général qu'approximatif et les mesures sont très souvent entachées d'erreurs aléatoires.

La méthode des moindres carrés qui est basée uniquement sur l'estimation statistique, s'avère peu appropriée car comme toute autre méthode d'estimation, elle n'est pas exempte de défauts. L'inconvénient majeur de cette méthode, c'est son manque de robustesse [Coulot, 2002].

Pour pallier à ce problème, plusieurs techniques ont été développées en vue de réduire la sensibilité de l'estimateur des moindres carrés aux changements mineurs dans la population des observations traitées. Parmi ces techniques, la méthode des M-estimateurs s'est révélée un outil adéquat pour minimiser les effets des erreurs de mesures et garantir une solution de meilleure qualité. C'est une méthode généralisée du maximum de vraisemblance qui repose sur la définition des poids équivalents (poids de Andrew, de Huber, de Tukey et de l'IGG (Institute of Geodesy and Geophysics - Autriche) [Youcai et al., 1995].

Les tests effectués ont porté sur l'ajustement d'un réseau cadastral de la ville d'Oran constitué de 37 points nouveaux et de 8 points d'appui. Les résultats obtenus ont révélé que la méthode d'ajustement des M-estimateurs offre des performances beaucoup plus intéressantes en terme de robustesse que celle des moindres carrés.

### 1. Modèles de contamination des observations

Le modèle linéaire des observations de Gauss-Markov est exprimé par :

$$Y = A.X + V \tag{1}$$

Avec :

$Y$  : vecteur  $n \times 1$  des observations  $(y_1, y_2, \dots, y_n)$

$A$  : matrice  $n \times p$  de coefficients  $(a_{ij})$

$X$  : vecteur  $p \times 1$  des paramètres  $(x_1, x_2, \dots, x_p)$

$V$  : vecteur  $n \times 1$  des résidus  $(v_1, v_2, \dots, v_n)$

Si nous supposons que l'ensemble des résidus suit une distribution normale  $f$  d'une moyenne  $E(V)=0$  et d'une variance  $E(V^T V)=\sigma^2$ , alors l'estimateur des moindres carrés  $X_{MC}$  a la variance minimale parmi tous les estimateurs linéaires non biaisés [Youcai et al., 1995].

Dans ce cas, l'estimation des moindres carrés est l'estimateur non biaisé le plus efficace. Cependant, si la véritable distribution des résidus dévie de la distribution normale  $f$ , alors l'estimation des moindres carrés perd son efficacité et sa variance ne sera pas minimale [Youcai et al., 1995]. Cette déviation est due à la contamination des observations par des grosses erreurs et à l'existence des biais de mesures.

Pour ce qui suit, nous considérons deux modèles d'observations contaminées (relations 2 et 3). Le premier modèle (2) est une combinaison de deux distributions normales avec des variances différentes, i.e., le modèle considéré est normal  $[N(0, \sigma^2)]$  au milieu de la distribution, mais il a une grande variance  $[N(0, k^2 \sigma^2), k > 1]$  dans les queues (extrémités de la distribution). Le deuxième modèle (3) est normal au milieu et exponentiel (distribution de Laplace) dans les queues. Ce modèle, originellement proposé par Huber, est basé sur sa recherche théorique qui postule que le comportement des grosses erreurs dans les queues ressemble à une distribution de Laplace. Pour formuler les deux modèles de distribution (2) et (3), trois densités de probabilité sont considérées :

- Si  $y$  suit  $N(0, \sigma^2)$  :

$$f_{\sigma} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \left[ \exp - \frac{(y - a^T x)^2}{2\sigma^2} \right]$$

- Si  $y$  suit  $N(0, k^2 \sigma^2)$  :

$$f_{k\sigma} = \frac{1}{k\sigma\sqrt{2\pi}} \left[ \exp - \frac{(y - a^T x)^2}{k^2 2\sigma^2} \right]$$

- Si  $y$  suit la distribution de Laplace avec le paramètre d'échelle  $\sigma$  :

$$f_{la} = \frac{1}{2\sigma} \exp \left[ - \frac{|y - a^T x|}{\sigma} \right]$$

Suivant la proposition de Tukey, les deux modèles (2) et (3), sont présentés sous la forme suivante:

$$f_{(I)} = (1 - \varepsilon) f_{\sigma} + \varepsilon f_{k\sigma} \tag{2}$$

$$f_{(II)} = (1 - \varepsilon) f_{\sigma} + \varepsilon f_{la} \tag{3}$$

Où  $\varepsilon \approx b/n$  représente la partie des observations contaminées ( $0 \leq \varepsilon \leq 1$ ) et  $b$  est le nombre des observations contaminées dans l'échantillon de taille  $n$ .

### 2. Estimation robuste par la méthode des Mestimateurs

Les M-Estimeurs, proposés par Huber, sont généralisés à partir du maximum de vraisemblance mais ils dérivent d'un modèle de distribution légèrement dévié du modèle gaussien. La méthode du maximum de vraisemblance (MLE : *Maximum Likelihood Estimator*) est à la fois l'une des plus utilisées et des plus controversées en statistique. Elle a en effet un attrait à la fois intuitif, parce que la vraisemblance semble bien contenir toute l'information fournie par les observations, et théorique, à cause des bonnes propriétés asymptotiques des estimateurs correspondants sous certaines conditions de régularité. Cependant, cette méthode a plusieurs inconvénients dont deux défauts majeurs qui sont [Huber et al., 1997]:

- L'absence de définition correcte d'un estimateur du maximum de vraisemblance lorsqu'il peut y avoir une ambiguïté sur la version de la densité à employer, ou bien lorsque le modèle n'est pas dominé.
- Le manque de robustesse des estimateurs du maximum de vraisemblance qui sont relatifs au modèle gaussien. Le prolongement des estimateurs MLE, dans un ensemble plus général, est celui des M-estimateurs qui traite ce problème. Il permet de corriger l'absence de robustesse de certains estimateurs MLE.

Les M-estimateurs sont donc une méthode généralisée de l'estimateur du maximum de vraisemblance. Ils ont l'avantage d'hériter toutes les propriétés des bons estimateurs MLE, c'est-à-dire,

l'efficacité et la normalité asymptotique, plus celle d'être peu sensible aux écarts des observations par rapport au modèle.

Ils sont basés sur le principe de la minimisation de la fonction des résidus,  $\rho(v)$ , qui contrôle l'influence des observations aberrantes sur la procédure de l'estimation. Ce qui n'est pas le cas pour la méthode des moindres carrés qui est basée sur la minimisation des carrés des résidus.

D'après [Youcai et al., 1995], la méthode des moindres carrés re-pondérés est une technique de calcul des M-estimateurs. Le modèle des moindres carrés re-pondérés est formé par introduction des poids équivalents dans la formule des moindres carrés classiques [Vanicek et al., 1995] tel que :

$$\hat{x} = (A^T W A)^{-1} A^T W y \quad (4)$$

Où  $W$  représente la matrice poids dans laquelle l'élément diagonal est  $w(v_i)$  et ses éléments non diagonaux sont nuls.

Le poids équivalent  $w(u_i)$  est exprimé par :

$$w(u_i) = \frac{\psi(u_i)}{u_i}, i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

Avec :

$u_i = \frac{v_i}{\sigma_{vi}}$  : Résidu normalisé.

$\sigma_{vi}$  : Écart type du résidu.

$\Psi(u_i) = \frac{\partial \rho(u_i)}{\partial X}$  : Fonction dérivée de la fonction de vraisemblance des résidus normalisés.

$\rho(v_i) = \ln f(y_i - a_i^T x)$  : Fonction de vraisemblance des résidus [Rehailia, 1995].

Si  $(n-b)$  observations suivent la distribution normale  $N(0, \sigma^2)$  et les  $b$  observations suivent la distribution normale  $N(0, k^2 \sigma^2)$  ou la distribution de Laplace, par conséquent le modèle linéaire (1) devient [Youcai et al., 1995]:

$$\begin{bmatrix} y_{(n-b)} \\ \dots \\ y_{(b)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{(n-b)} \\ \dots \\ A_{(b)} \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} v_{(n-b)} \\ \dots \\ v_{(b)} \end{bmatrix}$$

La fonction  $\Psi$  pour le MLE peut être écrite sous la forme suivante :

$$\psi(u) = -\frac{g'(u)}{g(u)} = (-\ln g)' \quad (6)$$

Où  $g'(u)$  représente la première dérivée de la fonction de densité de probabilité  $g$  des résidus normalisés  $u$ .

Les poids équivalents pour le MLE deviennent donc:

$$w(u) = -\frac{g'(u)}{g(u)u} \quad (7)$$

- Pour le modèle de distribution (2) :

$$w(u) = \frac{\psi(u)}{u} = \begin{cases} 1, & |u| < k \\ \frac{1}{k^2}, & |u| \geq k \end{cases}$$

L'estimation des moindres carrés re-pondérés des paramètres  $X$  et  $\sigma^2$  est donnée par :

$$\hat{x} = (A_{(n-b)}^T A_{(n-b)} + k^{-2} A_{(b)}^T A_{(b)})^{-1} (A_{(n-b)}^T y_{(n-b)} + k^{-2} A_{(b)}^T y_{(b)}) \quad (8)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-p} \{ y_{(n-b)} - A_{(n-b)} \hat{x} \}^T (y_{(n-b)} - A_{(n-b)} \hat{x}) + k^{-2} \{ y_{(b)} - A_{(b)} \hat{x} \}^T (y_{(b)} - A_{(b)} \hat{x}) \quad (9)$$

- Pour le modèle de distribution (3) :

$$w(u) = \begin{cases} 1, & |u| < c \\ \frac{c \operatorname{sign}(u)}{u} = \frac{c}{|u|}, & |u| \geq c \end{cases}$$

Dans ce cas, l'estimation des moindres carrés re-pondérés de  $X$  et  $\sigma^2$  est exprimée par :

$$\hat{x} = (A_{(n-b)}^T A_{(n-b)} + A_{(b)}^T W_{(b)} A_{(b)})^{-1} (A_{(n-b)}^T y_{(n-b)} + A_{(b)}^T W_{(b)} y_{(b)}) \quad (10)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-p} \{ y_{(n-b)} - A_{(n-b)} \hat{x} \}^T (y_{(n-b)} - A_{(n-b)} \hat{x}) + \{ y_{(b)} - A_{(b)} \hat{x} \}^T W_{(b)} (y_{(b)} - A_{(b)} \hat{x}) \quad (11)$$

Avec :  $w_{(n-b)} = I_{(n-b)}$   
 $w_{(b)} = (c/|u_j|) I_{(b)}, j = n-b+1, \dots, n$

### 3. Poids équivalents

En pratique, la diversité des M-estimateurs réside dans la définition des poids équivalents et leur application est basée sur la méthode des moindres carrés re-pondérés. En effet, la formulation générale des M-estimateurs est donnée par l'équation suivante [Yang Y., 1999] :

$$\hat{X}_{p,l} = (A_{p,n}^T \cdot \bar{P} \cdot A_{n,p})^{-1} \cdot A_{p,n}^T \cdot \bar{P} \cdot y_{n,l} \quad (12)$$

Où  $\bar{P}$  représente la matrice des poids équivalents. La construction de cette matrice est basée sur la définition des poids équivalents qui peuvent être formulés comme suit [Gui et al, 1998] :

- Poids de Andrew :

$$\bar{P}_i = \begin{cases} P_i \frac{\sin\left(\frac{u_i}{c}\right)}{\frac{u_i}{c}} & |u_i| \leq c\pi \\ 0 & |u_i| > c\pi \end{cases}, \text{ avec } c = 0.339$$

- Poids de Huber :

$$\bar{P}_i = \begin{cases} P_i & |u_i| \leq c \\ P_i \frac{c}{|u_i|} & |u_i| > c \end{cases}, \text{ avec } c = 2.0$$

- Poids de Tukey :

$$\bar{P}_i = \begin{cases} P_i \left[1 - \left(\frac{|u_i|}{c}\right)^2\right]^2 & |u_i| \leq c \\ 0 & |u_i| > c \end{cases}$$

Avec :  $c = 4.685$  si l'écart type à priori de l'unité du poids  $\sigma_0$  est connu, ou  $c = 6$  si  $\sigma_0$  est inconnu.

- Poids de IGG (Institute of Geodesy and Geophysics, Autriche) [Yang Y., 1999]:

$$\bar{P}_i = \begin{cases} P_i & |u_i| \leq c_0 \\ P_i \frac{c_0}{|u_i|} \left(\frac{c_1 - |u_i|}{c_1 - c_0}\right)^2 & c_0 < |u_i| \leq c_1 \\ 0 & |u_i| \geq c_1 \end{cases}$$

Avec :  $1.0 \leq c_0 \leq 1.5$  et  $2.5 \leq c_1 \leq 3.0$

### 4. Application : Ajustement du réseau cadastral de la ville d'Oran

L'application a porté sur l'ajustement du réseau cadastral de la ville d'Oran composé de 37 points nouveaux et de 8 points d'appui, Figure (1).

Les données géodésiques utilisées sont constituées de 204 observations de géodésie classique (194 directions et 10 distances).

Les coordonnées des points sont exprimées dans le système géodésique Algérien (Nord Sahara 1959), en projection UTM (fuseau 30).

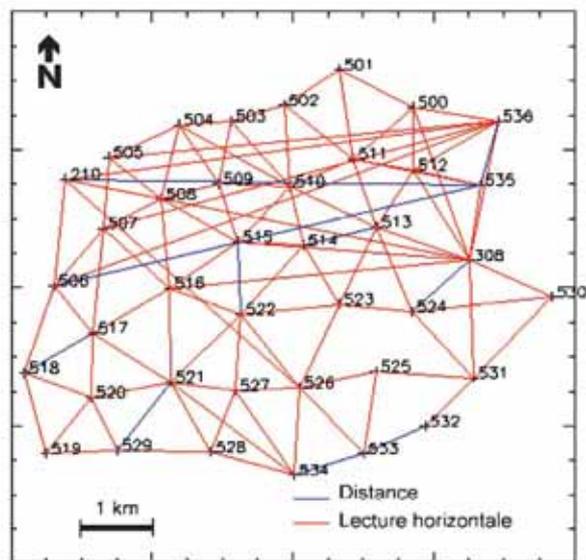


Fig. 1 Configuration du réseau cadastral de la ville d'Oran.

La méthodologie adoptée à travers cette application porte sur une étude comparative des résultats obtenus par les deux méthodes d'ajustement : M-estimateurs et Moindres carrés.

Le choix du modèle des poids équivalents appliqué dans la technique d'estimation M-estimateurs est celui de l'IGG (Institute of Geodesy and Geophysics).

Pour illustrer la puissance (robustesse) des M-estimateurs par rapport aux Moindres Carrés, des tests ont été effectués en brisant volontairement quelques mesures.

Le tableau (1) représente les six observations qui ont été altérées (contaminées) arbitrairement par des erreurs :

**Tableau 1.** Valeurs simulées des grosses erreurs introduites dans le vecteur des observations.

Station	Pt Visé	N° obs	Angle(Grades)	Erreur(dmgr)
502	501	9	180.3239	+200
510	513	50	104.8518	-400
308	513	96	9.6268	+100
519	520	131	38.1261	-200
Station	Pt Visé	N° obs	Distance (m)	Erreur(m)
518	517	187	1132.765	-0.7
535	536	201	962.410	+0.5

### 5. Résultats et analyse

Les résultats obtenus sont analysés suivant la précision des coordonnées des points du réseau, les paramètres ajustés, les résidus et les ellipses d'erreurs.

#### 5.1 Influence des mesures erronées sur la précision du réseau obtenue par les deux méthodes

Les écarts-types sur les paramètres ajustés (position et orientation) par les deux méthodes, Moindres carrés et M-estimateurs, sont fournis par les tableaux suivants :

**Tableau 2.** Écarts-types sur les paramètres ajustés. Méthode des *Moindres carrés*.

	Cas d'observations non contaminées			Cas d'observations contaminées		
	$\sigma_{V_0}$ (dmgr)	$\sigma_x$ (m)	$\sigma_y$ (m)	$\sigma_{V_0}$ (dmgr)	$\sigma_x$ (m)	$\sigma_y$ (m)
Min.	5.4	0.017	0.015	16	0.049	0.042
Max.	22.4	0.117	0.101	64	0.333	0.288
Moy.	11.1	0.039	0.037	32	0.112	0.105

**Tableau 3.** Écarts-types sur les paramètres ajustés. Méthode des *M-estimateurs*.

	Cas d'observations non contaminées			Cas d'observations contaminées		
	$\sigma_{V_0}$ (dmgr)	$\sigma_x$ (m)	$\sigma_y$ (m)	$\sigma_{V_0}$ (dmgr)	$\sigma_x$ (m)	$\sigma_y$ (m)
Min.	2.8	0.009	0.009	3	0.009	0.011
Max.	10.2	0.050	0.044	11	0.051	0.045
Moy.	5.6	0.020	0.019	6	0.021	0.021

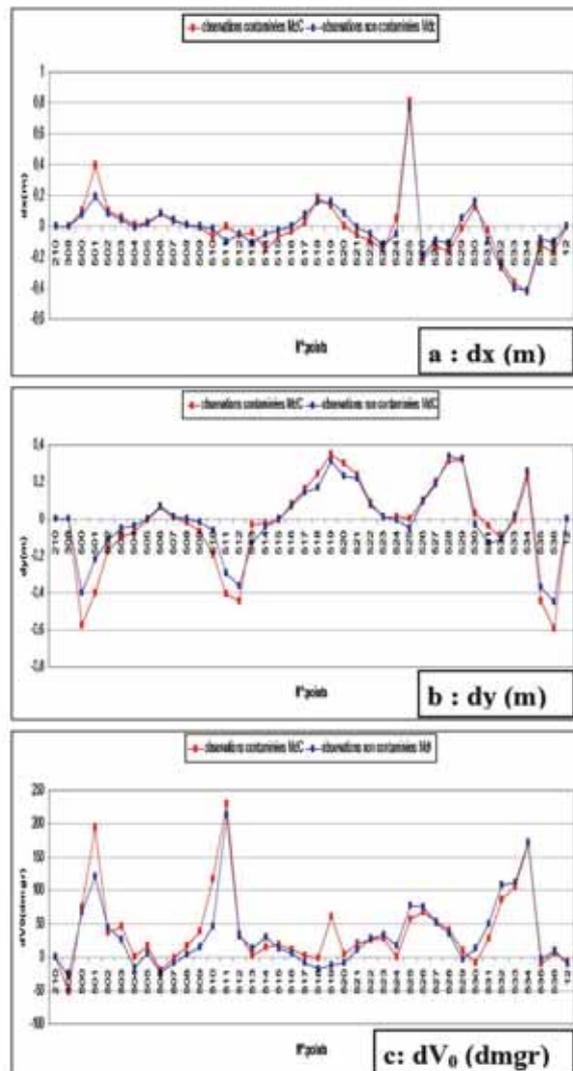
Les tableaux (2) et (3) montrent que dans le cas des traitements d'observations non contaminées, le réseau ajusté par les Moindres carrés ou M-estimateurs est de qualité suffisante pour les besoins du cadastre.

D'après le tableau (3), nous remarquons que la précision des paramètres ajustés à partir des observations non contaminées est presque identique à celle obtenue à partir des observations contaminées. Ceci est dû à l'effet des poids équivalents qui ont atténué l'influence des grosses erreurs.

Par contre, dans le cas de l'estimation par la méthode des Moindres carrés, les valeurs des écarts-types sur les paramètres ajustés (tableau 2) à partir des observations non contaminées sont différentes à celles fournies à partir des observations contaminées. La valeur moyenne des écarts-types sur la position et sur l'orientation est respectivement de  $\approx 11$  cm et  $\approx 32$  dmgr (cas des observations contaminées), et de  $\approx 4$  cm et  $\approx 11$  dmgr (cas des mesures non erronées).

#### 5.2 Influence des mesures erronées sur les paramètres ajustés par les deux méthodes

Les figures suivantes illustrent les paramètres ajustés (position x, y et orientation  $V_0$ ) par les deux méthodes, Moindres carrés (figures 2a, 2b et 2c) et M-estimateurs (figures 3a, 3b et 3c) :



**Fig. 2** Ajustement des paramètres ( $dx$ ,  $dy$ ,  $dV_0$ ) par les moindres carrés. Cas des observations contaminées (rouge) et non contaminées (bleu).

La figure (2) montre que la méthode des moindres carrés est très sensible aux observations aberrantes. La différence entre les valeurs des paramètres ajustés dans les deux cas (observations contaminées et non contaminées) est de  $\approx 20$  cm en position et de  $\approx 73$  dmgr en orientation.

En revanche, les paramètres ajustés par la méthode des M-estimateurs (figure 3) n'ont subi aucune importante altération en présence d'observations aberrantes (contaminées).

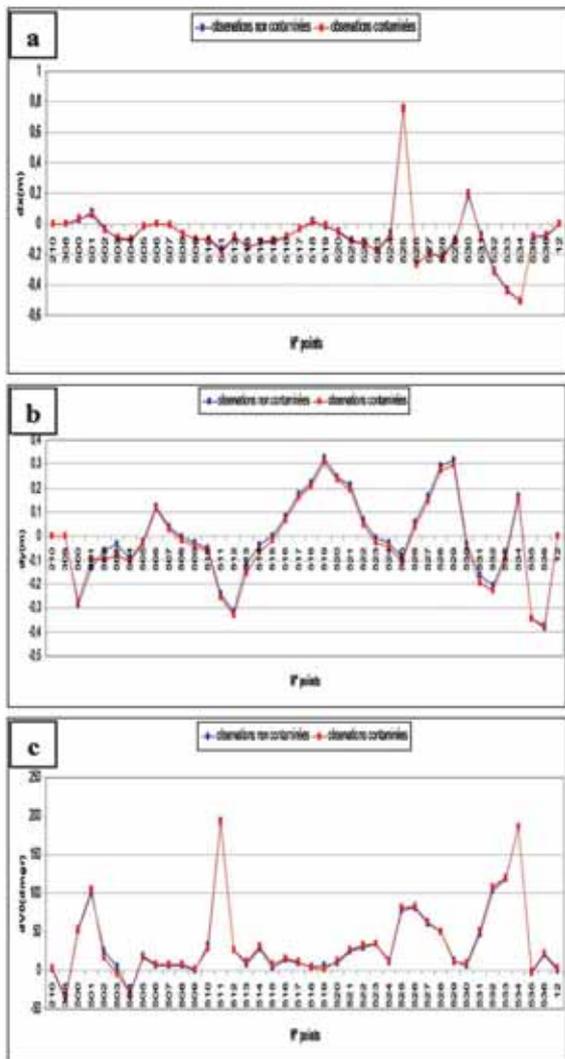


Fig. 3 Ajustement des paramètres ( $dx$ ,  $dy$ ,  $dV_0$ ) par les M-estimateurs. Cas des observations contaminées (rouge) et non contaminées (bleu).

Les figures (3a, 3b, 3c) montrent bien qu'il n'y a pas de différences significatives entre les paramètres estimés par la méthode des M-estimateurs, dans les cas des observations non contaminées et contaminées. Ces différences sont au maximum de l'ordre de 4 cm en coordonnées et de 8 dmgr en orientation.

### 5.3 Influence des mesures erronées sur les résidus obtenus par les deux méthodes

Les figures suivantes illustrent la répartition des résidus des observations non contaminées et contaminées obtenus par les moindres carrés (figure 4a) et les M-estimateurs (figure 4b).

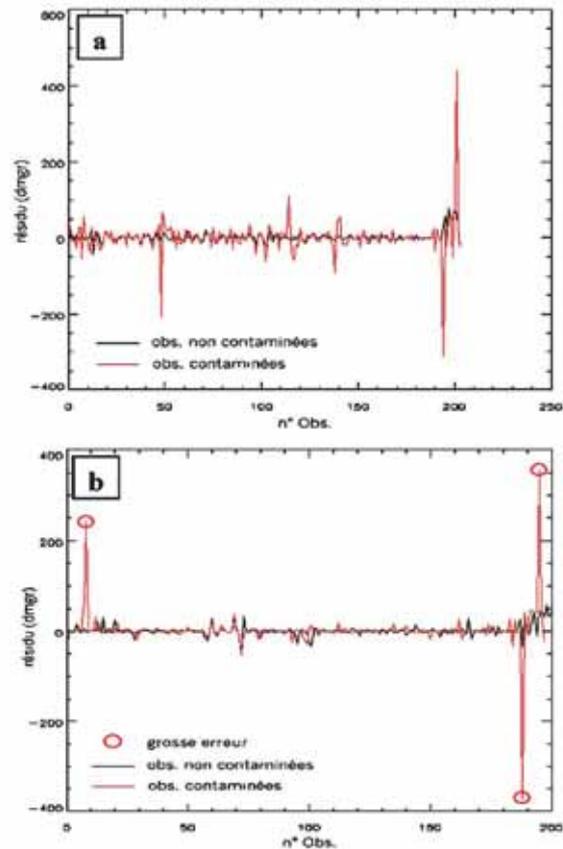


Fig. 4 Résidus des observations contaminées (rouge) et non contaminées (noir): (a) Moindres carrés (b) M-estimateurs.

La figure (4.a) montre clairement que les résidus obtenus dans le cas des observations contaminées sont plus importants que dans le cas d'observations non contaminées.

Ceci est dû au fait que la méthode des moindres carrés est très sensible aux observations aberrantes.

En revanche, nous constatons que dans le cas des M-estimateurs (figure 4.a), l'effet de la présence de mesures aberrantes est affaibli par l'intégration des poids équivalents.

Nous remarquons aussi, que les observations contaminées ne sont pas noyées dans les résidus comme dans le cas des moindres carrés et qu'elles peuvent être facilement détectées.

### 5.4 Influence des mesures erronées sur les ellipses d'erreurs obtenues par les deux méthodes

Les ellipses d'erreurs des points du réseau fournies par les deux méthodes d'ajustement, Moindres carrés et M-estimateurs, sont représentées par les figures suivantes :

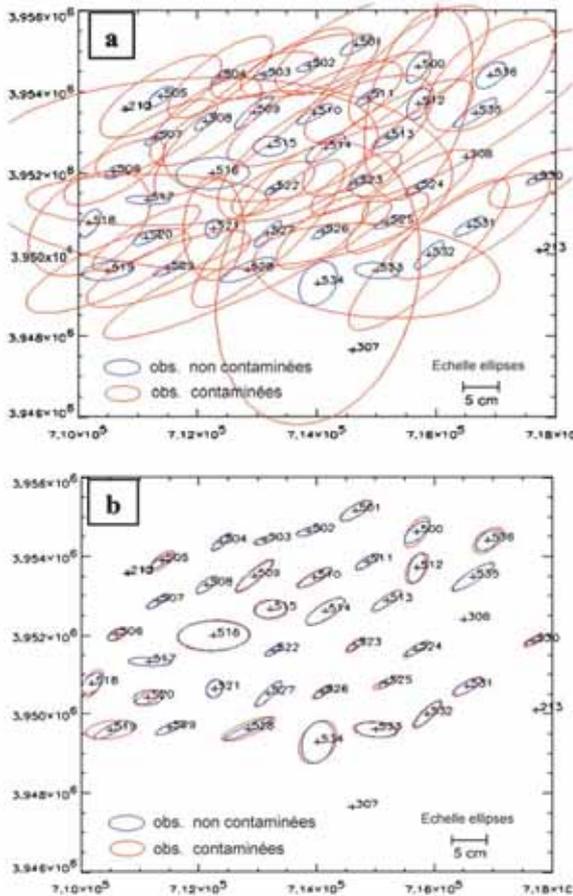


Fig. 5 Ellipses d'erreurs des points du réseau obtenues par : (a) Moindres carrés (b) M-Estimeurs. Cas des observations contaminées (rouge) et non contaminées (bleu).

La figure (5.b) qui illustre les ellipses d'erreurs obtenues lors de l'ajustement des paramètres par la méthode des M-estimateurs montre bien que la qualité des points du réseau, en terme d'ellipses d'erreurs, n'a pas été altérée par la présence de grosses erreurs observations contaminées. Par contre, les ellipses d'erreurs obtenues lors du traitement des observations contaminées par la méthode des Moindres carrés (figure 5.a) ont une amplitude beaucoup plus importante à celle des ellipses d'erreurs fournies à partir des observations non contaminées.

### 6. Conclusion

Dans ce présent article, nous avons présenté la méthode des M-estimateurs et ses avantages par rapport à l'estimateur des moindres carrés.

Les résultats obtenus ont montré que dans le cas d'observations aberrantes, la qualité du réseau obtenue par la méthode des M-estimateurs est nettement meilleure que celle fournie par les moindres carrés. Cette dernière est très sensible aux grosses erreurs qui sont noyées dans les résidus. C'est une méthode peu stable en présence d'observations aberrantes et la qualité des paramètres estimés se détériore.

Par contre, dans le cas de la méthode des M-estimateurs, l'effet de la présence de mesures erronées est atténué par l'introduction des poids équivalents et la précision des paramètres ajustés n'est pas dégradée. En outre, cette technique d'estimation permet de détecter les observations aberrantes. Néanmoins, cette méthode qui est basé sur un processus itératif peut présenter des inconvénients en terme de délais d'exécution, dans le cas d'ajustement de gros réseaux.

### Références bibliographiques

Colout D., 2002: *Initiations théorique et pratique à la méthode d'estimation par moindres carrés*. Notes de cours, école d'été du GRGS, France, Septembre 2002.

Gui Q., Zhang J., 1998 : *Robust biased estimation and its applications in geodetic adjustments*, Journal of Geodesy (1998) vol.72, pp: 430-435.

Huber C., Nikulin M., 1997: *Remarques sur le maximum de vraisemblance*, Questio, vol. 21, 1 i 2, pp: 37-58, 1997.

Rehailia M.H., 1995: *Modèles linéaires statistiques: modèles à effets fixes*, Office des publications universitaires, Alger.

Vanicek P., Krakiwsky E.J., 1995: *Geodesy: The concepts*. Edition Elsevier Science B.V., second edition, 697p,1995. ISBN 0-444-87777-0.

Yang Y., Cheng MK., Shum CK., Tapley BD., 1999: *Robust estimation of systematic errors of satellite laser range*. Journal of Geodesy, Vol.73 n°7, pp: 345-349, 1999.

Youcai H., Metrikas S. P., 1995 : *On the design of robust regression estimators*, Manuscripta geodetica n°3, vol. 20, pp:145-160, 1995.

## Méthode d'Ajustement Robuste "Rewlse" des Données Gravimétriques

Fateh TOUATI

Centre des Techniques Spatiales – Division de géodésie Spatiale  
BP 13, 31200, Arzew, Algérie  
fateh73@gmail.com

**ملخص :** السهوب الجزائرية تمثل مجالا متميزا مقارنة مع الأقاليم الطبيعية الأخرى للبلاد. بموقعها بين الأطلسين التلي و الصحراوي، تمتد هذه السهوب على مساحة تقدر بـ 20 مليون هكتار. خصائصها البيوجغرافية ( طبوغرافيا، مناخ، نبات طبيعي،...) ليست ملائمة لتعمير سكاني كثيف، مع ذلك، هناك عدة تباينات يمكن استخلاصها مابين مختلف أجزاء هذا الإقليم الواسع. المطلوب هنا هو توضيح هذه الاختلافات مع التركيز على المكانة التي يشغلها إقليم السهوب الغربية مقارنة مع باقي إقليم السهوب. طريقة العمل المرتكزة على الكارتوغرافيا كانت أساس منهجيتنا بربط عدد من المعايير الطبيعية (طبوغرافيا، مناخ، نبات طبيعي)، والديمغرافية (عدد السكان، معدل النمو السكاني)، و الاقتصادية (بطالة، تجهيزات، هياكل).

**Résumé :** L'ajustement gravimétrique par la méthode des moindres carrés standard ne prend pas en compte d'éventuelles mesures aberrantes. Les techniques classiques de détection d'erreurs qui sont basées sur des tests statistiques sont souvent inefficaces en présence de plusieurs aberrations. Nous présentons dans cet article, une nouvelle technique statistique d'estimation à la fois robuste et efficace (au sens statistique) appelée "REWLSE" (Robust and Efficient Weighted Least Squares Estimator). C'est une méthode qui permet d'une part, de réduire l'influence des aberrations, et d'une autre part, de garder la totalité de l'information initiale. L'étude est basée sur la robustesse et l'efficacité en utilisant une valeur de coupure telle que développée en statistiques et en proposant une nouvelle fonction du poids en vue de l'adopter aux observations gravimétriques. Les tests effectués ont porté sur l'ajustement d'un réseau gravimétrique Taïwanais composé de 16 stations relatives et de 6 points absolus. Les résultats obtenus ont montré l'efficacité et la pertinence de la technique REWLSE.

**Mots-clés :** Pesanteur, Moindres carrés pondérés, Aberration, Estimation robuste, Point de rupture, Efficacité.

**Abstract :** The gravimetric data adjustment by least squares doesn't take into account the outliers in observations. One of typical approaches to handling this problem is to use the robust estimation techniques. In this paper, we introduce a new procedure of estimation which is in same time efficient (in statistical sense) and robust called REWLSE (Robust and Efficient Weighted Least Squares Estimator).

This method allows the reducing of outliers' impact and makes more use of the information provided by the data. In order to adapt this technique to the relative gravity data, a new robust weight function is developed by keeping the same adapted cut-off value as suggested by Gervini and Yohai. A sample of real and semi-simulated gravity data is tested. The obtained results showed the pertinence of REWLSE techniques.

**Key words :** Relative gravity, Weighted least square, Outlier, Robust estimation, Efficiency, Breakdown point.

### 1. Introduction

Le problème majeur d'ajustement géodésique ou gravimétrique par la méthode des moindres carrés (LS) réside dans la présence d'aberrations dans les observations. En gravimétrie, ceci est dû, d'une part, au fait que les gravimètres sont des instruments de haute sensibilité induisant diverses erreurs systématiques, et d'autre part, aux modèles gravimétriques développés qui ne répondent pas toujours aux conditions réelles du terrain [Becker, 1989].

En géodésie comme en gravimétrie, deux tests statistiques sont généralement utilisés pour la détection d'aberrations : "Data Snooping Technique" de Baarda (1968) et le " $\tau$ -test" de Pope (1975). Cependant, dans la plupart des cas, la procédure basée sur de tels tests statistiques ne peut pas détecter et localiser des aberrations de façon correcte. En effet, les résidus obtenus par la méthode des moindres carrés ne correspondent pas souvent aux observations aberrantes existantes [Junhuan, 2005].

L'utilisation de la technique d'estimation robuste devient une alternative pour remédier au problème d'observations aberrantes. Le but de cette nouvelle technique est de réduire l'influence des aberrations sur les paramètres estimés. Les méthodes robustes sont fondamentalement développées par les travaux de Huber (1964 et 1981) et Hampel (1973). Leur utilisation en géodésie a été initiée par Carosio (1979) et appliquée, pour la première fois, aux observations gravimétriques par Mäkinen (1981).

Nous présentons dans cet article une nouvelle procédure d'estimation robuste et efficace baptisée REWLSE. La méthode dans son origine est proposée par Gervini et Yohai (2002). Elle est basée sur le calcul du seuil de coupure adapté. Afin qu'elle soit applicable aux mesures relatives du champ de pesanteur, nous suggérons une nouvelle fonction robuste, permettant ainsi d'atteindre simultanément une valeur maximale de point de rupture et une efficacité statistique élevée sous le modèle Gaussien des erreurs. Des tests ont été effectués à travers un jeu de données gravimétriques et les résultats obtenus ont montré les performances et la puissance de cette technique.

## 2. Ajustement par les moindres carrés pondérés

L'estimation des valeurs du champ de pesanteur et des paramètres inconnus du gravimètre par la méthode des moindres carrés est basée sur le modèle de Gauss Markov.

L'équation d'observation s'écrit sous la forme [Touati, 2004] :

$$\Delta L_{i,j} + V_{i,j} = (\Delta F(z_j) - \Delta F(z_i)) + (D(t_j) - D(t_i)) + \Delta G \quad (1)$$

$V_{i,j}$  : Résidu de  $\Delta L_{i,j}$

$\Delta L_{i,j} = L_j - L_i$  : Observation relative entre  $i^{th}$  et  $j^{th}$  observations

$t_i, t_j$  : Temps de mesure

$\Delta F(z)$  : Fonction de calibration inconnue

$z$  : Lecture gravimétrique en unité de comptage (CU)

$D(t)$  : Dérive inconnue du gravimètre

$\Delta G$  : Différence de gravité entre la  $j^{i\grave{e}m}$  et la  $i^{i\grave{e}m}$  station.

Supposant  $m$  observations,  $n$  stations et  $u$  paramètres gravimétriques. Soit  $W$  la matrice du poids de  $\Delta L$ , la formulation matricielle des équations d'observation est donnée par :

$$\Delta L + V = AX \quad (2)$$

Avec,  $A$  la matrice de configuration et  $X$  vecteur de  $p$  inconnus ( $p = n + u$ ).

La solution par la méthode des moindres carrés est impossible sans l'introduction de contraintes supplémentaires. Ceci est dû au problème de déficit du rang [Hwang et al., 2002]. Dans le but d'obtenir une solution unique au sens des moindres carrés, deux méthodes peuvent être utilisées : la complémentation gravimétrique et les contraintes pondérées. Cette dernière est donnée par :

$$\hat{X} = (A^T W A + A_g^T W_g A_g)^{-1} (A^T W \Delta L + A_g^T W_g L_g) \quad (3)$$

Où  $A_g, L_g, W_g$ , sont respectivement la matrice de configuration des contraintes, le vecteur des valeurs de la gravité absolue des stations fixes et la matrice diagonale des contraintes.

## 3. Méthodes d'ajustement robuste

Les méthodes robustes procurent une procédure alternative, sans avoir besoin à identifier les aberrations ou de les exclure.

Elles utilisent toute l'information fournie par les données. De plus, en cas d'absence d'aberrations, elles donnent des résultats similaires à ceux obtenus par les moindres carrés. Nous citons essentiellement :

- Le M-Estimateur dont le principe consiste à minimiser la fonction score  $\rho(v)$  des résidus telle que [Huber, 1981] :

$$\hat{X}_M = \arg \min_X \sum_{i=1}^m \rho(v_i) \quad (4)$$

- L'estimation par la méthode LTS (Least Trimmed Squares) qui est basée sur la sommation des carrés des  $h$  plus petits résidus [Rousseeuw et al., 1987] :

$$\hat{X}_{LTS} = \arg \min_X \left( \sum_{i=1}^h v_{(i)}^2 \right) \quad (5)$$

- Les MM-Estimeurs qui sont basés sur la combinaison de deux techniques différentes : le M-Estimateur avec un autre estimateur de point de rupture élevé (ex. LTS).

### Estimation du facteur d'échelle

L'estimation robuste du facteur d'échelle est obtenue par la méthode de la médiane donnée par [Yang et al., 1999] :

$$\hat{\sigma} = \frac{1}{\Phi^{-1}(0.75)} \text{med}\{v_i\} \quad (6)$$

Où  $\Phi^{-1}(0.75) = 4.18$  permet d'avoir un biais nul sur l'estimation de  $\sigma$  lorsque la distribution des résidus est Gaussienne.

#### 4. Estimation par REWLSE

Considérant un couple de solutions initiales robustes pour les paramètres et le facteur d'échelle,  $\hat{X}_0$  et  $\hat{\sigma}_0$  respectivement. Les résidus normalisés sont définis comme suit :

$$\bar{v}_i = \frac{l_i - A_i \hat{X}_0^T}{\hat{\sigma}_0} \quad (7)$$

Une large valeur de  $\bar{v}_i$  suggère que la  $i^{me}$  observation soit aberrante.

##### 4.1 Seuil de coupure adapté

Afin de maintenir le point de rupture de l'estimateur initial, Gervini et Yohai (2002), ont proposé une stratégie de calcul du seuil de coupure adapté :

$$t_n = \min \left\{ t : F_n^+(t) \geq 1 - d_n \right\}^+ \quad (8)$$

Où  $F_n^+$  est la distribution empirique des résidus absolus et normalisés et  $d_n$  représente une mesure de la fraction des aberrations des observations donnée par :

$$d_n = \sup_{t \geq \eta} \left\{ \phi^+(t) - F_n^+(t) \right\}^+ \quad (9)$$

$\phi^+$  est la distribution hypothétique (loi normale dans notre cas) et  $\mu$  est le seuil de coupure initial, souvent pris entre 2.5 et 3.

##### 4.2 Détermination du poids

Avec le seuil de coupure adapté, la forme du poids  $W$  et l'estimateur REWLSE sont définis comme suit [Gervini et Yohai, 2002]:

$$T_{1n} = \begin{cases} (A^T W A)^{-1} A^T W L & \text{si } S_n > 0 \\ T_{0n} & \text{si } S_n = 0 \end{cases} \quad (10)$$

Le poids  $W$  est choisi de façon à avoir un rejet sévère sur les données aberrantes :

$$w_i = \begin{cases} 1 & \text{si } |\bar{v}_i| < t_n \\ 0 & \text{si } |\bar{v}_i| \geq t_n \end{cases} \quad (11)$$

$$W = \text{diag}(w_1, w_2, \dots, w_n)$$

Notons qu'avec ce poids, l'estimateur  $T_{1n}$  garde la même valeur du point de rupture de l'estimateur initial  $T_0$ .

##### 4.3 Adaptation de la technique REWLSE

aux données gravimétriques Afin d'obtenir une seule matrice de poids et de configuration, le système

décrivant le modèle d'ajustement par la méthode des moindres carrés pondérés (équation 3) a été modifié de la manière suivante :

$$A^T W A + A_g^T W_g A_g = M^T P M \quad (12)$$

$M$  et  $P$  sont respectivement les matrices de configuration et de poids modifiées.

L'estimateur des moindres carrés s'écrit alors :

$$T = (M^T P M)^{-1} M^T P L = q P L \quad (13)$$

L'estimation des données relatives du champ de pesanteur par la technique REWLSE en appliquant la fonction de poids précédente mène à un système singulier. L'objectif est alors de développer des fonctions de poids plus adaptées aux données gravimétriques afin d'avoir non seulement un système soluble, mais aussi d'obtenir une estimation robuste et efficace des paramètres inconnus. Dans le cas d'observations entachées d'erreurs ( $L_\delta = L + \delta$ ), toutes les estimations robustes utilisées dans l'ajustement des réseaux géodésiques ou gravimétriques peuvent s'écrire comme suit (Jianjun, 1996) :

$$T_\delta = (M^T P_\delta M)^{-1} M^T P_\delta L \quad (14)$$

Où  $P_\delta$  représente une fonction des résidus  $v$ .

En posons  $q = (M^T P_\delta M)^{-1} M^T$  et en supposant que  $q$  est approximativement invariable, nous obtenons :

$$T_\delta = q P_\delta L_\delta \quad (15)$$

La différence entre  $T_\delta$  et  $T$  s'écrit :

$$\Delta = T - T_\delta = q P L - q P_\delta L = q (P L - P_\delta L_\delta) \quad (16)$$

La distance moyenne entre les deux estimateurs :

$$Dm = E(\Delta^T \Delta) \quad (17)$$

En minimisant la distance  $Dm$ , on obtient la fonction de poids suivante :

$$P_\delta(i) = \begin{cases} P_i & \text{si } |\bar{v}_i| \leq t_n \\ P_i \cdot \frac{r_u}{S_n^2 \bar{v}_i^2} & \text{si } |\bar{v}_i| > t_n \end{cases} \quad (18)$$

$r_u$  est la redondance locale de la  $i^{me}$  mesure.

#### 5. Application

L'application a porté sur l'ajustement d'un réseau gravimétrique Taïwanais composé de 16 stations observées avec le gravimètre Lacoste & Romberg modèle G.

Les données gravimétriques utilisées sont constituées de 56 observations relatives d'écart-type s'étalant entre 30 et 50  $\mu\text{gal}$ . Le canevas comporte aussi 06 points absolus obtenus avec une précision de 2-3 $\mu\text{gal}$  (FG5).

La figure 1 illustre le diagramme de QQ-Normal des résidus robustes (à droite) et des résidus standard (à gauche).

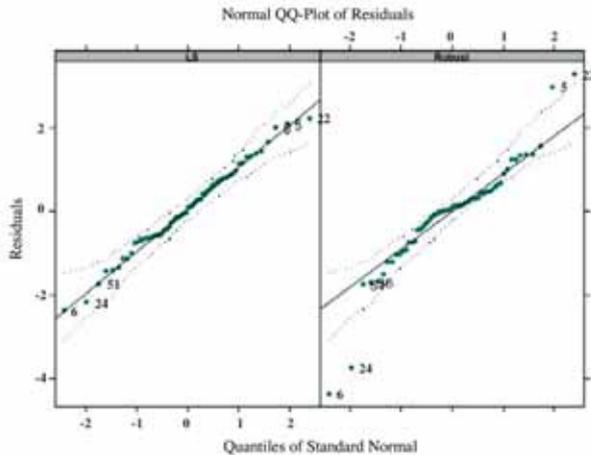


Fig. 1 Diagramme quantile-normale. Données réelles.

La figure (1) montre que la méthode robuste est très sensible aux observations aberrantes (5, 6, 22 et 24) et qu'elles peuvent être facilement détectées. En revanche, avec la méthode LS aucune observation aberrante n'a pu être décelée.

Pour illustrer les performances de la technique REWLSE, des tests ont été effectués en bruitant quelques observations telles que :

$$L_8 = L + K\sigma, \text{ avec } K=1, 2, 3 \text{ et } \sigma = 0.03 \text{ mgal}$$

Pour chaque valeur de K, on calcule les 3 estimateurs suivants :

- T1 : LS pondérée sans aberrations
- T2 : LS pondérée avec aberrations
- T3 : REWLSE avec aberrations

Ainsi que les deux distances :

- Dm1 : entre T1 et T2
- Dm2 : entre T1 et T3

Pour se prononcer sur l'efficacité statistique et sur la robustesse de REWLSE et du facteur d'échelle proposé, on calcule pour chaque valeur de K :

- l'erreur moyenne quadratique pondérée EMQ qui est une bonne indicatrice de l'efficacité statistique,
- le facteur d'échelle rob  $\hat{\sigma}_{rob}$
- les distances Dm1 et Dm2 qui sont des indicatrices de robustesse de l'estimateur, alors que la première.

Les tables 3, 4 et 5 fournissent les statistiques des résultats obtenus par les 3 estimateurs (T1, T2 et T3) pour chaque valeur de K.

Les distances Dm1 et Dm2 sont calculés pour 2 cas : le 1<sup>er</sup> cas (*valeur en gras*) a été obtenu en intégrant tous les paramètres inconnus (champ de pesanteur et les paramètres du gravimètre) et le 2<sup>ème</sup> cas a été déterminé uniquement en utilisant les valeurs du champ de pesanteur estimées.

Table (3). Statistiques des résultats obtenus par les 3 estimateurs (K=1).

	EMQ	$\hat{\sigma}_{rob}$	Dm1	Dm2
T2	1.88			
T1	0.99	0.028	<b>0.008/0.007</b>	<b>0.008/0.003</b>
T3	1.02			
$t_0 = 2.5, t_n = 2.64, \% \text{ d'erreurs détectées} = 8/10$				

Table (4). Statistiques des résultats obtenus par les 3 estimateurs (K=2).

	EMQ	$\hat{\sigma}_{rob}$	Dm1	Dm2
T2	3.08			
T1	0.99	0.030	<b>0.031/0.023</b>	<b>0.015/0.014</b>
T3	1.00			
$t_0 = 2.5, t_n = 5.48, \% \text{ d'erreurs détectées} = 10/10$				

Table (5). Statistiques des résultats obtenus par les 3 estimateurs (K=3).

	EMQ	$\hat{\sigma}_{rob}$	Dm1	Dm2
T2	4.52			
T1	0.99	0.026	<b>0.0728/0.573</b>	<b>0.003/0.001</b>
T3	0.97			
$t_0 = 2.5, t_n = 8.76, \% \text{ d'erreurs détectées} = 10/10$				

Les tables (3, 4 et 5) montrent clairement que l'EMQ obtenu par les estimateurs T1 et T3 est proche de l'unité, alors que celui déterminé par l'estimateur T2 est affecté par les aberrations. Le facteur d'échelle robuste rob  $\hat{\sigma}_{rob}$  est presque le même pour tous les cas (de 0.026 à 0.030 mgal) et il reflète parfaitement la précision du gravimètre utilisé (LCR G838).

Nous constatons d'après les tables 3, 4 et 5 que les valeurs de Dm1 s'amplifient au fur à mesure que le nombre et la magnitude des aberrations augmentent. Par contre, les valeurs de Dm2 restent toujours petites et insignifiantes. Cette distance dépend principalement du nombre d'aberrations détectées et de leurs positions dans les observations.

Ceci est bien sûr lié directement à l'efficacité de l'estimateur initial (LTS dans notre cas). Nous remarquons aussi, que la valeur de  $Dm_2$  est légèrement inférieure à celle obtenue en incluant tous les paramètres estimés ; Ce qui explique l'influence du modèle d'ajustement sur la robustesse de l'estimateur.

Notons que les valeurs du seuil de coupure adapté  $t_n$  augmentent avec la magnitude des aberrations.

## 6. Conclusion

Sur la base des statistiques calculées, l'étude menée dans ce présent travail nous a permis de conclure sur l'efficacité des méthodes robustes dans la réduction de l'influence des aberrations et les limites de la méthode des moindres carrés en présence d'observations erronées.

Avec l'estimateur REWLSE, nous avons pu estimer efficacement avec moins de biais les paramètres inconnus. En utilisant une valeur de coupure bien adaptée, l'estimateur REWLSE a bien gardé la puissance de l'estimateur initial (LTS) dans la détection des observations aberrantes. D'autre part, la fonction du poids que nous avons proposé a permis non seulement de surmonter le problème de déficit du rang, mais aussi d'estimer, avec fiabilité et moins de biais, les valeurs du champ de pesanteur et les paramètres du gravimètre. La difficulté de cette méthode réside dans sa solution initiale qui est basée sur des méthodes robustes avec un point de rupture élevé que quelques fois n'assurent pas toujours la détection efficace et l'identification correcte des aberrations lorsque la magnitude de celles-ci est relativement petite. La structure des données relatives de gravité complique aussi la tâche puisque une mesure aberrante sur le terrain conduit à un doublet d'observations aberrantes.

## Remerciements

Mes remerciements au Pr. Cheinway Hwang de National Chiao Tung University de Taiwan, pour avoir mis à ma disposition les données gravimétriques de Taiwan. Je tiens aussi à remercier Monsieur Daniel Gervini de l'université de Zurich pour son aide.

## Références bibliographiques

- M. Becker, 1989 : *Adjustment of microgravimetric measurements for detecting local and regional vertical displacements*. Gravity, Gradiometry, and Gravimetry, symposium No.103 : 149-161 Springer-Verlag.
- G. Csapo, M. Kis, L. Völgyesi, 2003: *Different adjustment methods for the Hungarian part of the unified Gravity Network*. XXIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics, Sapporo, Japan.
- D. Gervini, VJ. Yohai, 2002: *A class of robust and fully efficient regression estimators*. The annals of Statistics, Vol. 30, No.2, pp.583-616.
- G. Harnisch, 1993: *Systematic errors affecting the accuracy of high precision gravity measurements*. Geodesy and physics of the earth, International Association of Geodesy Symposia. Symposium N°112. Springer-Verlag.
- PJ. Huber, 1981: *Robust statistics*. Wiley, New York.
- C. Hwang, C. Wang, L. Lee, 2002: *Adjustment of gravity measurements using weighted and datum-free constraints*. Computers & Geosciences, Vol.28,pp.1005-1015.
- P. Junhuan, 2005: *The asymptotic variance covariance matrix, Baarda test and the reliability of L1-norm estimates*. J Geod DOI: 10.1007/s00190-004-0433-y.
- P.J. Rousseeuw, A.M. Leroy, 1987. *Robust regression and outlier detection*. Wiley, New York.
- F. Touati (2004) : *Méthodologie d'ajustement des mesures relatives de gravité*. Mémoire de magister en techniques spatiales et applications, CNTS.
- F. Wicki, 2001: *Robust estimator for the adjustment of geodetic networks*. Proceeding of the first international symposium on robust statistics and fuzzy techniques in geodesy and GIS. Report N0. 295, Institute of Geodesy and photogrammetry. ETH Zürich, pp 53-60.
- Y. Yang, MK. Cheng, CK. Shum, BD. Tapeley, 1999: *Robust estimation of systematic errors of satellite laser range*. J Geod 73:345-349.
- J. Zhu, 1996: *Robustness and the robust estimate*. J Geod 70: 586-590.

## Approche Cartographique de la Situation Socio-économique de l'Espace des Hautes Plaines Sud-oranaises

Mohamed HADEID  
Maître de Conférences  
Université d'Oran, Algérie

**ملخص :** السهوب الجزائرية تمثل مجالا متميزا مقارنة مع الأقاليم الطبيعية الأخرى للبلاد. بموقعها بين الأطلسين النثلي و الصحراوي، تمتد هذه السهوب على مساحة تقدر بـ 20 مليون هكتار. خصائصها البيوجغرافية ( طبوغرافيا، مناخ، نبات طبيعي،...) ليست ملائمة لتعمير سكاني كثيف، مع ذلك، هناك عدة تباينات يمكن استخلاصها مابين مختلف أجزاء هذا الإقليم الواسع. المطلوب هنا هو توضيح هذه الاختلافات مع التركيز على المكانة التي يشغلها إقليم السهوب الغربية مقارنة مع باقي إقليم السهوب. طريقة العمل المرتكزة على الكارتوغرافيا كانت أساس منهجيتنا بربط عدد من المعايير الطبيعية (طبوغرافيا، مناخ، نبات طبيعي)، والديمغرافية (عدد السكان، معدل النمو السكاني)، و الاقتصادية (بطالة، تجهيزات، هياكل).

**Résumé :** La steppe algérienne correspond à un espace assez spécifique par rapport aux autres ensembles naturels de l'Algérie. Située entre les deux Atlas tellien et Saharien, cette région s'étale sur une superficie de l'ordre de 20 millions d'hectares. Ses caractéristiques biogéographiques (topographie, climat, végétation,...) ne sont pas favorables à un peuplement dense ; toutefois, certaines nuances sont à signaler entre les différentes parties de cette région. Il s'agit de déterminer ces différenciations tout en mettant l'accent sur la place qu'occupe la steppe occidentale par rapport au reste. L'approche cartographique a été la base de notre méthodologie en mettant en relation un certain nombre de critères naturels (topographie, climat, végétation), démographiques (population, taux d'accroissement) et socio-économiques (chômage, équipement, infrastructures).

**Abstract:** Algerian steppe represent quite a specific space with regard to other natural regions, located between the Saharan and the Tell Atlas, this region spread out with the surface area of 20 millions hectares. Its biogeography characteristics (topography, climate, vegetation...) are not favourable to a dense populating; nevertheless some slight differences are worth to be indicated between the different areas of this region. The issue is to determine the differentiations and emphasizing the situation which hold western steppe compared with the rest. Cartography approach was the basis of our methodology by linking a certain number of natural criteria (topography, climate and vegetation), demographic (population, growth rate) and socio-economic (unemployment, public facilities).

### 1. Introduction

Les Hautes Plaines steppiques occidentales ne représentent qu'une partie de la steppe algérienne. Située entre les deux Atlas, tellien et saharien, cette zone n'est pas aussi homogène si on étudie ses différentes parties sur le plan naturel, démographique et économique.

Il s'agit dans cette recherche de distinguer la place que présente la steppe occidentale par rapport aux autres zones steppiques centrales et orientales. Pour ce faire, nous avons pu obtenir des données concernant la zone steppique algérienne, afin de permettre de la comparer à notre région et de déterminer sa situation démographique et socio-économique.

Les données recueillies ont été traduites graphiquement sous forme de cartes afin d'obtenir une vision claire de notre région parmi les autres parties centrales et orientales. Cela nous indique si les Hautes Plaines occidentales sont plus avantagées ou plus défavorisées sur un certain nombre de critères physiques (topographie, climat), démographiques (population, accroissement démographique) et socio-économiques (branches d'activités économiques, chômage, équipement éducatif, sanitaire). Notre approche cartographique s'est basée sur un logiciel type « SIG » où la fonction SQL a été la plus utilisée afin de croiser et traiter les données recueillies dans le but de situer notre région étudiée par rapport à l'ensemble steppique algérien.

**1- Sur le plan naturel : les Hautes Plaines sud-oranaises représentent un espace physique plus contraignant.**

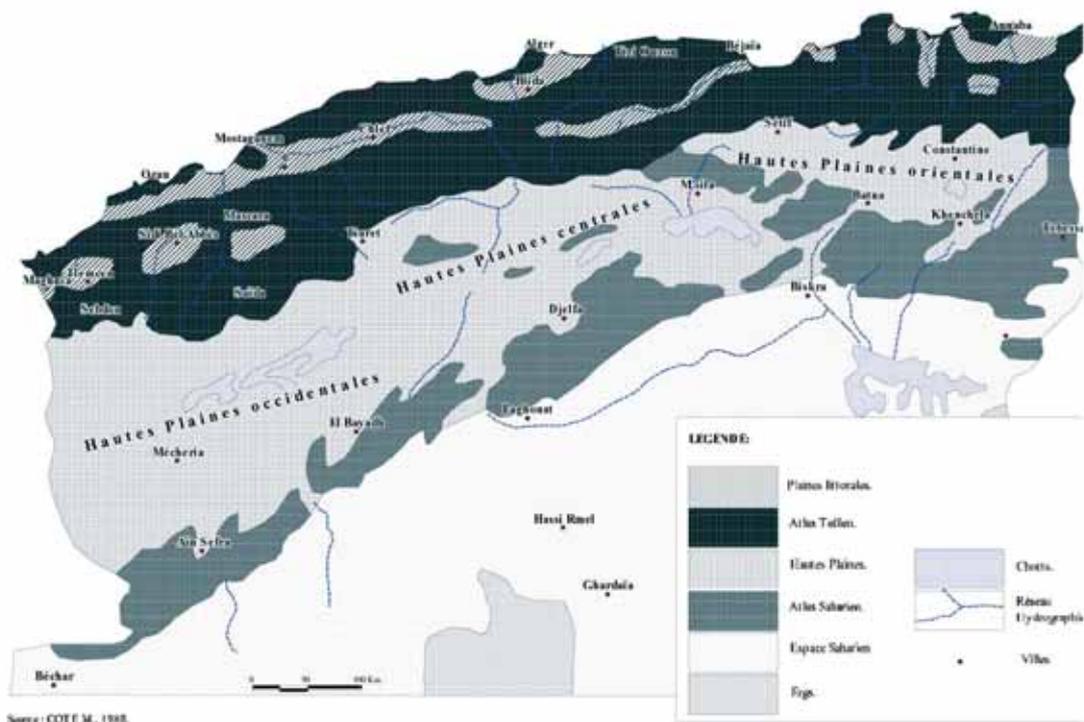
Sur le plan topographique, les Hautes Plaines sud-oranaises présentent des caractéristiques plus sommaires puisque les Hautes plaines se situent entre l'Atlas tellien et l'Atlas saharien. Il faut signaler que la steppe est plus large (250 à 350 km) dans sa partie occidentale et que cette bande se rétrécit au fur et à mesure que l'on se dirige vers l'Est où la steppe plus étroite semble enfermée par les deux Atlas. Cette bande large a rendu les Hautes Plaines sud-oranaises plus avantagées en matière de superficie puisqu'ils occupent plus de 45% de la surface totale de la steppe algérienne entière.

Sur le plan climatique, il est clair que la situation géographique des différentes parties de la steppe algérienne n'est pas identique. Les Hautes Plaines sud-oranaises sont plus méridionales que celles du Centre et plus encore que celles de l'Est. A titre d'exemple, Mécheria ville steppique de l'Ouest se situant du point de vue latitude à 33° nord se caractérise par un climat aride moyen, alors que Djelfa au centre à plus de 34° rentre dans l'étage aride supérieur ; plus à l'est, Cheria à plus de 35° possède l'étage semi-aride (H.N. LE HOUEROU, J. CLAUDIN, M. POUGET, 1977). Notons que ces trois étages bioclimatiques différents reçoivent des quantités de pluies différentes : la pluviométrie est de 400 à 600 mm pour l'étage semi-aride, de 300 à 400 mm pour celui de l'aride supérieur et de 200 à 300 mm pour l'aride moyen. Ainsi, cette situation

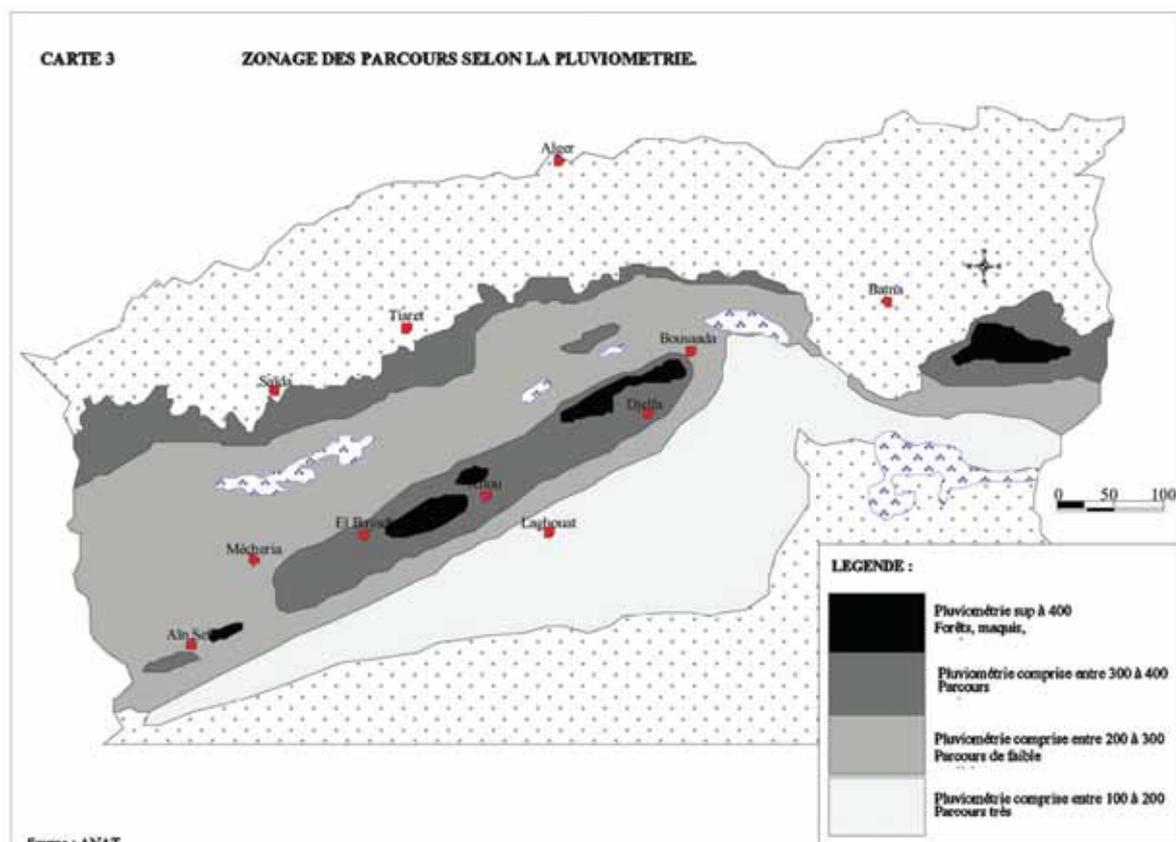
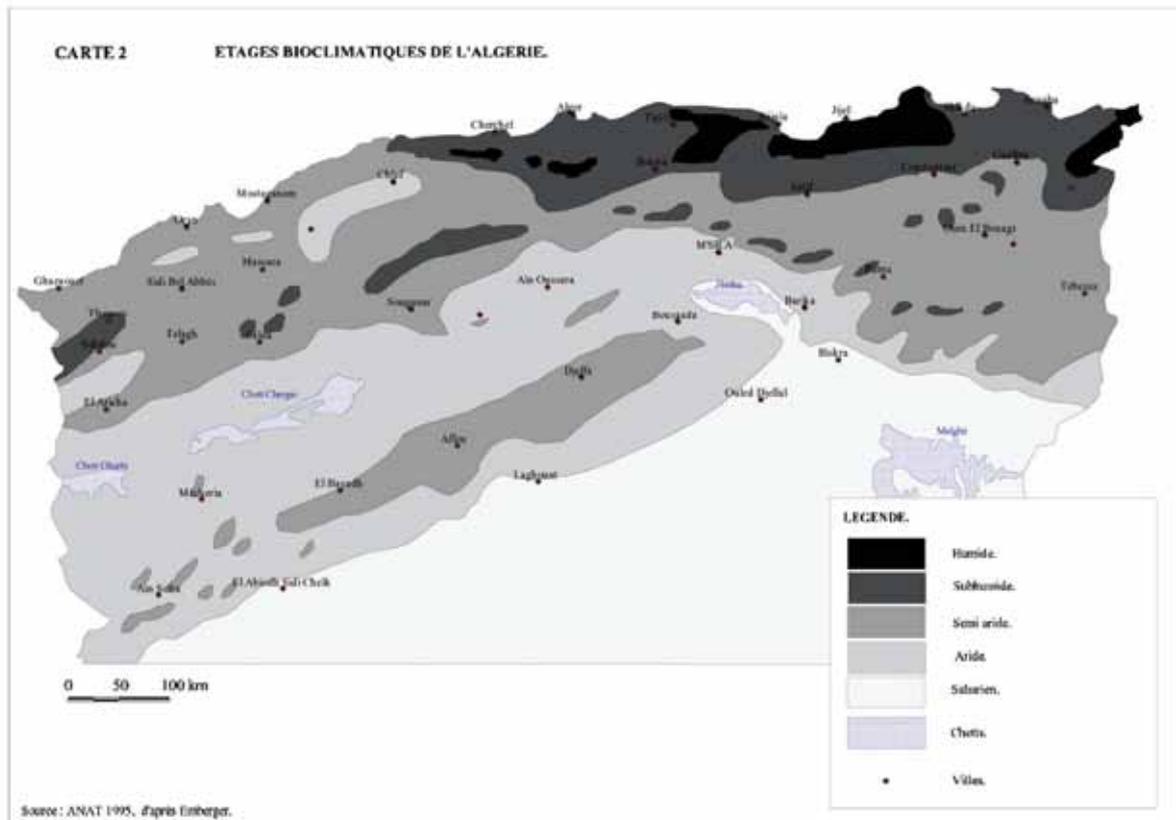
géographique nuancée rentre pour une grande part dans la répartition des étages bioclimatiques de la steppe algérienne. Par leur situation plus méridionale, les Hautes Plaines sud-oranaises se caractérisent beaucoup plus par un climat aride. Cette aridité est moins prononcée au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la zone Ouest, avec plus au moins des exceptions de part et d'autre. La partie centrale est presque intermédiaire en matière d'aridité, si on exclut le creux aride de la Hodna, alors que l'Est steppique apparaît moins aride que l'Ouest et le Centre puisqu'il est le plus arrosé. Cet étalage bioclimatique de l'espace steppique influe directement sur le plan biogéographique : la zone Est avec ses précipitations (plus de 400 mm) est dominée par les forêts, le maquis et les garrigues, éléments moins présents dans le Centre et l'Ouest. Les zones recevant de 300 à 400 mm sont aussi le lieu des vrais parcours, bien représentés en zone Est et sur les rares hauteurs de la zone Centre et Ouest. Les parcours de faible qualité où les précipitations n'atteignent pas les 300 mm dominent la région steppique de l'Ouest et secondairement du Centre. En zone Est, il n'occupe qu'une bande assez réduite.

De ce fait, les Hautes Plaines sud-oranaises sur le plan naturel apparaissent moins favorisées que le reste de la steppe algérienne. Elle est plus spacieuse certes, mais plus aride et donc moins accueillante pour les activités humaines.

CARTE 1 LIMITES NATURELLES DE LA STEPPE ALGERIENNE.



Source : COFF M., 1988.



## 2- Sur le plan démographique : les Hautes Plaines sud-oranaises est une région peu peuplée.

Sur le plan démographique, les Hautes Plaines sud-oranaises sont moins peuplées que les autres parties de la steppe algérienne. En effet, notre région ne représente pas plus qu'un dixième de la population steppique totale. Le peuplement de la steppe algérienne est beaucoup plus important dans la zone Centre et Est qui rassemblent la majorité de la population steppique (tableau 2). Toutefois, il faut bien souligner que les Hautes Plaines sud-oranaises, malgré un faible peuplement, s'étendent sur très grande superficie. Avec plus de 100 000 kilomètres carrés, les Hautes Plaines sud-oranaises représentent plus de 45% de la superficie totale de la steppe algérienne. De ce fait, il est évident que les densités de la steppe occidentale sont les plus faibles. Effectivement, si la densité moyenne de toute la steppe algérienne est de l'ordre de 15 hab/km<sup>2</sup>, les steppes centrales et orientales affichent une densité beaucoup plus conséquente dépassant les 24 hab/km<sup>2</sup>. Les Hautes Plaines sud-oranaises

n'atteignent pas 4 habitants au kilomètre carré (tableau 1).

Du point de vue de l'évolution démographique, les Hautes Plaines sud-oranaises présentent un autre élément de différenciation puisqu'elles connaissent un dynamisme démographique faible par rapport au reste de la steppe algérienne. Cette dernière frôle les 3%, taux supérieur à la moyenne nationale de 1987-1998, alors que les Steppes centrales et orientales ont cru plus vite avec 3.2%. Les Hautes Plaines sud-oranaises semblent perdre une partie de leur population puisqu'elles accusent un taux de 2.1% (tableau 2).

Les trois cartes 4, 5, 6 indiquent clairement en matière de densités, de répartition de la population et d'accroissement démographique, les nuances existantes entre la steppe occidentale et le reste de la steppe algérienne.

Tableau 1. Densité de la population steppique par région.

	Superficie	%	Densité (hab/km <sup>2</sup> )
Hautes Plaines sud-oranaises	111.527	45,1	3,4
HPS Centrales et orientales	135.693	54,9	24,2
Steppe algérienne	247.220	100,0	14,8

Source : RGPH 1987, 1998.

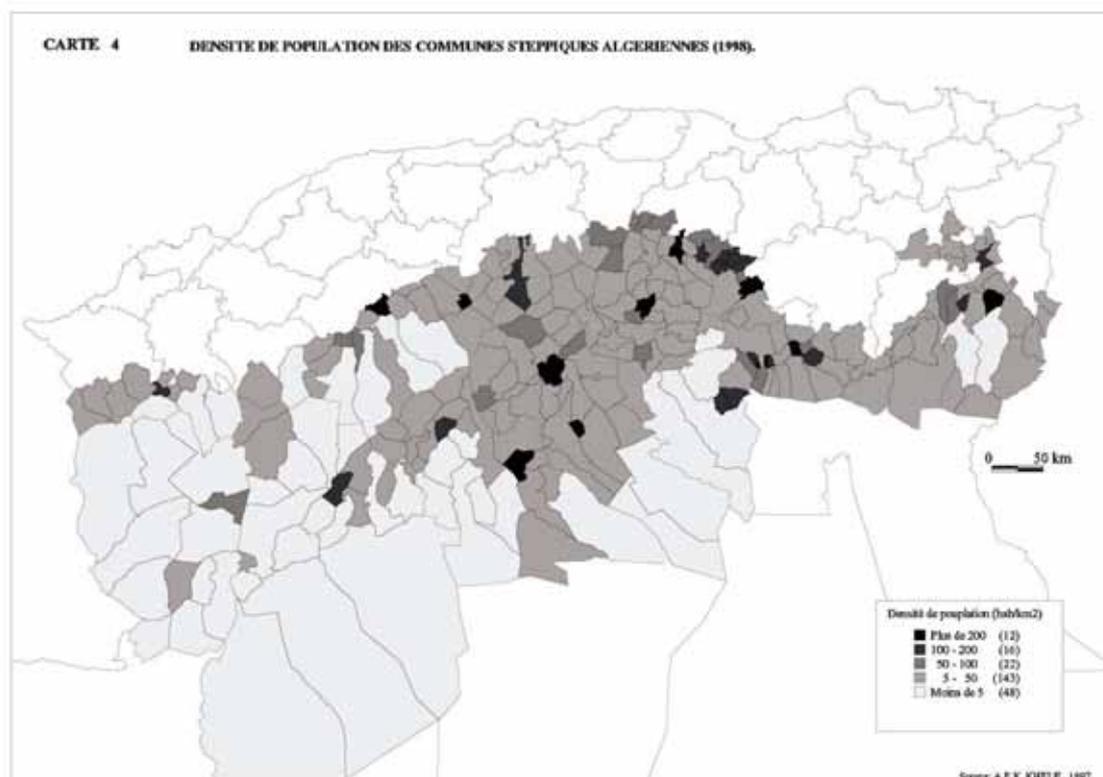
Tableau 2. Evolution de la population steppique par région.

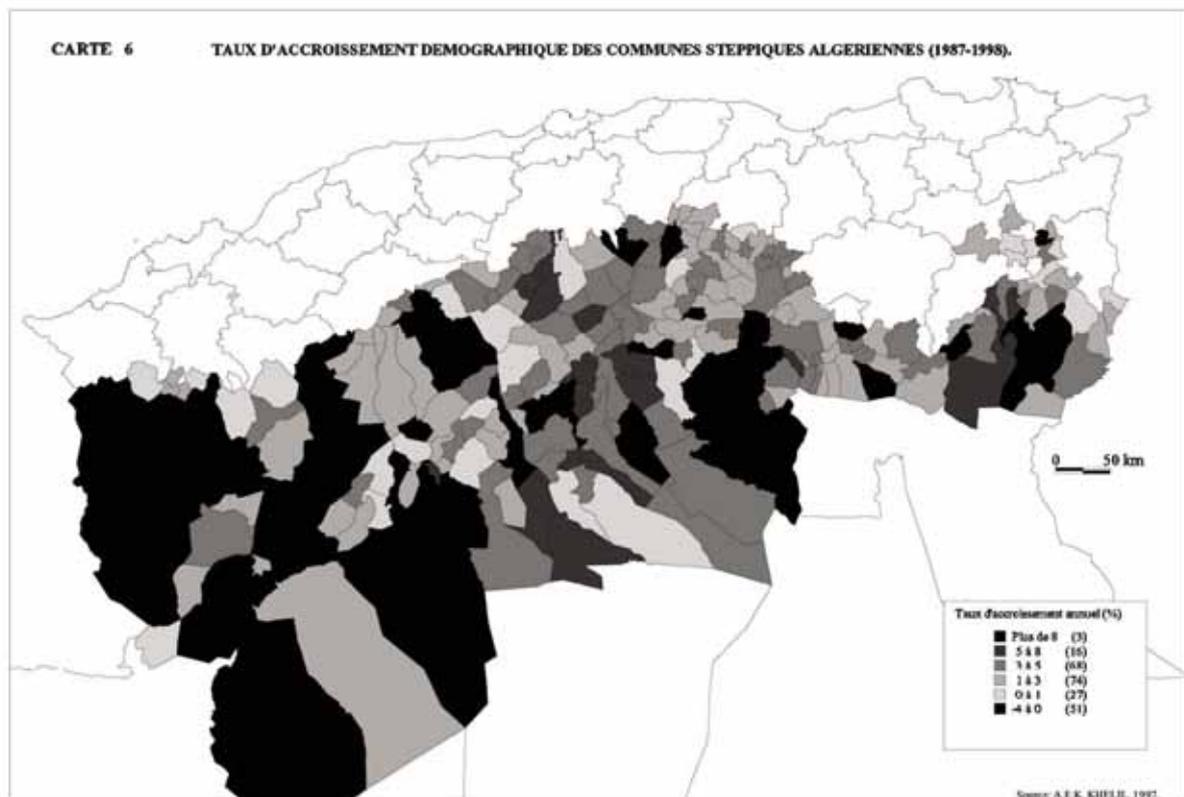
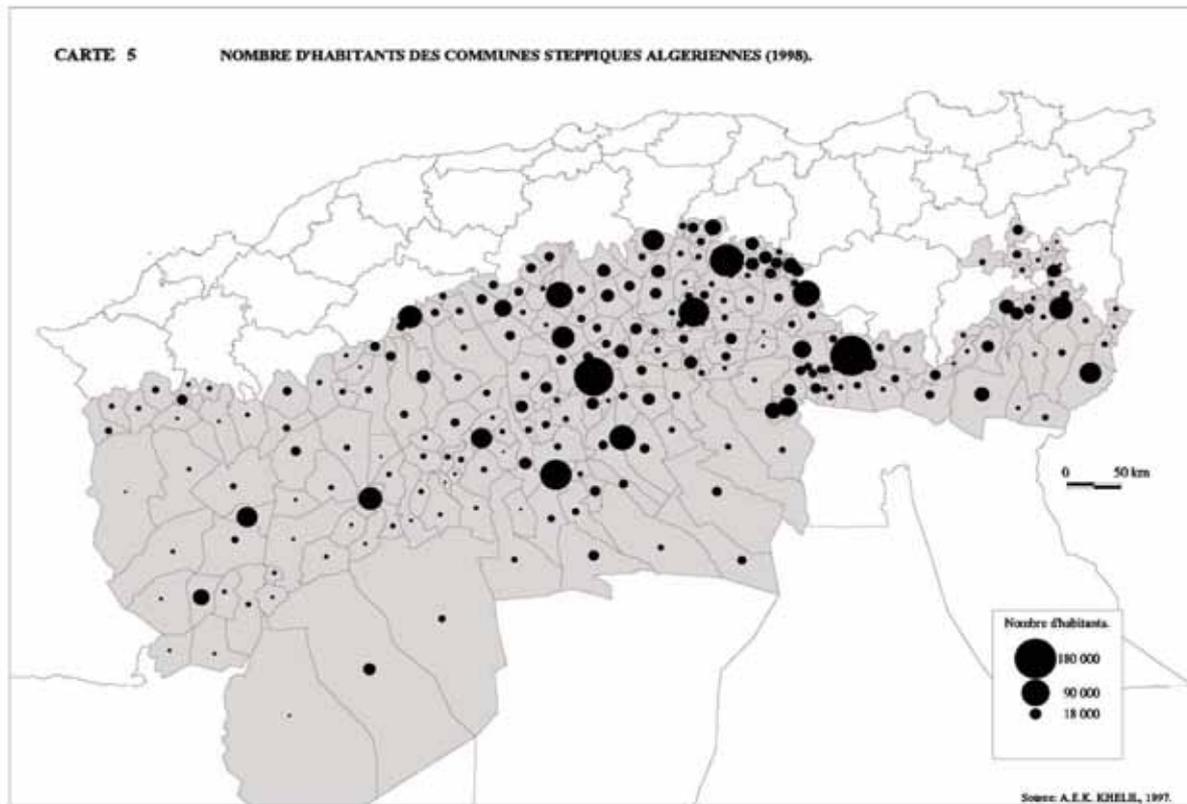
	Population en 1987	Population en 1998	(%)*	(%)**	T.A.A.(87/98)
Hautes Plaines sud-oranaises	346 091	435 452	12,9	11,7	2,1
HPS centrales et orientales (*)	2 328 742	3 278 320	87,1	88,3	3,2
Steppe algérienne	2 67 5124	3 654 917	100,0	100,0	2,9

Source : RGPH 1987, 1998.

\* : Part dans la population steppique totale en 1987.

\*\* : Part dans la population steppique totale en 1998.





### 3- Sur le plan socio-économique : les Hautes Plaines sud-oranaises sont moins déshéritées.

Effectivement, en étudiant les différents éléments de la vie socio-économique, les Hautes Plaines sud-oranaises semblent plus avantagées que le reste de la steppe algérienne.

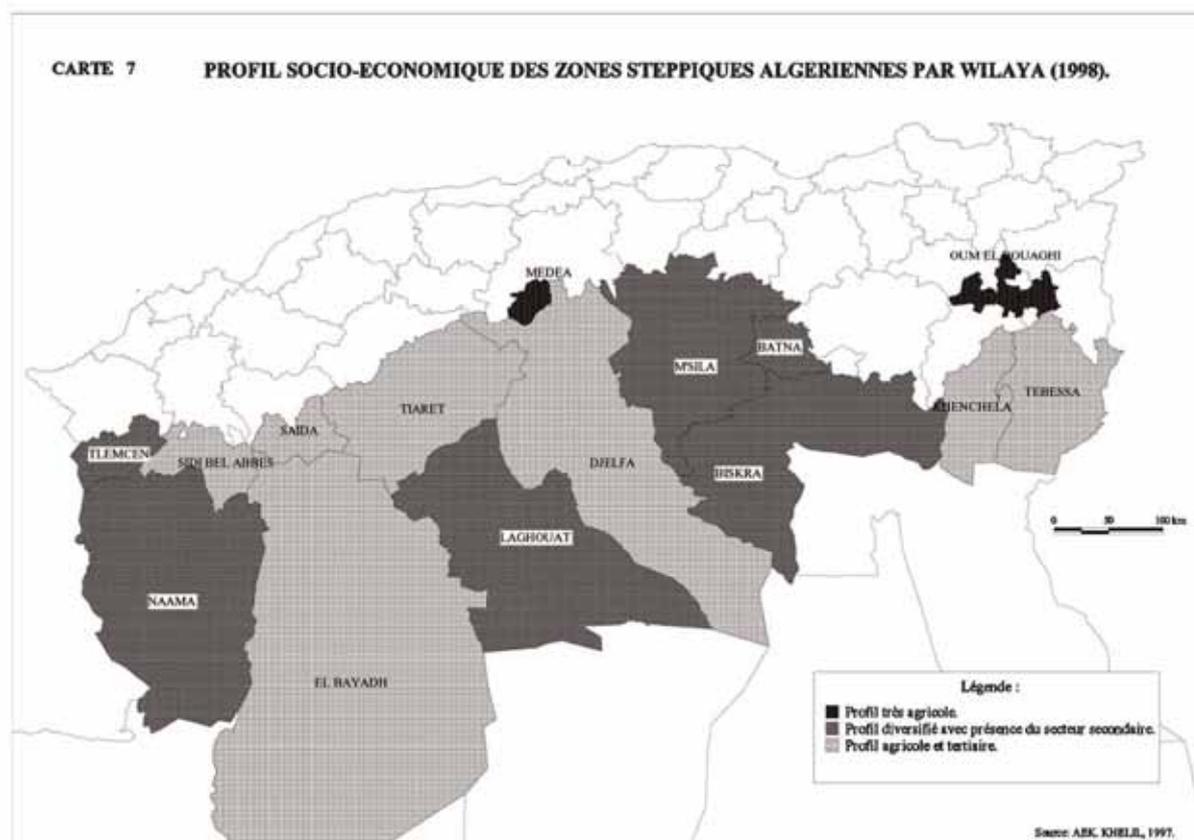
Si le profil socio-économique ne donne pas de spécialité particulière à notre région (carte 7), il n'en est pas le cas pour le taux de chômage.

Ce paramètre est plus important pour toute la steppe (24%) et il l'est plus pour les steppes centrales et orientales (25%), alors que le taux de chômage pour les Hautes Plaines sud-oranaises ne dépasse pas les 21%. Ainsi, en dépit des problèmes que connaît notre région en matière de développement, les difficultés économiques se concentrent plus nettement dans le reste de la steppe algérienne, notamment dans sa partie centrale (zone de Djelfa plus particulièrement) (tableau 3).

Tableau 3. Répartition de la population active dans la steppe algérienne.

	Population active	Population occupée	STR	Taux de chômage
Hautes Plaines sud-oranaises	108.980	86.094	22.886	21
HPS centrales et orientales (*)	717.156	539.648	177.508	25
Steppe algérienne	826.136	625.742	200.394	24

Source : RGPH 1987, 1998, A.E.K. KHELIL, 1997.



En matière d'infrastructures, on peut trouver les mêmes tendances. Qu'il s'agisse de l'alimentation en eau potable (AEP) ou de l'électrification rurale, la steppe occidentale présentent les meilleurs taux de satisfaction en dépassant la moyenne de toute la steppe (73%) ou celle des steppes centrales et orientales (72.4%) (tableau 4 et cartes 8 et 9). Quant aux équipements collectifs, les deux paramètres utilisés sont nuancés. En ce qui concerne l'éducation, le taux d'occupation par classe pour le premier, le deuxième et le troisième cycle, est à l'avantage des Hautes Plaines sud-oranaises qui abritent des classes moins chargées. Le même avantage est donné aux Hautes Plaines sud-oranaises lorsqu'il s'agit du taux de scolarisation et le taux

d'analphabétisme : notre région se porte bien mieux par rapport aux deux autres (steppe centrale et orientale) ; et si en matière de scolarisation, elles frôlent la moyenne nationale, les Hautes Plaines sud-oranaises sont moins analphabètes en la comparant à la moyenne nationale (tableau 6 et cartes 10 et 11). Concernant la santé, il semble que là où la steppe occidentale présente des problèmes car l'encadrement médical est plus faible ; les steppes centrales et orientales sont mieux encadrés. Toutefois, dans le détail, la carte représentant le nombre d'habitants par médecin indique que le sous-encadrement est présent sur toute la steppe algérienne, notamment dans sa partie occidentale (tableau 5 et carte 12).

Tableau 4. Taux d'équipement de la région steppique en AEP et en électricité.

	AEP	ELECTRICITE
Hautes Plaines sud-oranaises	83	75.6
HPS Centrales et orientales	80	72.4
Steppe algérienne	80	73.0

Source : A.E.K. KHELIL., 1997.

Tableau 5. Taux d'occupation par classe et d'encadrement médical dans la steppe algérienne.

	Premier et deuxième cycle	Troisième cycle	Habitants pour un médecin
Hautes Plaines sud-oranaises	25.5	21.3	3144
HPS Centrales et orientales	34.4	25.8	2057
Steppe algérienne	32.6	25.0	2271

Source : A.E.K. KHELIL., 1997.

Tableau 6. Taux de scolarisation et d'analphabétisme dans la steppe algérienne.

	Taux d'analphabétisme	Taux de scolarisation
Hautes Plaines sud-oranaises	37,6	78,5
HPS centrales	45,8	69,5
HPS orientales	39,2	65,8
Steppe algérienne	42,9	68,7
Algérie	31,7	80,7

Source : ONS, 1998.

#### 4- Synthèse des paramètres : les Hautes Plaines sud-oranaises ne sont pas aussi défavorisées.

Après avoir étudié un certain nombre de paramètres démographiques et socio-économiques, il s'est avéré que la région steppique occidentale est avantagée dans certains cas et ne l'est pas dans d'autres (la couverture médicale par exemple).

Cependant, il fallait trouver une synthèse des différents paramètres utilisés afin de connaître réellement la place des Hautes Plaines sud-oranaises dans l'ensemble steppique algérien. Pour ce faire, on a procédé en mettant en place un système de notation pour chaque élément utilisé.

Ce dernier est basé soit sur une notation classique sur 20 où cette note représente une situation meilleure ou bien en pourcentage (%) où la note 20 équivaut à 100%. Ainsi, après avoir noté chaque paramètre séparément, une moyenne a été effectuée pour trouver une certaine hiérarchie des communes steppiques. Les résultats qui ont été traduits sur une carte semblent donner un avantage à notre région puisque la majorité de ses communes sont au-dessus de la moyenne (50%) à l'exception faite de trois communes : Brézina, Kasdir et Redjem Demouche, alors que le reste des steppes centrales et orientales abritent une cinquantaine de communes dont la synthèse est en deçà de 50% (carte 13).

Ainsi, cette tentative de hiérarchie des communes steppiques en utilisant des paramètres démographiques et socio-économiques donne l'impression que les Hautes Plaines sud-oranaises sont favorisées en matière de développement et d'équipement. Mais en fait, l'interprétation très probable de ces résultats n'est-elle pas orientée beaucoup plus vers un sous-développement plus marqué des steppes centrales et orientales que les steppes occidentales ? Autrement dit, ce n'est pas les Hautes Plaines sud-oranaises qui sont développées, mais c'est le reste de la steppe qui est plus déshéritée que notre région.

### Conclusion

La place qu'occupe la région des Hautes Plaines sud-oranaises par rapport à l'ensemble de l'espace steppique national a été approchée par le biais de l'utilisation d'un certain nombre de critères sur le plan naturel (topographie, climat, végétation), démographique (population, taux d'accroissement) et sur le plan socio-économique (chômage, équipement, infrastructures). Le résultat par paramètre a mis en écart la région des Hautes Plaines sud-oranaises, en l'avantageant parfois et en les désavantageant d'autres fois.

Sur le plan naturel, il est clair que notre région est moins accueillante : des espaces vastes et ouverts marqués par l'aridité, là où les vents très forts n'ont aucun obstacle et une végétation discontinue et faible en couverture. Bref, les Hautes Plaines sud-oranaises sont vastes certes mais moins peuplées que le reste de la steppe. Le milieu naturel peu clément est défavorable à un peuplement dense de la région, contrairement au reste moins aride et plus peuplé. Le dynamisme démographique positif des steppes centrales et orientales, alors que les Hautes Plaines sud-oranaises ne semblent pas pouvoir retenir leur population, en est très probablement la preuve. Sur le plan socio-économique, là où notre région est plus favorisée est le taux de chômage. Cet aspect important est moins accentué dans les Hautes Plaines sud-oranaises que le reste de la steppe algérienne. De même, en matière d'infrastructures, elles sont un peu plus avantagées en matière d'approvisionnement

en eau potable et en électrification rurale. Elles le sont plus en matière d'équipements éducatifs puisqu'elles possèdent des classes moins chargées que le reste de la steppe algérienne. Ainsi, le taux de scolarisation dépassant la moyenne de la steppe algérienne ne nous étonne pas, de même pour le taux d'analphabétisme où les Hautes Plaines sud-oranaises sont plus favorisées.

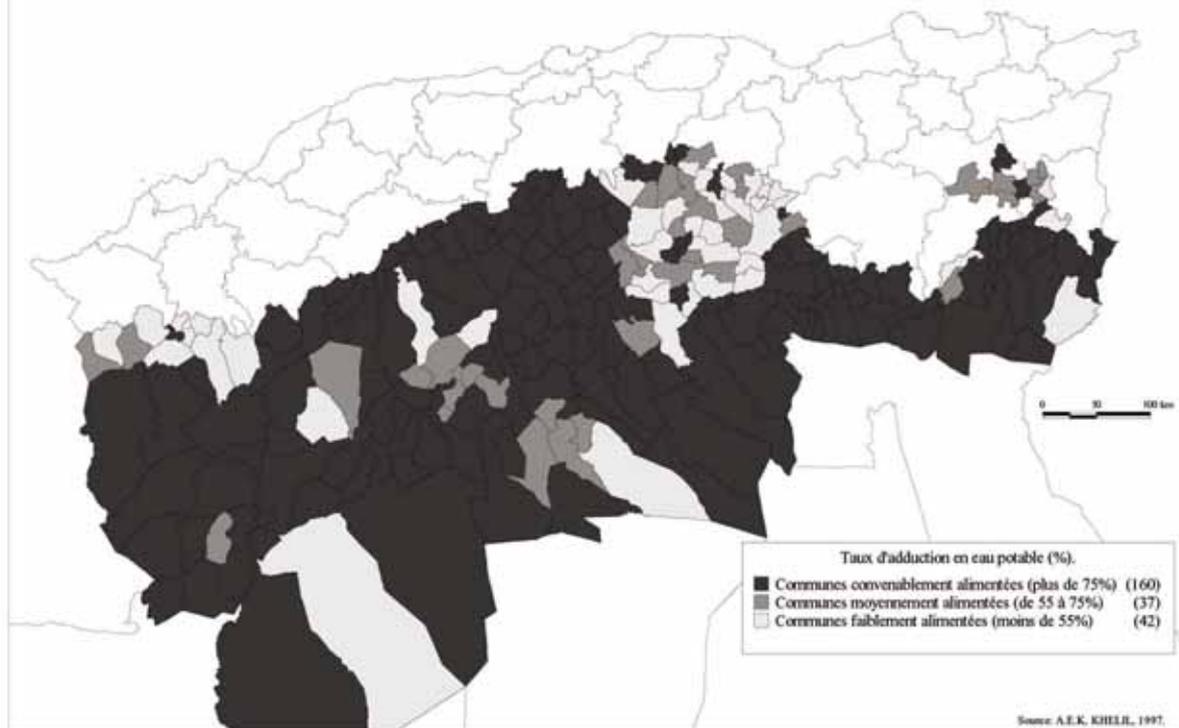
Seul, l'encadrement médical est insuffisant dans notre région, dans la mesure où elle accuse un déficit en matière de couverture médicale.

D'une manière générale, le regroupement de ces critères en essayant de les synthétiser, donne un résultat assez étonnant. En effet, malgré le milieu naturel peu clément, difficile des Hautes Plaines sud-oranaises, celles-ci sont un peu moins sous-équipées que la région steppique centrale et orientale. L'explication de ce phénomène n'est-elle pas liée aux problèmes socio-économiques que connaissent les steppes centrales et orientales qui les rendent semble-t-il plus déshéritées que les Hautes Plaines sud-oranaises. ?

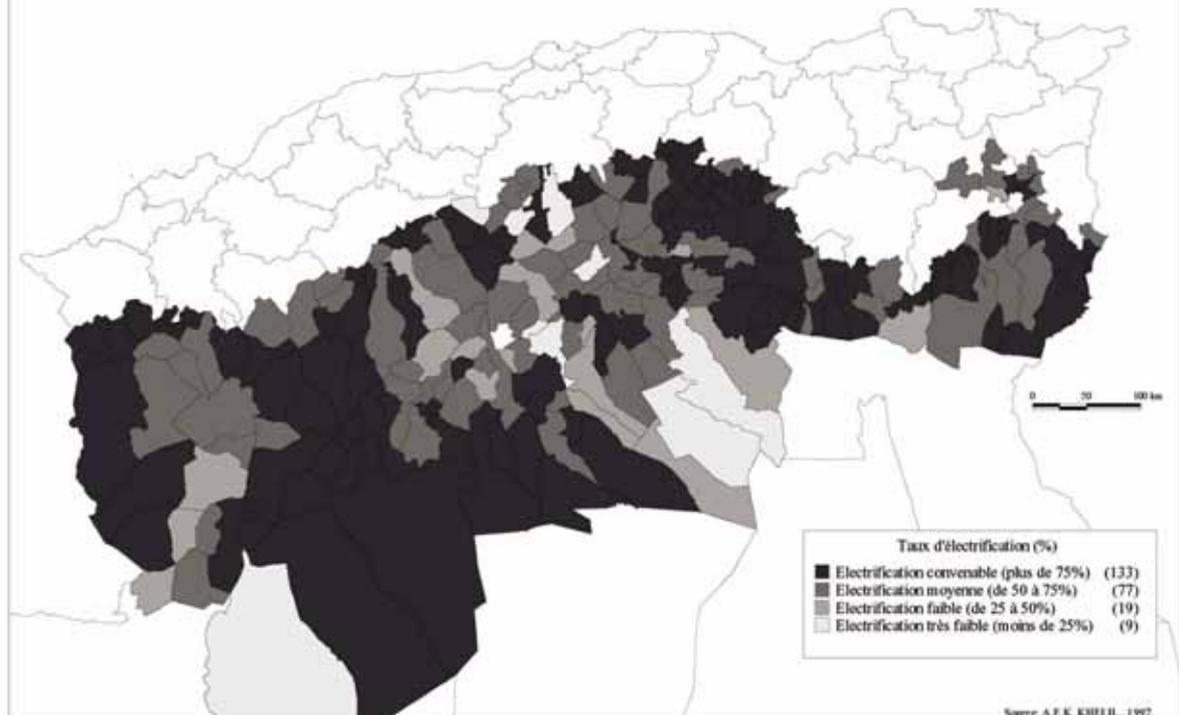
### Références bibliographiques

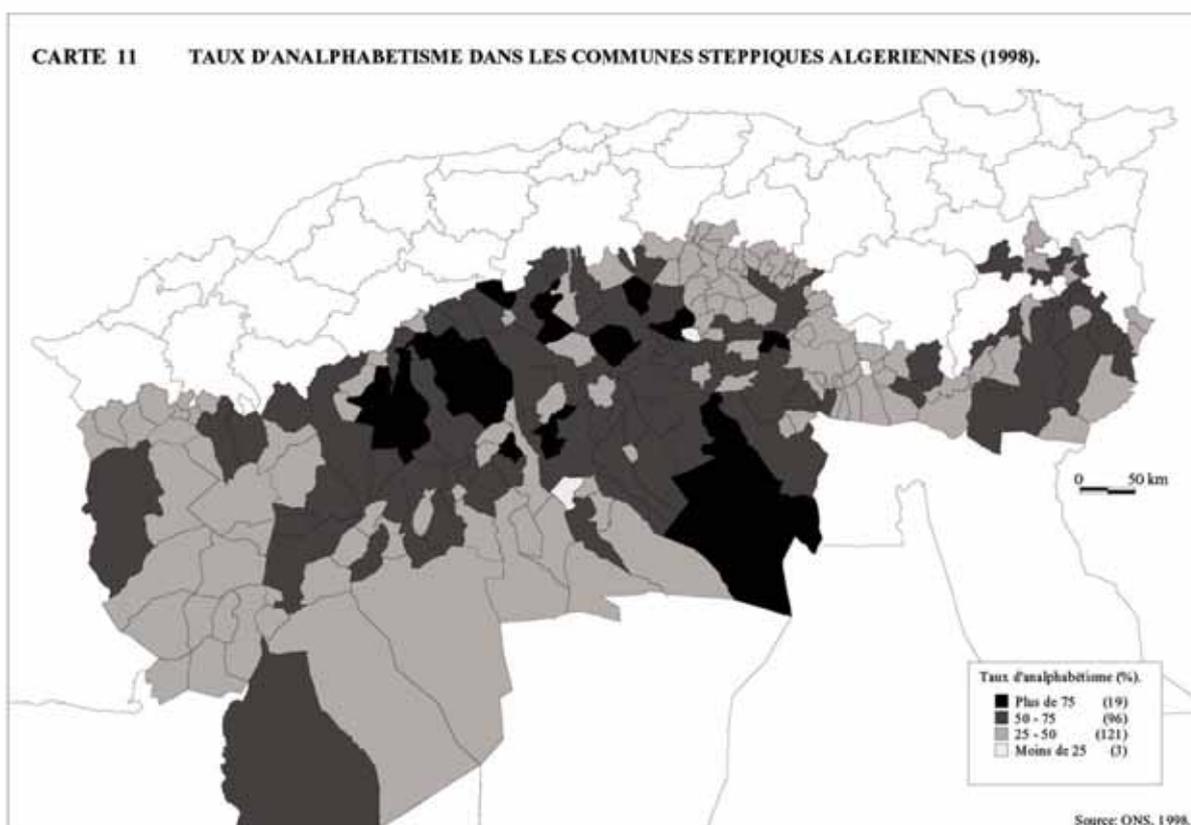
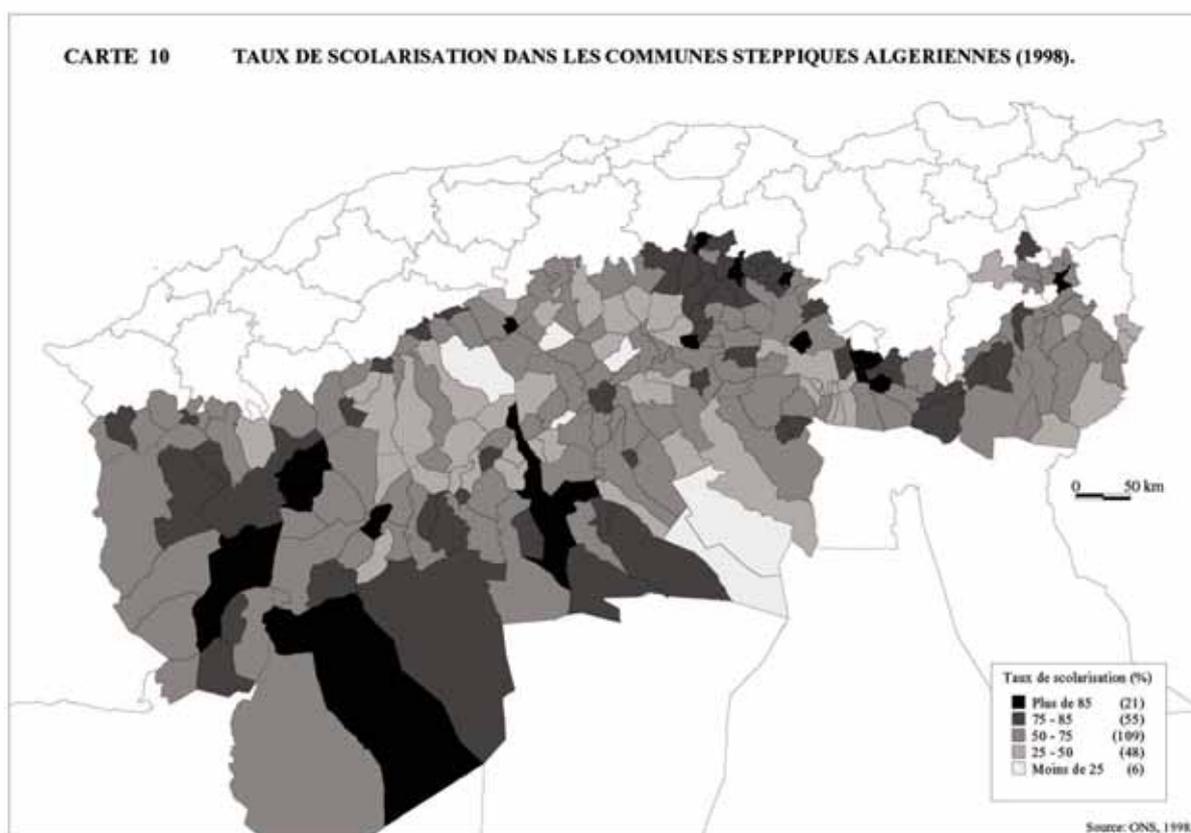
- Couderc R., 1979 : Géographie et développement: Les Hautes Steppes Sud-Oranaises. *Thèse de Doctorat d'État*, Géographie, Université de Montpellier III, 655 pages.
- Hadeid M., 2006 : Les mutations spatiales et sociales d'un espace à caractère steppique, le cas des Hautes Plaines sud-oranaises (Algérie), *Thèse de Doctorat d'État en Géographie*, option : aménagement de l'espace. Thèse soutenue dans le cadre de la co-tutelle entre l'Université d'Oran et l'Université de Franche-Comté (France), 509 pages.
- Khelil A., 1997 : *L'écosystème steppique : Quel avenir*. Editions Dahleb, Alger, 187 pages.
- Le Houerou H.N., Claudin J., Pouget M., 1977 : *Etude bioclimatique des steppes algériennes*. In Bull. Soc. Hist. Nat de l'Afrique du Nord, t : 68, fasc. 3 et 4, Alger.

**CARTE 8 TAUX D'ADDUCTION EN EAU POTABLE DANS LES COMMUNES STEPMIQUES ALGERIENNES.**

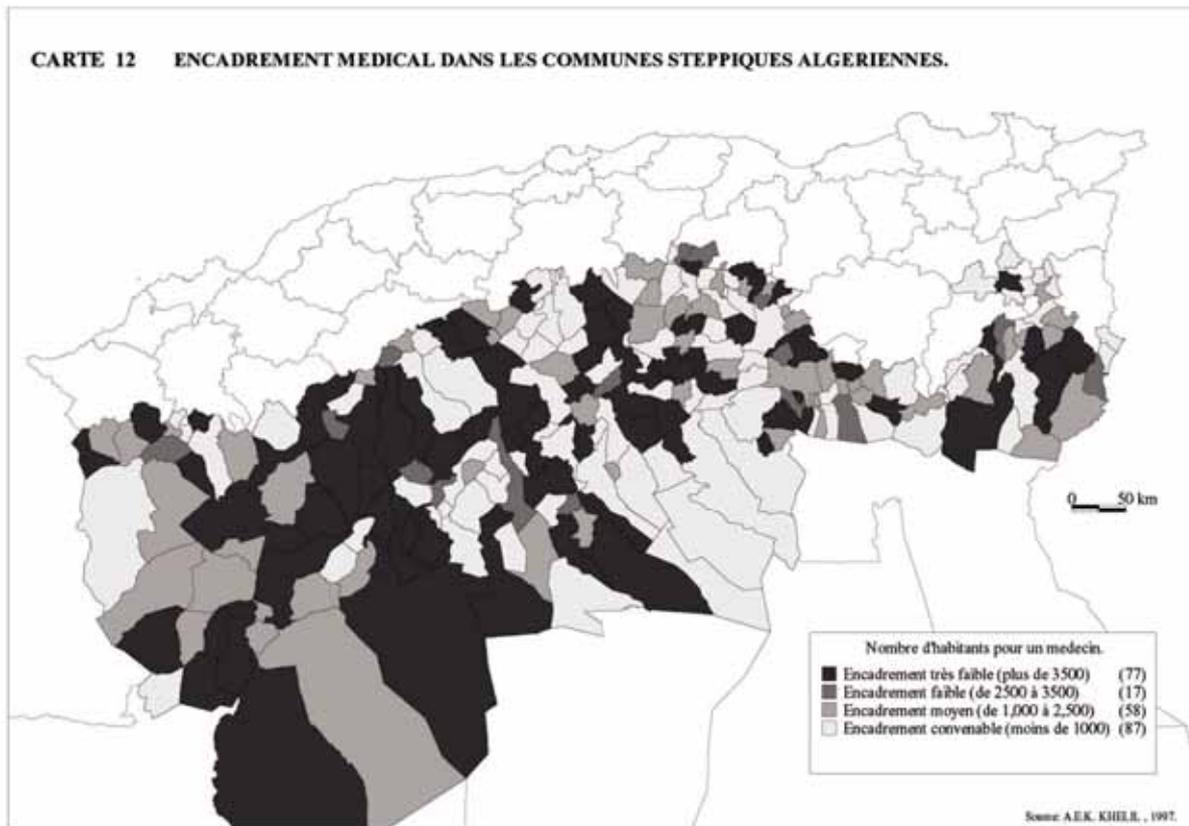


**CARTE 9 TAUX D'ELECTRIFICATION RURALE DANS LES COMMUNES STEPMIQUES ALGERIENNES.**

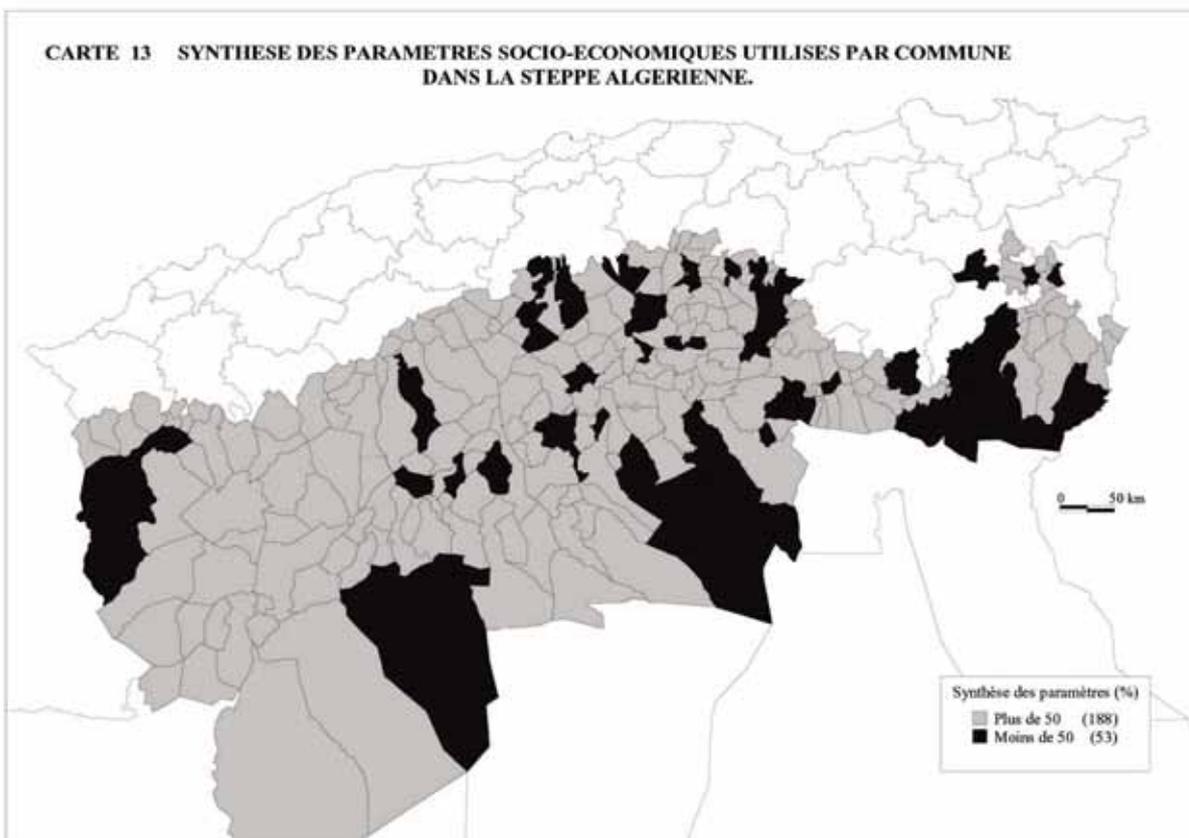




**CARTE 12 ENCADREMENT MEDICAL DANS LES COMMUNES STEPPIQUES ALGERIENNES.**



**CARTE 13 SYNTHESE DES PARAMETRES SOCIO-ECONOMIQUES UTILISES PAR COMMUNE DANS LA STEPPE ALGERIENNE.**



## Une Nouvelle Cartographie du Déficit Hydrique : Application à l'Est Algérien (et l'Algérie du Nord)

Azzedine MEBARKI

Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de l'Aménagement du Territoire  
Laboratoire d'Aménagement du Territoire,  
Université Mentouri de Constantine  
E-mail : mebarki\_azzedine@yahoo.fr

**ملخص :** اعتمادا على المعطيات المناخية الشهرية الموجودة على شكل شبكات رقمية للتساقط و التبخر - النتج الممكن، فضلا عن تحديد قيمة مرجعية قصوى للمخزون النافع للتربة، تم تعميم على منطقة الشرق الجزائري حساب الموازنة المائية وفق طريقة ثورنتوايت (Thornthwaite)، وذلك على مستوى كل عقدة من شبكة النموذج الرقمي لسطح الأرض (2 x 2 كلم).

تم بالتالي تقييم العجز المائي الزراعي و تمثيله في خرائط رقمية ( 12 خريطة للعجز الشهري و خريطة للعجز السنوي و خريطة أخرى لتساوي عدد الأشهر الجافة) و هي خرائط يعدها برنامج سورفر (SURFER). تترجم هذه الخرائط التباينات البيومناخية الكبرى للمنطقة حيث تتراوح القيم المتوسطة للعجز المائي السنوي بين 400 مم شمالا و ما يزيد عن 2000 مم جنوبا، في حين يزداد عدد الأشهر الجافة من 4 إلى 12 في السنة. تعتبر الخرائط المنجزة وسيلة للتقييم الشامل و السريع لحاجيات السقي الزراعي، و هي كفيلة بالتعميم على تراب الشمال الجزائري.

**Résumé :** L'exploitation des bases de données climatologiques, disponibles sous forme de grilles mensuelles de précipitations (P) et d'évapo-transpirations potentielles (ETP), a permis de généraliser le calcul du bilan hydrique de Thornthwaite, sur un maillage du MNT de 2 km de côté couvrant l'Est algérien. En se fixant une valeur maximale standard de la réserve facilement utilisable (RFU), la modélisation, à l'échelle mensuelle, du passage de l'ETP à l'ETR (évapotranspiration réelle) a conduit à estimer le déficit en eau agricole (Da) en chaque nœud de la grille, donnant lieu à la confection sous SURFER de 12 cartes mensuelles et d'une carte annuelle du déficit, en plus d'une carte annuelle d'iso-"mois secs". Reflet de la brutalité des contrastes bioclimatiques caractérisant la région, le déficit hydrique varie, en année moyenne, de 400 mm au Nord à plus de 2 000 mm au Sud, alors que la durée du stress hydrique passe de 4 à 12 mois dans l'année. Ces cartes, généralisées à l'Algérie du Nord, sont un moyen d'établir une évaluation globale des besoins en eau d'irrigation.

**Mots Clés :** Grille d'information, déficit hydrique, mois sec, cartographie automatique, Est algérien, Algérie du Nord.

**Abstract :** The grid data of monthly rainfall and potential evapotranspiration have allowed the assessment of the Thornthwaite water balance, on a regular digitalized grid of 2 km of side covering eastern Algeria. A maximum value of soil water

content was set in order to modelling actual evapotranspiration (from potential evapotranspiration) and to assess monthly agricultural water deficit at each node of the grid. So 12 monthly maps and an annual one of water deficit were elaborated with SURFER. Moreover, a zoning map of equally dry periods was drawn. Because of the major climatic contrasts, the annual agricultural water deficit varies from 400 mm in the North to more than 2000 mm in the South and the dry periods from 4 to 12 months in the year. This approach is generalized to northern Algeria and the established maps are ready to be used in the evaluation of irrigation requirements.

### 1. Introduction

Sous le climat méditerranéen, l'indigence pluviométrique en saison sèche, conjuguée à une évapotranspiration élevée, se traduit par des déficits hydriques très marqués. Calculés suivant la démarche simplifiée du bilan de Thornthwaite, les déficits mensuels en eau agricole se prêtent à l'interpolation spatiale (Mebarki A., 2005). Ils sont appréhendés à l'échelle de l'Est algérien, région climatiquement la plus variée du pays (Côte M., 1998). La cartographie qui en résulte, généralisée à l'ensemble de l'Algérie du Nord, se veut être un outil d'évaluation globale des besoins en eau d'irrigation et de la durée de la saison agronomiquement sèche (Mebarki A., 2007).

## 2. Approche hydroclimatique du déficit hydrique

Pour obtenir des résultats satisfaisants sous le climat algérien, le bilan est établi en estimant l'évapotranspiration potentielle à l'aide de la formule dite "ETP A.N.R.H" (relation calée sur le modèle de Penman et écrite sous forme simplifiée pour l'adapter à la formule de Blaney et Criddle) (A.N.R.H., 2002) :

$$\text{ETP A.N.R.H} = K_r * K_m * (H - 187) * (0,032 t + 0,077)$$

La valorisation des données de températures mensuelles disponibles ( $t$  en °C), la mise au point de deux coefficients correctifs, mensuel ( $K_m$  compris entre 0,90 et 1,22) et régional ( $K_r$  lu sur une carte d'isolignes variant entre 0,85 et 1,25), et enfin la prise en compte de la durée théorique des jours du mois ( $H$  en heures par mois) ont présidé à la mise en oeuvre de cette nouvelle formule algérienne (ETP en mm/mois).

La quantité d'eau stockée dans la réserve facilement utilisable (RFU), pouvant être reprise pour l'évaporation par l'intermédiaire des plantes, est bornée par 0 (la RFU vide) et RFU max (capacité maximale de la RFU dont la valeur varie essentiellement en fonction de la nature du sol - texture et structure- et de la profondeur d'enracinement de la végétation) (Cosandey Cl. et Robinson M., 2000).

On admet que la satisfaction de l'ETP a priorité sur l'écoulement (avant qu'il n'y ait d'écoulement, il faut avoir satisfait le pouvoir évaporant de l'atmosphère :  $\text{ETP} = \text{ETR}$  ou évapotranspiration réelle). Par ailleurs, la complétion de la RFU est également prioritaire sur l'écoulement.

On établit ainsi un bilan à l'échelle mensuelle, à partir de la pluie  $P$ , de l'ETP et de la RFU (Laborde J-P., 2000a) :

Si  $P > \text{ETP}$ , alors :

- $\text{ETR} = \text{ETP}$
- L'excédent des précipitations sur l'évapotranspiration potentielle ( $P - \text{ETP}$ ) est affecté en premier lieu à la RFU, et si la RFU est complète, à l'écoulement  $Q$  ;

Si  $P < \text{ETP}$  :

- on évapore toute la pluie et on prend à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'ETR soit :

$$\text{ETR} = P + \min(\text{RFU du mois précédent} ; \text{ETP} - P)$$

$$\text{RFU} = 0 \text{ ou RFU du mois précédent} + P - \text{ETP}$$

- si  $\text{RFU} = 0$ , la quantité ( $\text{ETP} - \text{ETR}$ ) représente le déficit agricole  $Da$  (water deficiency de Thornthwaite), quantité d'eau, correspondant sensiblement à l'apport d'irrigation, qu'il faudrait fournir à la plante

pour qu'elle évapore au taux maximum.

Connaissant pour chaque mois  $i$  les valeurs de  $P$  et de  $\text{ETP}$ , et considérant une  $\text{RFU max}$  égale à 100 mm (valeur à adapter à chaque cas particulier), le calcul automatique des autres éléments du bilan s'écrit, sur le tableur Excel, à l'aide des fonctions suivantes (Laborde J-P., 2000b) :

$$\text{ETR mois}_i = \min(\text{ETP mois}_i ; P \text{ mois}_i + \text{RFU mois}_{i-1})$$

$$\text{RFU mois}_i = \min(\text{RFU max} ; \text{RFU mois}_{i-1} + P \text{ mois}_i - \text{ETR mois}_i)$$

$$Da \text{ mois}_i = \text{si} (\text{ETP mois}_i > \text{ETR mois}_i ; \text{ETP mois}_i - \text{ETR mois}_i ; \ll \gg)$$

## 3. Cartographie automatique des déficits mensuels

### 3.1 Les grilles d'information utilisées

Les données climatologiques, exploitées à l'échelle mensuelle interannuelle, sont le résultat d'un long travail de traitement des données d'observation et de leur valorisation à l'aide du MNT (Modèle Numérique de Terrain) (A.N.R.H., 2002 ; A.N.R.H.-G.T.Z., 2003).

Les grilles des précipitations mensuelles (série trentenaire : de septembre 1965 à août 1995) ont été établies de façon à respecter les relations entre les pluies mensuelles médianes et le relief de même que la distribution statistique dissymétrique, au pas de temps mensuel, des précipitations. Aussi, ces grilles tiennent-elles compte de la forte anisotropie spatiale du phénomène (Laborde J-P. et al. 2003). S'agissant des grilles des ETP mensuelles, elles ont été élaborées après avoir cartographié les deux principaux paramètres climatiques explicatifs: régression température-relief et spatialisation de l'information thermométrique ; interpolation de la durée théorique de l'insolation du mois, paramètre étroitement lié à la latitude.

### 3.2. Construction de la carte des déficits mensuels en eau agricole

Ces grilles d'informations épousant le quadrillage kilométrique de Lambert (système de projection de l'Algérie du Nord) ont permis d'extraire, sous Excel, les valeurs de  $P$  et de  $\text{ETP}$  aux noeuds de chaque maille de 2 km x 2 km, et de calculer (méthode du bilan), pour chacun des 12 mois de l'année, 33 200 valeurs (200 colonnes x 166 lignes) de déficit agricole  $Da$ .

Les résultats de  $Da$ , obtenus sur une feuille Excel et transférés sur le tableur Worksheet du logiciel SURFER, ont été ensuite élaborés, mois par mois, sous forme d'une grille (Grid data), prête à l'interpolation spatiale (Contours map) et donc à la construction de la carte finale (fig. 1).

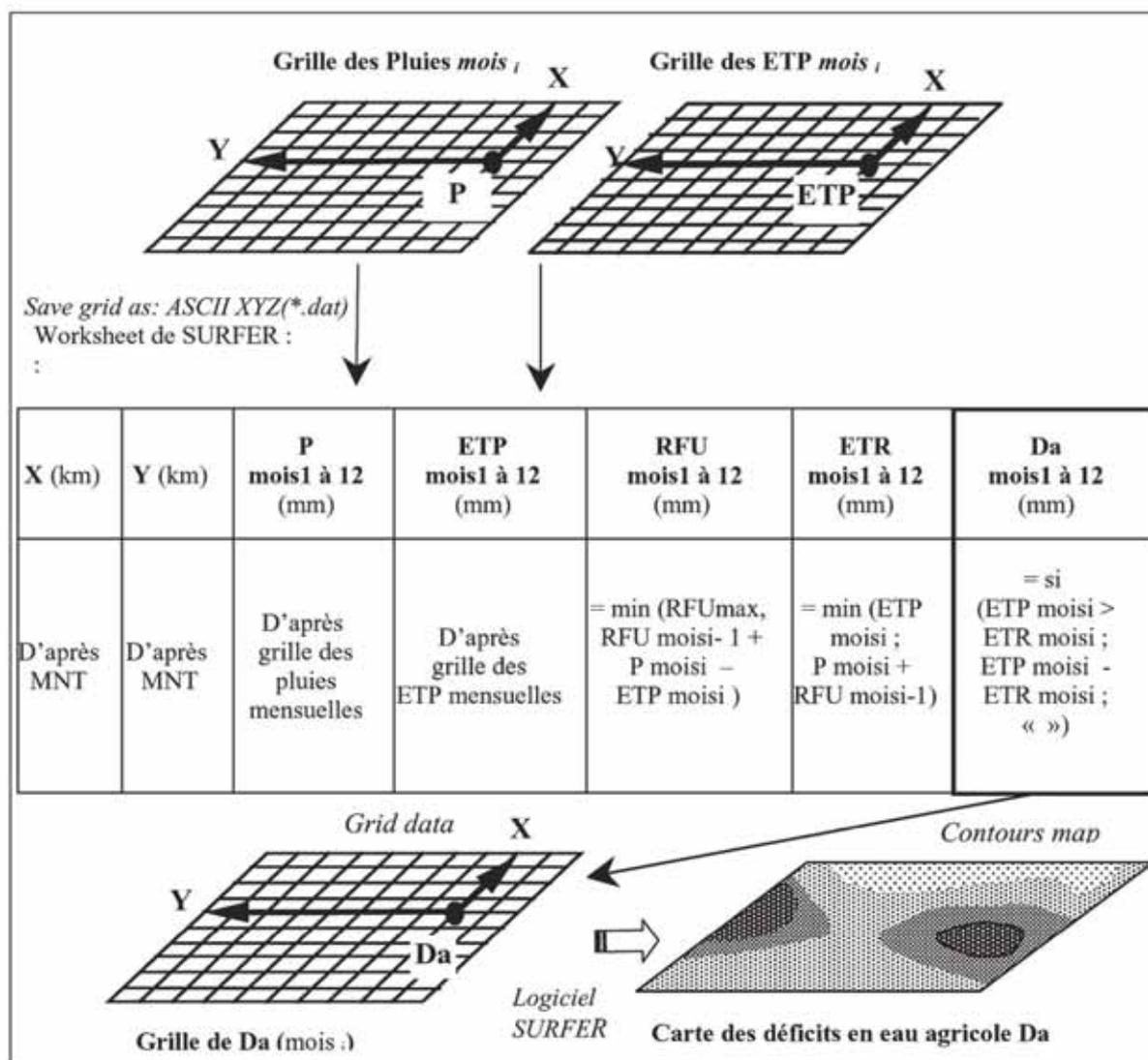


Fig. 1 Etapes de construction d'une carte des déficits mensuels en eau agricole (Da).

La carte du déficit en eau agricole du mois d'avril, présentée à titre d'exemple, est le résultat du croisement des grilles de l'ETP et de P du mois considéré (fig. 2, 3 et 4).

Elle reflète bien la variabilité spatiale du déficit : de l'ordre de 0-20 mm sur le littoral et la chaîne tellienne, Da passe à 80 mm sur les Hautes Plaines et atteint 140-200 mm sur le Piémont Sud de l'Atlas saharien.

#### 4. Cartographie des zones d'iso-"mois secs"

Considérant l'échelle de travail et par souci de simplification, est considéré comme "mois sec" tout mois de l'année où l'on enregistre un déficit agricole, la réserve hydrique du sol étant épuisée. Ce sont donc les mois qui traduisent un besoin d'irrigation. Le nombre annuel des mois secs N est obtenu aux nœuds de chaque maille élémentaire. Le tableau 1 en donne un exemple à l'aide de l'application de la fonction suivante sur Excel :

$$= \text{si} (\text{Da} = "0"; "0"; "1")$$

Tableau 1. Exemple de répartition annuelle des "mois secs" aux nœuds du maillage

X (km)	Y (km)	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Jun	Juil.	Août	N nombre de mois secs
1046	380	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	6
1048	380	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	7
650	382	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	6
652	382	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	5
654	382	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	4

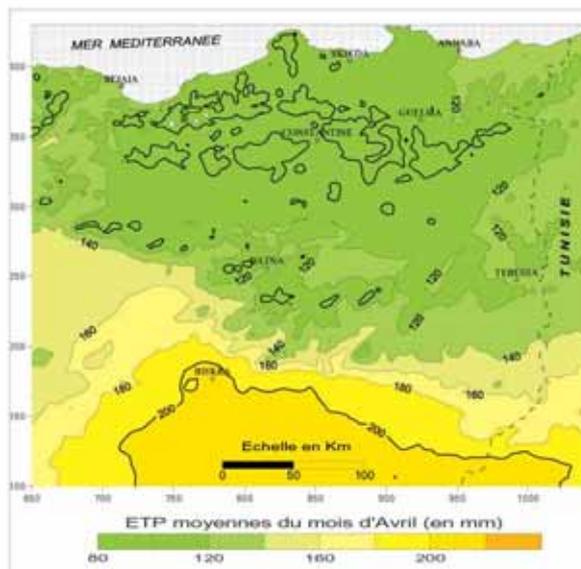


Fig. 2 ETP du mois d'Avril (Est algérien).

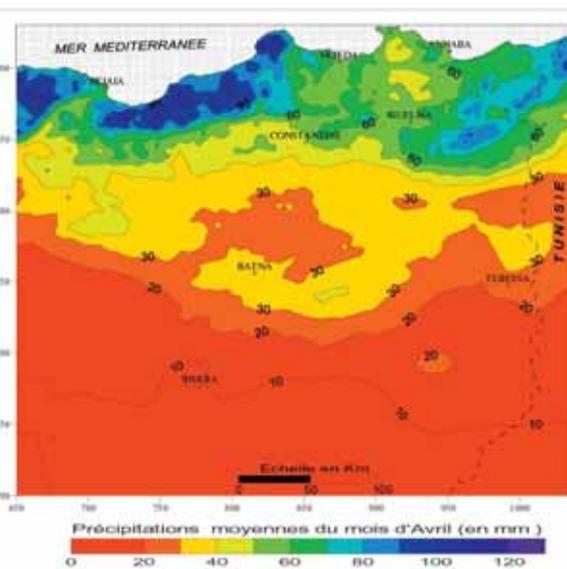


Fig. 3 Précipitations du mois d'avril (Est algérien).

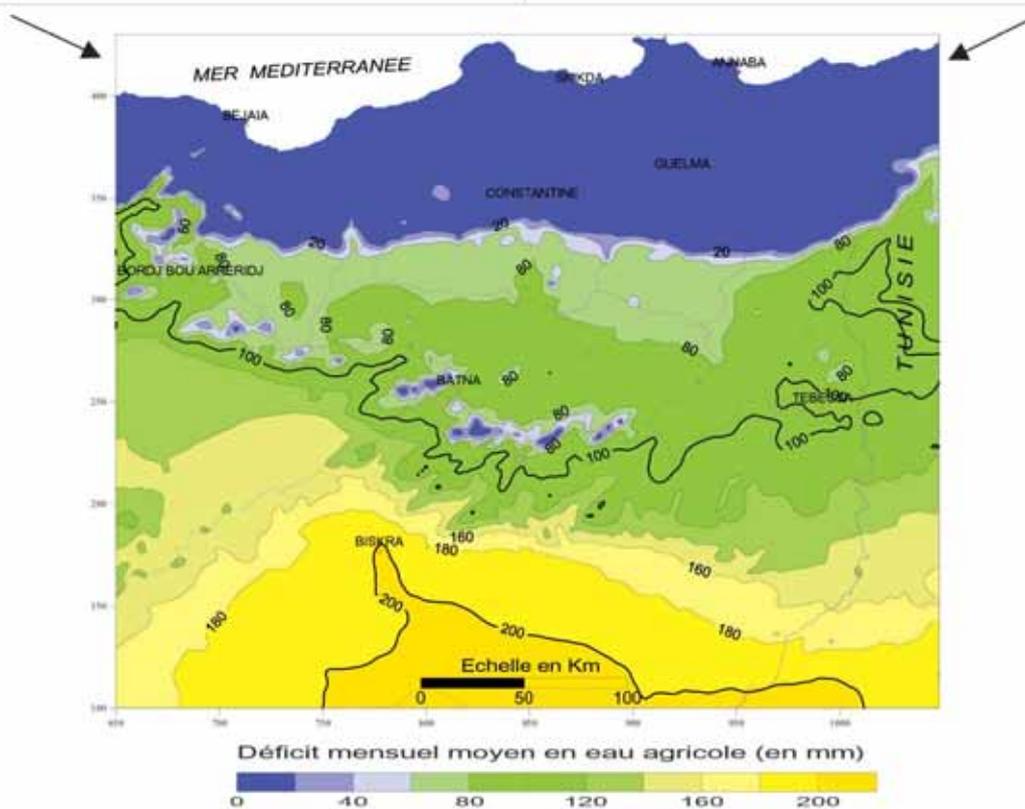


Fig. 4 Déficit en eau agricole du mois d'avril (Est algérien).

La carte qui en découle illustre la forte extension de la durée du stress hydrique en allant du Nord (4 "mois secs" sur les massifs arrosés de Collo et de Jijel) vers le Sud (10 à 12 mois sur le piémont

saharien et la partie méridionale des Hautes Plaines), en passant par une durée médiane (6 à 8 mois sur une grande partie du Tell et les massifs élevés de l'Aurès-Nemmecha) (fig. 5).

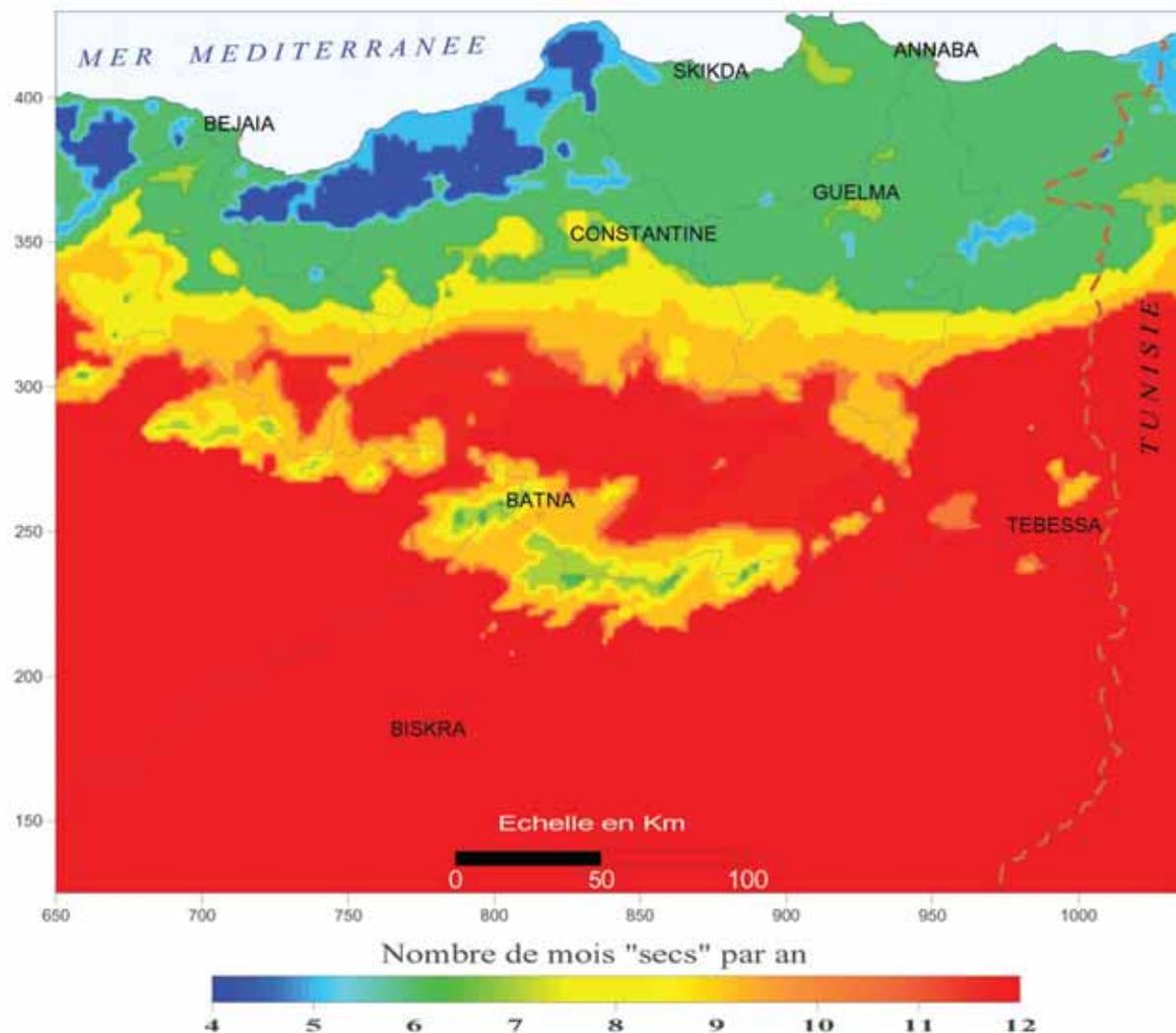


Fig. 5 Zones d'égal "mois secs" de l'Est algérien.

### 5. Généralisation de la démarche à l'Algérie du Nord

L'exploitation de l'information climatologique disponible sur l'ensemble de l'Algérie du Nord (201 lignes x 501 colonnes, soit 100 701 noeuds) conduit à généraliser la démarche proposée (fig.6 et 7). A l'échelle de l'année moyenne (cumul des 12 grilles mensuelles de Da), la carte du déficit (de 400 à plus

de 2 200 mm) montre une disposition en bandes zonales longitudinales traduisant les forts contrastes entre une bande côtière étroite souffrant moins du stress hydrique que les vastes zones méridionales à déficit très accusé. Par opposition à une région Est relativement arrosée, la région Ouest du pays, au climat semi-aride, accuse un déficit hydrique remarquable (la zone de plus de 800 mm pénètre jusqu'au littoral de l'Oranie).

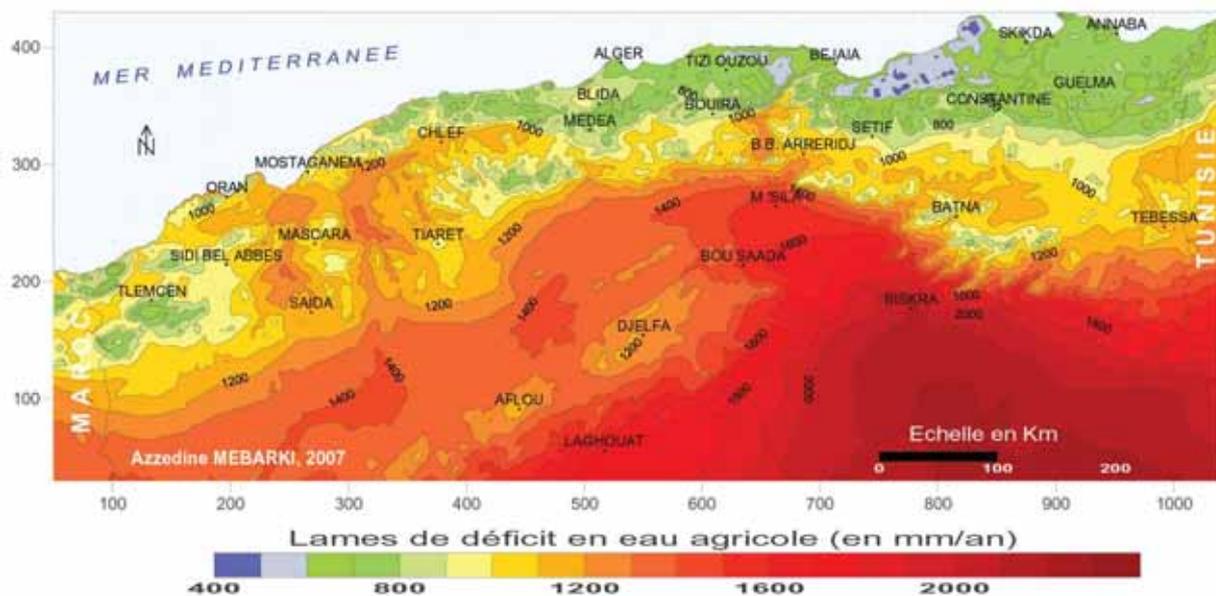


Fig. 6 Déficit hydrique annuel moyen de l'Algérie du Nord.

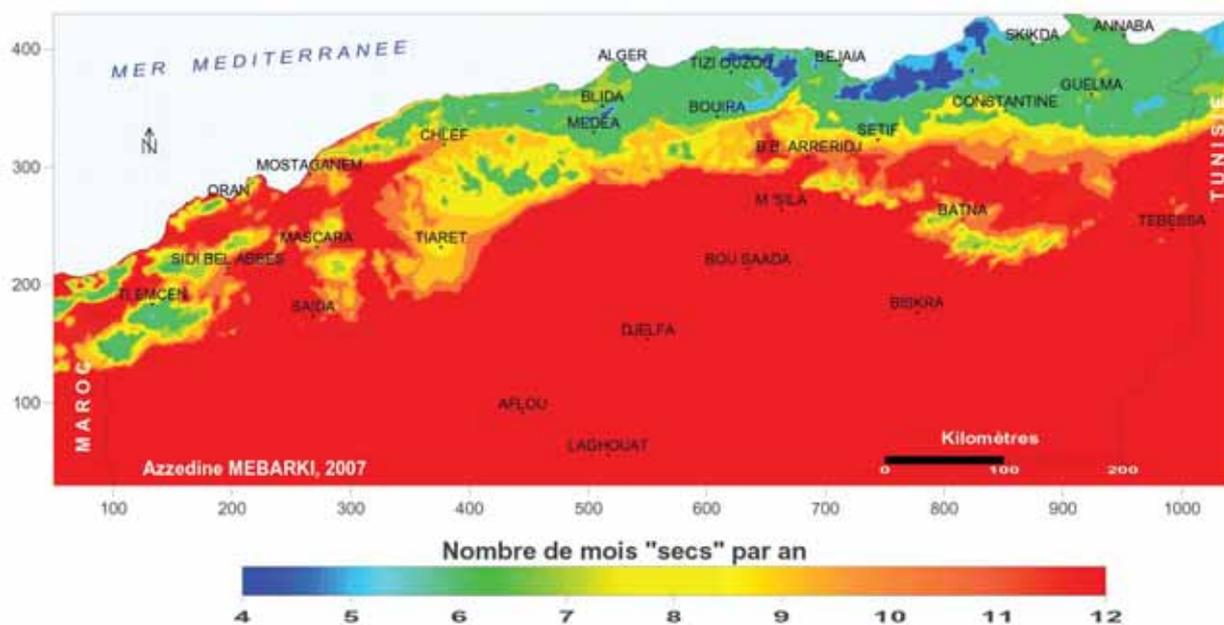


Fig. 7 Zones d'égal mois secs de l'Algérie du Nord.

Il devient possible, par simple lecture de la carte du déficit, de connaître en tout point du territoire la demande moyenne en eau d'irrigation qu'il y a lieu de moduler selon les cycles de cultures. Pour l'évaluation des besoins d'irrigation sur des domaines géographiques plus ou moins étendus (en hauteur d'eau moyenne ou en volume unitaire moyen :  $1\text{mm} = 10\text{ m}^3/\text{ha}$ ), il est préférable de se reporter aux fichiers grid, exploitables directement sous SURFER ou à l'aide d'un Système d'Information Géographique (S.I.G.).

## 6. Conclusion

La méthode proposée a pour originalité de s'adapter aisément à d'autres régions climatiques. Nous avons admis une réponse linéaire de la RFU à la demande climatique alors que d'autres modes de réponse de la réserve en eau du sol peuvent être envisagés (Cosandey Cl. et Robinson M., 2000). La modélisation du bilan de Thornthwaite conduit à rendre disponibles les données mensuelles du déficit hydrique tant sur les cartes que sous forme de grilles utilisables à l'intérieur de Systèmes d'Information Géographique.

Ces données peuvent être générées pour différentes valeurs moyennes de la RFU maximale, expérimentalement vérifiées (pour les sols algériens, les valeurs de la RFU max couramment admises vont de 25 à 100 mm).

Reflet de la brutalité des contrastes bioclimatiques caractérisant le territoire algérien, la répartition spatiale du déficit agricole est susceptible de varier de façon importante en relation avec la variabilité interannuelle des facteurs climatiques, et tout particulièrement des pluies, beaucoup plus irrégulières que les températures et l'ETP. D'où l'intérêt indéniable d'entreprendre une étude fréquentielle des déficits hydriques.

### Références bibliographiques

- A.N.R.H., 2002 : *Carte des évapotranspirations potentielles du Nord de l'Algérie au 1/500 000* (2 feuilles, notice de 42 p.). Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Alger, Ed. I.N.C.T.
- A.N.R.H.-G.T.Z., 2003 : *Etude de synthèse sur les ressources en eaux de surface de l'Algérie du Nord. Rapport d'étude*, Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Alger, 36 p.
- Cosandey Cl. et Robinson M., 2000 : *Hydrologie continentale*, Armand Colin, Paris, 360 p.
- Cote M., 1998, Les régions bioclimatiques de l'Est algérien. *Rhumel* n° 6, pp. 57-71.
- Laborde J.-P., 2000a : *Hydrologie de surface*, Cours de l'Université de Nice-Sophia Antipolis, 191 p.
- Laborde J.-P., 2000b : *Hydrolab. Logiciel d'hydrologie statistique*. Université de Nice-Sophia Antipolis
- Laborde J.-P., Assaba, M. et Belhouli L., 2003: Les chroniques mensuelles de pluies de bassin : un préalable à l'étude des écoulements en Algérie. *Colloque SHF : "Gestion du risque en eau en pays semi-arides"*, Tunis, 21-22 mai 2003, 10 p.
- Mebarki A., 2005 : *Hydrologie des bassins de l'Est algérien : ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse de doctorat d'état*, Université Mentouri de Constantine, 360 p.
- Mebarki A., 2007 : *Utilisation de grilles d'information climatologique dans la cartographie du déficit hydrique de l'Est algérien. Généralisation à l'Algérie du Nord. Actes du XX<sup>ème</sup> colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Tunis-Carthage, 3-9 septembre 2007, pp. 375-380.

# Utilisation des Systèmes d'Informations Géographiques dans les Évaluations Foncières Application à la ville de Djelfa

H. BENYELLES, N. MEGA, F. BOUCHENAK KHELADI, A. GHARBI, A. ARIBI ASAL  
Centre des Techniques Spatiales – Division de Télédétection BP13, Arzew-31200-Algérie  
Hocine\_benyelles @ yahoo.fr.

**Résumé :** L'administration des domaines est amenée, dans le cadre de ses attributions, à évaluer les terrains domaniaux, les immeubles bâtis, les biens ruraux, les fonds de commerce, l'étude et l'analyse du marché immobilier. L'utilisation des plans sous format papier pour la gestion traditionnelle d'une grande masse d'informations du service des domaines est une opération difficile qui nécessite un temps considérable. Aujourd'hui, avec la disponibilité de données sous un format numérique, intégrées dans un SIG constitue l'outil optimal pour la gestion informatisée du cadastre foncier. C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail et qui a pour objectif de mettre en place un système d'évaluation foncière, sous l'environnement SIG, Arc GIS 9.0 d'ESRI. L'application a porté sur la réalisation d'un système d'évaluation foncière de la ville de Djelfa – Algérie. Les données utilisées sont fournies par la direction des domaines de la commune de Djelfa.

**Mots clés :** Evaluation foncière, Domaine, SIG, Arc GIS, VBA.

**Abstract :** The domain administration is conducted, in the frame of its attribution, to evaluate : the domainial terrains, the built buildings, the rural propertie, commerce capital, the study and analysis of the market real estate. The traditional management of a huge mass of information by the domain services with the use of plans (maps, charts) using paper copies is difficult and take a long time. Nowadays, this necessitates the introduction of modern tools which allow facilitating the evaluator's tasks. Face to these problems we have developed a methodology to set up an application "Land evaluation systems "using a ESRI. To test and validate our land evaluation system we have chosen the county of Djelfa-Algeria using a set of data offered by the direction of domain of this county.

**Keywords :** land Evaluation, domain, GIS, Arc GIS, VBA.

## 1. Introduction

Les méthodes traditionnelles de gestion et de traitement des informations disponibles au niveau des services des domaines sont très lourdes et nécessitent un temps d'exécution conséquent. A ces techniques classiques se sont substituées de nouvelles techniques, basées sur l'utilisation des SIG, permettant de s'affranchir de toutes les contraintes classiques et offrent en plus des avantages techniques un gain en temps, en précision et en coût considérables. Le thème développé à travers cet article a pour objectif de mettre en oeuvre une méthodologie de gestion des services d'expertises et des évaluations domaniales à l'aide d'un SIG. L'application de cette étude a porté sur la mise en place d'un système d'évaluation foncière sous un environnement SIG, ArcGIS 9.0, d'ESRI.

## 2. Système des évaluations foncières

Les réformes économiques en cours visent la mise en place d'un marché immobilier libre où la valeur des biens doit essentiellement découler de la loi de l'offre et de la demande. L'administration des domaines est amenée à évaluer les terrains domaniaux, les immeubles bâtis, les biens ruraux, les fonds de commerce ainsi que l'étude et l'analyse du marché immobilier. Il a été jugé nécessaire de rappeler ainsi, les facteurs d'appréciation des immeubles et d'explicitier les méthodes d'évaluation permettant d'obtenir leur valeur vénale. Aussi dans le cadre de nouvelle politique, le prix des biens doit-il correspondre à des valeurs vénales telles que découlent de l'étude du marché immobilier et obtenues par l'utilisation des méthodes d'évaluation classiques. En effet, l'application des méthodes d'évaluation dites classiques exige un recensement et un suivi de toutes les opérations réalisées sur le marché immobilier, accompagnées d'une analyse scientifique des données qui en découlent.

### 3. Buts des travaux d'évaluation foncière

Le rôle d'évaluation foncière est un inventaire de tous les immeubles situés sur le territoire d'une municipalité. Il indique la valeur de chaque propriété, sur la base de sa valeur réelle ou marchande. L'évaluation foncière peut être pratiquée notamment pour :

- Une vente ou une acquisition ;
- Un partage ou une déclaration de succession ;
- Une expropriation; - Un prêt hypothécaire [1].

#### 3.1 Evaluation des terrains à bâtir

L'évaluation des terres agricoles des zones isolées s'effectue selon la comparaison directe, le prix moyen à l'hectare et le revenu. Les facteurs d'appréciation considérés sont d'ordre physique, juridique et économique. Il existe plusieurs méthodes d'évaluation des terrains à bâtir [7] qui dépendent du prix moyen au mètre carré [2], de la zone et la surcharge foncière[2]. Les facteurs d'appréciation [3] considérés sont d'ordre physiques, juridiques et économiques.

#### 3.2 Evaluation des immeubles bâtis

Les méthodes d'évaluation des immeubles bâtis sont effectuées selon le coût de reconstruction à neuf [2] qui dépend de la valeur du terrain d'assiette et de construction. Cette évaluation tient compte des facteurs d'appréciation des terres agricoles [3] qui sont physiques, juridiques et économiques.

#### 3.3 Evaluation des biens d'Etat et biens d'office de promotion et de gestion immobilière (OPGI)

Vu le décret exécutive n° 03-269 du 07 Août 2003, fixant les conditions et les modalités de cession des biens immobiliers appartenant à l'Etat et aux OPGI, mis en exploitation avant le 1<sup>er</sup> janvier 2004 [6].

Le prix de base résulte de l'application au prix moyen de référence le m<sup>2</sup>, de coefficient de zone, de sous-zone et de catégorie.

Les communes sont classées dans l'une des six (06) zones dont leurs coefficients sont fixés comme suit : (zone 1:2), (zone 2:1, 5), (zone 3:1, 2), (zone 4:1), (zone 5:0, 8), (zone6:0,5). Chaque commune peut être divisée en cinq sous-zones affectées respectivement de leur coefficient de la manière suivante : (Le quartier résidentiel:1,2), (Le centre ville:1,1), (La périphérie:1), (Le faubourg:0,9), (La zone isolée:0,8). Pour tenir compte du niveau du standing du local à céder, ce dernier est classé dans l'une des quatre catégories avec leur coefficient comme suit :

(1<sup>ère</sup> catégorie : haut standing: 1,5), (2<sup>ème</sup> catégorie : bon standing: 1,1), (3<sup>ème</sup> catégorie : économique: 0,9), (4<sup>ème</sup> catégorie : très économique: 0,7).

#### 3.4 Evaluation des biens ruraux

L'évaluation des terres agricoles des zones isolées s'effectue selon la comparaison directe, le prix moyen à l'hectare et le revenu. Les facteurs d'appréciation considérés sont d'ordre physique, juridique et économique.

#### 3.5 Evaluation des fonds de commerce

L'évaluation des fonds de commerce s'effectue suivant la détermination du pas de porte, la comparaison, le bénéfice, le chiffre d'affaires et le montant de l'indemnité de gérance. Les éléments d'appréciation étudiés sont : les facteurs subjectifs, les facteurs objectifs et la conjoncture économique et financière.

### 4. Application : ville de Djelfa

#### 4.1 Présentation de la zone

La ville de Djelfa se situe à 300 km au sud d'Alger et elle est la dix-septième wilaya d'après son classement administrative.

Sa position géographique est de 3°15'E en longitude, 34°40'N en latitude et 1126 mètres d'altitude, et sa superficie est de 29035 km<sup>2</sup>. Elle est limitée par huit wilayas limitrophes réparties comme suit : Tissemsilt et Médéa au Nord, M'sila et Biskra à l'Est, Ouargla et Ghardaïa au Sud, enfin Laghouat et Tiaret à l'Ouest.

La wilaya de Djelfa englobe douze daïras divisées en trente six communes (figure1). C'est une zone semi aride, steppique et pastorale. Sa plus grande richesse repose essentiellement sur l'élevage (ovins et bœufs). La direction de Djelfa dépend de l'inspection régionale des domaines et conservation foncière de Blida.

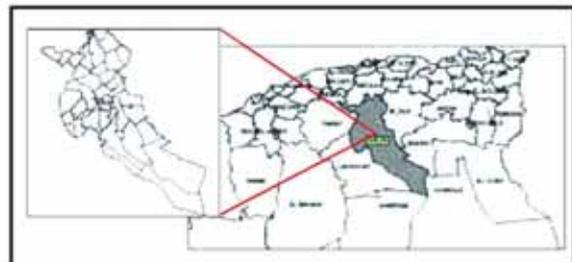


Fig. 1 Situation géographique de la wilaya de Djelfa.

#### 4.2 Logiciel SIG utilisé – Arc GIS 9.0

Le logiciel Arc GIS 9.0 est caractérisé comme étant un outil très souple pour la gestion des données géographiques sur PC. Il offre beaucoup de fonctionnalités telles que l'interrogation, l'analyse spatiale des opérations, l'affichage des données sous forme de cartes, de tableaux ou de graphes, ainsi que la création et la personnalisation des applications. Il dispose d'un langage de programmation propre à lui appelé "VBA" (Visual Basic Application) qui permet de créer rapidement et facilement des interfaces visuelles. ArcGIS est une famille de logiciels développés par la compagnie ESRI (Environmental Systems Research Institute) et il peut être acquis sous différents produits (Arc Info, Arc Editor, Arc View et Arc Reader).

#### 4.3 Résultats obtenus

La création Les différentes couches réalisées sous Arc GIS 9.0 (Arc View) ont été créées à partir d'un

PDAU à l'échelle du 1/5000 et datant de l'année 1996. Les principales couches définies sont les suivantes : Le quartier résidentiel, le centre ville, le faubourg et la zone isolée.

Ainsi pour chacune de ces couches, nous avons créé une table d'attributs contenant plusieurs informations obtenues à partir des résultats des études et de l'analyse du marché immobilier du premier semestre de l'année 2006.

Notre application a porté uniquement sur l'évaluation des terrains à bâtir et la détermination de la valeur du bien immobilier d'Etat.

#### 4.3.1 Evaluation des terrains à bâtir

La valeur d'un terrain d'une superficie de 660 m<sup>2</sup>, situé au faubourg, s'obtient par l'application de la méthode d'évaluation de terrain à bâtir dite " Evaluation par le prix moyen au mètre carré ". Le sous menu "Choix de la couche" permet d'ouvrir la couche de faubourg (figure 2).

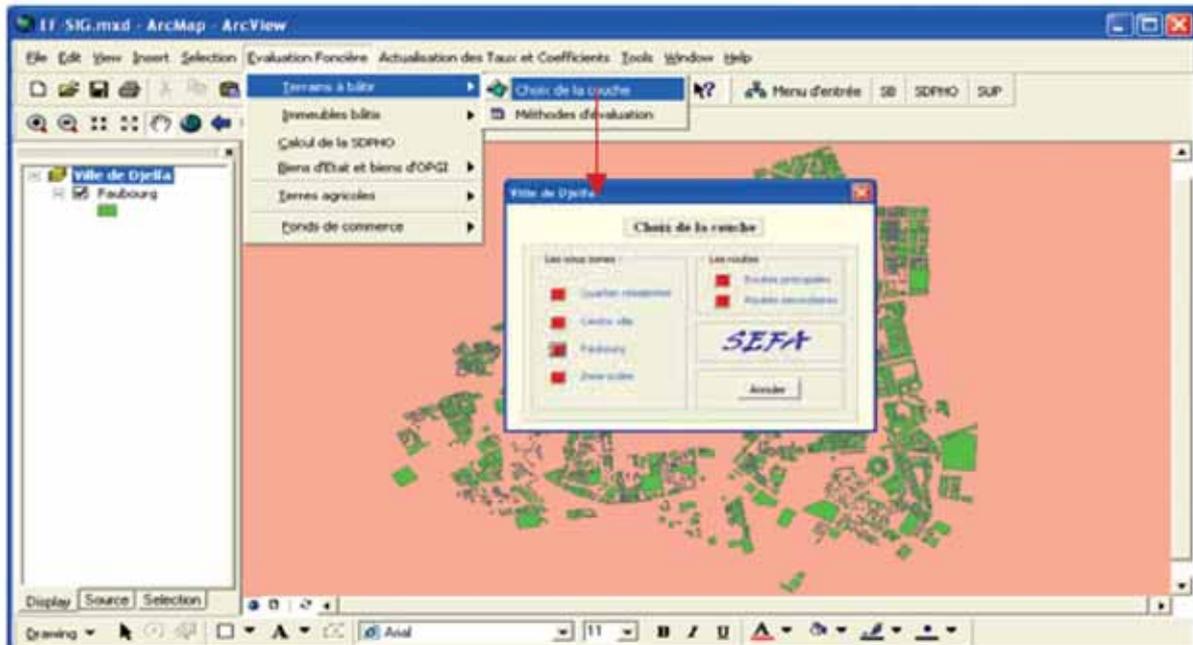


Fig. 2 Ouverture de la couche Faubourg.

Un simple click sur le fond de terrain à évaluer permet d'afficher automatiquement les renseignements sur la fourchette du prix (figure 3).

Le prix sera ensuite dégagé et introduit et dans la boîte du programme avec la superficie du terrain à évaluer, pour obtenir la valeur (figure 4).

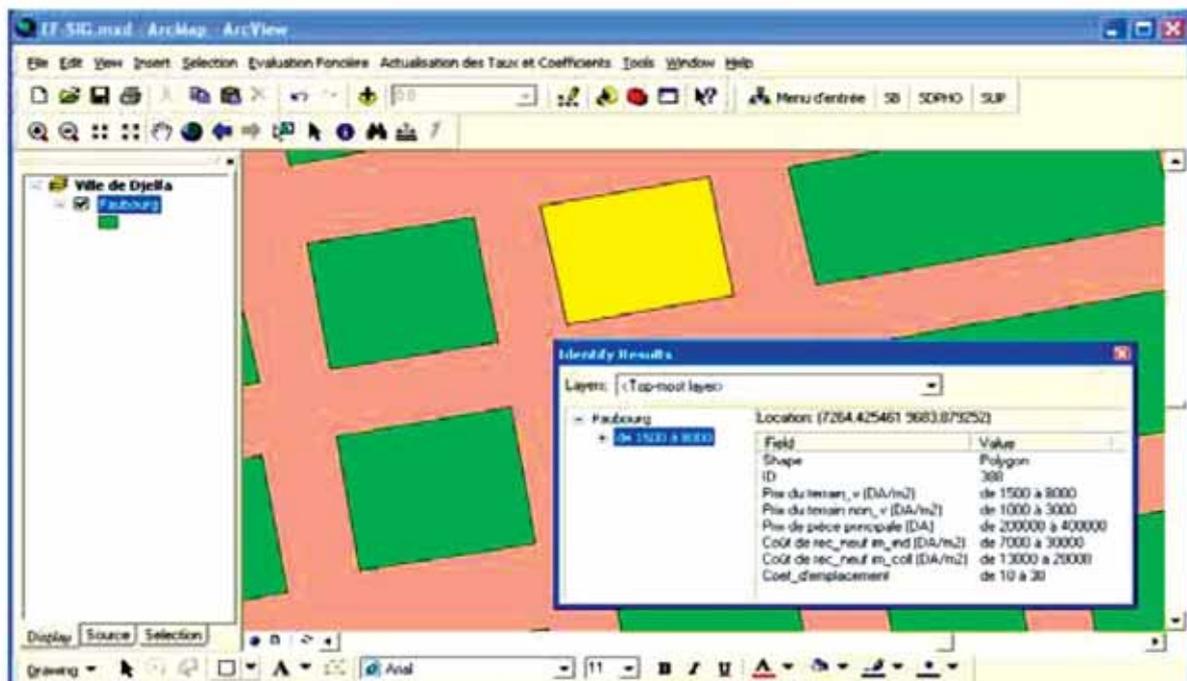


Fig. 3 Informations sur le terrain.

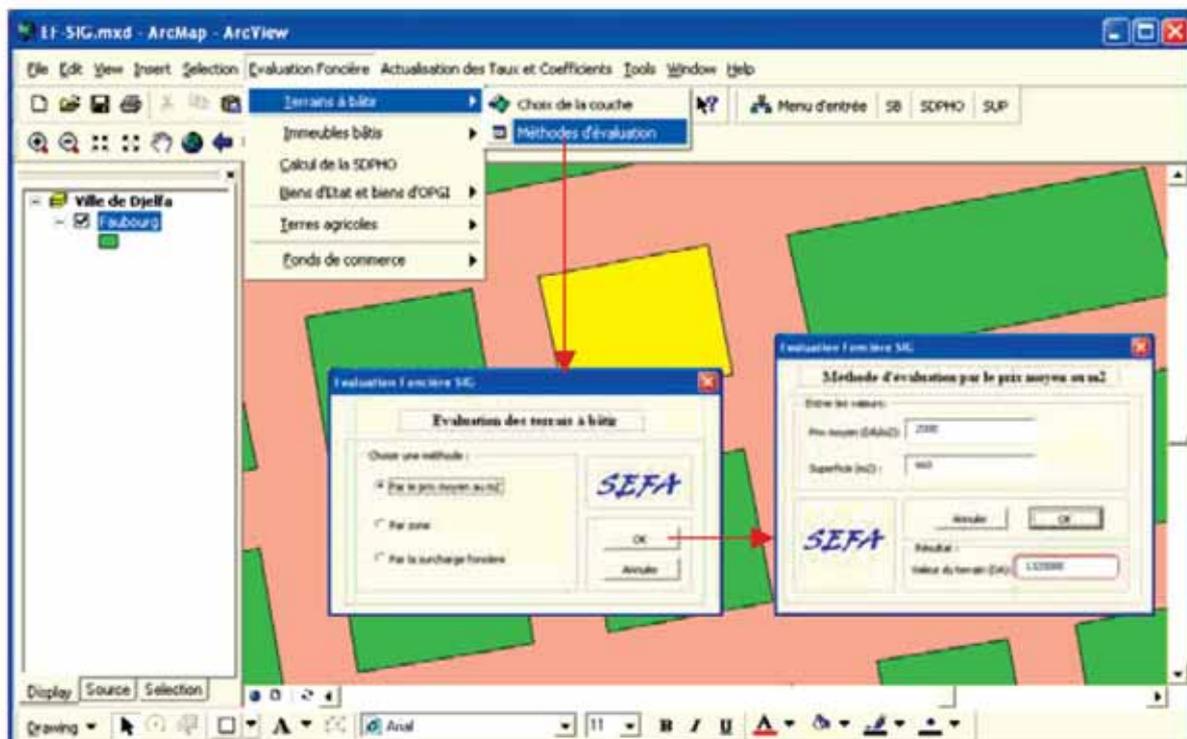


Fig. 4 Evaluation par le prix moyen au m<sup>2</sup>

### 4.3.2 Détermination de la valeur du bien immobilier d'Etat

Dans ce cas d'application, l'immeuble à évaluer, mis en exploitation avant le 1<sup>er</sup> janvier 2004, est situé au faubourg (sous-zone IV) de superficie globale du terrain 240 m<sup>2</sup> et de superficie pondérée arrondie à 100 m<sup>2</sup>. L'évaluation de cet immeuble a été faite

le 27 octobre 2004, soit dix-huit (18) ans après sa construction. Le calcul du prix de base pour la détermination de la valeur de cession de cet immeuble est obtenu suivant sa zone d'appartenance : Zone 3 (commune de Djelfa), Sous-Zone IV (faubourg). Il est classé comme économique dans la 3<sup>ème</sup> catégorie (figure 5).

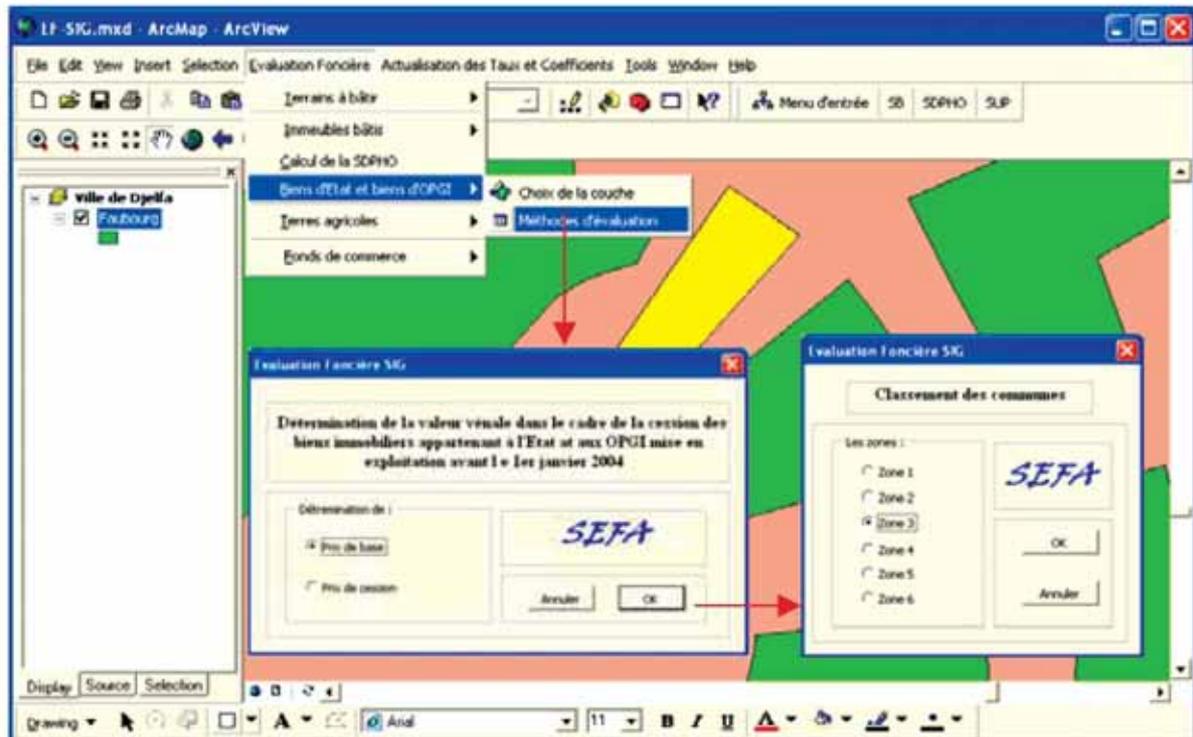


Fig. 5 Classement de la commune de Djelfa : Zone 3.

Le prix de cession est déterminé sur la base des données relatives aux valeurs :

- du terrain : prix moyen du mètre carré (200 DA), superficie du terrain (240 m<sup>2</sup>), abattement pour encombrement ;
- des constructions : prix de base (17496 DA), Superficie Développée Pondérée Hors Oeuvre

(SDPHO) (100 m<sup>2</sup>), âge de la construction (18 ans) et coefficient (1).

La figure (6) illustre les résultats obtenus pour le calcul du prix de base :

- valeur du terrain (384000 DA) ;
- valeur des constructions (1592136 DA) ;
- valeur de l'immeuble (1976136 DA).

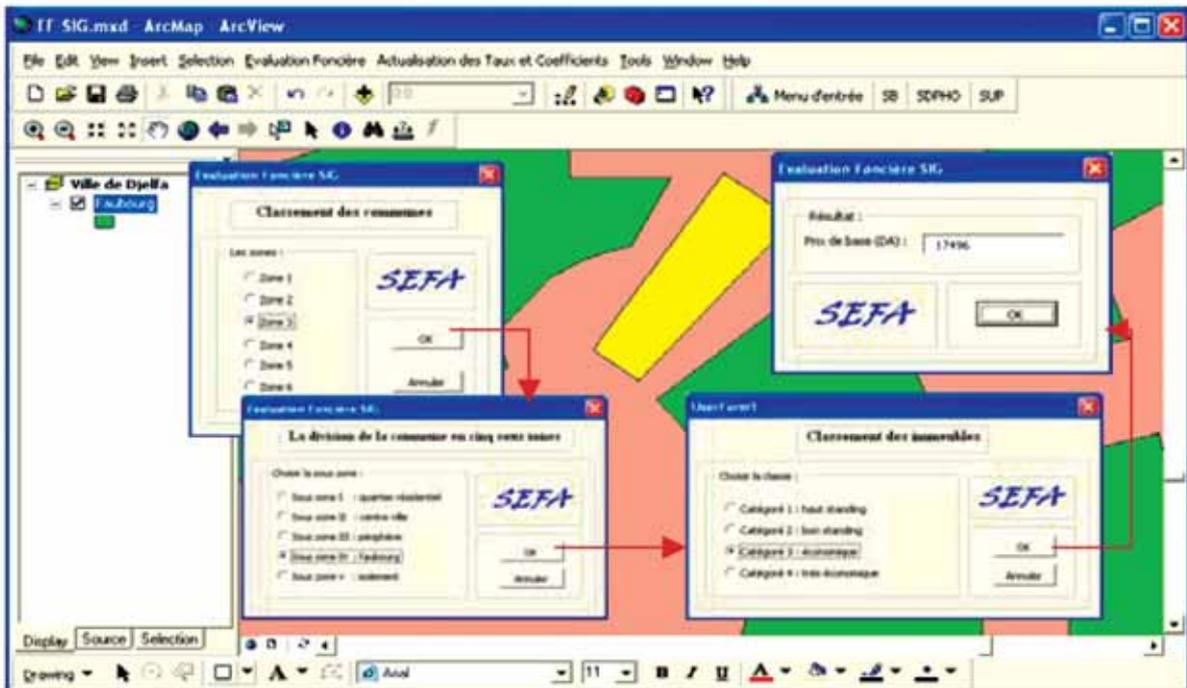


Fig. 6 Calcul du prix de base.

Les résultats relatifs au prix de cession sont fournis par la figure suivante (7) :

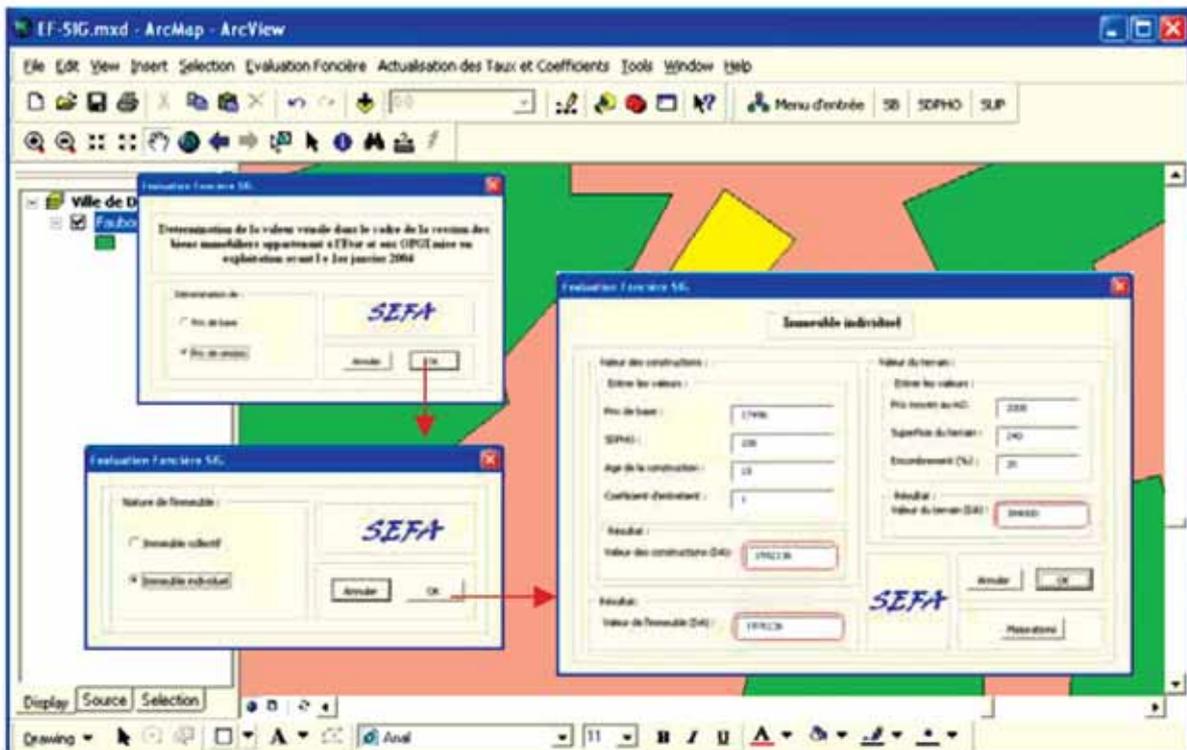


Fig. 7 Détermination du prix de cession.

## 5. Conclusion

L'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) dans les évaluations foncières en Algérie permet de faciliter les tâches traditionnelles des évaluateurs, notamment dans la gestion spatiale. Les SIG offrent en plus des avantages techniques un gain en temps, en précision et en coût considérables. Néanmoins, la disponibilité de données sous un format numérique s'avère indispensable.

Lors de la mise en place du système d'évaluation foncière développé dans le cadre de ce travail, la numérisation de la grande masse d'informations (sous format papier) recueillie des directions wilayas a nécessité un temps énorme. D'où l'intérêt, pour la gestion informatisée du cadastre foncier, de disposer de données sous un format numérique.

## Références bibliographiques

- GEORGES FERRIER, 1966 : Estimation rurales (foncières, forestières et agricoles).
- Instruction technique de domaine, : (N°00.265E/DGDN/DODF/EXP).
- Instruction technique de domaine, : (N°1868E/DGDN/DODF/EXP).
- Instruction technique de domaine : N°2810E/DGDN/DODF/EXP.
- Instruction technique de domaine, : N°05558E/DGDN/DODF/EXP).
- Recueil de textes, Méthodes d'évaluation : Décret exécutif n° 90-103 du 17 mars 1990. Décret exécutif n°03-269 du 07 août 2003.
- PDAU, 1996 : Plan directeur d'aménagement et d'Urbanisme.

## Le Mitage des Terrains Agricoles par l'Urbanisation Application à la ville de Sidi Bel Abbès

A. DIAF, H. BENYELLES, K. BENHANIFIA, D. YOUSFI

Centre des Techniques Spatiales, Division de Télédétection, 1 Avenue de la Palestine,  
BP 13 - 31200 Arzew – Algérie

Fax : 00 213 41 47 36 65 - Email : attaouia\_d@yahoo.fr

**Résumé :** Le système urbain et l'environnement sont deux termes d'une situation dialectique. L'un et l'autre sont également complexes et inséparables. L'environnement urbain, est cet espace produit, résultant du milieu physique et de l'action humaine. Cette dernière a participé à la croissance urbaine qui est délicate à définir et difficile à mesurer. L'urbanisation constitue un des phénomènes majeurs de notre époque, elle joue un rôle prépondérant dans la vie et dans la transformation de l'espace et de la société.

La planification et la gestion des espaces urbains et périurbains sont devenues l'une des priorités les plus importantes à la fois dans les pays développés et les pays en voie de développement. La mauvaise gestion des espaces urbains a des conséquences néfastes sur la population ainsi que sur l'environnement. Ces conséquences sont traduites par le gaspillage des terrains agricoles et la pollution du système écologique.

Puisque l'apport des instruments nouveaux (PDAU, POS) reste superficiel et loin de maîtriser l'évolution urbaine des agglomérations, l'utilisation des données satellitaires représente un nouveau mode d'investigation. Cet outil devient tout à fait intéressant pour l'identification des mutations des terrains agricoles, par les capacités de reproduction exhaustives et répétitives des prises de vue. Afin de réaliser la carte des mutations, nous avons adopté la méthode de l'indice de végétation qui nous a donné des résultats déterminants. Cette méthode nous a permis de revenir dans le temps afin prouver que les terrains agricoles qui se situent aux alentours de la ville ont été consommés par le phénomène de l'urbanisation.

**Mots clés :** urbain, image satellitaire, développement urbain, aménagement du territoire.

### 1. Introduction

L'urbanisme est l'ensemble des connaissances historiques et culturelles, des doctrines et des techniques ayant trait à la problématique, de l'organisation et de la transformation de l'espace urbain.

C'est aussi l'ensemble des principes, des structures, des moyens et des contenus des politiques urbaines expérimentées, appliquées ou proposées dans différents contextes historiques, politiques et socio-économiques. L'urbanisme répond aux problèmes de l'organisation et de la configuration de l'espace à un niveau ou sont indiquées les virtualités d'une image urbaine possible. (Zukkelli, 1983).

Suite à la politique de développement national adopté au lendemain de l'indépendance, l'Algérie a connu de véritables déséquilibres régionaux. Ces déséquilibres représentaient l'une des préoccupations majeures des premiers plans nationaux de développement économique et social.

Actuellement, l'objectif primordial consiste en la maîtrise totale de l'espace urbain grâce à la planification et la gestion pour l'organisation du développement.

L'existence d'une liaison étroite entre la politique de croissance urbaine et celle d'aménagement du territoire permet d'avoir une vision unitaire et une approche organique de la totalité de l'espace socio physique urbain. D'ailleurs, le terme croissance comporte une dimension non seulement spatiale mais aussi temporelle; c'est cette dimension qui introduit, justifie la notion de l'urbanisation et définit la planification urbaine.

La propriété des sols urbains, sans oublier la propriété foncière en général détenant les terres agricoles aux abords et hors des villes devient la clef de la structuration et de l'expansion urbaine. La préservation des terres agricoles s'avère toujours délicate quand celles-ci se trouvent à la lisière des secteurs d'urbanisation. En l'absence de moyens de contrôle efficace, le risque de les voir se transformer rapidement en réserves foncières pour l'urbanisation est bien réel.

A cet effet, il s'agit d'exécuter un ensemble d'acte préparatoire concernant le côté pratique du travail en même temps que certains aspects d'ordre conceptuel.

La première opération à faire est celle de vérifier l'évolution éventuelle du cadre bâti spatial par la mise à jour des documents récemment établis.

Mais malheureusement, la mise à jour nécessite un travail fastidieux et des sommes d'argent colossales, alors que le budget alloué aux autorités concernées ne peut couvrir cette mise à jour.

Puisque l'apport des instruments nouveaux (PDAU, POS) reste superficiel et loin de maîtriser le phénomène urbain, l'utilisation des données satellitaires représente un nouveau mode d'investigation, tout à fait intéressant pour suivre l'évolution du mitage des terrains agricoles par le fait d'urbanisation, par ces capacités de reproduction exhaustives et répétitives des prises de vue. En effet, les satellites survolent le même point plusieurs fois, permettant l'actualisation des données et l'étude multi dates parce que la variation temporelle est un facteur très important dans le processus de l'expansion urbaine.

## 2. Zone d'étude

La ville de Sidi Bel Abbès représente la principale agglomération de la wilaya, elle se situe dans une

riche plaine agricole, et subit annuellement les risques d'inondation en période de crues de Oued Mekerra qui la traverse, telles sont les contraintes majeures de son extension spatiale. Cette ville regroupe le tiers de la population totale de la wilaya et s'étend sur une superficie de 2 100 ha dont 512 ha sont occupés par la zone industrielle.

Cependant sa structure urbaine est convenable puisque conçu selon une trame radioconcentrique et radiale, elle est cernée par une demi rocade constituant une limite d'urbanisation dans sa partie sud afin d'empêcher toute extension vers les terres agricoles.

Sidi Bel Abbès est une ville issue de la colonisation française, occupant une position centrale dans l'Ouest Algérien. Elle est limitée au Nord par les wilayas d'Oran et de Ain Temouchent ; à l'Est par les wilayas de Mascara et de Saida ; à l'Ouest par la wilaya de Tlemcen ; et enfin au Sud par les wilayas de Naâma et d'El Bayadh.

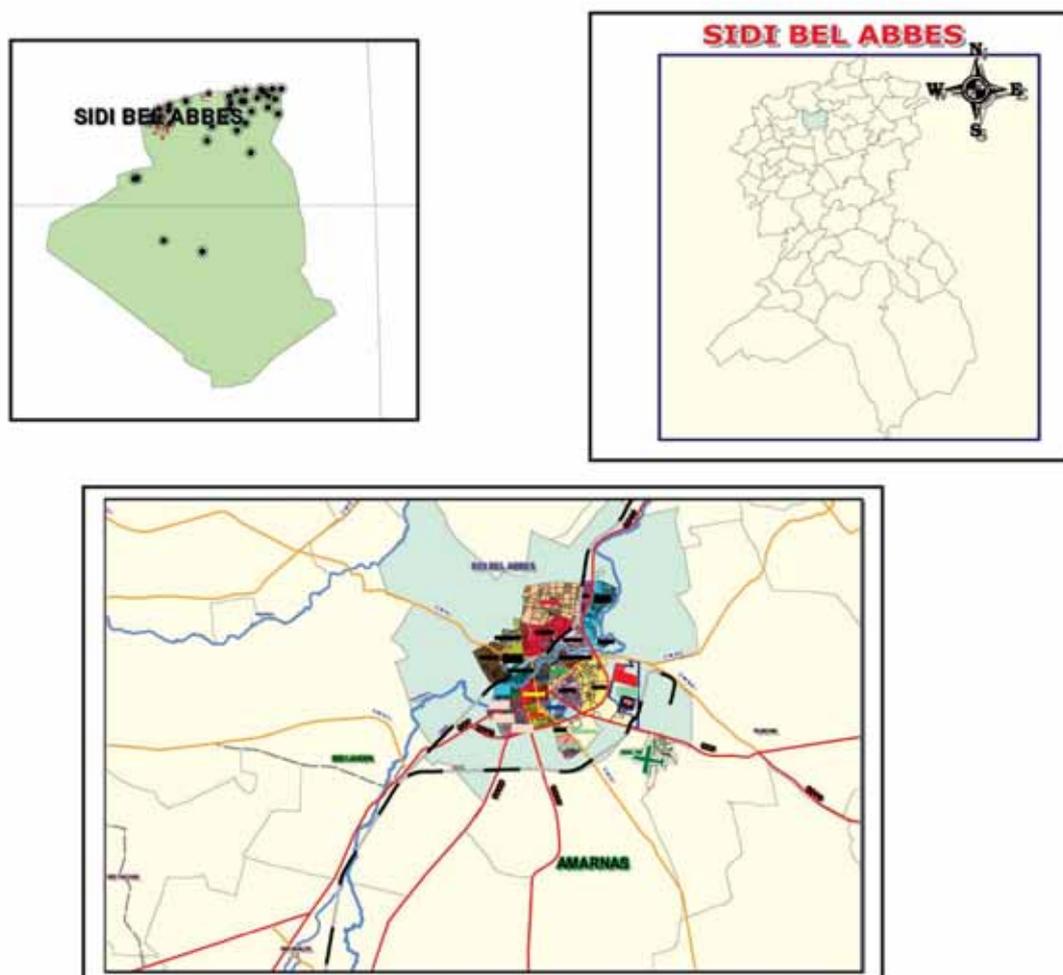


Fig. 1 Carte de situation.

### 3. Les données utilisées

#### 3.1. Les données satellitaires

Un des inconvénients majeurs dans le cadre d'une étude multi date, réside dans la difficulté éprouvée à rassembler des informations fiables, sur l'espace étudié et ce pour une période relativement longue. L'absence de données cartographique thématique, et la non mise à jour de documents topographiques sur la région d'étude, ainsi que les difficultés posées par la comparaison de documents à différentes échelles, a conduit à utiliser des données satellitaires, permettant de remplir plusieurs conditions dont

l'étendue spatiale, la répétitivité, la complétude et la qualité associée au type de système afin d'identifier et de suivre l'expansion urbaine de l'agglomération, de Sidi Bel Abbès sur une longue période, deux scènes du satellite Landsat de 1987 et de 2002 ont été utilisées. Cet intervalle de 15 ans, a été choisi afin de mettre en évidence l'évolution et d'évaluer les extensions urbaines. Enfin une scène Aster de 2001 de résolution spatiale plus fine (15 m) relativement à celle de TM a été utilisée pour mieux cerner les contours urbains et permettre une quantification assez précise des extensions urbaines.

Tableau 1. caractéristiques de chaque scène.

Image	TM (1987)	ETM+ (2002)	Aster (2001)
Dimension Totale (colonne – ligne)	6881-6406	6920-7252	4200-4980
Date de prise de vue	31-03- 87	19-05-2002	01-06-2001
Dimension traitée	700-524	700-524	
Angle zénithal	130.25	119.828267	107.90
Élévation solaire	47.99	64.6808652	72.10
Angle azimutal	50.75	126	132.87

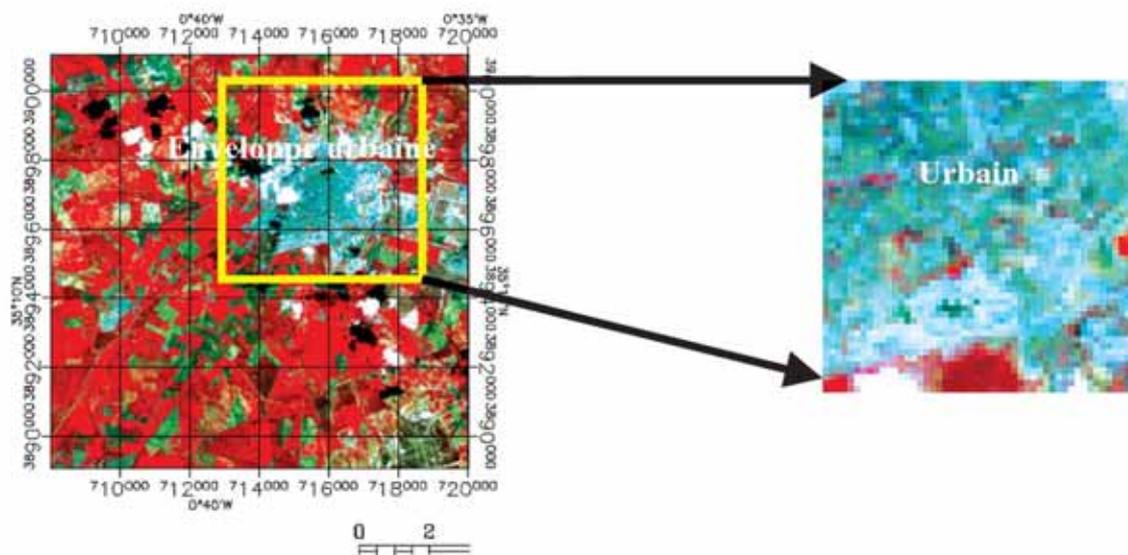


Fig. 2 Image TM+ 1987.

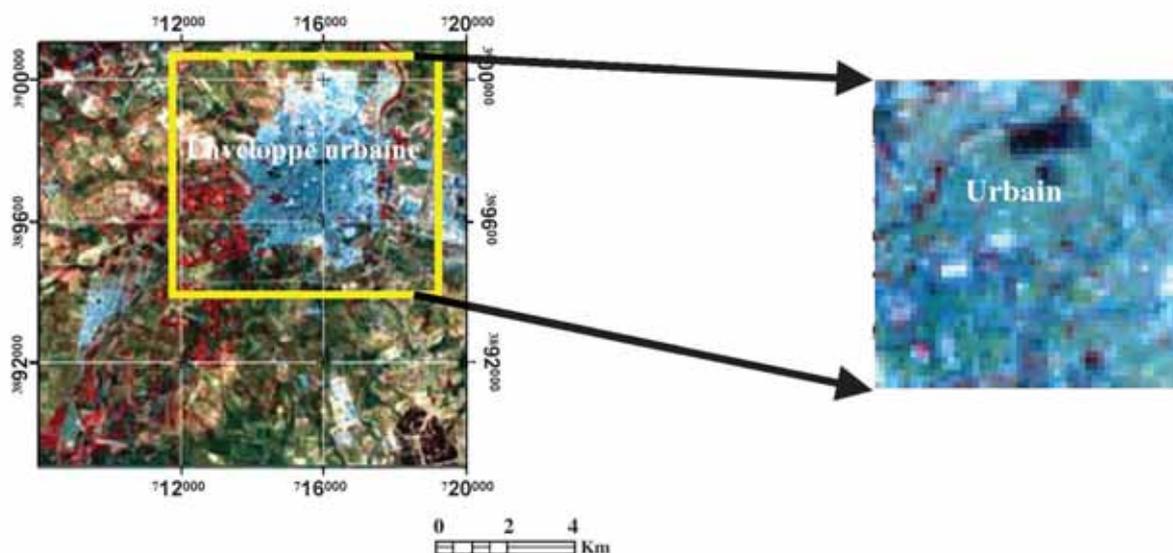


Fig. 3 Image ETM+ 2002.

### 3.2. Les données cartographiques

Il n'est pas toujours facile de réunir une gamme intéressante de documents cartographiques, permettant un suivi régulier de l'évolution spatiale de la ville de Sidi Bel Abbès. Le premier critère ayant

présidé au choix des documents est donc l'intervalle du temps qui les sépare. Ensuite, il fallait des documents récents pour être proche des superficies actuelles. Les cartes, destinées généralement à l'étude de l'extension de la ville de Sidi Bel Abbès sont :

Tableau. 2 Données cartographiques.

Type de carte	Zone d'étude	Année	Projection	Echelle	Nombre
Carte topo	S B A	1986	UTM 30	1/25000	3 feuilles
				1/50000	1 feuille
Levé topographique	S B A	2002	UTM 30	1/5000	
Ortho photos plan	S B A	1997	UTM 30	1/4000	12 ortho photos

### 4. Méthodologie

La télédétection est un outil permettant, comme toutes les techniques cartographiques, de réaliser des cartes thématiques ou plus simplement de faciliter la caractérisation du contenu des unités cartographiques grâce à la vue synoptique, diachronique et numérique de l'imagerie satellitaire. Ces contenus peuvent être identifiés par plusieurs méthodes qui sont soumises à des niveaux de contraintes spatiales. Cependant, les images nécessitent obligatoirement des corrections géométriques pour une identification correcte de leurs caractéristiques.

L'identification des mutations de l'occupation du sol de la ville de Sidi Bel Abbès s'appuie sur une utilisation combinée des données. Elle intègre des procédures de traitement d'image (données satellitaires), de l'interprétation visuelle, des calculs statistiques et des exploitations des données cartographiques.

Ce qui nécessite une sélection d'image multi spectrales multi dates. Pour aboutir à nos objectifs nous avons utilisé une méthode qui se base sur l'indice de végétation :

Ce traitement aboutit à la création d'un néo canal en combinant la réflectance du rouge (TM3) et de l'infra rouge (TM4) (Thomas Pouchin, 2001)

$$NDVI = \frac{PIR - \text{Rouge}}{PIR + \text{Rouge}}$$

Nous avons utilisé la méthode de l'NDVI pour l'identification du changement de l'occupation du

sol dans la ville de Sidi Bel Abbès entre les périodes de 1987 et 2002 afin de détecter la nature du sol sur lequel a été faite l'évolution spatiale de notre périmètre d'étude. La réalisation de la carte des mutations des terrains agricoles par l'urbanisation est illustrée dans l'organigramme suivant :

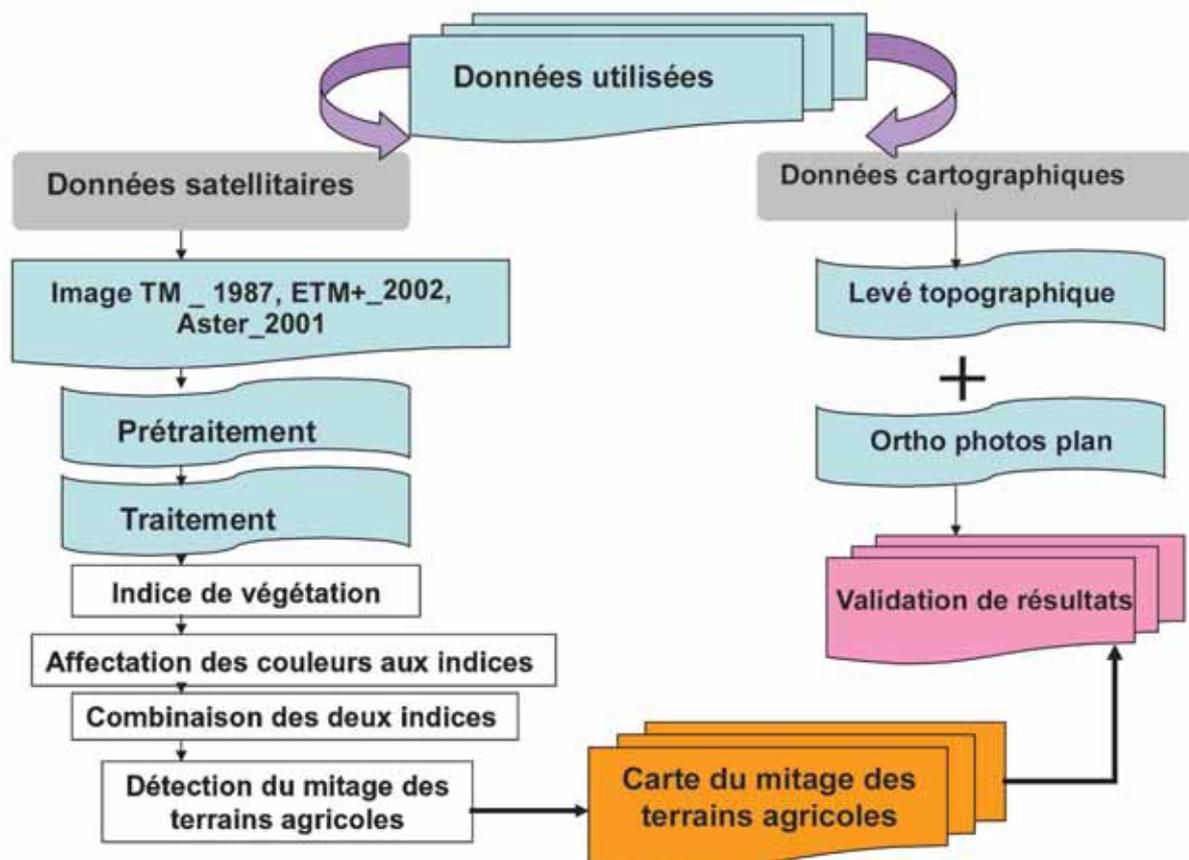


Fig. 4 Organigramme de méthodologie.

## 5. Résultats et discussions

La superposition obtenue dans cette méthode, par la technique des indices de végétation, en attribuant une couleur rouge à l'indice de 1987, et une couleur verte à l'indice du 2002. Le résultat ne permet pas une bonne illustration de l'espace urbain. Sur les figures 5 et 6 nous remarquons nettement l'évolution de la strate végétale des parcelles agricoles se trouvant sur la périphérie de l'agglomération de Sidi Bel Abbès. Cette évolution est traduite par la présence de la couleur rouge et la couleur verte.

Cette superposition a permis de réaliser une synthèse additive pouvant nous renseigner sur les différents changements de manière suivante :

- La dominance de la couleur rouge ou verte, traduit l'existence de l'activité chlorophyllienne pour l'année à laquelle correspond cette couleur.
- L'apparition de la couleur jaune (rouge + vert), et la couleur noire n'indique aucun changement.

Toutefois nous remarquons que la couleur rouge traduit la présence significative de la végétation en 1987 ; tandis que la couleur verte nous informe sur le changement établi en 2002, qui est dû à l'intensification et l'accroissement des cultures irriguées réparties entre l'agglomération de Sidi Bel Abbès et celle de Sidi Lahcen.

Nous tenons à signaler que cette méthode n'était pas fiable pour la détection du phénomène urbain, mais elle nous a permis de constater la disparition des terrains agricoles durant cette période. Suite à une analyse de la composition colorée faite à partir des

deux indices de végétation, en s'aidant du plan de Sidi Bel Abbès [figure (8)], on a pu déterminer que les extensions urbaines ont été faites sur ces terrains agricoles, de ce fait nous pouvons conclure qu'il y a eu mitage des terrains agricoles par l'urbanisation.

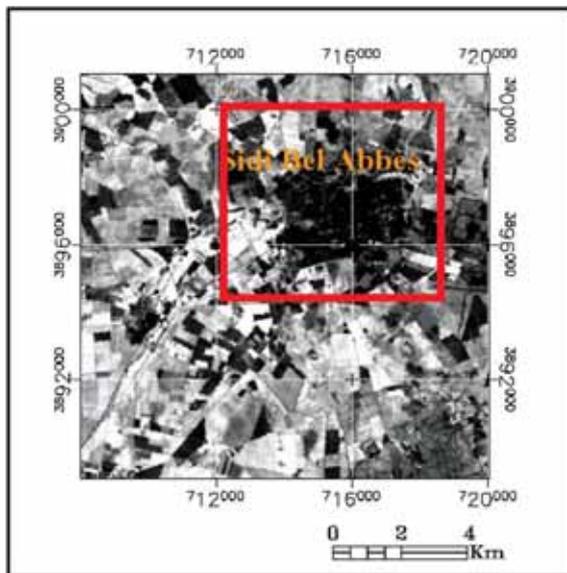


Fig. 5 Indice de végétation\_1987.

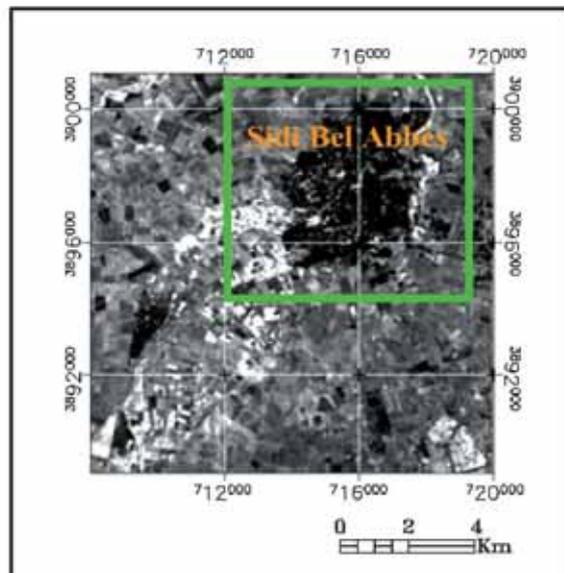


Fig. 6 Indice de végétation\_2001.

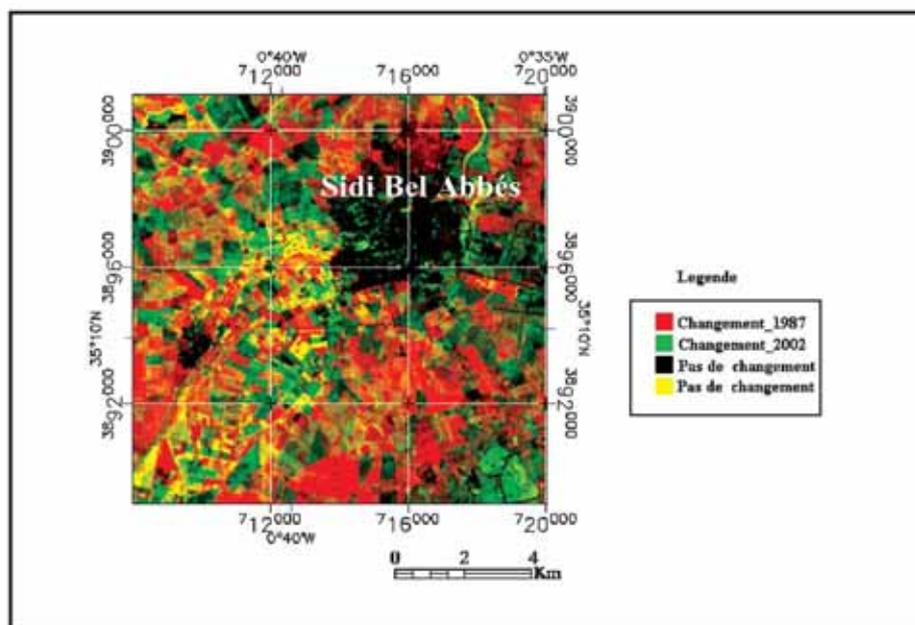


Fig. 7 Combinaison des deux indices de végétation 1987\_2001.

## 6. Validation des résultats

Les pertes en terres agricoles prennent de plus en plus l'ampleur que ce soit par le phénomène d'érosion ou par l'urbanisation anarchique. A cet effet des mesures urgentes doivent être entreprise pour parer contre ce fléau. L'analyse de changement d'utilisation du sol est importante afin d'assurer que le développement urbain n'empiète pas sur les précieuses terres agricoles et que l'agriculture se développe dans les endroits les plus appropriés pour éviter une dégradation due au voisinage urbain.

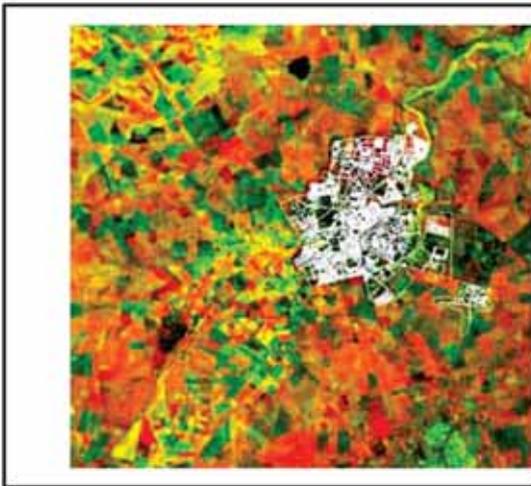


Fig. 8 Superposition des deux indices avec les données terrain.

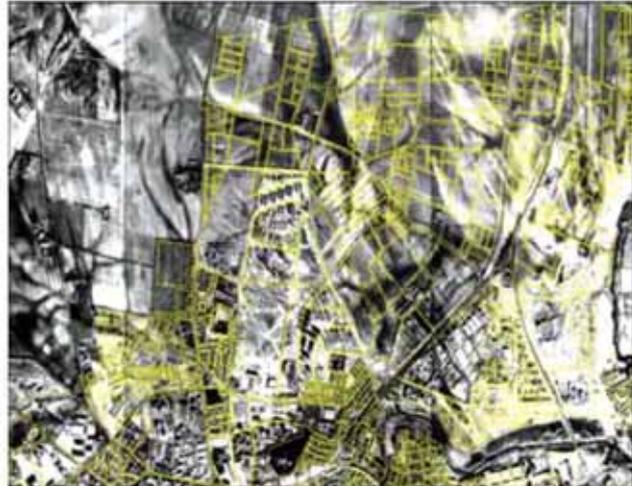


Fig. 9 Superposition des ortho photos\_1997 avec le levé topographique\_2002.

## 7. Conclusion

L'urbanisation a fait un bon prodigieux au cours de ces dernières années et elle a touché toute les villes algériennes sans exception, parmi elles l'agglomération de Sidi Bel Abbès qui a connu une évolution accélérée concentrée dans les zones périphériques, ce qui engendre de profondes répercussions sur la structure globale de la ville et son fonctionnement. Cette nouvelle dynamique, commence à poser d'énormes problèmes dans la gestion, le contrôle et la coordination des différentes opérations entreprises, ce qui nécessite un système d'évaluation périodique, fiable et performant pour la gestion du phénomène urbain, afin d'éviter les effets pouvant compromettre le devenir de la ville.

Comme la population augmente et que les économies nationales continuent de s'éloigner d'un système basé sur l'agriculture, les villes prennent constamment de l'expansion. La croissance urbaine s'effectue souvent aux détriment des terres agricoles ou des forêts productives envahies par ces irrésistibles poussées d'urbanisation.

Avec des analyses multi temporelles, la télédétection offre une perspective unique sur la façon dont les villes se développent. Afin de valider nos résultats on a superposé nos indices avec un levé topographique (données terrain) qui nous aide à déduire que les terrains agricoles ont été consommés par l'urbanisation (figure 8).

La combinaison des ortho photos avec nos données terrain nous confirme le mitage des terrains agricoles par l'urbanisation (figure9).

Face à cet objectif et devant des méthodologies classiques, et l'absence de données de cartographie thématique et la non mise à jour de documents topographiques sur la région d'étude, ainsi que les difficultés posées par la comparaison de documents à différentes échelles, il a été fait appel à une technologie avancée d'études géographiques qui est la télédétection satellitaires.

L'objectif principal de notre travail est de montrer dans quelle mesure, les images prises par satellite conviennent à la détection et à la cartographie des changements à l'échelle de notre périmètre d'étude.

Les performances de l'outil télédétection ne peuvent être valorisé que par une bonne complémentarité des travaux de traitements d'images et de prospection du terrain. Nous pouvons enfin souligner qu'une étude multi temporelle, devrait permettre de gérer l'espace urbain et de contrôler sa dynamique, et permettre de dresser des scénarios prospectifs pour l'aménagement du territoire urbain.

### Références bibliographiques

Rahmani, C. (1982) La croissance urbaine en Algérie : Coût de l'urbanisation et politique foncière. Office des publications universitaires, édition n° 814-12, Alger, 317 p.

Pouchin, T. (2001) « De l'image à la carte », Découverte des principales techniques de traitement d'images.

Zucchelli, A. (1983) Introduction à l'urbanisme opérationnel et la composition urbaine. Office des Publications Universitaires, volume n° 2, Alger, 481 p.

# Identification des Formes Dunaires à partir de la Fusion des Données Optique et Radar : Application sur le Cordon Dunaire de Zâafrane et El Mesrane (Djelfa)

Farida BACHIR BELMEHDI

Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et d'Aménagement du Territoire,  
Université d'Oran E-mail : bachirbelmehdi.farida@yahoo.com

**Résumé :** Les hautes plaines steppiques algériennes connaissent un équilibre délicat et très fragile. Le phénomène d'ensablement, dû aux effets du vent, représente un danger majeur. Afin d'être en mesure de quantifier les différents types de danger, il est indispensable de disposer d'informations fiables pour mieux connaître la dynamique des dunes envahissant la steppe. Dans cette étude, il s'agit de combiner les images satellitaires optiques et radar pour caractériser et identifier la morphologie des dunes. Pour cela, l'intégration des données multi-sources, ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) de Landsat et RSO (Radar à Synthèse d'Ouverture) de ERS2 seront utilisées sur une zone des hautes plaines steppiques Algériennes contenant le cordon dunaire de Zâafrane et El Mesrane située dans la wilaya de Djelfa à 300 km au sud d'Alger. L'intégration des données optiques et radar, en utilisant les systèmes de représentation de couleur ITS (Intensité, Teinte, Saturation) et RVB (Rouge, Vert, Bleu), a permis un meilleur rendu des états de surface avec une distinction des différents types de dunes, des limites du cordon dunaire et du réseau hydrographique.

**Mots-clés :** Images satellitaires - morphologie – les hautes plaines steppiques Algériennes – environnement - dunes.

**Abstract :** The Algerian steppes are experiencing a delicate and very fragile balance. The sand phenomenon, due to the effects of the wind, represents a major risk. In order to be able to quantify the various types of risks, it is essential to have a reliable information to better know the dynamics of the dunes invading the steppe. In this study, we are combining the optical satellite images and radar to characterize and identify morphology of the dunes. For that, the integration of multisource data, ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) of Landsat and RSO (Radar with Synthesis of Opening) of ERS2 will be used on an area of the Algerian steppe containing the dunes of Zâafrane and El Mesrane located in the wilaya of Djelfa (300 km south of Algiers). The integration of the optical data and radar, by using the systems of representation of ITS (Intensity, Hue and

Saturation) and RGB (Red, Green, and Blue), allowed the best returned surface states with a distinction of the various types of dunes of the limits of the dunes and hydrographic network.

**Key words :** Satellite images - morphology – Algerian steppe – environment- dunes.

## 1. Introduction

La désertification figure parmi les problèmes majeurs auxquels sont confrontées les hautes plaines steppiques algériennes. En effet, elle influe sur les milieux biologiques (principalement la végétation, la faune, les systèmes agricoles, forestiers et pastoraux), physiques (sols et ressources en eau) et socio-économiques (migration, famines, changement des pratiques).

Entre les paysages méditerranéens typiques du Tell et le désert saharien, les hautes plaines steppiques algériennes occupent une position charnière bien particulière. Dans ces régions, le climat est dur, très chaud en été, souvent très froid en hiver, favorisant une sécheresse chronique. Le phénomène d'ensablement, dû aux effets du vent, représente un danger permanent découlant la désertification. L'envahissement par les dunes est considéré comme un danger majeur; il est donc indispensable de connaître leur dynamique afin d'être en mesure de quantifier les différents types de dangers qu'elles représentent. La limite spatiale de l'érosion éolienne n'est pas facile à circonscrire : au nord du Sahara une étude complète de l'amorce de dépôts éoliens et de la spatialisation de l'aire de déclenchement du phénomène dunaire est toujours en cours.

Afin de contribuer à résoudre cette problématique, nous proposons une étude basée sur l'utilisation de l'imagerie satellitaire qui joue un rôle important pour la caractérisation des propriétés de surface. Les bandes spectrales les plus utilisées dans la télédétection, en addition avec la bande micro-onde, sont : l'infrarouge (3 $\mu$ m - 30 $\mu$ m), le proche infrarouge et le visible (0,4 $\mu$ m - 3 $\mu$ m) ainsi que l'infrarouge thermique (10 $\mu$ m - 15 $\mu$ m) [Girard MC, Grad CM. 1989]. Ces bandes vont être utilisées par le capteur Enhanced Thematic Mapper (ETM+) de Landsat.

La complémentarité de toutes les données issues de ces bandes est évidente dans le principe, mais l'est moins dans son approche pratique d'exploitation tant que les données sont variées : les résolutions aussi bien radiométriques que géométriques, ainsi que les géométries des capteurs sont différentes. Le cordon dunaire de Djelfa a une couverture continue organisée en alignements de grands dômes séparés par des couloirs de déflation : l'homogénéité du substrat rend difficile une approche spectrale. Une identification des dômes et des aires de déflation va être effectuée à partir de la méthode de fusion des données par élaboration d'une séquence d'opérations. Dans ce travail, les données radar à synthèse d'ouverture de ERS2 et celles de ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) de Landsat ont été utilisées pour caractériser la morphologie des dunes, du cordon dunaire de Djelfa sur les zones de Zâafrane et d'El Mesrane. La classification adoptée est celle considérant les dunes selon les différents paramètres qui gèrent leur dynamique [Mainguet M, Dumay F. 1983] :

1. Nebkas et rebdous.
2. Dunes linéaires (sifs) et dunes barkhaniques.
3. Ergs :
  - a. Champs de barkhanes et de dunes transverses;
  - b. Dunes pyramidales (ghourds).

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1 Présentation de Djelfa

La zone d'étude choisie (Cf. fig.1a et 1b) est celle de Zâafrane et El Mesrane. Elle fait partie de la steppe sud algéroise (300 Km au sud d'Alger), dans le bassin du Zahrez Gharbi qui est une zone semi-aride limitée entre la longitude 2°50' à 3°05' Est et la latitude de 34° 45' à 34°55'12 Nord. Elle est limitée au nord par le Zahrez El Gharbi et au sud par le Djebel Sahari. Les hautes plaines steppiques sud-algéroises sont limitées au nord par les chaînes telliennes et au sud par l'Atlas saharien. Entre le Zahrez et l'Atlas saharien s'intercale le cordon dunaire de Djelfa qui s'étend du Sud-Ouest au Nord sur deux wilayas (Djelfa et M'sila). Il est environ de 250 km de longueur, depuis l'oued Touil jusqu'aux Djebels Sahari à l'Est du Zahrez Chergui, et sur 3 à 5 km de largeur en moyenne [Pouget M. 1980]. Les dunes vives, de formes assez mal définies, atteignent parfois les 20 mètres de hauteur. La forme des dunes dépend des vents dominants. On peut trouver des dunes, allongées parfois sur plusieurs centaines de kilomètres ; tangentes au sillage d'un obstacle. Au cours des tempêtes, le sable migre le long de la dune, parallèlement à l'édifice qui s'allonge selon sa propre direction [Nedjimi B. 1995].

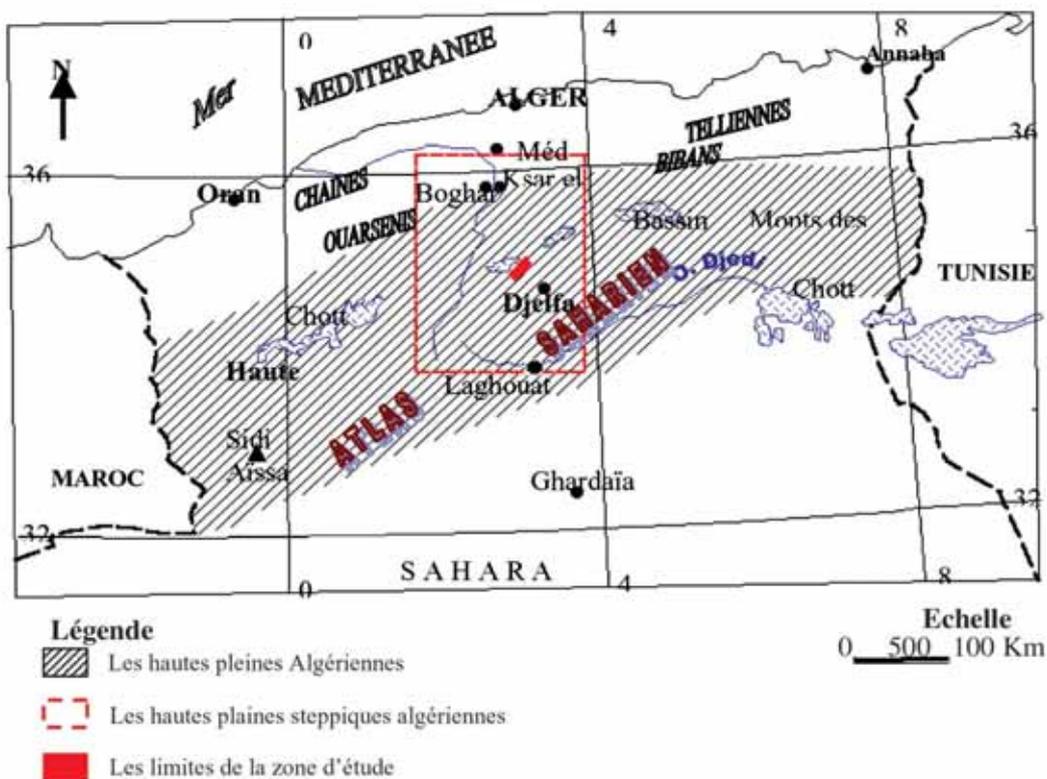


Fig. 1a Localisation de la zone d'étude : Zâafrane et El Mesrane.

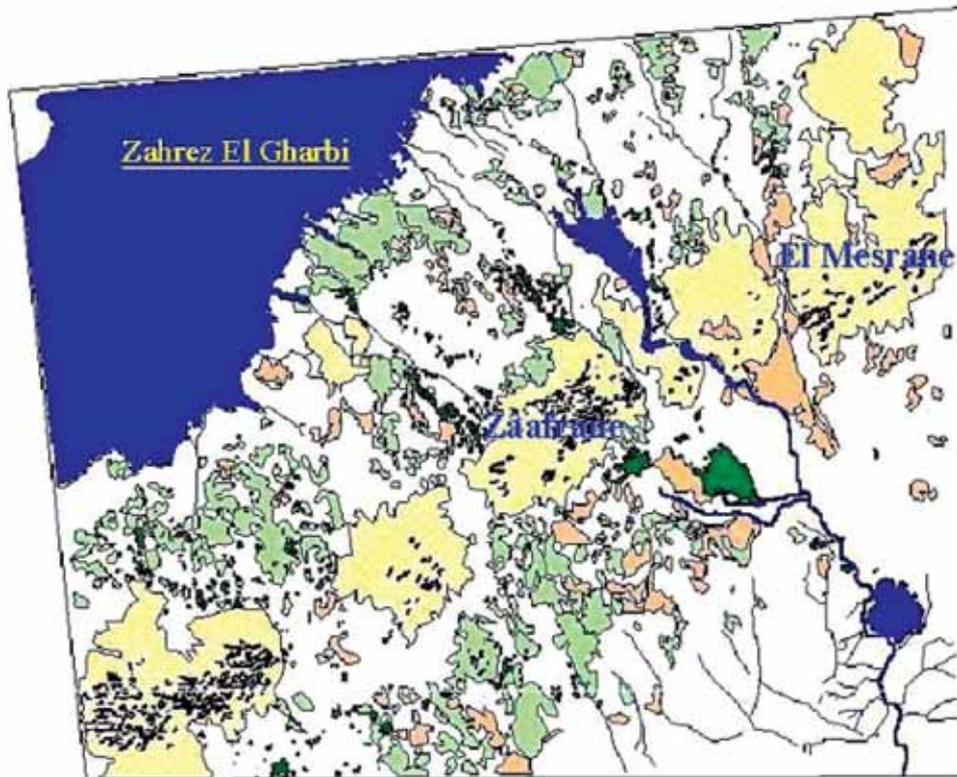


Fig. 1b Croquis morphologique à partir de l'image satellitale ETM+ (Composition colorée 5- 4- 1).

Le profil est formé par deux versants de forte pente, se recoupant en une crête vive. D'abord composé de petits massifs dunaires isolés, le cordon dunaire devient peu à peu continu et difficilement franchissable. Les dunes relativement peu élevées permettent l'installation d'une végétation psammophile (*Tamarix*, sp. *Phragmites communis*, *Aristida pungens*) [Pouget M. 1980].

## 2.2 Télédétection et méthodologie

L'approche développée est basée sur l'utilisation des données radar de ERS2 (12, 5 mètres de résolution) et celles du capteur Enhanced Thematic Mapper de LANDSAT 7, de résolution spatiale 30 mètres, pour caractériser la morphologie des dunes, de Djelfa. Les images de la scène Landsat (scène de 185 km x 185 km) sont datées du 24 Mars 2001. L'image Radar (scène de 100 km x 100 km) a été prise le 19 Juin 2000. Du fait de la nature très différente de ces images, les problèmes à résoudre sont :

- dans une première étape, le filtrage de l'image radar qui est infecté par un bruit multiplicatif appelé "speckle" ;
- deuxièmement, l'application de la morphologie mathématique ;
- troisièmement, le géoréférencement des deux images (optique et radar) et le rééchantillonnage de l'image SAR.

Les travaux consistent à choisir le meilleur filtre pour l'étude selon les différentes techniques de filtrage du speckle proposées par différents auteurs [Desachy J. 1980 et Khatteli H.1981]. Les déformations géométriques des images sont ensuite corrigées de manière à présenter les données dans une projection cartographique courante (UTM "Universal Transverse Mercator") et à rendre les différentes images superposables, afin de pouvoir fusionner les données. Tous les traitements ont été exécutés sous le logiciel ENVI (*Environment for Visualizing Images*) sur un micro processeur P-III.

La méthodologie de travail est l'application de la fusion des données multi-sources. En première étape nous avons transformé des données radar 16 bits en données 8 bits pour faciliter la manipulation ainsi que la combinaison avec les données optiques, puis filtré cette image par la méthode de Frost.

La deuxième étape est la technique de fusion de données selon la méthode de Munsell [Smara Y. 1998]. Elle est basée sur une correction de l'image optique ETM+ par rapport à la carte topographique « Rocher de sel » au 1/100.000<sup>e</sup> avec la méthode de convolution cubique. Les mêmes étapes de correction sont appliquées sur l'image SAR afin d'arriver à une image rééchantillonnée et corrigée géométriquement par rapport à l'image optique (cf. fig.2 et 3).

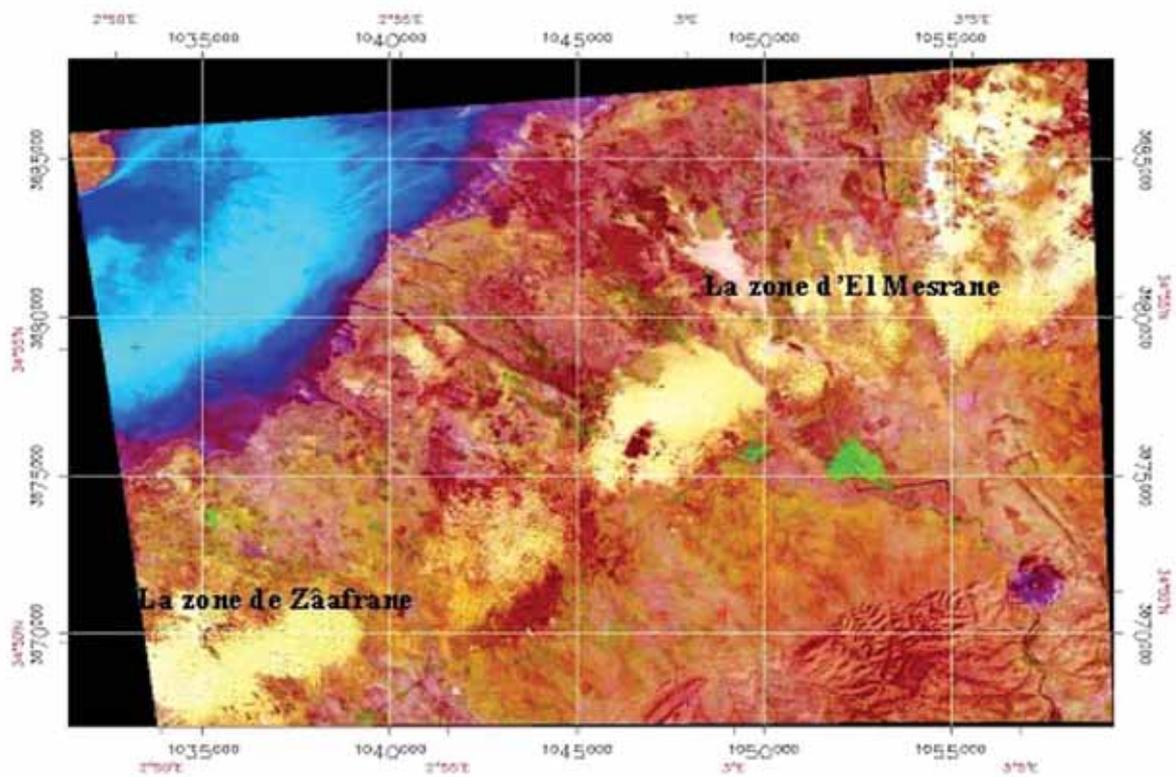


Fig. 2 Image ETM+ corrigée géométriquement (Composition colorée des canaux 5-4-1).

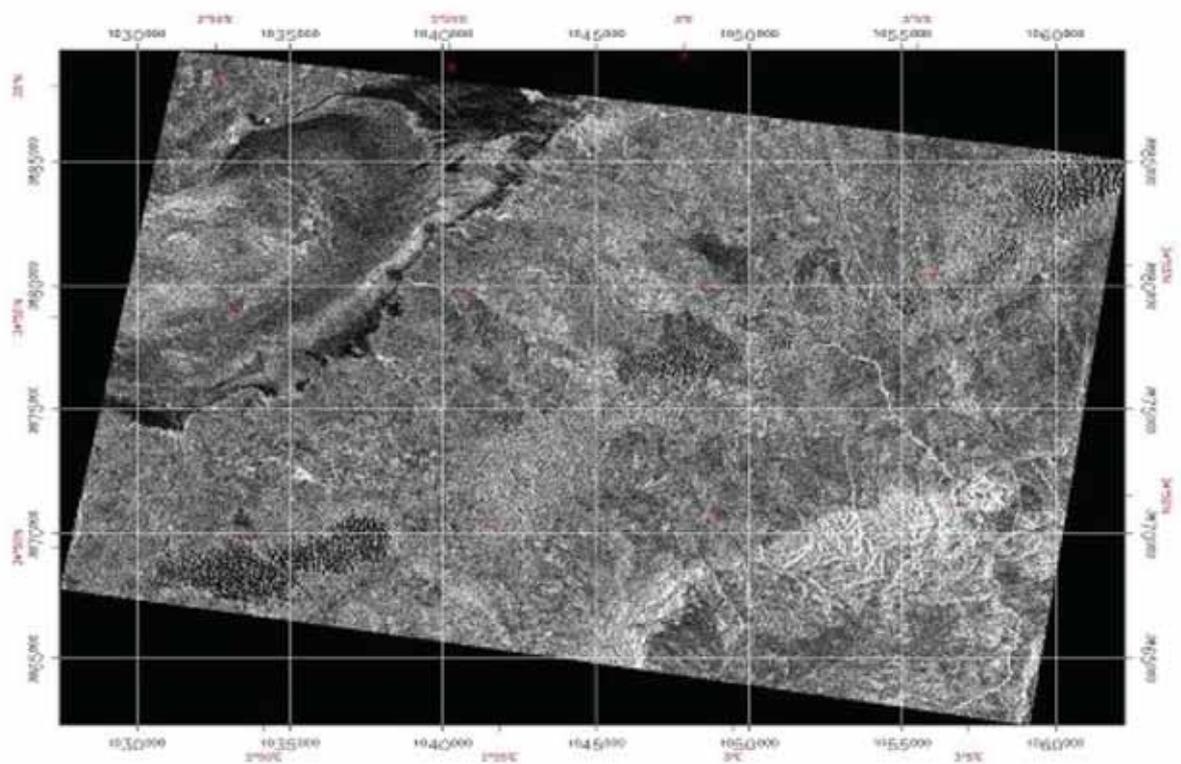


Fig. 3 Image radar corrigée géométriquement et rééchantillonnée.

Les images RSO et Landsat ETM+ sont utilisées comme outils pour les besoins de la cartographie des formes géométriques des édifices dunaires. Le traitement de l'image ETM+ va débuter par une analyse en composantes principales (ACP) pour conserver les trois premiers canaux (ils contiennent la plus grande partie de la variance des images). Ces trois canaux ont été ensuite transférés dans l'espace ITS (Intensité, Teinte, Saturation) où le canal d'intensité a été remplacé par l'image ré-échantillonnée RSO.

Les trois canaux de l'espace ITS ont été enfin ramenés à l'espace RBV (Rouge, Vert, Bleu). Dans cette étude, l'analyse en composantes principales a été appliquée comme une méthode de normalisation de données. La première composante représente la moyenne de l'ensemble des données, alors que les autres composantes indiquent plutôt des changements saisonniers. Ces composantes nous ont permis d'extraire le réseau hydrographique, les limites du cordon dunaire et l'extension du couvert végétal (cf. fig. 4).

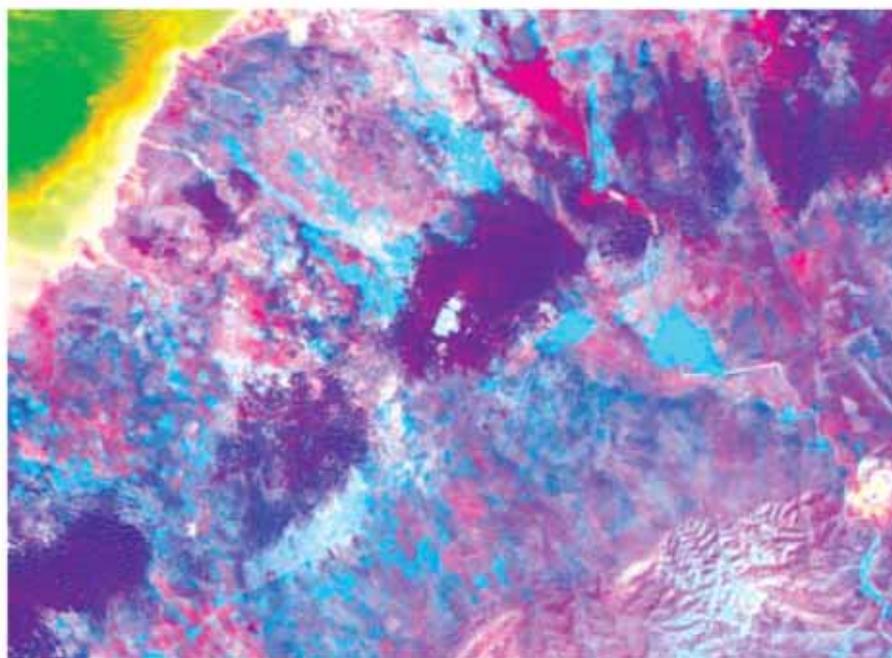


Fig. 4 composition colorée de l'analyse en composante principale appliquée sur l'image ETM+

Sur cet espace de couleur RVB nous avons converti l'image en espace ITS pour obtenir la composition colorée suivante :

Les images optiques sont initialement exprimées dans un système de représentation à trois composantes (R, V, B) fortement lié au choix de la composition colorée. Le but d'une calibration colorimétrique est de remplacer l'information acquise dans un système de représentation normalisée, indépendamment du système d'acquisition et perceptiblement cohérente. Le système de représentation des couleurs retenu est celui de Munsell, qui est largement connu pour décrire la couleur.

Cette transformation met en valeur les affleurements sableux en rouge et en rose et l'extension de voiles sableux (cf. fig. 5).

A partir des néo-canaux ITS nous avons appliqué une transformation inverse qui ajoute une information spatiale à l'information spectrale par l'intégration du canal RSO (cf. fig. 6). La transformation en coordonnées ITS a été également utilisée afin de modifier les couleurs de visualisation des objets vers des couleurs plus naturelles. Toutefois, les résultats nous ont montré qu'il faut combiner les données RSO rééchantillonnées avec les données optiques pour une interprétation optimale des états de surface (luminosité, rugosité et géométrie).

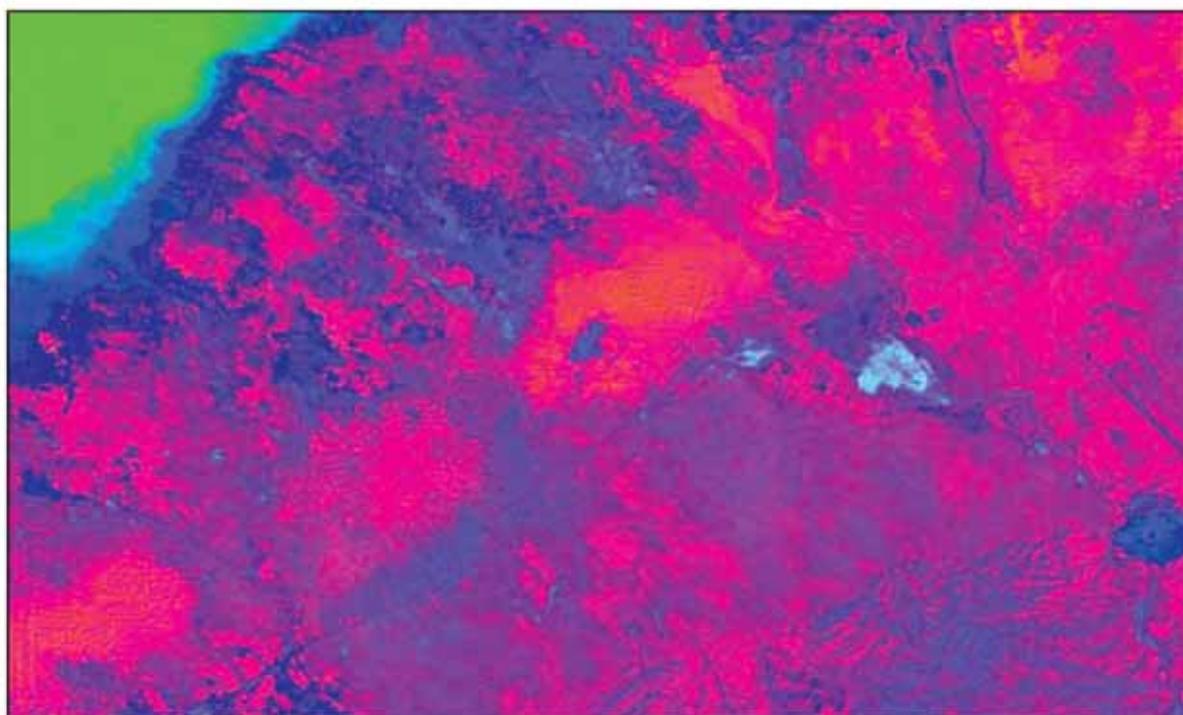


Fig. 5 composition colorée des canaux RVB issus de la transformation ITS effectuées sur les néo-canaux.

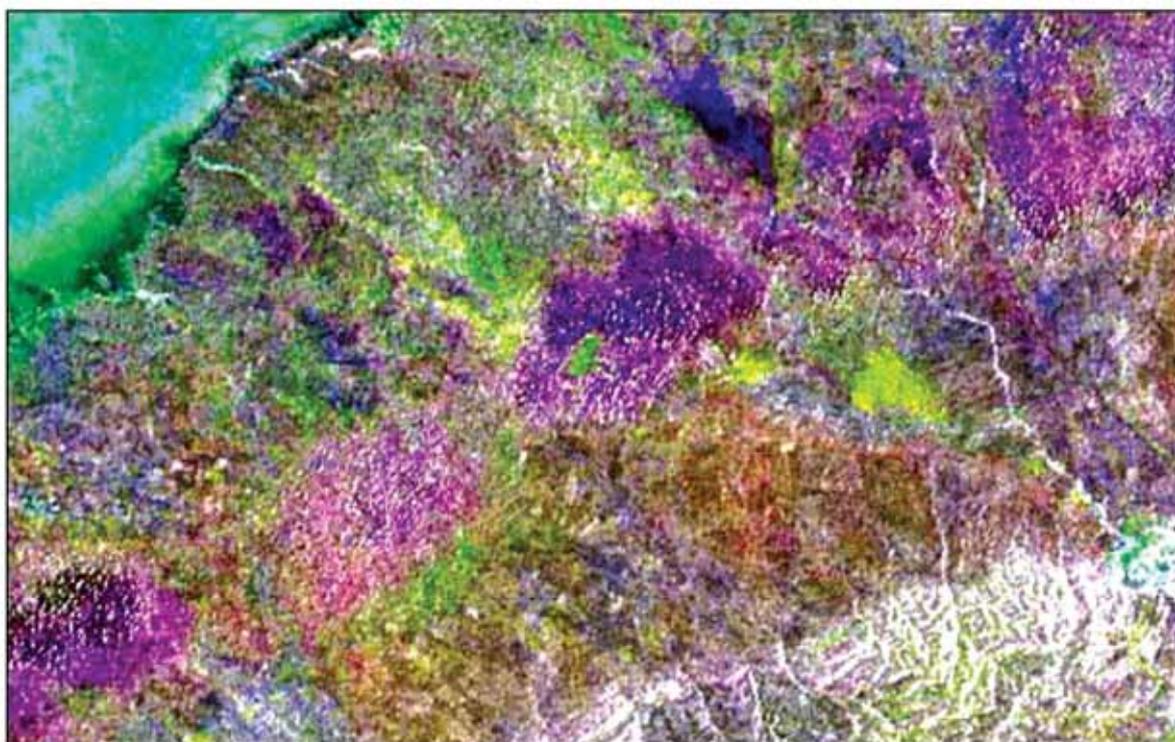


Fig. 6 Composition colorée des canaux issus de la transformation inverse ITS-RVB où le canal RSO remplace l'intensité.

### 3. Analyse des résultats

Sur l'image RSO, traitée par le filtre de Frost, les niveaux de gris sont suffisamment homogènes et différenciés pour permettre la délimitation des ensembles de dunes recherchées :

Les résultats ont montré que mis à part la confusion enregistrée entre la végétation claire et le voile sableux, une meilleure appréciation des sommets des dunes les plus hautes est obtenue et l'alignement des sifs est plus net. Les types de dunes qui entourent les dômes du cordon et occupent les glacis sont généralement des barkhanes.

Cette classification des formes dunaires a été confortée par celle qui est obtenue à partir des travaux déjà réalisés en 2000 dans l'étude CNTS – ALECSO, 2000. De même, le réseau hydrographique encaissé est identifiable (cf. fig. 6).

### 4. Conclusion

Ce travail a montré l'intérêt de l'utilisation de la complémentarité de l'imagerie satellitaire optique et radar pour l'étude de dunes. En effet, l'image RSO a permis, dans ce cas, la caractérisation de la morphologie des dunes de Zâafrane et El Mesrane, grâce sa à richesse en informations morphologique et texturale. En revanche, l'image optique ETM+ caractérisée par son apport spectral permet, lorsqu'elle est combinée avec l'image radar, une meilleure appréciation des formes dunaires sur le cordon ainsi qu'une distinction plus nette de leur alignement. La transformation ITS donne des couleurs plus proches de la réalité terrain et les limites du cordon dunaire sont bien distinctes. Enfin cette méthodologie peut être utilisée pour le suivi de l'évolution des édifices sableux pour une meilleure connaissance du phénomène et une application plus efficace de solutions à adopter dans la lutte contre la désertification (Cf. Photos n°1 et 2).

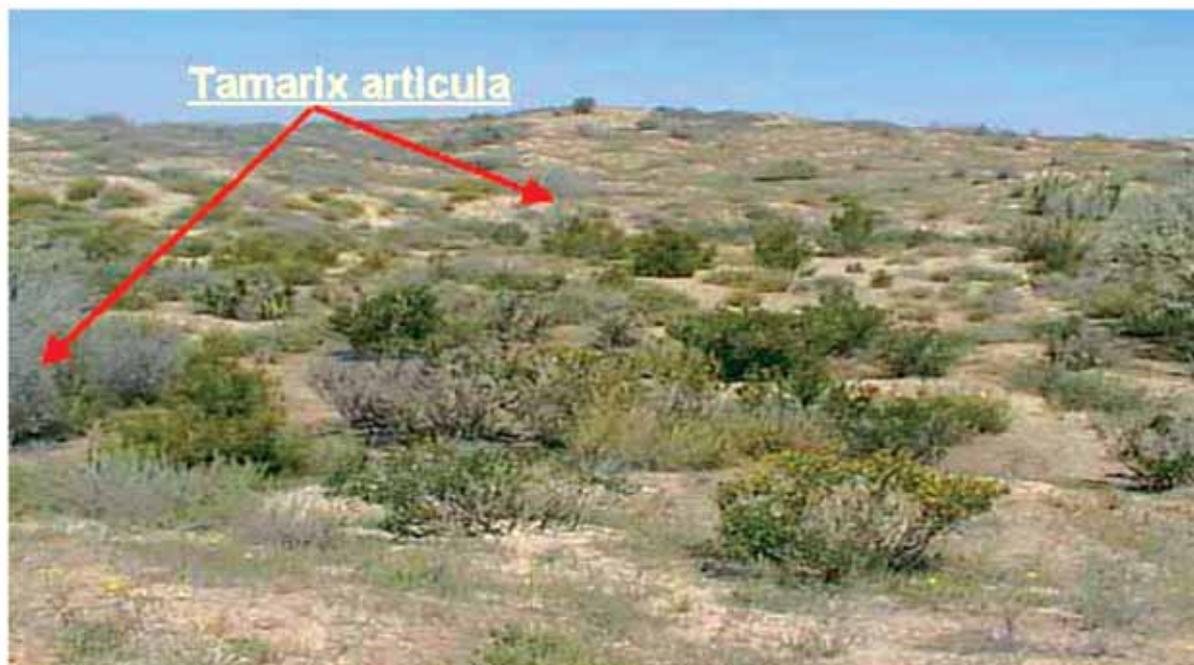


Photo. n°1 Fixations biologiques de quelque dune du cordon de Zâafrane et El Mesrane.

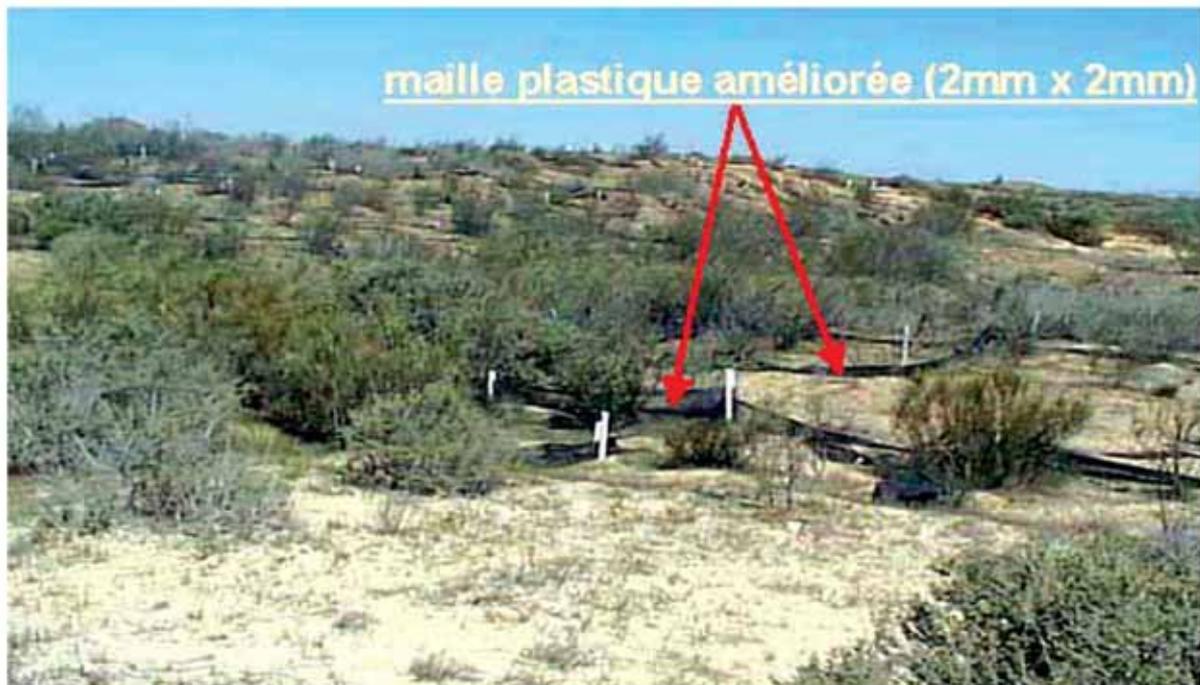


Photo. n° 2 Fixations mécaniques de quelque dune du cordon de Zâafrane et El Mesrane.

### Références Bibliographiques

Desachy J. Contribution à l'étude de la texture en télédétection. Thèse de Doctorat es informatique, université Paul-Sabatier Toulouse, 1980 ; 450 p.

Girad MC, Grad CM. Télédétection appliquée – zones tempérées et intertropicale ; éd. Masson, Paris, 1989 ; 529 p.

Khatteli H. Contribution à l'étude de la dynamique des dunes dans les parcours du sud Tunisien saturation de Rouag. Institut des régions aride, Médenie, tunisie, 1981: 20-33.

Laboratoire de télédétection. Application de la télédétection dans l'étude du phénomène de l'érosion éolienne dans la région de Djelfa. Rapport final, projet. CNTS-ALECSO, 2000 ; 20 p.

Mainguet M, Dumay F. Pourquoi le réseau érosion doit-il faire une place à l'érosion éolienne. Laboratoire de géomorphologie zonale, 1983 ; 57 p.

Nedjimi B. Etude de l'évolution du sol et de la végétation après fixation des dunes dans la région d'El Mesrane. Mémoire d'ingénieur, institut national de formation supérieur en agronomie de Mostaganem, 1995 ; 120 p.

Pouget M. Les relations sol-végétation dans les steppes sud algéroises. O.R.S.T.O.M, Paris, 1980 ; 555 p.

Smara Y. Contribution au système L.A.T.I.S. Evaluation de correspondance terrain-image classée et intégration d'images multisources optiques et radar S.A.R. Thèse doctorat d'Etat, Université des sciences de la technologie Houari Boumediene, 1998 ; 321p.

# Avis aux Auteurs

Nous informons nos aimables auteurs que le **Bulletin des Sciences Géographiques** est indexé et analysé dans la **Bibliographie Géographique Internationale**.

Vous trouverez à cette adresse un descriptif de la base de données **BGI** :

[http://prodig.univ-paris1.fr/umr/Poles\\_comptence/Pole\\_Documentation%20et%20valorisation.htm](http://prodig.univ-paris1.fr/umr/Poles_comptence/Pole_Documentation%20et%20valorisation.htm)

Les notices bibliographiques du **Bulletin des Sciences Géographiques** figurent dans la base de données **FRANCIS-Géographie** du CNRS interrogeable sur :

- le Portail Connectsciences de l'INIST-CNRS <http://connectsciences.inist.fr/> (sous la rubrique Actualités en STM et SHS) pour les 12 derniers mois
- les serveurs internationaux Questel, Orbit, OCLC/PICA, RLG
- les CD-ROM Francis (édités par Ovid Technologies)

Elles figurent aussi dans le produit imprimé de la **BGI** publié par l'UMR PRODIG qui paraît tout les ans :

[http://prodig.univ-paris1.fr/umr/publications\\_documentaires/bgi\\_papier.htm](http://prodig.univ-paris1.fr/umr/publications_documentaires/bgi_papier.htm)

Elles sont aussi mentionnées dans la rubrique Publications du site **Infogéo** consultable sur Internet à l'adresse suivante: <http://prodig.univ-paris1.fr/infogéo/Fichiers/Ouvrages.htm>.

Aussi, 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).

**La Rédaction**

# 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, s'il est jugé recevable par le rédacteur en chef, 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 peuvent être 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 :** Envoyer un courrier à [inct99@wissal.dz](mailto:inct99@wissal.dz)



**INSTITUT NATIONAL DE CARTOGRAPHIE ET DE TELEDETECTION**

Crée par ordonnance 211 67 du 17/10/1967 modifiée par les ordonances 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 00 30 & 021 47 09 20 **Fax:** 213 021 47 00 29 & 021 23 43 81

**e-mail:** inct99@wissal.dz

## Bulletin d'abonnement

- Oui, je souhaite m'abonner au Bulletin des Sciences Géographiques pour une année.**

**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: 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 : .....

Date

Signature

**Retourner ce bulletin 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 00 30 & 021 47 09 20 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





**Bulletin des Sciences Géographiques**

**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](mailto:inct99@wissal.dz)