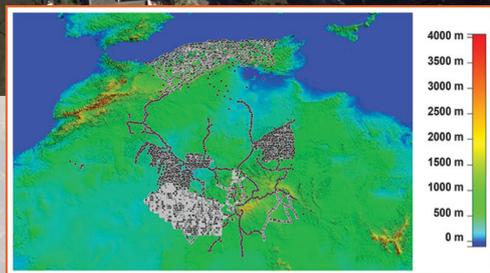
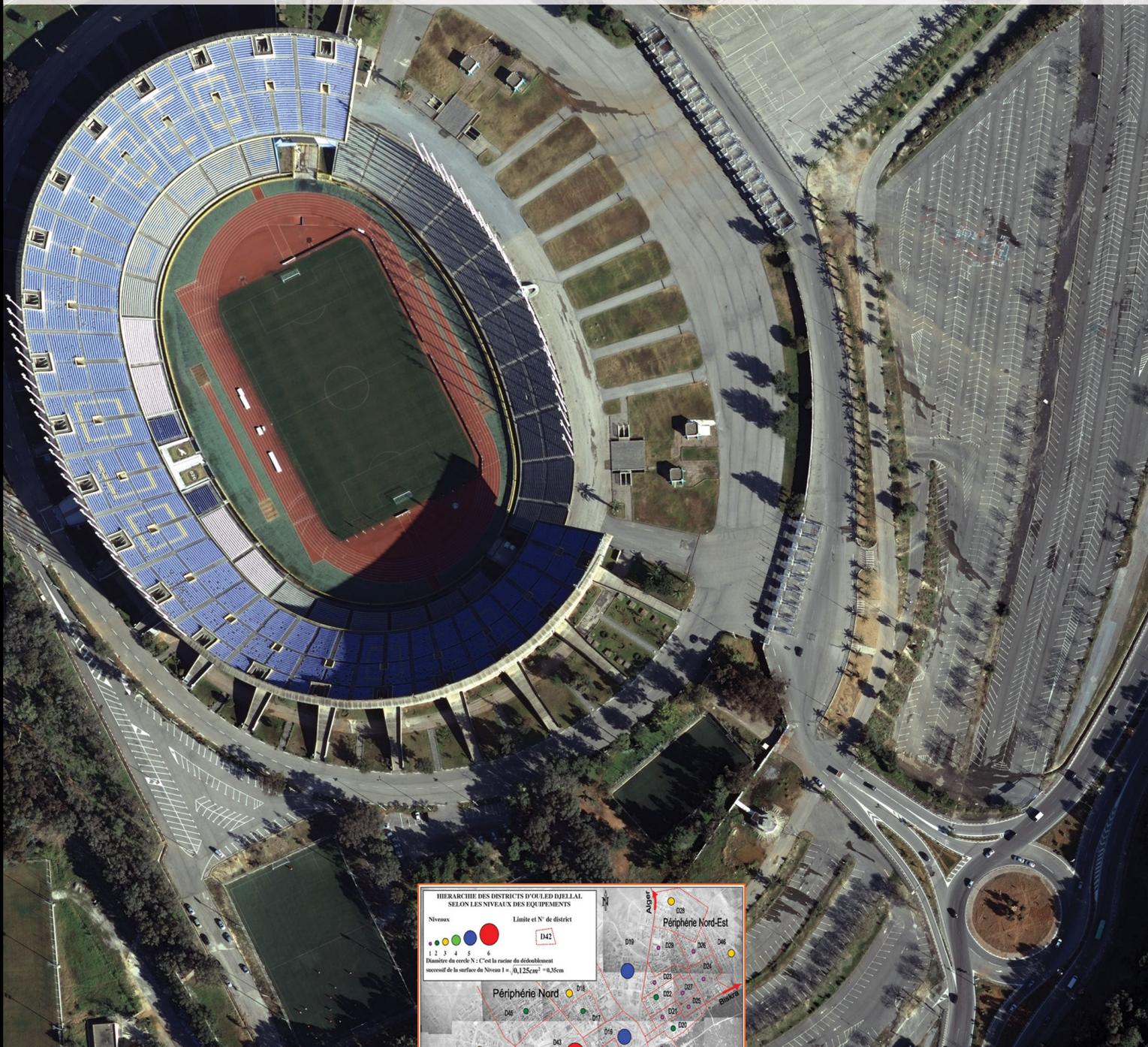


# Bulletin des Sciences Géographiques

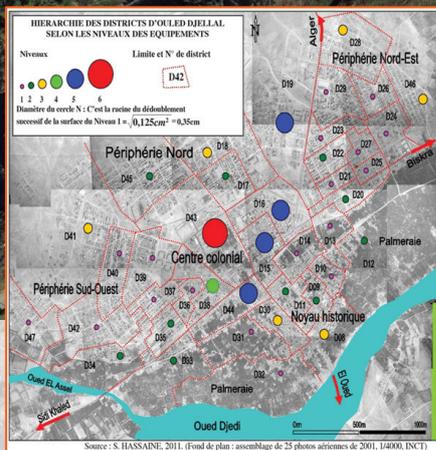
## N° 29

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

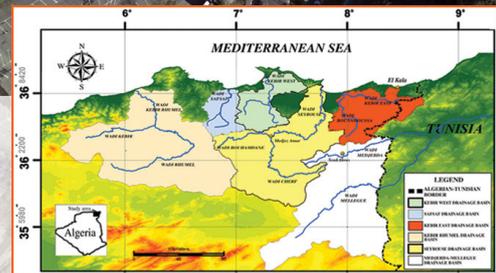
1<sup>er</sup> Semestre 2014 • 17<sup>ème</sup> année • Prix 40 DA • Étranger 15 € • ISSN 1112-3745



Etude qualitative de la précision des Modèles Numériques de Terrain globaux: Cas de l'Algérie



Des villes à systèmes fonctionnels non équilibrés : cas d'Ouled Djellal dans les Ziban



Application of two statistical methods for rainfall network development in northeast of Algeria

Le Bulletin des Sciences Géographiques (BSG) est une publication semestrielle de l'Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT), Algérie.



Le BSG, est une revue internationale, fondée en Octobre 1997.  
ISSN 1112-3745

**Directeur de la Publication :**  
KESRAOUI Arezki, Directeur Général de l'INCT

**Rédaction et administration :**  
Centre de Documentation et de Conservation de l'Information Géographique de l'INCT

**Adresse :**  
Bulletin des Sciences Géographiques,  
INCT, 123, rue de Tripoli BP 430, 16040 Hussein Dey - Alger, Algérie.

**Tél:** (021) 49 16 94  
(021) 49 16 95  
(021) 49 16 97

**Fax:** (021) 49 16 91  
(021) 49 16 88

**E-mail:** [bsg@inct.dz](mailto:bsg@inct.dz) ; [inct@mdn.dz](mailto:inct@mdn.dz) ; [contact@inct.dz](mailto:contact@inct.dz)

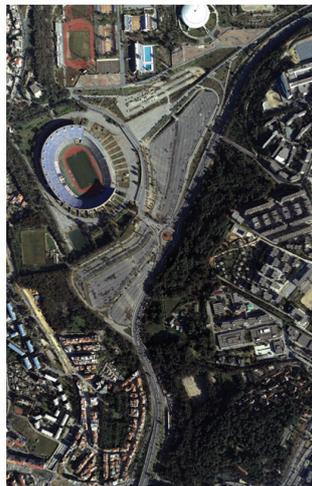
**Comité de Rédaction :**  
GUEMDANI Razika (Rédacteur en Chef)  
Sous Directeur de la Recherche et Développement / INCT  
BOUKHEROUBA Sabredinne,  
Chef de Département Renseignement Images / CREIS ;  
AOUAMER Toufik,  
Sous Directeur des Travaux Spécifiques et Arts Graphiques / INCT ;  
KADDOUR DJEBBAR Abdelghani,  
Chef de Département Bases de Données Géographiques / INCT;  
CHOUDER Mohamed Tahar,  
Chef de Département Analyses & Synthèses / INCT

**Conception et maquette:**  
Service Publication / INCT

**Impression :**  
Complexe des Arts Graphiques / INCT

**Tirage :**  
1000 Exemplaires

**Photo de la couverture :**



*Extrait d'une image DMC  
Lieu : Alger, Résolution : 12 cm, Date : 24 Février 2012*

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

## ■ Géodésie

- Analyse des séries temporelles de coordonnées des sites multi-techniques (SLR, VLBI, DORIS et GPS)  
Par B. GOURINE.....4

- Etude qualitative de la précision des Modèles Numériques de Terrain globaux: Cas de l'Algérie  
Par M. HADDAD, N. RABEHI & H. TAIBI.....16

- Etude de faisabilité d'une station EGNOS à Tamanrasset  
Par L. TABTI & S. ABIDALLAH.....23

- Algerian Augmentation Positioning System (SAAP)  
Par H. ABDELLAOUI & N. ZAOURAR.....30

## ■ Géophysique

- Étude des perturbations séismo-ionosphériques et séismo-électromagnétiques enregistrées par DEMETER  
Par R. MEBARKI, N. ZAOURAR, M. HAMOUDI & M. PARROT.....38

## ■ Hydro-géologie

- Variations spatiales des caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines de la plaine alluvionnaire de Guelma, (Nord-est algérien)  
Par K. BENMARCE, A. CHOUABBI & L. BOUABSA.....52

## ■ Hydrologie

- Application of two statistical methods for rainfall network development in north-east of Algeria  
Par M. TOURKI & K. KHANCHOUL.....63

## ■ Urbanisme

- Des villes a systèmes fonctionnels non équilibrés : cas d'Ouled Djellal dans les Zibans  
Par S. HASSAINE & A. FARHI.....77

## ■ Manifestations scientifiques internationales

- La 3<sup>ème</sup> session du Comité d'Experts des Nations Unies pour la Gestion Globale de l'Information Géospatiale à l'Échelle Mondiale (UNCE-GGIM).....89

- Réunion 2013 de la Commission de l'Association Cartographique Internationale (ACI) sur les normes et les infrastructures de géoinformation.....91

- La 26<sup>ème</sup> Conférence Cartographique Internationale (ICC2013).....92

- Réunion annuelle du Conseil Mixte des Associations d'Informations Géospatiales (JBGIS).....93

- 24<sup>ème</sup> Symposium International du CIPA.....94

- La 17<sup>ème</sup> conférence des utilisateurs francophones d'Esri «SIG 2013 ».....95

- Forum mondial de Chengdu sur l'Initiative des Nations Unies pour la Gestion de l'Information Géo-spatiale à l'échelle mondiale (UN-GGIM).....96

- Conférence arabe pour la géométrie-topographie et les noms géographiques.....97

- La première réunion du Groupe d'experts des Nations Unies sur l'intégration des statistiques et de l'information géospatiale.....98

- La conférence / débat sur les systèmes d'alertes aux tsunamis.....99

- Colloque International sur les barrages et séismes.....100

- L'école d'hiver pour le traitement d'image « IPWS 2013 ».....101

## ■ Calendrier des manifestations scientifiques internationales

## ■ Livres

.....105

### Comité de lecture du BSG



**ABDELLAOUI Hacem**  
Sous-Directeur,  
Service Géographique et de  
Télétection de l'ANP  
(SGT-ANP).



**HADJ ZOBIR Soraya-Irmegeard**  
Professeur,  
Faculté des Sciences de la Terre,  
Université d'Annaba.



**MEBARKI Azeddine**  
Professeur, Directeur du laboratoire  
de recherche « Sciences du Territoire,  
Ressources Naturelles et  
Environnement, Université de  
Constantine ».



**SEMMOUD Bouziane**  
Professeur des Universités,  
Université Paris 8, rattaché au  
laboratoire de recherche  
Dynamiques Sociales et  
Recomposition des Espaces  
(LADYSS) UMR 7533 Paris 1,  
Paris 7, Paris 8 et Paris X



**ABTOUT Abdeslam**  
Maître de Recherche,  
Centre de Recherche en Astronomie,  
Astrophysique et Géophysique  
(CRAAG).



**IDRES Mouloud**  
Professeur, Département de Géophysique  
Faculté des Sciences de la Terre,  
de Géographie et de l'Aménagement  
du Territoire, USTHB-Alger.



**OMRANE Naceur**  
PhD, Directeur Technique  
Institut National de Cartographie  
et de Télétection (INCT)



**SMARA Youcef**  
Professeur, Directeur du  
laboratoire de recherche  
« Traitement d'Images et  
Rayonnement (L.T.I.R) »,  
USTHB-Alger



**BELHOCINE Mahmoud**  
Maître de Recherche,  
Centre de Développement des  
Technologies Avancées (CDTA).



**KAHLOUCHE Salem**  
Directeur de Recherche,  
Centre des Techniques  
Spatiales (CTS) Arzew,  
Oran.



**OUABADI Aziouz**  
Professeur, Directeur du laboratoire  
de recherche « Géodynamique,  
Géologie de l'Ingénieur et  
Planétologie », USTHB-Alger.



**SOUIAH Sid-Ahmed**  
Professeur des Universités,  
Université de Cergy-Pontoise.  
Rattaché au laboratoire de  
recherche Mobilités, Réseaux,  
Territoires et Environnement et  
du Groupe de Recherche sur le  
Maghreb et le Moyen-Orient.



**CÔTE Marc**  
Professeur émérite  
Université de Provence.



**LABORDE Jean-Pierre**  
Professeur des Universités,  
rattaché à l'Université Nice Sophia  
Antipolis.



**RUAS Anne**  
HDR, Institut Français des Sciences  
et Technologies des Transports,  
de l'Aménagement et des Réseaux  
(IFSTTR-France).



**HADEID Mohamed**  
Professeur, Directeur du laboratoire  
de recherche « Espace Géographique  
et Aménagement du Territoire  
(EGEAT), Université d'Oran.



**LAIGNEL Benoit**  
Professeur des Universités,  
rattaché à l'Université de Rouen

## Analyse des séries temporelles de coordonnées des sites multi-techniques (SLR, VLBI, DORIS et GPS)

B. GOURINE

Division de Géodésie Spatiale, Centre des Techniques Spatiales (CTS), 31200 Arzew, Oran.

Email: bgourine@cts.asal.dz, bachirgourine@yahoo.com

**ملخص :** يهدف هذا المقال إلى تحليل السلاسل الزمنية لإحداثيات محطات التقنيات الفضائية لتحديد المواقع (نظام الليزر SLR، نظام VLBI، النظام الفرنسي DORIS و نظام تحديد المواقع GPS)، استناداً إلى التحديد الكمي للإشارة وتوصيف الضوضاء. تتعلق المعطيات المستعملة بالسلاسل الزمنية لإحداثيات 58 موقع مشترك متعدد التقنيات (يحتوي على 127 محطة)، ومرتبطة بالمعلم المرجعي الدولي ITRF2000، على مدى فترة 13 سنة (ما بين عامي 1993 و 2006). لقد تم إجراء مقارنة بين الحلول المختلفة اعتماداً على مختلف التقنيات. و تم التعبير عن النتائج المتحصل عليها من حيث الانحرافات المعيارية (RMS)، السعة المقدر للإشارات الدورية من قبل برنامج FAMOUS، و كذا نوع ومستوى الضوضاء التي تؤثر في هذه السلاسل الزمنية من قبل تباين Allan.

في المواقع المشتركة متعددة التقنيات، تعتبر الدقة ثلاثية الأبعاد للمحطات كافية و متجانسة بالنسبة لتقنيات SLR، VLBI و GPS، في حدود  $\pm 1$  سم. أما بالنسبة لمحطات DORIS، فإنها تقدر بـ  $\pm 2$  سم. حددت سعة الإشارات الدورية بعدة مليمترات، بالنسبة لكل تقنية على حدا. و يوضح تحليل الضوضاء على أساس تباين Allan و طريقة Tricorne (TCH)، عن هيمنة الضوضاء البيضاء في السلاسل الزمنية لـ SLR و DORIS. أما بالنسبة للسلاسل الزمنية المتعلقة بتقنيات VLBI و GPS، فتتواجد فيها ضوضاء ملونة من نوع وميض مع مستوى ضوضاء يقدر بالمليمتر.

**الكلمات الأساسية :** مواقع مشتركة متعددة التقنيات، تقنيات الجيوديزيا الفضائية، تحليل التردد، تباين Allan، طريقة Tricorne.

**Résumé :** Le présent article a pour objectif l'analyse des séries temporelles de coordonnées des stations issues des techniques spatiales de positionnement (SLR, VLBI, DORIS et GPS), basée sur la quantification du signal et la caractérisation du bruit. Les données utilisées concernent les séries chronologiques des coordonnées de 58 sites co-localisés (comprenant 127 stations), exprimées par rapport à l'ITRF2000, sur une période de 13 ans (entre 1993 et 2006). Une comparaison des différentes solutions en fonction des techniques est effectuée. Les résultats sont exprimés en termes d'écart-types (RMS), d'amplitudes des signaux périodiques estimées par le programme FAMOUS, et du

type et du niveau de bruit, affectant ces séries temporelles, obtenus par la variance d'Allan.

Dans les sites co-localisés, la précision 3D des positions des stations est assez homogène pour les techniques SLR, GPS et VLBI, de l'ordre de  $\pm 1$  cm. Cependant, elle est de l'ordre de  $\pm 2$  cm pour celles de la technique DORIS. Les amplitudes des signaux périodiques sont de l'ordre de quelques millimètres, par technique. L'analyse du bruit, basée sur la variance d'Allan et la méthode du tricolore (TCH), montre qu'un bruit blanc dominant est détecté dans les séries temporelles des techniques SLR et DORIS. Cependant, pour celles des techniques VLBI et GPS, elles sont affectées par un bruit de scintillation avec un niveau de bruit millimétrique.

**Mots-clés :** Sites co-localisés, Techniques de Géodésie Spatiale; Analyse fréquentielle, Variance d'Allan, Méthode du Tricolore.

**Abstract :** The objective of the present paper is the analysis of the time series of station coordinates issued from space positioning techniques (SLR, VLBI, DORIS and GPS), based on signal quantification and noise characterizing. The data concern the time series of coordinates of 58 co-located sites (including 127 stations), expressed into the ITRF2000, for a 13 years period (1993-2006). A comparison of different solutions depending on the techniques is performed. The results are expressed in terms of standard deviations (RMS), amplitude of periodic signals estimated by FAMOUS program, type and level of noise affecting these time series obtained by Allan variance. In the co-located sites, the 3D position accuracy of the stations is fairly homogeneous for SLR VLBI and GPS techniques, of about of  $\pm 1$  cm.

However, it is about of  $\pm 2$  cm in the case of DORIS technique. The estimated amplitudes are of the order of a few millimeters per technique. The noise analysis, based on the Allan variance and Three-Cornered Hat (TCH) methods, shows that a dominant white noise is detected in the time series of SLR and DORIS techniques. However, for those of VLBI and GPS techniques, they are affected by flicker noise with a millimeter noise level.

**Keywords :** Collocated sites; Space Geodesy Techniques; Frequency analysis; Allan variance; Three-Cornered Hat (TCH) method.

## 1. Introduction

En géodésie, la notion des repères de référence terrestres joue un rôle clé dans le référencement des réseaux locaux et globaux basés sur les observations des techniques spatiales de positionnement et s'implique dans plusieurs applications en géosciences, telles que: le positionnement, l'orbitographie, la géodynamique, la rotation de la Terre, le champ de gravité, etc.

Ces repères sont établis par combinaison des solutions individuelles des techniques de géodésie spatiale, telles que la technique SLR (*Satellite Laser Ranging*), VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*), GPS (*Global Positioning System*) et DORIS (*Doppler Orbitography Radiopositioning Integrated by Satellite*) [Altamimi et al., 2005a; 2005b; 2002]. La combinaison présente l'avantage de tirer profit au mieux des forces de chacune des techniques mises en jeu. Par exemple, la technique SLR ou LLR est connue d'être la plus précise pour la détermination de l'origine du repère (géocentre), le GPS et DORIS sont dédiés pour améliorer la distribution géographique des stations dans le réseau global et la distribution temporelle des mesures pour les sites en co-localisation [Coulot et al., 2007].

Cependant, plusieurs sources d'erreurs peuvent altérer les résultats d'une telle combinaison et concernent, principalement, les écarts systématiques qui peuvent exister entre les différentes réalisations, même au sein d'une même technique. Ils sont dus à l'utilisation des différents logiciels et stratégies d'observation et de calcul par les différents centres d'analyse. Enfin, les différents produits de l'IERS (repère international de référence terrestre *ITRF*, repère international de référence céleste *ICRF* et les paramètres de rotation de la terre *EOP*) sont calculés d'une façon indépendante, ce qui mène à des inconsistances entre eux.

Les mouvements des stations décrits par les séries temporelles de coordonnées sont, en principe, influencés par l'état des paramètres globaux et leur évolution temporelle qui contribuent dans la définition de l'origine, l'orientation et l'échelle du repère de référence sous-jacent. Ces paramètres concernent au premier lieu le repère de référence lui-même, et les paramètres de rotation de la Terre (mouvement du pôle, temps universel *UT1* et la longueur du jour *LOD*).

L'utilisation de ces séries temporelles permet une meilleure interprétation géophysique des mouvements observés des stations. En effet, la composante horizontale est principalement liée aux mouvements des plaques tectoniques, tandis que la composante verticale est associée aux subsidences et aux phénomènes géophysiques locaux.

L'analyse des solutions individuelles permet de:

- Mettre en évidence les systématismes de chaque technique afin de les prendre en considération dans le

processus de la combinaison pour une meilleure détermination du repère de référence;

- Etudier les phénomènes géophysiques qui altèrent les positions des stations du réseau.

Donc, les séries temporelles des produits géodésiques sont d'un intérêt primordial dans la compréhension du signal résiduel qui peut être lié à un phénomène géophysique local, à l'instrumentation ou aux stratégies d'analyse et de modélisation. Ce signal est composé, généralement, d'une tendance, des composantes saisonnières et des bruits. L'objectif de cet article s'articule sur l'estimation et la description de ces signaux périodiques et de ces bruits présents dans les séries temporelles des paramètres d'intérêt.

Plusieurs études ont été effectuées dans ce contexte. [Ding et al., 2005] ont réalisé une analyse fréquentielle des séries temporelles de positions de quelques stations en co-localisation (GPS et VLBI), en focalisant sur les composantes saisonnières et interannuelles dans ces séries. La transformée en ondelettes a été utilisée pour examiner le contenu spectral des données, ainsi que les magnitudes et les phases des signaux saisonniers ont été estimées par moindres carrés. [Collilieux et al., 2007] ont comparé les séries temporelles d'altitude fournis par les techniques GPS, SLR et VLBI, pour détecter les erreurs systématiques de chacune des techniques. Ils ont utilisé une nouvelle méthode basée sur le filtre de Kalman et l'estimation du maximum de vraisemblance (ou en Anglais, Maximum Likelihood Estimation: MLE) pour détecter les similarités dans les séries temporelles d'altitude et pour calculer les coefficients de corrélation.

[Feissel et al., 2006] ont fait une investigation sur la concordance, dans les parties saisonnières et non saisonnières du spectre des données géodésiques entre DORIS et SLR, et la comparaison de ces données avec ceux fournies par l'analyse des mouvements globaux des fluides géophysiques.

[Ray & Altamimi, 2005] ont focalisé leurs efforts dans le rattachement entre les techniques VLBI et GPS dans les sites de co-localisation pour réaliser un repère précis avec seulement quelques années de données. Récemment, [Feissel et al., 2007] ont étudié la stabilité du positionnement par les techniques VLBI, SLR, DORIS et GPS, en se basant sur l'analyse de la variance d'Allan et la méthode du tricorne (TCH).

La méthode adoptée se base sur l'analyse spectrale pour l'estimation des signaux périodiques par le programme FAMOUS, établi à l'Observatoire de la Côte d'Azur OCA – France (*Frequency Analysis Mapping On Unusual Sampling*) [Mignard, 2004; 2005] et sur la variance d'Allan [Allan, 1966; 1987] pour l'étude du bruit (estimation du type et niveau de bruit) et ceci pour comprendre le comportement de ces mouvements et pour faciliter leur interprétation.

La section 2 décrit la méthodologie d'analyse adoptée pour l'étude des séries temporelles de position. Les données disponibles (relativement anciennes) sont décrites dans la section 3. Elles concernent les séries temporelles des coordonnées résiduelles de stations estimées à partir des observations des techniques SLR, GPS, VLBI et DORIS référées par rapport à l'ITRF2000. Enfin, les résultats obtenus sont présentés et discutés dans les sections 4 et 5.

## 2. Méthodologie d'analyse

### 2.1 Analyse fréquentielle par FAMOUS

Le programme FAMOUS (*Frequency Analysis Mapping On Unusual Sampling*) a été développé par M. F. Mignard (Laboratoire de CASSIOPEE / Observatoire de la Côte d'Azur) pour le projet GAIA. Ce programme effectue une analyse fréquentielle d'un signal temporel à échantillonnage non régulier. En effet, les données à analyser qui concernent les séries temporelles des produits de géodésie spatiale ne sont pas régulièrement échantillonnées (présence des trous d'observations; c'est le cas des séries de GPS, SLR et DORIS; ou irrégularité d'échantillonnage; c'est le cas des séries VLBI).

Ce programme permet de détecter les périodes présentes dans le signal et estime par la suite les amplitudes et phases associées à ces dernières, en utilisant l'ajustement non linéaire de Levenberg-Marquardt. L'algorithme de FAMOUS (cf. Figure 1) décompose une série temporelle  $y(t)$  sous forme d'une série de Poisson dont il  $\eta_k$  va déterminer les fréquences et les coefficients  $C_k(t)$  et  $S_k(t)$  :

$$X(t) = C_0(t) + \sum_k [C_k(t) \cdot \cos(2\pi \cdot \eta_k \cdot t) + S_k(t) \cdot \sin(2\pi \cdot \eta_k \cdot t)] \quad (1)$$

Où,  $C_0(t)$ ,  $C_k(t)$ ,  $S_k(t)$  sont des polynômes dont le degré est fixé par l'utilisateur, de la forme suivante, par exemple :

$$C_k(t) = c_0 + c_1 \cdot t + c_2 \cdot t^2 + \dots + c_n \cdot t^n \quad (2)$$

Avec,  $n$  étant le degré maximum fixé par l'utilisateur.

La première étape de l'algorithme consiste à soustraire une tendance polynomiale de la série temporelle, ajustée par la méthode des moindres carrés. Ensuite, un premier périodogramme de la série résiduelle est calculé par moindres carrés en un jeu de fréquences. Pour chaque fréquence, une constante et les coefficients des sinus et cosinus sont ajustés par moindres carrés. La fréquence possédant la plus grande amplitude est alors retenue et ré-estimée par un ajustement non-linéaire pour détecter la fréquence significative suivante. À chaque étape, toutes les fréquences, ainsi que la tendance, sont réajustés par la méthode de Levenberg-Marquard. L'algorithme s'arrête lorsqu'un nombre de fréquence imposé par l'utilisateur est estimé (cf. Figure 1).

La dernière étape consiste à analyser et filtrer les fréquences retenues suivant deux principaux critères: la résolution fréquentielle et le rapport signal sur bruit (SNR) des pics de fréquences. La signification de ces lignes spectrales est évaluée dans le domaine spectral en divisant l'amplitude par la valeur médiane du bruit calculé une fois la ligne spectrale retirée. La valeur adoptée du SNR est de 3.0 pour analyser les séries temporelles des produits de géodésie spatiale. Pour plus de détails sur ce logiciel, il est nécessaire de se référer à la documentation de FAMOUS [Mignard, 2005].

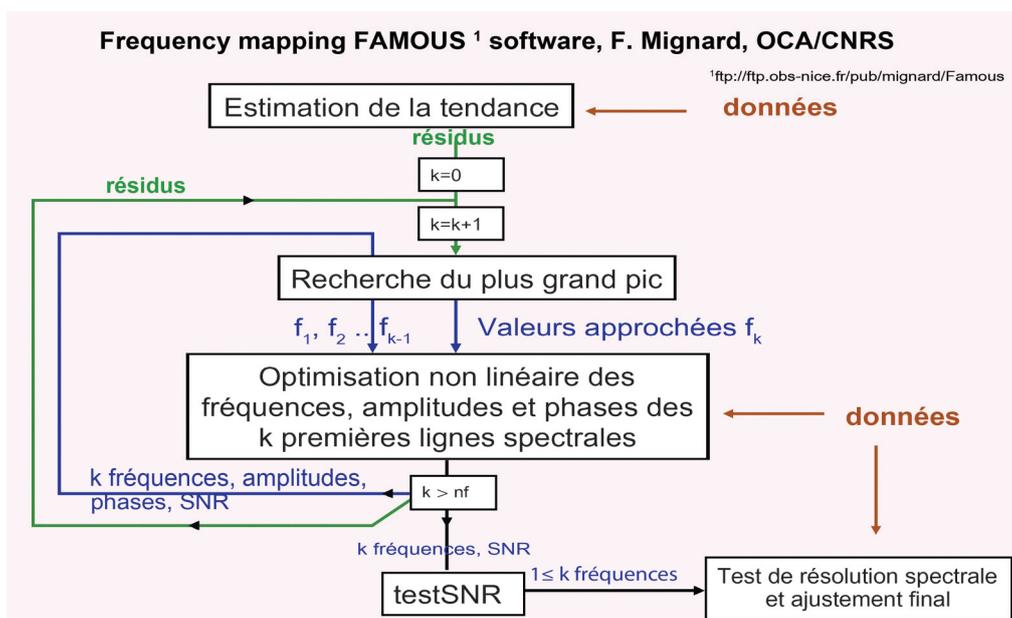


Fig. 1 Algorithme du programme FAMOUS. SNR: rapport signal sur bruit

### 2.2 Estimation du bruit par la variance d'Allan

La variance d'Allan est un outil très utilisé dans le domaine temporel et fréquentiel, notamment dans l'étude de la stabilité des horloges atomiques au Bureau International des Poids et Mesures (BIPM). C'est un *dépliement* de la variance usuelle dans le domaine temps.

Considérons  $(X_j)_{j=1,N}$  un processus stochastique dont les réalisations  $X_j$  sont faites à intervalle de temps constant  $\tau_0$ , figure (2). Pour un temps d'échantillonnage donné  $\tau$  ( $\tau$  est multiple de  $\tau_0$ , tel que :  $\tau = M \tau_0$ ), décomposons l'échantillon initial en sous-échantillons de longueur  $\tau$  que l'on note :  $(X_{k'}^i)_{k'=1, \dots, M}$   $i \in \{1, N - M + 1\}$ .

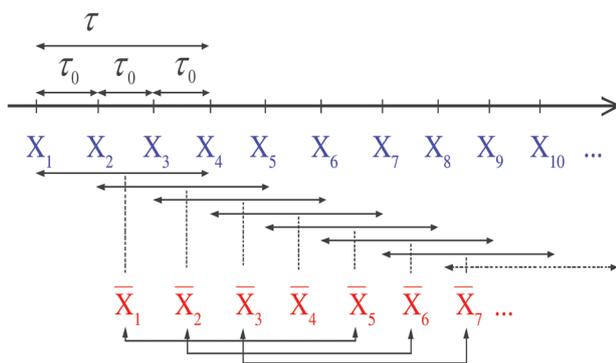


Fig. 2 Principe de sous-échantillonnage par la variance d'Allan

La variance d'Allan, pour le temps d'échantillonnage  $\tau$ , est définie comme suit :

$$\sigma_{AX}^2(\tau) = \frac{1}{2(N-2M+1)} \sum_{k=1}^{N-2M+1} (\bar{X}_{k+M,M} - \bar{X}_{k,M})^2 \quad (3)$$

La détermination du type de bruit, affectant une série temporelle  $X$ , se base sur l'analogie de la variance d'Allan avec la densité spectrale de puissance  $S_x$ . D'après [LeBail, 2004], les bruits observés peuvent être de deux natures différentes:

- **bruit blanc** : c'est un bruit non corrélé avec le temps (i.e., invariant avec le temps) dont l'amplitude peut être facilement diminuée en augmentant le nombre de mesures faites.
- **bruit coloré** : bruit de scintillation (ou flicker noise) et marche aléatoire (ou random walk): c'est un bruit corrélé avec le temps. Il présente un problème : si le nombre de mesures est trop grand, son amplitude augmente jusque tendre vers des valeurs infinies. Ces bruits sont bien connus dans le domaine spectral où on les détermine à partir de la fonction de densité spectrale de puissance.

L'expression de la variance d'Allan en fonction de la densité spectrale  $S_x$  est donnée par :

$$\begin{aligned} \hat{\sigma}_{AX}^2(\tau) &= \tau^{-2} \cdot 2 \int_0^{+\infty} f^{-2} S_x(f) \frac{\sin^4(\pi f \tau)}{\pi^2} df \\ &= \tau^{-2} \cdot c^{te} \end{aligned} \quad (4)$$

En passant par la fonction logarithmique de l'équation précédente, on obtient :

$$\log[\hat{\sigma}_{AX}^2(\tau)] = \mu \cdot \log(\tau) + c^{te} \quad (5)$$

Le coefficient  $\mu$ ; généralement estimé par la méthode des moindres carrés; permet de déterminer le type de bruit :

- si  $\mu = -1, \alpha = 0$  : on a un bruit blanc ;
- si  $\mu = 0, \alpha = -1$  : on a un bruit de scintillation;
- si  $\mu = 1, \alpha = -2$  : on a une marche aléatoire.

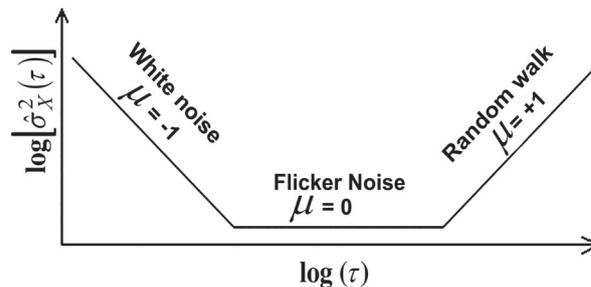


Fig. 3 Diagramme d'Allan : Représentation de la variance d'Allan en échelle Log-Log

### 2.3 Méthode TCH

[Gray & Allan, 1974] ont introduit pour la première fois la méthode classique du tricorne pour l'étude de la stabilité des horloges atomiques. [Weiss & Allan, 1986] ont utilisé cette méthode pour déterminer la précision des horloges GPS.

Quand plusieurs mesures sont disponibles pour le même signal, la variance et la covariance peuvent être évaluées directement à partir des ensembles de mesures sous certaines hypothèses algébriques: une telle méthode est connue sous le nom de Technique du tricorne (*Three-Corner Hat: TCH*) [Premoli & Tavella, 1993]. L'algorithme de cette technique permet, pour trois séries de mesures indépendantes décrivant le même phénomène, d'estimer la variance d'Allan de chacune d'elles [Feissel et al., 2007]. Il est basé sur l'hypothèse que la partie commune des trois séries de mesures est un signal vrai et que la partie non commune est considérée comme un bruit pur (i.e., séries non corrélées).

Pour chaque série temporelle  $X_k(t)$ ,  $k=1,3$ , on a :

$$X_k(t) = X(t) + \varepsilon_k(t) \quad (6)$$

Avec:

$X(t)$ : est le signal vrai,

$\varepsilon_k(t)$ : est le bruit de la série de mesures  $k$ .

En formant les différences entre ces séries et cherchant leurs variances d'Allan pour un temps d'échantillonnage  $\tau$ , on obtient:

$$\begin{aligned} \sigma^2_A(X_1 - X_2, \tau) &= \sigma^2_A(\varepsilon_1, \tau) + \sigma^2_A(\varepsilon_2, \tau) \\ \sigma^2_A(X_1 - X_3, \tau) &= \sigma^2_A(\varepsilon_1, \tau) + \sigma^2_A(\varepsilon_3, \tau) \\ \sigma^2_A(X_2 - X_3, \tau) &= \sigma^2_A(\varepsilon_2, \tau) + \sigma^2_A(\varepsilon_3, \tau) \end{aligned} \quad (7)$$

La détermination des variances des bruits de chaque série est faite par la résolution du système (7) par la méthode de Cramer.

Cette technique peut être étendue à plus de trois séries, en gardant l’hypothèse d’indépendance des séries. Le système étant surdéterminé, on peut le résoudre par un ajustement par moindres carrés.

Cette méthode a été généralisée dans le domaine temps et fréquence sous l’hypothèse que les bruits des différentes séries sont corrélés mais cette corrélation est très faible [Premoli & Tavella, 1993]. Ce concept a été appliqué avec succès par [Koot et al., 2006] dans le domaine de la géodésie pour la validation des séries temporelles des moments angulaires atmosphériques et par [Feissel et al., 2007] dans l’évaluation de la stabilité du positionnement par les techniques de la géodésie spatiale.

### 3. Description des données utilisées

Les données utilisées concernent les séries temporelles des sites en co-localisation, décrites dans le tableau (1). La figure (4) illustre la distribution géographique de ces sites. Ces données regroupent l’ensemble des séries de coordonnées géographiques résiduelles (Latitude, Longitude, Altitude) de 127 stations réparties sur 44 sites, i.e., zones où se trouvent des stations proches l’une à l’autre d’une manière à les supposer appartenir au même voisinage physique. Dans ce cas, les distances intra-sites n’excèdent pas 5 km pour considérer que les signaux résiduels de ces stations ont un comportement commun [Feissel et al., 2007].

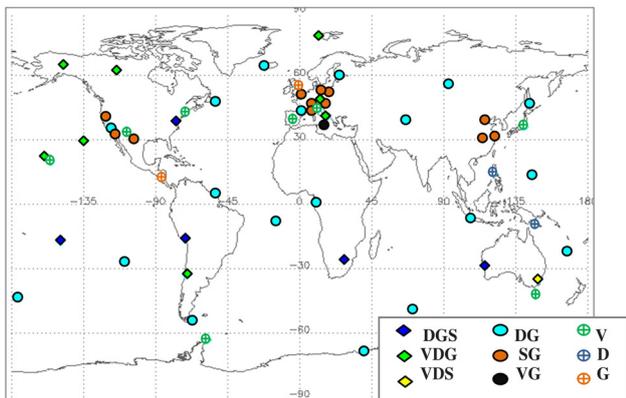


Fig. 4 Répartition des sites en co-localisation des techniques de Géodésie spatiale. Les techniques DORIS, GPS, VLBI et SLR sont désignées dans la figure, par les lettres D, G, V et S respectivement

Les données sont relativement anciennes et sont référées à l’ITRF2000. Elles concernent les séries temporelles de positions des stations, sur une période de 13 ans (entre 1993 et 2006). Ces solutions (archivées dans des fichiers SINEX) ont été calculées par les centres d’analyse officiels des services de l’Association Internationale de Géodésie (AIG) tels que (ILRS, IGS, IVS et IDS) et traitées par le logiciel CATREF (*Combination and Analysis of Terrestrial Reference Frames*) [Altamimi et al., 2005a; 2005b; 2002].

D’après la figure (4), il est clair que la répartition et le nombre des sites en co-localisation ne sont pas équitables entre l’hémisphère nord et l’hémisphère sud. On remarque aussi qu’il y a seulement deux sites sur tout le continent africain (Afrique du Sud et Gabon), par rapport à l’Europe qui abrite plus de 10 sites. Les réseaux DORIS et GPS sont plus denses par rapport à ceux de SLR et VLBI.

Les moyennes des précisions, mesurées par les erreurs moyennes quadratiques pondérées (WRMS), des coordonnées géographiques de toutes les stations et par technique sont listées dans le tableau (1). Les résultats montrent que les solutions GPS et VLBI sont les plus précises en positionnement horizontal, de l’ordre de  $\pm 5-6$  mm, et que celle du SLR est la plus précise en positionnement vertical de l’ordre de  $\pm 5$  mm.

Généralement, les moyennes des WRMS en position 3D de ces trois techniques sont du même ordre. Cependant, pour la technique DORIS le constat est différent. Les moyennes des précisions de cette technique sont de l’ordre de  $\pm 15$  mm,  $\pm 11$  mm et  $\pm 19$  mm, en positionnement horizontal, vertical et 3D, respectivement.

Tableau 1. Statistiques des séries temporelles de coordonnées des sites en co-localisation

Tech.	Sites	Début – Fin	Moy ( $\sigma_{LAT}$ )	Moy ( $\sigma_{LON}$ )	Moy ( $\sigma_H$ )	Moy ( $\sigma_{3D}$ )
DORIS	37	1993.1 – 2006.1	12.7	9.2	10.7	19.2
GPS	49	1996.2 – 2006.1	3.6	4.0	7.9	9.7
SLR	19	1993.1 – 2006.1	6.3	6.3	5.2	8.7
VLBI	22	1988.0 – 2006.2	4.3	5.0	7.2	9.8

On constate que la précision en altitude est moindre par rapport à celle des deux coordonnées horizontales dans le cas des techniques GPS et VLBI. Ceci est dû principalement au délai zénithal (effet troposphérique) sur la composante verticale. Dans le cas de la technique SLR, la précision est meilleure en composante verticale qu’en composantes horizontales, du fait que cette technique est moins sensible à l’effet atmosphérique et que les erreurs radiales de l’orbite des satellites, qui sont en corrélation avec la composante verticale de la position de la station,

sont moins importants que les erreurs tangentielles et normales. Les erreurs radiales sont les plus décisives pour garantir la précision de la technique Laser.

#### 4. Estimation des signaux périodiques dans les positions des stations

L'analyse des séries temporelles des appoints des coordonnées géographiques de stations est d'un intérêt primordial pour l'étude des mouvements de ces stations qui sont dues à des phénomènes géophysiques.

La figure (5) illustre la distribution des signaux saisonniers annuels suivant les différentes techniques (GPS, VLBI, SLR et DORIS), en utilisant les conventions de représentation employées par [Collilieux et al., 2007]. Ainsi un vecteur pointant directement le Nord décrit un mouvement saisonnier ayant un maximum en janvier, ou un vecteur pointant l'Est décrit cependant un mouvement saisonnier maximum en Avril. La norme du vecteur représente l'amplitude du signal et son orientation désigne la phase, comptée positivement dans le sens rétrograde à partir du Nord, selon la formule  $A * \cos(\omega(t - t_0) + \varphi)$ . Ces vecteurs sont estimés par le programme FAMOUS.

Ces signaux périodiques sont liés aux modèles géophysiques résiduels tels que les effets de charges atmosphériques, océaniques ou hydrologiques pour la composante altimétrique et les effets des mouvements tectoniques et d'affaissements de l'écorce terrestre (subsidence) pour les composantes planimétriques. Ils ont été estimés avec un ratio signal sur bruit  $SNR > 3.0$  (i.e., signaux significatifs). D'après le tableau (2), la magnitude des signaux semi-annuels est de l'ordre de 8mm, 1mm, 4mm et 3mm en planimétrie, respectivement suivant les techniques, DORIS, GPS, SLR et VLBI. Elle est de l'ordre de 5 mm, 2 mm, 2 mm et 4mm, en altimétrie. Concernant la magnitude des signaux annuels, elle est de l'ordre de 11mm, 1mm, 5mm et 2mm en planimétrie, suivant les techniques, DORIS, GPS, SLR et VLBI, respectivement. En altimétrie, la magnitude obtenue est de l'ordre de 8mm, 3mm, 4mm et 3mm.

D'après la figure (5), on constate que les signaux estimés, suivant les différentes techniques, ne sont pas corrélés ou peu corrélés entre eux, c.-à-d., que les signaux d'origine géophysique ne sont pas reflétés de la même façon par ces techniques. Cela peut s'expliquer par le fait que ces techniques sont indépendantes entre elles en termes de principe de mesure, de modélisation, etc.

D'après [Altamimi et al., 2007], une investigation plus poussée de la partie non linéaire de ces séries temporelles peut révéler la présence d'effets systématiques de la technique utilisée au lieu des causes géophysiques.

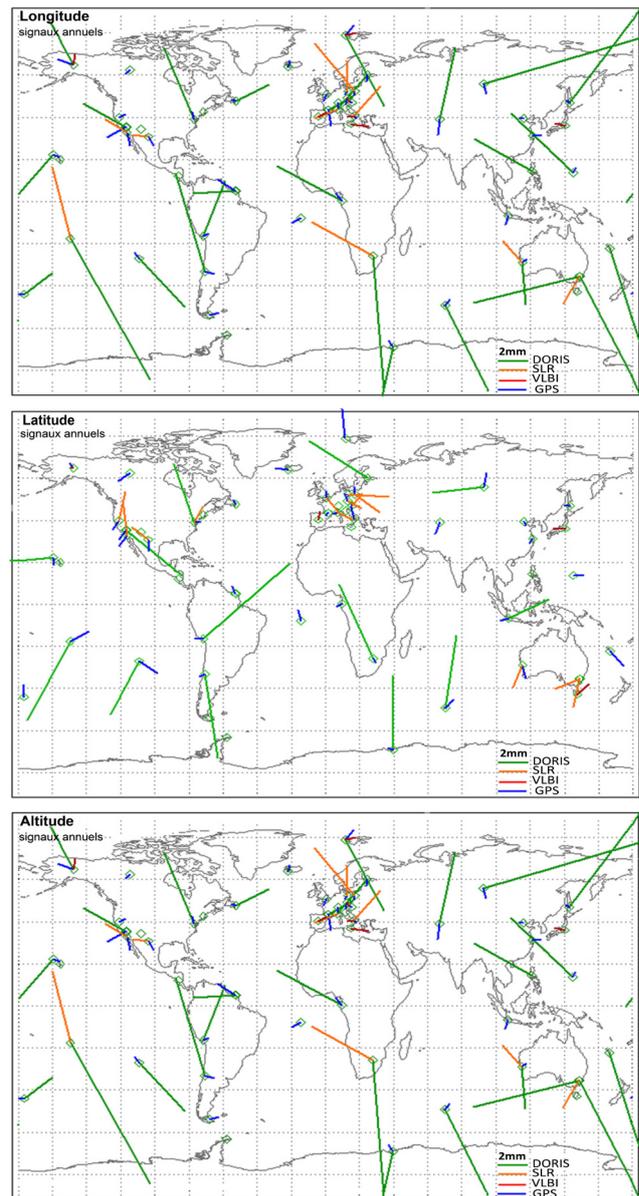


Fig. 5 Signaux annuels des coordonnées géographiques des sites en co-localisation

Le tableau (2) illustre les statistiques des amplitudes des signaux annuels et semi-annuels suivant les trois coordonnées géographiques et correspondantes aux différentes techniques. Il est clair que les valeurs les plus larges correspondent aux signaux détectés dans les séries temporelles DORIS, tandis que les amplitudes les plus petites concernent les signaux des séries GPS (cf. Figure 5).

En général, les valeurs des moyennes des amplitudes ne dépassent pas 1 cm. On constate aussi qu'il y a un facteur d'environ 2 entre les amplitudes moyennes des signaux annuels et semi-annuels, pour les différentes techniques.

Tableau 2. Statistiques des amplitudes estimées des signaux périodiques par technique

Technique	Coordonnée	Signaux semi-annuels			Signaux annuels		
		Min (mm)	Max (mm)	Moy (mm)	Min (mm)	Max (mm)	Moy (mm)
DORIS	LAT	3.3	9.6	5.7	5.1	12.7	7.9
	LON	1.0	6.6	4.5	0.4	16.6	8.3
	H	3.2	10.0	5.4	3.4	16.1	8.3
GPS	LAT	0.2	1.3	0.6	0.2	3.0	1.0
	LON	0.3	1.1	0.5	0.4	2.4	0.9
	H	0.7	4.2	1.7	0.9	8.1	3.1
SLR	LAT	1.3	3.3	2.7	1.6	4.8	2.6
	LON	1.2	4.5	2.5	1.8	7.8	4.2
	H	1.1	3.6	2.0	1.1	6.8	3.6
VLBI	LAT	0.5	7.3	2.2	0.4	1.6	1.0
	LON	0.5	3.3	1.8	0.4	2.0	1.1
	H	1.3	7.8	3.7	1.6	6.9	3.4

La figure (6) montre les histogrammes, en coordonnées polaires, des signaux périodiques annuels des composantes géographiques suivant les différentes techniques. On constate une distribution assez uniforme des phases annuelles. Cependant, une distribution orientée, vers une direction spécifique, signifie la présence d'un signal artificiel causé, par exemple par un systématisme dans le traitement et dans la modélisation. Les modèles géophysiques décrivant la variation temporelle de la Terre solide n'indiquent aucune périodicité annuelle significative dans les coordonnées des stations.

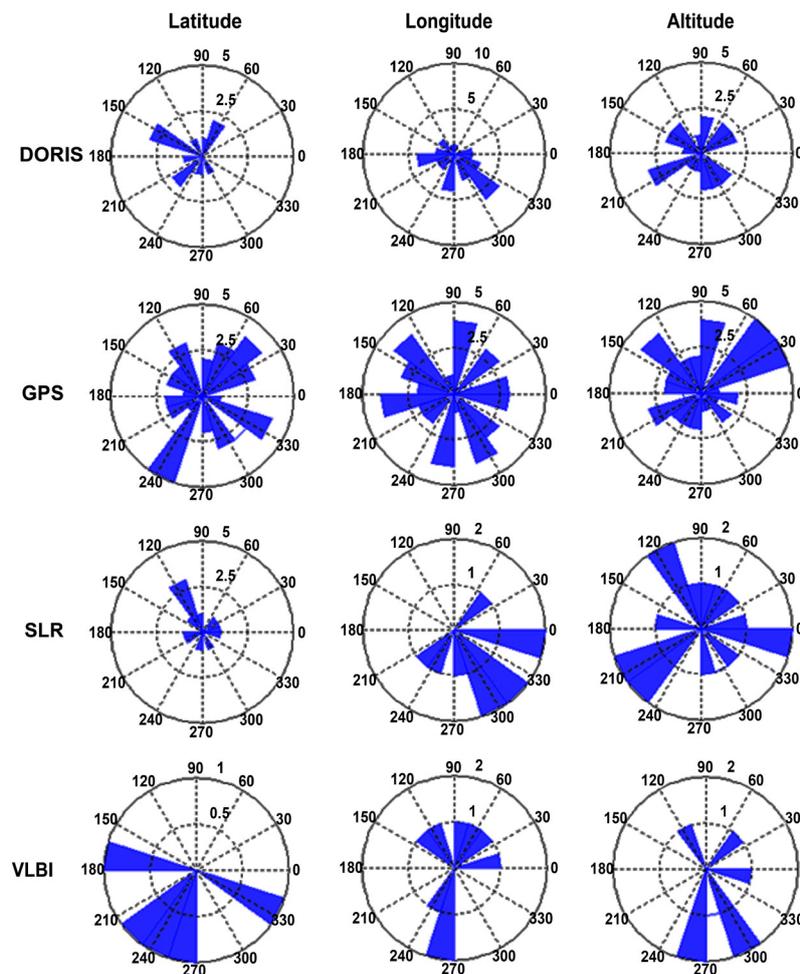


Fig. 6 Histogrammes polaires des distributions de phases (en degrés) des signaux annuels pour les coordonnées des sites en co-localisation

A titre d'exemple, la figure (7) illustre les séries temporelles de positions du site en co-localisation de Greenbelt (États Unis).

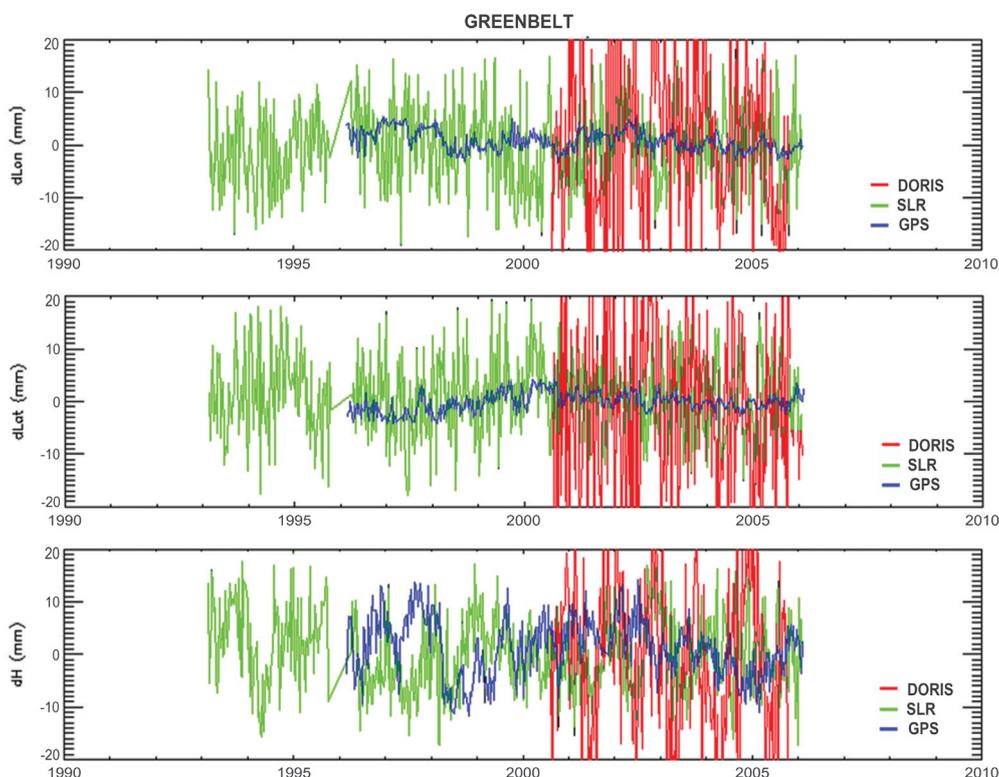


Fig. 7 Séries temporelles des coordonnées résiduelles du site en co-localisation de Greenbelt

### 5. Caractérisation des bruits dans les positions des stations

Dans cette partie de traitement, on s'intéresse aux bruits (type et niveau) qui affectent nos séries temporelles des positions des stations par technique. Dans ce contexte, l'analyse adoptée se base sur des méthodes statistiques telles que la variance d'Allan et la technique du tricorne (TCH) [Feissel et al., 2007; 2006; Le Bail, 2004]. Ceci permet d'accéder à la stabilité de chacune des techniques et de chacun des sites, par l'étude des types et des niveaux de bruit. Pour cela, nous avons corrigé ces séries de la tendance linéaire (exprimant le mouvement tectonique global) et des signaux saisonniers (principalement, des signaux annuels, semi-annuels).

Comme interprétation des résultats dans cette étude, un bruit blanc (*white noise*) dans les séries temporelles correspond aux erreurs aléatoires affectant les mesures (erreurs gaussiennes); tandis qu'un bruit coloré de scintillation (*flicker noise*) est dû à la géodynamique locale, à une défaillance instrumentale, ou à des erreurs systématiques de modélisation. Concernant le bruit de la marche aléatoire (*random walk noise*), elle est causée par des sauts (non corrigés) dans les séries temporelles. Cependant, ce dernier type de bruit n'a pas été détecté dans nos séries.

Le tableau (3) donne les valeurs moyennes et les écarts types de l'estimation du niveau de bruit sur les coordonnées des stations pour chaque technique. La technique VLBI permet un positionnement 3D fiable et précis avec un niveau de 1 mm en horizontal et de 3 mm en vertical. Cependant, la technique DORIS est la plus bruitée donc la moins précise avec un niveau de 7-10 mm en horizontal et de 7 mm en vertical.

Tableau 3. Niveau de bruit, exprimé en mm, de toutes les stations par technique

Technique	Niveau de bruit (mm)		
	LAT	LON	H
DORIS	9.9 ± 3.9	7.6 ± 2.4	7.3 ± 2.3
GPS	2.0 ± 3.8	1.4 ± 2.5	2.5 ± 2.2
SLR	3.6 ± 1.6	3.9 ± 1.0	3.1 ± 1.1
VLBI	1.1 ± 0.7	1.1 ± 0.8	2.9 ± 1.6

La figure (8) illustre une vue synthétique des évaluations de la stabilité des stations. Le niveau de bruit est représenté en fonction de la pente du graphe d'Allan (ce qui est équivalent au type de bruit), suivant les trois coordonnées géographiques et pour chaque technique. À travers les résultats obtenus, on peut faire les constations suivantes:

- Les paramètres de stabilité représentés sous forme de triangles se regroupent en nuages de points assez compacts, ayant de différentes caractéristiques dépendantes de la technique et de la coordonnée, mais avec quelques valeurs aberrantes (élevées). Ces paramètres sont nécessaires pour la description de la qualité des mesures du mouvement des stations.
- Un bruit blanc dominant dans les trois coordonnées des positions des stations SLR et DORIS. Dans quelques stations de ces deux techniques, un bruit de scintillation existe, notamment dans la composante verticale des stations SLR. Ceci peut être la cause d'une erreur systématique liée à la modélisation. En effet, la composante verticale est très corrélée avec le biais en distance. Donc, il est judicieux d'appliquer la méthode de la décorrélation temporelle [Coulot, 2005], pour minimiser de tels bruits dans ces séries.
- Un mélange de bruits blancs et de Scintillation est fortement présent dans les trois composantes de la position des stations GPS et VLBI. Pour le GPS, le bruit de Scintillation est très fréquent dans la coordonnée latitudinale (ou composante Est, en termes de coordonnées géodésiques locales), avec un niveau de bruit assez élevé par rapport à la coordonnée longitudinale (ou composante Nord). On remarque aussi que le niveau de bruit dans la composante verticale est sensiblement important que celui des composantes horizontales puisque cette composante est

la plus bruitée à cause de l'effet du délai troposphérique. Pour le VLBI, presque 40% des stations étudiées possèdent un bruit de Scintillation dans leurs coordonnées. Ceci est dû principalement à des défaillances instrumentales ou à des mouvements tectoniques locaux. Vraisemblablement, la présence de biais instrumental, du aux antennes utilisées, est la cause la plus probable. Dans ce cas, le niveau de bruit de la composante verticale est trois fois plus important que celui des deux autres composantes.

- Les niveaux de bruits des coordonnées des stations DORIS sont les plus élevés par rapport à ceux des autres techniques atteignant des valeurs de 7 à 9 mm, en moyenne, (cf. Tableau 3). Le type caractérisant ces bruits est le bruit blanc qui est dû aux erreurs de mesures de cette technique.

En termes de positionnement horizontal, les stations VLBI sont les plus stables, au niveau de 1 mm, par rapport aux stations GPS (de l'ordre de 2 mm). Le niveau de bruit de la technique SLR est de l'ordre de 4 mm. Cependant, les stations DORIS sont les moins stables avec un niveau de bruit moyen de 9 mm et avec des valeurs extrêmes qui dépassent 15 mm. On constate aussi que les stations DORIS sont moins stables dans la direction Est-Ouest que dans la direction Nord-Sud (9.9 mm et 7.6 mm, respectivement). Ceci résulte de la dominance des passages des satellites embarquant le système DORIS dans les directions Nord-Sud et Sud-Nord, au dessus des stations.

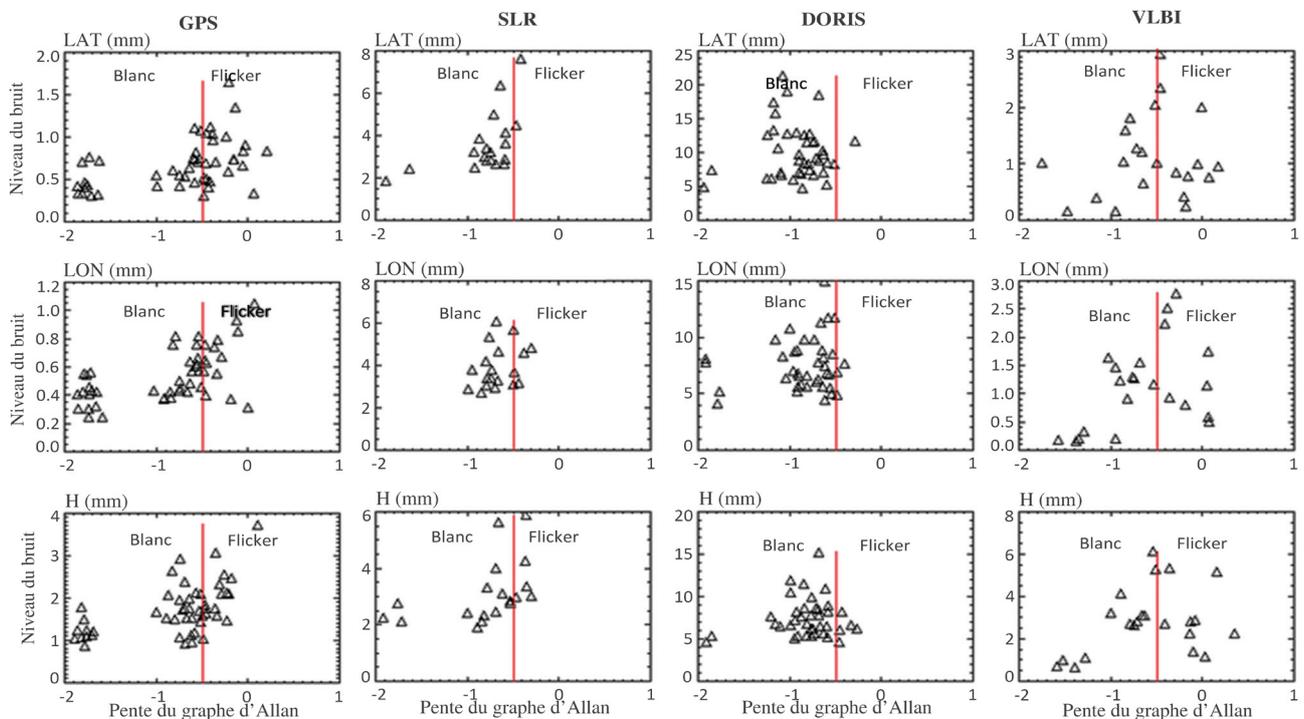


Fig. 8 Distribution du type de bruit (abscisse) et niveau de bruit (ordonnée) pour les coordonnées géographiques de l'ensemble des stations GPS, SLR, DORIS et VLBI

- En termes de positionnement vertical, les stations GPS, SLR et VLBI sont les plus stables avec un niveau de 3 mm. Par contre, on observe un niveau de bruit moyen de l'ordre de 7 mm pour DORIS. Les mesures GPS et DORIS peuvent être affectées d'une part du délai de la propagation troposphérique et d'autre part des corrections imprécises du centre de phase.
- Quelques anomalies (valeurs larges) du niveau de bruit, constatées dans quelques stations, sont dues principalement à l'existence des trous (manques de données de plusieurs mois) dans les séries temporelles, à des problèmes d'antenne, etc.
- L'application de la méthode du Tricorne est basée sur l'hypothèse que les séries temporelles des coordonnées des stations d'un site ont le même signal géophysique

[Le Bail, 2004; Roberts et al. , 2002]. En effet, les sites de co-localisation traités ont été choisis sur la base de la proximité de leurs stations dans un rayon de 5 km (où on peut considérer que ces stations appartiennent au même site physique, géologiquement), de la durée commune entre les séries temporelles qui excède 2 ans et du nombre de 03 des techniques de géodésie spatiale installées *in-situ*. Ces sites concernent Greenbelt et Fort Davis (Amérique du nord), Wettzell et Matera (Eurasie), Yaragadee (Australie), Tahiti (Pacifique) et Arequipa (Amérique du sud). Le tableau (4) résume les résultats obtenus sur le calcul du niveau de bruit des techniques (SLR, DORIS et GPS) dans les sites co-localisés. On remarque une concordance entre les résultats de la méthode du tricorne (TCH) et de la variance d'Allan.

**Tableau 4.** Niveaux du bruit des techniques de quelques sites co-localisés

Station	Coordonnée	Méthode	Déviation d'Allan à un 1 an d'échantillonnage (mm)		
			SLR	DORIS	GPS
Greenbelt (Etats Unis)	LAT	TCH/site	3.1	6.9	1.4
		Niveau	3.2	6.7	0.8
	LON	TCH/site	3.4	6.6	1.6
		Niveau	3.4	6.5	0.9
	H	TCH/site	2.1	5.9	3.3
		Niveau	3.4	6.8	2.6
Yaragadee (Australie)	LAT	TCH/site	3.3	10.8	0.7
		Niveau	3.1	11.0	1.2
	LON	TCH/site	3.5	8.0	2.8
		Niveau	4.0	8.4	0.8
	H	TCH/site	2.3	8.5	2.8
		Niveau	3.4	8.5	3.3
Tahiti (Pacifique)	LAT	TCH/site	6.0	9.9	2.2
		Niveau	4.5	9.5	1.3
	LON	TCH/site	6.7	11.7	—
		Niveau	4.9	11.2	0.9
	H	TCH/site	2.9	8.9	3.2
		Niveau	3.5	7.8	3.0
Arequipa (Pérou)	LAT	TCH/site	2.7	19.8	4.2
		Niveau	4.4	21.6	1.7
	LON	TCH/site	3.4	10.4	0.4
		Niveau	3.3	10.9	0.9
	H	TCH/site	2.7	11.2	3.7
		Niveau	3.6	12.1	2.9
Matera (Italie)	LAT	TCH/site	7.2	0.5	1.4
		Niveau	6.7	0.8	1.1
	LON	TCH/site	5.5	0.6	1.4
		Niveau	5.9	0.5	1.3
	H	TCH/site	4.6	2.3	2.9
		Niveau	5.1	1.7	3.0
Wettzell (Allemagne)	LAT	TCH/site	2.9	0.6	1.1
		Niveau	3.1	0.6	1.2
	LON	TCH/site	3.8	0.6	1.2
		Niveau	4.1	0.5	1.3
	H	TCH/site	4.3	1.7	3.1
		Niveau	4.8	1.7	3.0

On constate une nette différence des niveaux de bruit entre les techniques (cf. Tableau 5). Les résultats montrent que les techniques (VLBI et GPS) sont les plus précises en positionnement 2D. Quant en positionnement vertical, les techniques SLR, VLBI et GPS sont très proches avec un niveau de bruit de l'ordre de 3 mm. Cependant, la technique DORIS reste la plus bruitée avec un niveau de bruit de l'ordre de 10.6 mm en planimétrie (2D) et de 8.6 mm en vertical.

Le ratio du niveau de bruit en composante verticale et la moyenne de niveau de bruit en horizontal est de 2.5 (pour VLBI), 2.2 (pour GPS), 0.7 (pour SLR) et 0.8 (pour DORIS). On constate que le niveau du bruit en altitude est plus important que celui en 2D pour les techniques radioélectriques (VLBI et GPS), à cause de la difficulté de modélisation de la propagation du signal dans la troposphère. D'après [Feissel-Vernier et al., 2007], les séries temporelles GPS peuvent encore contenir un signal dû aux variations interannuelles de l'échelle du système terrestre de référence sous-jacent, qui peut être interprété comme un bruit dans la composante verticale des stations.

**Tableau 5.** Moyennes des niveaux de bruit suivant la méthode TCH des sites de co-localisation

Coordonnée	Déviation d'Allan : méthode TCH (mm)			
	SLR	DORIS	GPS	VLBI
LAT	4.1	11.9	1.6	1.0
LON	4.3	9.2	1.0	0.9
2D	4.2	10.6	1.3	1.0
H	3.1	8.6	2.8	2.5
<b>3D</b>	<b>6.7</b>	<b>17.3</b>	<b>3.4</b>	<b>2.8</b>
Ratio: $\sigma_H/\sigma_{2D}$	0.74	0.82	2.15	2.5

## 6. Conclusion

Nous avons présenté les résultats de l'analyse des séries temporelles des coordonnées des stations issues des techniques de géodésie spatiale. Cette analyse est scindée en deux parties : analyse fréquentielle et étude du bruit de ces séries temporelles.

Les données traitées ont concerné des sites en co-localisation, réparties d'une façon non homogène entre les deux hémisphères nord et sud. La qualité 3D des séries temporelles des coordonnées de ces sites est assez homogène pour les techniques SLR, GPS et VLBI, de l'ordre de  $\pm 10$  mm. Cependant, pour la technique DORIS, elle est de l'ordre de  $\pm 19$  mm.

L'analyse fréquentielle a été utilisée pour détecter et estimer les signaux périodiques, dans les séries temporelles des positions des stations. Les résultats fournis par le programme FAMOUS sur les coordonnées résiduelles des stations, ont révélé la présence de termes

saisonniers (annuels et semi-annuels) qui sont liés, généralement, aux modèles géophysiques résiduels tels que les effets de charges atmosphériques, océaniques ou hydrologiques, pour la composante verticale et les effets des mouvements tectoniques et de subsidences, pour les composantes horizontales. La magnitude de ces signaux, soit en planimétrie ou en altimétrie, est variable suivant la technique utilisée. Les signaux de petites amplitudes sont détectés dans les séries temporelles du GPS de l'ordre de 1–3 mm. Alors que pour DORIS, ils sont de l'ordre de 5–11 mm. Pour les techniques SLR et VLBI, les amplitudes sont équivalentes et de l'ordre de 2–5 mm. Un facteur d'environ 2 entre les amplitudes des signaux annuels et semi-annuels, a été constaté, pour les techniques DORIS, GPS et SLR, surtout en composante verticale.

L'analyse du bruit, qui se base sur la variance d'Allan, a été effectuée pour étudier la stabilité du positionnement des différentes techniques. Les résultats ont montré une dominance d'un bruit gaussien (bruit blanc), dû aux erreurs de mesures, dans la majorité des séries temporelles de coordonnées des stations, suivant les techniques SLR et DORIS. Cependant, un bruit de scintillation a été détecté, dans environ 30% et 40% des stations GPS et VLBI, respectivement. Ceci est dû probablement à des biais instrumentaux liés aux antennes. Le niveau du bruit du positionnement pour la technique VLBI est le plus faible, de l'ordre de 1 mm en planimétrie et de 3 mm en altimétrie. Cependant, il est le plus élevé dans le cas de la technique DORIS avec un niveau moyen de 7-10 mm en composantes horizontales et de 7 mm en composante verticale.

Généralement, le niveau du bruit de la composante verticale est plus important que celui des composantes horizontales, à cause de l'effet du délai troposphérique sur cette coordonnée et / ou des corrections imprécises du centre de phase dans la modélisation, surtout pour les techniques VLBI, GPS et DORIS. Cette constatation a été confortée par les résultats de la méthode du Tricorne (TCH) [Feissel et al., 2007; 2006]; appliquée sur un ensemble de sites en co-localisation. Cette méthode a montré que les techniques (VLBI et GPS) sont les plus précises en positionnement 2D. S'ajoute à ces deux techniques, la technique SLR dans le positionnement vertical avec un niveau de bruit de l'ordre de 3 mm. Par ailleurs, la technique DORIS est la plus bruitée avec un niveau de bruit de l'ordre de 11 mm en planimétrie et de 9 mm en altitude.

En perspectives, il serait intéressant d'aborder :

- Le traitement des données récentes des séries temporelles de positions des stations référées par rapport à l'TRF2008;
- L'utilisation de l'analyse en ondelettes de ces séries ;
- La comparaison des signaux périodiques des stations avec ceux des modèles géophysiques récents.

## Remerciements

L'auteur exprime ses remerciements au Prof. Exertier P. et à son équipe de recherche de l'Observatoire de la Côte d'Azur (OCA - Grasse, France), pour leurs soutiens scientifique et technique.

## Références bibliographiques

- Allan, D.W., 1966: *Statistics of Atomic Frequency Standard*. Proceedings of the IEEE, 54, N°2, 221-231.
- Allan, D.W., 1987: *Time and frequency characterisation, estimation, and prediction of precision clocks and oscillators*. IEEE Trans UFFC, vol. 34, n.6.
- Altamimi Z., C. Boucher, Daniel Gambis, *Long-term stability of the terrestrial reference frame*, Advances in Space Research, vol. 36, page 342-349, doi:10.1016/j.asr.2005.03.068, 2005a.
- Altamimi Z., C. Boucher, P. Willis, *Terrestrial reference frame requirements within GGOS perspective*, Journal of Geodynamics, vol. 40, page 363-374, doi:10.1016/J.jog.2005.06.002, 2005b.
- Altamimi Z., P. Sillard, C. Boucher, ITRF2000 : *A New Release of the International Terrestrial Reference Frame for Earth Science Applications*, Journal of Geophysical Research, vol. 107, number B10, page 2214, doi:10.1029/2001JB000561, 2002.
- Altamimi Z., X. Collilieux, J. Legrand, B. Garayt, and C. Boucher, 2007a: *ITRF2005: A new release of the International Terrestrial Reference Frame based on time series of station positions and Earth Orientation Parameters*. Journal of Geophysical Research, Vol.112, B09401, doi: 10.1029/2007/JB004949.
- Collilieux X, Altamimi Z, Coulot D, Ray J, Sillard P (2007) *Comparison of very long baseline interferometry, GPS, and satellite laser ranging height residuals from ITRF2005 using spectral and correlation methods*. Journal of Geophysical Res. 112:B12403. doi: 10.1029/2007JB004933.
- Collilieux, X., 2008: *Analyse des séries temporelles de positions des stations de géodésie spatiale: Application au Repère International de Référence Terrestre (ITRF)*. Thèse de Doctorat de l'Observatoire de Paris, IGN – Juin 2008.
- Coulot D., 2005 : *Télémétrie Laser sur Satellites et Combinaison de Techniques Géodésiques: Contributions aux systèmes de référence terrestres et applications*. Thèse de Doctorat. Observatoire de Paris, France.
- Coulot, D., Betrio, P., Biancale, R., Loyer, S., Soudarin, L., and Gountier, A.-M., 2007: *Toward a direct combination of space-geodetic techniques at the measurement level: Methodology and main issues*. Journal of Geophysical Research, Vol. 112, B05410, doi: 10.1029/2006JB004336, 2007.
- Ding XL, Zheng DW, Dong DN, Ma C, Chen YQ, Wang GL (2005) *Seasonal and secular positional variations at eight co-located GPS and VLBI stations*. J of Geodesy 79:71{81. doi:10.1007/s00190-005-0444-3.
- Feissel-Vernier M, Le Bail K, Berio P D. Coulot, G. Ramillien, J.-J. Valette, *Geocentre motion measured with DORIS and SLR, and predicted by geophysical models*. J Geodesy 80:637–648. doi: 10.1007/s00190-006-0079-z, 2006.
- Feissel-Vernier, M., de Viron, O., Lebaill, K., *Stability of VLBI, SLR, DORIS, and GPS positioning*. Earth Planets Space, 59, 475-497, 2007.
- Gray, J.E and Allan D. W., *A method for estimating the frequency stability of an individual oscillator*, Proc. 28<sup>th</sup> Annual symp. On Frequency Control, May 1974, 243-246, 1974.
- L. Koot, O. de Viron, V. Dehant, *Atmospheric angular momentum time-series: characterization of their internal noise and creation of a combined series*, Journal of Geodesy., 79, 663-674, 2006.
- Le Bail, K., 2004: *Étude statistique de la stabilité des stations de géodésie spatiale: Application à DORIS*. Thèse de doctorat soutenue à l'Observatoire de Paris, 10 décembre 2004, France.
- Mignard, F 2004, Proceedings of the symposium 'The three-dimensional Universe with GAIA', 15-22, 2004.
- Mignard, F., 2005: *Guide d'utilisation du logiciel FAMOUS*. Rapport interne Observatoire de la Côte d'Azur Cassiopée, Nice, France, 2005.
- Premolli, A and Tavella, P; *A revisited Three-Cornered-Hat method for estimating frequency standards instability*, IEEE Trans. On instrumentation and measurement, 42, 1-10, 1993.
- Ray,J., Altamimi, Z, *Evaluation of co-location ties relating the VLBI and GPS reference frames* Journal of Geodesy, 79, 189-195, doi: 10.1007/s00190-005-0456-z, 2005.
- Roberts, C., Morgan, P., Rizos, C., 2002: *Allan variance applied to time series baseline results for GPS-based deformation monitoring applications*, 2<sup>nd</sup> Symposium on Geodesy for Geotechnical and structural Applications, Berlin, Allemagne, 21-24 mai, 299-311

## Etude qualitative de la précision des Modèles Numériques de Terrain globaux: Cas de l'Algérie

M. HADDAD, N. RABEHI & H. TAIBI

Centre des Techniques Spatiales. 1 Avenue de Palestine, BP 13 Arzew. Oran 31200.

Email: haddad\_mahdi@yahoo.fr, rabehin@gmail.com, taibihabib@ymail.com

**ملخص :** الهدف من هذه الدراسة هو التحقق من جودة نماذج التضاريس الرقمية العالمية المتاحة: GLOBE، GTOPO30، STRM (30" و 3")، GMTED (7.5" و 15" و 30")، في هذا الإطار قد تم مقارنة ارتفاعات 12472 نقطة قياس الجاذبية، المتاحة من طرف المكتب العالمي للجاذبية والتي تغطي التراب الجزائري، مع تلك المولدة من نماذج التضاريس. هذا وقد أظهرت الفروق في الارتفاع أن النموذجين GTOPO30 و GLOBE يمثلان انحراف معياري جد مرتفع (ما يعادل 48 م) في حين أن النماذج الأخرى تمثل انحرافات معيارية معتدلة (من 21 إلى 27 م). إلا أن النموذجين SRTM 3" و SRTM 7.5" هما اللذان يقدمان الحد الأدنى من التشتت (72% من النقاط تعرض اختلافات في الارتفاع ضمن المجال من -10 إلى 10 م).

**الكلمات الأساسية :** GLOBE، SRTM، GTOPO30، ASTER، ETOPO، GMTED، بيانات المكتب العالمي للجاذبية.

**Résumé :** L'objectif de l'article est de vérifier la qualité des différents Modèles Numériques de Terrain - MNT globaux disponibles: GTOPO30, GLOBE, SRTM (30" et 3"), ETOPO1, GMTED (30", 15" et 7.5") et ASTER.

Dans ce cadre, les altitudes des 12472 points gravimétriques, fournis par le Bureau Gravimétrique International - BGI et couvrant le territoire algérien ont été comparées à celles interpolées à partir des MNT.

Les écarts en altitude ont montré que les MNT GTOPO30 et GLOBE présentent des écarts- types très élevés (~48 m), alors que les autres modèles présentent des écarts-types modérés (de 21 à 27 m). Néanmoins, les deux modèles SRTM 3" et GMTED 7.5" sont ceux qui présentent une dispersion minimale (~72 % des points gravimétriques exposent des écarts en altitude compris dans l'intervalle de -10 à 10 m).

**Mots clés :** GTOPO30, SRTM, GLOBE, ASTER, GMTED, ETOPO, Données BGI.

**Abstract :** The objective of this study is to verify the quality of different available global Digital Terrain Models – DTM: GTOPO30, GLOBE, SRTM (30" and 3"), ETOPO1, GMTED (30", 15" and 7.5") and ASTER.

In this context, the altitudes of 12472 gravity points, provided by the International Gravimetric Bureau - BGI and covering the Algerian territory were compared with those interpolated from different DTMs.

The differences in altitude show that GTOPO30 and GLOBE have very high standard deviations (~ 48 m), while the other models have moderate deviations (from 21 to 27 m). Nevertheless, the two models SRTM 3" and GMTED 7.5" are those which give a minimum dispersion (~ 72% of gravity points expose differences in altitude within a range of -10 to 10 m).

**Keywords :** GTOPO30, SRTM, GLOBE, ASTER, GMTED, ETOPO, BGI data.

### 1. Introduction

Cet article s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche national intitulé « Détermination d'un modèle local de géoïde pour l'Algérie » qui a comme objectif principal la détermination d'un modèle de géoïde gravimétrique local.

Un Modèle Numérique de Terrain, appelé singulièrement MNT, est une représentation schématique sous forme numérique du relief d'une zone géographique. Il permet d'associer selon une maille régulière des positions (XY ou longitude /latitude) et des altitudes. Ce modèle numérique peut être composé d'entités vectorielles ponctuelles (points cotés), linéaires (courbes de niveau), surfaciques (facettes) ou représenté en mode raster (cellules). Les domaines d'utilisation d'un MNT sont variés : calcul de pentes, d'expositions, d'ombrages, d'écoulements, modélisation 3D et calcul d'implantation d'infrastructures.

Notons que les MNT à haute résolution sont également cruciaux pour la modélisation du champ de gravité du fait qu'il n'existe pas de données gravimétriques terrestres réparties sur la totalité de la terre. En effet, le calcul d'un géoïde se fait par la méthode de retrait et restauration et la technique du terrain résiduel. Le calcul des effets de la topographie (réduction du terrain résiduel) nécessite l'existence d'un MNT à pas fin (de haute résolution), d'un MNT large et d'un MNT filtré. L'emprise du MNT à pas fin doit être un peu supérieure à celle des MNT à pas large et filtré. Le MNT à pas large est utilisé pendant les calculs de correction de terrain, pour accélérer les calculs.

Le MNT filtré utilisé comme surface de référence est généralement confectionné à partir du MNT à pas fin. Pour une théorie complète sur la technique de retrait et restauration et de la technique du terrain résiduel, le lecteur est invité à se référer à (Forsberg, 1994 ; Duquenne, 2005).

En Algérie et en l'absence de MNT suffisamment précis, il paraît, néanmoins, difficile de déterminer l'effet de la topographie. Pour remédier à cette situation, on utilise un MNT global dont le choix doit être judicieux.

Trois caractéristiques principales permettent d'avoir un aperçu rapide d'un modèle numérique de terrain et de juger de son adéquation à un besoin particulier : sa résolution, sa couverture géographique et la qualité des données : elle dépend de l'application ou non de traitements de correction des données après leur récupération. En effet, certaines méthodes d'acquisition laissent des artefacts dans les données (des zones brouillées sur des lignes côtières du fait de l'écume des vagues qui fausse les échos radar, des « trous » lorsque des nuages étaient présents lors d'un relevé satellitaire...).

Aussi, l'évaluation qualitative de la précision d'un MNT peut être réalisée selon l'une des deux méthodes suivantes (Ettarid et al., 2004):

a/ croiser le MNT avec les courbes de niveau digitalisées de la carte topographique pour voir à quel degré elles rendent compte des formes du relief (notamment le réseau hydrographique).

b/ évaluer la précision en terme d'erreur moyenne quadratique calculée à partir des différences entre les altitudes dérivées du MNT et des altitudes de référence d'un certain nombre de points de contrôle, dont les altitudes ont été déterminées sur le terrain par des méthodes topométriques conventionnelles ou par des méthodes photogrammétriques.

Cette présente étude a pour objectif d'étudier la précision des différents MNT globaux disponibles en vue de sélectionner le MNT optimum à intégrer dans le processus de détermination d'un modèle local de géoïde pour l'Algérie. Notons ici, que faute de disponibilité de données de points cotés et/ou de points GPS/nivelé, nous avons considéré les altitudes des points gravimétriques fournis par le Bureau Gravimétrique International (BGI). Les altitudes des points gravimétriques sont interpolées dans le MNT et comparées à celles figurant dans les fichiers issus de BGI.

## 2. Données utilisées

Dans cette étude, nous avons utilisé les altitudes des points gravimétriques issues du fichier EOL acquis auprès du Bureau Gravimétrique International – BGI, dont la tâche principale de ce bureau est de collecter les mesures du champ de gravité et les informations associées, de les valider et de les archiver dans une base de données

informatisée destinée à soutenir des utilisations scientifiques et académiques (BGI, 2012a).

Le fichier de données dispose de 12472 points gravimétriques répartis sur le territoire algérien (voir figure 1). Chaque point consiste en un enregistrement de 126 caractères. Le fichier EOL contient des informations notamment sur l'origine des données, la position et l'altitude des points, la valeur mesurée de la pesanteur et sa précision, l'anomalie à l'air libre et l'anomalie de Bouguer. Ces mesures sont géoréférencées par rapport au datum GRS67. La description de l'enregistrement EOL est prise dans le document (BGI, 2012b).

Ces données proviennent de diverses origines, principalement des levés effectués entre 1956 et 1959 par la Compagnie Générale de Géophysique (CGG) pour le compte de diverses compagnies pétrolières coloniales opérant en Algérie à cette époque. Ces levés ont été établis dans les régions d'Illizi-nord, d'In Salah-sud, de Reggane-Erg Chech, de l'Azzel-Mati et du nord d'Algérie (Takherist, 1991). A ceux-ci, vient s'ajouter quelques 760 stations relatives à des grands profils de reconnaissance établis par Lagrula (1959). Il subsiste cependant certaines régions dépourvues en couverture gravimétrique, particulièrement celles de la partie centrale de l'Algérie et le Sud-Ouest (voir figure 1).

Six MNT globaux ont été considérés dans cette étude. Il s'agit de GTOPO30, GLOBE, SRTM, ETOPO1, GMTED2010 et ASTER. Les caractéristiques de ces modèles sont données ci-après.

Achevé à la fin de l'année 1996, GTOPO30 a été élaboré à partir de plusieurs sources raster et vecteur d'informations topographiques par Earth Resources Observation and Science center (EROS) et peut être récupéré par «tuiles» sur le site correspondant de l'US Geological Survey ([http://eros.usgs.gov/#/Find\\_Data/Products\\_and\\_Data\\_Available/gtopo30\\_info](http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/gtopo30_info)).

Le MNT GTOPO30, qui couvre les parties émergées du globe, est au pas de 30 secondes d'arc (1 km environ), il est donc suffisant pour des études et applications régionales et continentales, telles que la modélisation du climat, la cartographie à l'échelle continentale, l'extraction des caractéristiques de drainage pour la modélisation hydrologique (Danielson, 1996; Verdin et Greenlee, 1996), et la correction géométrique et atmosphérique d'images satellitaires à faible résolution (Gesch, 1994; Jet Propulsion Laboratory, 1997). La précision verticale absolue de GTOPO30 varie selon la position géographique en fonction des données sources intégrées. Elle est comprise entre 30 et 500 mètres ([https://lta.cr.usgs.gov/sites/default/files/GTOPO30\\_README.doc](https://lta.cr.usgs.gov/sites/default/files/GTOPO30_README.doc)).

Le MNT GLOBE, quant à lui, rendu disponible en 1999, offre une couverture de toute la terre avec une résolution de 30 secondes d'arc (environ 1 km de résolution).

La description et les caractéristiques techniques sont données dans (Hastings et Paula, 1999). GLOBE est subdivisé en 16 «tuiles», téléchargeables à partir du site correspondant de NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) : <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/topo/gltiles.html>.

La précision verticale de GLOBE varie elle aussi en fonction des données sources intégrées. Elle est comprise entre 10 et 500 mètres (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/topo/report>).

En septembre 2003, le gouvernement américain a autorisé la distribution des fichiers SRTM. Ces données altimétriques ont été recueillies au cours d'une mission de 11 jours en février 2000 par la navette spatiale Endeavour (STS-99) à une altitude de 233 km en utilisant l'interférométrie radar. Parmi les MNT SRTM on distingue :

- SRTM1 : résolution d'une seconde d'arc (31m à l'équateur), couvre uniquement les États-Unis d'Amérique et ses dépendances,
- SRTM3 : résolution de 3 secondes d'arc (93m à l'Équateur), couverture mondiale,
- SRTM30 : résolution de 30 secondes d'arc (926m à l'Équateur), couverture mondiale, sorte de mise à jour du format GTOPO30.

La version 2 de SRTM, qui corrige une grande partie des défauts de la version 1 (vides et aberrations de mesures), a été mise en ligne en août 2005. La précision de SRTM3 est de  $\pm 20$  m en planimétrie et  $\pm 16$  m en altimétrie. Les données SRTM peuvent être récupérées par «tuiles» sur le site : <http://dds.cr.usgs.gov/srtm/>. Pour plus de détails sur les données SRTM, voir (Rodríguez et al., 2005) et (Farr et al., 2007).

Le MNT ETOPO1, créé par NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) et rendu disponible en 2008, intègre des données de topographie, de bathymétrie, de trait de côte et de substrat rocheux sous les calottes glaciaires. Il est destiné à remplacer l'ETOPO2v2, la résolution de ce modèle est d'une minute d'arc (Amante et Eakins, 2009). Les données ETOPO sont fournies à partir du site de NOAA : <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>. En Afrique, la principale donnée source intégrée au projet de développement du MNT ETOPO1 n'est autre que le SRTM30 (Amante et Eakins, 2009).

L'USGS a publié un nouveau jeu de données appelé « Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010 » (GMTED2010). Il offre différentes résolutions qui sont 30, 15, et 7.5 secondes d'arc (approximativement 1000, 500 et 250 mètres). La précision verticale de GMTED2010 se situe entre 25 et 42 mètres à 30 secondes d'arc, entre 29 et 32 mètres à 15 secondes d'arc et entre 26 et 30 mètres à 7,5 secondes d'arc (Danielson et Gesch, 2011). GMTED2010

est une amélioration majeure de GTOPO30 dans sa cohérence et sa précision verticale (66 m au niveau mondial).

Enfin, le MNT ASTER a été produit à partir de paires stéréoscopiques ASTER en collaboration entre la NASA et le METI (Ministère de l'économie, du commerce et de l'industrie du Japon). Il a été gratuitement rendu disponible en 2009 pour un pas de 30 m, et une précision planimétrique de 30 m (Tachikawa et al., 2011). Le MNT ASTER est disponible à partir du site : <http://gdem.ersdac.jpacesystems.or.jp>.

ASTER possède une meilleure résolution que le SRTM3 (précision 30m au sol). Le METI et la NASA reconnaissent cependant que ASTER constitue encore un modèle expérimental plutôt réservé à la recherche. C'est une donnée brute, qui a le mérite d'exister, mais l'apparente précision des 30m peut être trompeuse. En effet, la méthode d'acquisition des données ASTER laisse des artefacts (des zones brouillées sur des lignes côtières du fait de l'écume des vagues qui fausse les échos radar, des « trous » lorsque des nuages étaient présents lors d'un relevé satellitaire...). La qualité de ASTER dépend aussi du nombre de paires stéréoscopiques utilisées pour la détermination de l'altitude à un pixel.

### 3. Analyse des données

Les altitudes des points gravimétriques sont interpolées dans les MNT globaux et comparées à celles figurant dans le fichier EOL du BGI. Un programme élaboré sous Matlab réalise cette opération en éliminant les points pour lesquels les différences dépassent un certain seuil. Le programme est interactif : une carte des écarts est affichée. On peut changer le seuil.

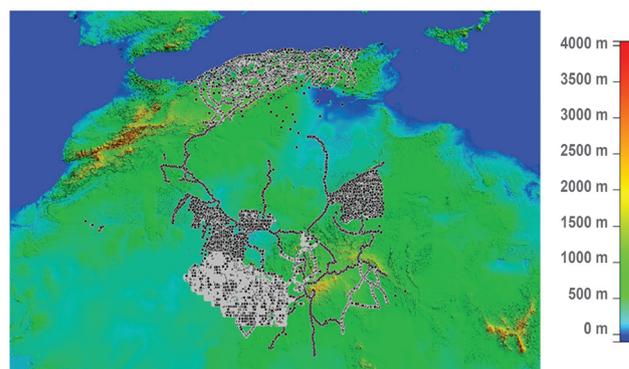


Fig. 1 Répartition des points gravimétriques BGI et MNT SRTM 3"

Le tableau 1 offre les statistiques des différences entre les altitudes BGI et celles interpolées à partir des modèles GTOPO30, GLOBE, SRTM (30" et 3"), ETOPO1, GMTED (30", 15" et 7.5") et ASTER 1".

**Tableau 1.** Statistiques (en mètre) des différences entre les altitudes BGI et celles interpolées

MNT \ Ecart	GTOPO 30"	GLOBE 30"	SRTM 30"	SRTM 3"	ETOPO1 1'	GMTED 30"	GMTED 15"	GMTED 7.5"	ASTER 1"
Min. (m)	-493.519	-493.519	-319.976	-321.766	-321.422	-320,581	-322.517	-320.141	-308.626
Max. (m)	558.268	527.326	495.585	418.832	430.310	479,562	425.590	428.313	416.634
Moy. (m)	-13.877	-13.083	0.418	1.030	-1.474	0,123	0.742	0.875	-4.517
Ecart Type (m)	<b>47.789</b>	<b>47.550</b>	21.326	21.570	24.367	21,638	21.129	21.422	27.155

Le tableau 2 donne les taux de rejet des points où la différence entre l'altitude BGI et celle interpolée dépasse le seuil de 100 m. Plus de 670 sont rejetés pour le cas des deux modèles GTOPO30 et GLOBE. La répartition des points gravimétriques rejetés est représentée par la figure 2.

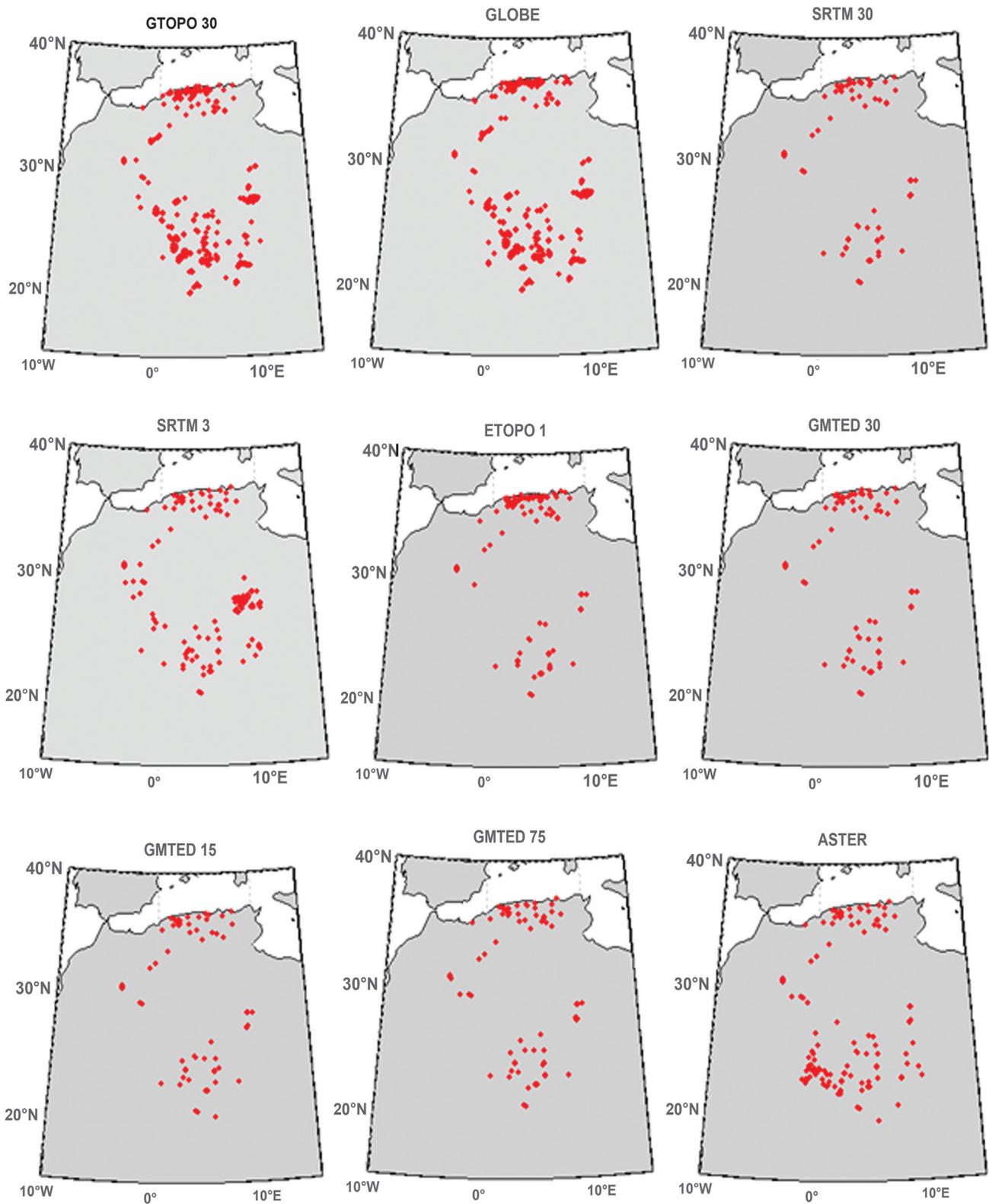
**Tableau 2.** Taux de rejet des points avec un seuil de 100 m

MNT	GTOPO 30"	GLOBE 30"	SRTM 30"	SRTM 3"	ETOPO1 1'	GMTED 30"	GMTED 15"	GMTED 7.5"	ASTER 1"
Nbr. de points rejetés	673	681	88	195	132	92	87	94	152
Taux de rejet	5.41 %	5.47 %	0.71 %	1.57 %	1.06 %	0.74 %	0.70 %	0.76 %	1.22 %

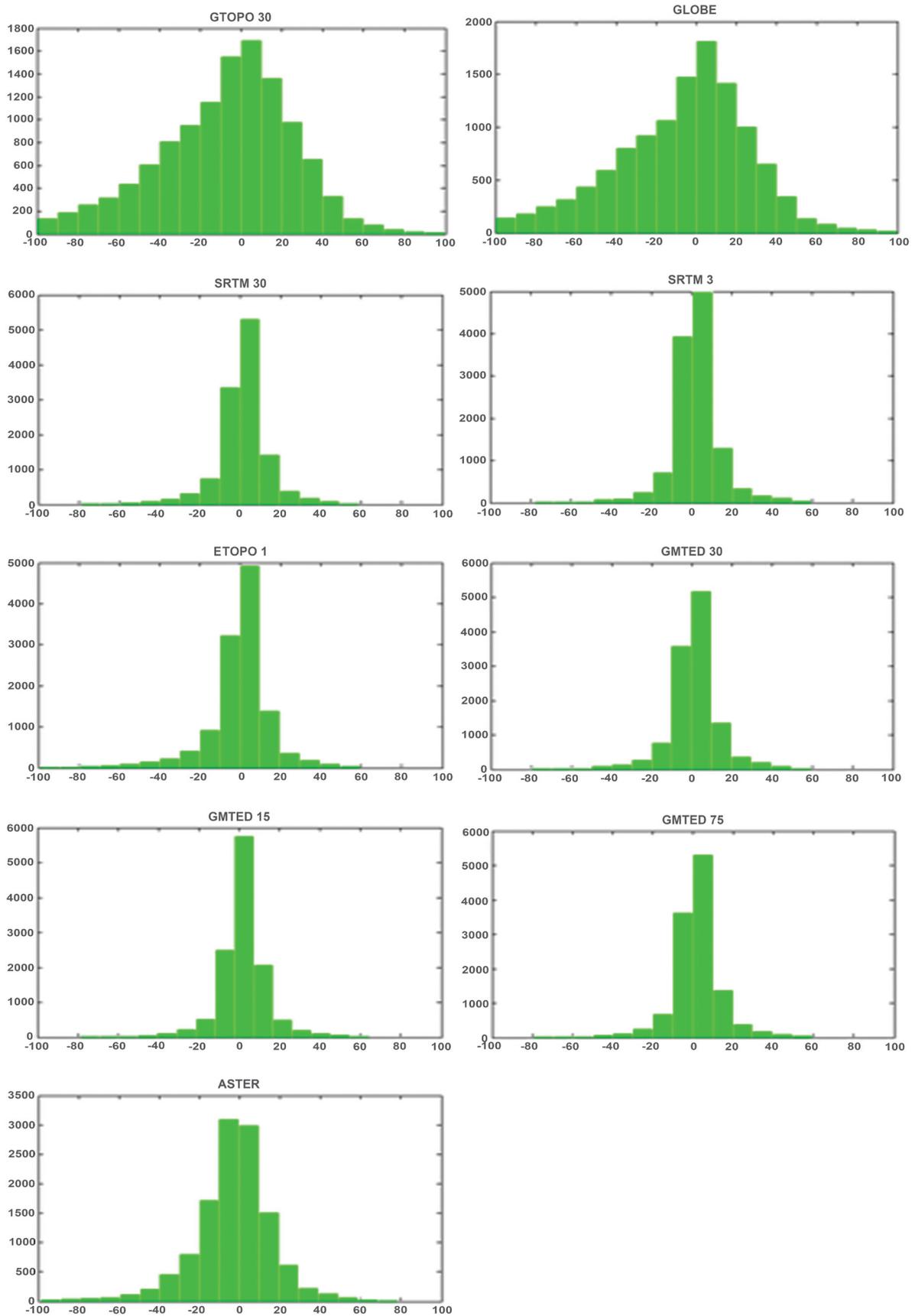
La Figure 3 illustre les histogrammes des différences entre les altitudes des points gravimétriques (points non rejetés) et celles obtenues des différents MNT. Les pourcentages des écarts compris dans l'intervalle [-10 à +10 m] sont regroupés dans le tableau 3. Les pourcentages les plus élevés dans cet intervalle (71.79 %) sont ceux obtenus par l'utilisation des deux modèles SRTM 3" et GMTED 7.5".

**Tableau 3.** Nombres de points et pourcentages des écarts compris dans l'intervalle [-20 à +20]

Intervalle	[-20 -10]	[-10 0]	[0 10]	[10 20]	[-10 10]
GTOPO 30"	1155 (9.28 %)	1556 (12.50%)	1693 (13.60%)	1364 (10.96%)	26.10 %
GLOBE 30"	1067 (8.57 %)	1477 (11.87%)	1817 (14.60%)	1418 (11.39%)	26.46 %
SRTM 30"	755 (6.07 %)	3358 (26.98%)	5324 (42.77%)	1422 (11.42%)	69.75 %
SRTM 3"	717 (5.76 %)	3947 (31.71%)	4989 (40.08%)	1299 (10.44%)	<b>71.79 %</b>
ETOPO 1'	932 (7.49 %)	3231 (25.96%)	4931 (39.62%)	1389 (11.16%)	65.57 %
GMTED 30"	773 (6.21 %)	3590 (28.84%)	5177 (41.59%)	1358 (10.91%)	70.43 %
GMTED 15"	535 (4.30 %)	2495 (20.04%)	5753 (46.22%)	2075 (16.67%)	66.26 %
GMTED 7.5"	678 (5.45 %)	3627 (29.14%)	5309 (42.65%)	1390 (11.17%)	<b>71.79 %</b>
ASTER 1"	1726 (13.87 %)	3106 (24.95%)	2996 (24.07%)	1520 (12.21%)	49.02 %



**Fig. 2** Distribution géographique des points rejetés. De haut en bas et de gauche à droite : GTOPO 30", GLOBE 30", SRTM 30", SRTM 3", ETOPO 1", GMTED 30", GMTED 15", GMTED 7.5" et ASTER 1"



**Fig. 3** Histogrammes des différences entre altitudes BGI et altitudes MNT. De haut en bas et de gauche à droite : GTOPO 30", GLOBE 30", SRTM 30", SRTM 3", ETOPO 1", GMTED 30", GMTED 15", GMTED 7.5" et ASTER 1"

#### 4. Conclusion

L'analyse des différences entre les altitudes des 12472 points gravimétriques du BGI et celles interpolées à partir des différents MNT globaux montre que les deux modèles SRTM 3" et GMTED 7.5" sont ceux qui offrent le plus de points avec des écarts en altitude inférieurs à 10 mètres. Par conséquent ces deux modèles sont recommandés pour le calcul d'une solution de géoïde locale pour l'Algérie.

À noter que cette évaluation a été basée que sur les altitudes des points gravimétriques BGI et ne permet pas d'en tirer des conclusions finales sur la qualité des MNT. D'autres comparaisons en exploitant un MNT fin (issu de la cartographie de base) et des données ponctuelles de points cotés et/ou GPS nivelés demeurent nécessaires pour une évaluation rigoureuse de la qualité des MNT.

Notons ici qu'en 2014, les acquisitions des satellites radar TerraSAR-X et TanDEM-X seront disponibles sous la forme d'une couverture mondiale homogène avec une résolution de 12 mètres. Cette analyse sera enrichie avec le MNT futur qui sera généré à partir de ces deux missions satellitaires.

#### Références Bibliographiques

- Amante C. and Eakins B.W., 2009. ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, 19 pp, March 2009.
- BGI, 2012a. The International Gravimetric Bureau; In "The Geodesist's Handbook 2012". H. Drewes, H. Hornik, J. Adam, S. Rozsa Eds. (International Association of Geodesy). Journal of Geodesy, 86, 10. doi: 10.1007/s00190-012-0584-1; <http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00190-012-0584-1.pdf>
- BGI, 2012b. EOL/EOS format; [http://bgi.obs-mip.fr/fr/content/download/720/4949/file/BGI\\_EOL\\_EOS\\_Data\\_format.pdf](http://bgi.obs-mip.fr/fr/content/download/720/4949/file/BGI_EOL_EOS_Data_format.pdf)
- Danielson J.J., 1996. Delineation of drainage basins from 1 km African digital elevation data. In: Pecora Thirteen, Human Interactions with the Environment - Perspectives from Space, Sioux Falls, South Dakota, August 20-22, 1996.
- Danielson J.J., and Gesch D.B., 2011. Global multi-resolution terrain elevation data 2010 (GMTED2010): U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1073, 26 p. <http://pubs.usgs.gov/of/2011/1073/pdf/of2011-1073.pdf>
- Duquenne H., 2005. Le géoïde et les méthodes locales de sa détermination. -Support de cours- Ecole francophone sur le géoïde – IGN/LAREG, 2005.
- Ettarid M., Hadfat H., Zaza A., Khaldi A., 2004. Qualité des modèles numériques de terrain dérivés par corrélation automatique. Conference Paper, XX<sup>th</sup> ISPRS Congress - Technical Commission IV, July 12-23, 2004 Istanbul, Turkey. ISPRS Archives – Volume XXXV Part B4 : 1183-1188.
- Farr T.G., Rosen P.A., Caro E., Crippen R., Duren R., Hensley S., Kobrick M., Paller M., Rodriguez E., Roth L., Seal D., Shaffer S., Shimada J., Umland J., Werner M., Oskin M., Burbank D. & Alsdorf D., 2007. The Shuttle Radar Topography Mission. Rev. Geophys. 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183.
- Forsberg R., 1994. Terrain effects in Geoid Computations. Lectures Notes. In: International School for the Determination and Use of the Geoid. International Geoid Service. DIAR, Milan, Italy.
- Gesch D.B., 1994. Topographic data requirements for EOS global change research. U.S. Geological Survey Open-File Report 94-626, 60 p.
- Hastings D.A., and Paula K.D., 1999. Global Land One-kilometer Base Elevation (GLOBE) Digital Elevation Model, Documentation, Volume 1.0. Key to Geophysical Records Documentation (KGRD) 34. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Geophysical Data Center, 325 Broadway, Boulder, Colorado 80303, U.S.A.
- Jet Propulsion Laboratory, 1997. DEM auxiliary datasets preparation plan: digital elevation mapping support to the EOS/AM1 platform - JPL D13508, Release 2. Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, California, 65 p.
- Lagrula J., 1959. Nouvelles études gravimétriques. 1<sup>ère</sup> partie: Stations de références de l'Algérie et du Sahara. Publ. Serv. Carte, Géol. Algérie N S, 28, p. 265-304.
- Rodríguez E., Morris C.S., Belz J.E., Chapin E.C., Martin J.M., Daffer W. & Hensley S., 2005. An assessment of the SRTM topographic products. Technical Report JPL D-31639, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, 143 pp. [http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/SRTM\\_D31639.pdf](http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/SRTM_D31639.pdf)
- Tachikawa T., Hato M., Kaku M. and Iwasaki A., 2011. The characteristics of ASTER GDEM version 2, IGARSS, July 2011.
- Takherist D., 1991. Structure crustale. Subsidence mésozoïque et flux de chaleur dans les bassins Nord-Sahariens (Algérie): Apport de la gravimétrie et des données de puits. Thèse de Doctorat (Spécialité Géophysique) soutenue le 16 mars 1990 à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc - Montpellier. ISBN 2-907826-08-5
- Verdin K.L., and Greenlee S.K., 1996. Development of continental scale digital elevation models and extraction of hydrographic features. In: Proceedings, Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling, Santa Fe, New Mexico, January 21-26, 1996. National Center for Geographic Information and Analysis, Santa Barbara, California.

## Etude de faisabilité d'une station EGNOS à Tamanrasset

L. TABTI & S. ABIDALLAH

Division de Géodésie Spatiale - Centre des Techniques Spatiales.

Email: thouaria@yahoo.fr

**ملخص :** الوظيفة الأساسية للمحطات المرجعية RIMS هي جمع المعلومات عن الأقمار الصناعية للأنظمة العالمية لتحديد المواقع ونقل هذه البيانات إلى مراكز المعالجة. يسمح نظام EGNOS بإرسال التصحيحات و المعلومات عن كفاءة الأقمار الصناعية المتواجدة في مجال التغطية لشبكة المحطات المرجعية.

دراسة تأثير المحطة المرجعية لتمنراست من حيث الكفاءة و التغطية تمت باستخدام برنامج المحاكاة للوكالة الفضائية الأوروبية Simulator SBAS. نلاحظ في الجزائر أن النظام يوفر تغطية جيدة في الشمال و بينت نتائج محاكاة محطة تمنراست أن النظام الأوروبي لا يوفر تغطية ملحوظة حول هذه المحطة و لكنه يضمن تغطية أفضل في اتجاه شبكة المحطات الأوروبية (نحو الشمال).

**الكلمات الأساسية :** نظام التعزيز الأوروبي EGNOS، المحطات المرجعية RIMS، جي بي اس و تصحيح اليونوسفير.

**Résumé :** La fonction principale des stations RIMS (Ranging and Integrity Monitoring Stations) est de collecter les informations des satellites GPS et de transmettre ces données vers les centres de traitement. Le système EGNOS permet la transmission des corrections différentielles et des messages d'intégrité pour les satellites de navigation observés par un réseau de stations de référence (RIMS).

L'étude de l'influence de la station RIMS de Tamanrasset en termes de performance et de couverture a été menée en utilisant le logiciel SBAS Simulateur de l'ESA.

En Algérie, on a remarqué que le système assure une bonne couverture au nord. Les résultats de la simulation de la station de Tamanrasset montrent que l'ajout de cette station n'améliore pas sensiblement la couverture d'EGNOS autour du site en question ou plus au Sud, mais garantit plutôt une meilleure couverture dans la direction du réseau principal de stations RIMS (vers l'Europe, donc plus au Nord).

**Mots clés :** EGNOS, RIMS, GPS, et correction ionosphérique.

**Abstract :** The main function of the RIMS (Ranging and Integrity Monitoring Stations) stations is to collect measurements from GPS satellites and to transmit

these raw data to the master stations. EGNOS systems are designed to augment the Navigation System constellation by broadcasting additional signals from geostationary (GEO) satellites and providing differential correction messages and integrity data for the satellites which are in the view of a monitoring station network. The study of the impact of Tamanrasset station RIMS in terms of performance and coverage has been conducted by SBAS Simulator software of the ESA.

In Algeria, we observed that the system assure a good coverage of the north. The results of the Tamanrasset simulation show that the addition of this station don't significantly improve the EGNOS coverage surrounding the site concerned or further south, but ensures a better coverage in the direction of the main network stations RIMS (to Europe, therefore further north).

**Keywords :** EGNOS, RIMS, GPS, and ionospheric correction

### 1. Introduction

EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*) est le système Européen d'augmentation de la précision par recouvrement géostationnaire. Il offre aux utilisateurs de la radionavigation par satellites un service de navigation et de positionnement très performant, meilleur que ce qui est actuellement disponible en Europe. Le système utilise les signaux des constellations de satellites du système américain GPS et russe GLONASS. Il se compose de plusieurs charges utiles de navigation installées sur des satellites en orbite géostationnaire et d'un réseau de stations terrestre (RIMS) comprenant plus de 40 stations. Ces équipements augmentent la précision et la fiabilité des services offerts par les signaux GPS et GLONASS dans une zone géographique couvrant l'Europe et les pays méditerranéens (*Commission Des Communautés Européennes, 2003*).

EGNOS permettra d'améliorer considérablement le service standard de GPS, en termes de précision (EGNOS permet une précision en temps réel de 2 à 5 mètres, tandis que celle des signaux bruts GPS est de l'ordre de 20 mètres), en termes de garantie de service (diffusion d'un signal d'intégrité) et améliore la disponibilité (diffusion des signaux supplémentaires) (*Ventura-traveset, 2004*).

**2. Corrections transmises par EGNOS**

**2.1 Corrections rapides**

Les corrections rapides ( $PRC_f$ ) sont diffusées pour corriger les erreurs qui varient rapidement comme les erreurs d’horloge et les erreurs d’éphémérides. Elles fournissent des corrections de pseudo distance pour chaque satellite (PRC), qui sont appliquées directement à la mesure de pseudo distance pour la durée d’applicabilité du message.

En plus de cette correction, une variation de correction ( $RRC$  -Range Rate Correction-) est aussi ajoutée à la mesure afin de compenser celle-ci lors de la réception des messages.

Les équations (1) et (2) présentent le calcul de ces corrections en mètres :

$$PR_{corrigé}(t) = PR_{mesuré}(t) + PRC_f(t_{of}) + RRC(t - t_{of}) \quad (1)$$

Et

$$PRC_{f\ courant} = \frac{RRC(t_{of}) - PRC_{f\ précédent}}{t_{of\ courant} - t_{of\ précédent}} \quad (2)$$

Où:

- $t$  est le moment d’applicabilité, et  $t_{of}$  est le temps d’applicabilité du message le plus récent en (s),
- $PR_{corrigé}$  est la pseudo-distance corrigée, et  $PR_{mesuré}$  la pseudo-distance mesurée en (m),
- $PRC_f$  est la correction rapide, et  $RRC$  est la variation de la correction en (m).

**2.2 Corrections lentes**

Le but des corrections lentes ou corrections à long terme est :

- de corriger les erreurs qui varient lentement comme la position des satellites fournie par les éphémérides radio diffusées;
- d’actualiser les erreurs d’horloges des satellites ( $\delta a_{f0}$ ).

Les corrections de position des satellites sont calculées en utilisant une interpolation linéaire :

$$\begin{aligned} DX(t) &= DX(t_0) + D\dot{X}(t_0)(t - t_0) \\ DY(t) &= DY(t_0) + D\dot{Y}(t_0)(t - t_0) \\ DZ(t) &= DZ(t_0) + D\dot{Z}(t_0)(t - t_0) \end{aligned} \quad (3)$$

Tel que :

- $DX(t)$ ,  $DY(t)$ ,  $DZ(t)$  : correction de position du satellite à l’instant  $t$  (m);

- $DX(t_0)$ ,  $DY(t_0)$ ,  $DZ(t_0)$  : position des satellites provenant des éphémérides (m);
- $D\dot{X}$ ,  $D\dot{Y}$ ,  $D\dot{Z}$  : dérive des corrections (via SBAS) ; elle est égale à zéro lorsque le *Velocity Code* est nul (m/s);
- $t$  : moment d’applicabilité, et  $t_0$  : moment de réception du message (s),

$$\begin{bmatrix} X_{corr}(t) \\ Y_{corr}(t) \\ Z_{corr}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{GPS}(t) \\ Y_{GPS}(t) \\ Z_{GPS}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} DX(t) \\ DY(t) \\ DZ(t) \end{bmatrix} \quad (4)$$

La mise à jour des horloges est donnée par l’équation suivante (*Gillieron, 2004*) :

$$\delta\Delta T_{sat}(t) = \delta a_{f0} + \delta a_{f1}(t - t_0) \quad (5)$$

Où:

- $t$  : moment d’applicabilité, et  $t_0$  : moment de réception du message (s),
- $\delta\Delta T_{sat}$  est la correction d’horloge (s);
- $\delta a_{f0}$  est la correction d’erreur d’horloge (s);
- $\delta a_{f1}$  est la dérive de correction et elle est égale à zéro lorsque le *Velocity Code* est nul (s).

Le facteur de correction de pseudo distance est donné par :

$$RC_{clock}(t) = \delta\Delta T_{sat}(t) \times c \quad (6)$$

**2.3 Corrections ionosphériques**

EGNOS transmet des corrections ionosphériques pour chacun des points appelés IGP (*Ionospheric Grid Points*) d’une grille virtuelle située à 350 km d’altitude. Connaissant la position de ces points particuliers et l’estimation du délai pour chaque IGP, le récepteur peut estimer le retard ionosphérique pour chaque IPP (*Ionospheric Pierce Point*) et donc pour chaque pseudo distance mesurée. Pour cela le récepteur doit réaliser une interpolation entre les valeurs fournies pour les IGP voisins de chaque IPP.

Le récepteur prend en compte un facteur d’Oblicité (angle avec lequel l’ionosphère est traversée : *Fpp Obliquity Factor at Pierce Point*) entre l’IPP et l’utilisateur (*Arbesser-Rastburg, 2002*).

Le  $F_{pp}$  se calcule par :

$$F_{PP} = \left[ 1 - \left( \frac{R_e \cos E}{R_e + h_I} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (7)$$

Où:

- $F_{PP}$  est le facteur d’oblicité;
- $E$  est l’angle d’élévation du satellite par rapport à l’utilisateur (radians);
- $R_e$  est le rayon approximatif de la Terre (6378,1363 km);
- $h_I$  est la hauteur de la densité maximale d’électrons (350 km).

Le calcul de la correction ionosphérique (IC) est donné par :

$$IC = F_{PP} \times \tau_{IPP}(\text{m}) \quad (8)$$

Tel que  $\tau_{IPP}$  est le délai de l'IPP. Cette correction ionosphérique est ajoutée directement aux mesures de pseudo-distance (Guay, 2010).

### 3. Calcul des niveaux de protection

EGNOS diffuse des paramètres qui permettent à l'utilisateur d'évaluer le degré de confiance dans les corrections différentielles et d'estimer une limite de son erreur de position ; ces paramètres appelés niveaux de protection XPL (*Horizontal or Vertical Protection Level*).

EGNOS transmet des variances pour chacune des corrections, puis le récepteur assemble ces variances afin d'avoir une limite pour la mesure de pseudo-distance d'un satellite. La somme des variances se calcule ainsi :

$$\sigma_i^2 = \sigma_{i,flt}^2 + \sigma_{i,UIRE}^2 + \sigma_{i,air}^2 + \sigma_{i,tropo}^2 \quad (9)$$

Où :

- $\sigma_i^2$  est la somme des variances pour chaque satellite ( $\text{m}^2$ );
- $\sigma_{i,flt}^2$  représente la variance des résidus de correction rapides et lentes ( $\text{m}^2$ );
- $\sigma_{i,UIRE}^2$  est la variance des erreurs de correction ionosphérique ( $\text{m}^2$ );
- $\sigma_{i,air}^2$  est la variance des erreurs du récepteur ( $\text{m}^2$ );
- $\sigma_{i,tropo}^2$  représente le carré de l'erreur résiduelle de correction troposphérique ( $\text{m}^2$ ).

La matrice de confiance est donnée par (Walter, 2012) :

$$W = \begin{bmatrix} 1/\sigma_1^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1/\sigma_2^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1/\sigma_N^2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Le calcul de XPL est donné par :

$$XPL = K \times d \text{ tel que}$$

$$d = (G^T \cdot W \cdot G)^{-1} \cdot G^T \cdot W \quad (11)$$

Avec

$$G_i = [-\cos Eli \sin Azi \quad -\cos Eli \cos Azi \quad -\sin Eli \quad 1]$$

= *i* ème ligne de *G*

K est un facteur multiplicatif qui dépend de l'application (aviation, maritime, terrestre.....).

### 4. Résultats et Analyses

Les résultats dépendent du choix de plusieurs paramètres (RIMS filtre, RIMS network) et des conditions initiales (constellation, date, zone, masque d'élévation) :

- Date : 1 Mars 2013, constellation GPS ;
- Dans cette étude on a choisi une zone qui contient tout le territoire Algérien, elle est déterminée par : longitude min = -30°, longitude max =40° et latitude min =15°, latitude max =70° ;
- RIMS filtre : dans cette étude, le nombre minimal des stations RIMS pour surveiller un satellite est de 3, et l'élévation minimale d'un satellite pour être surveillé par une station RIMS est de 5° ;
- RIMS Network : pour les stations RIMS ; le choix a été porté en premier temps sur les stations opérationnelles en 2013 qui sont au total de 36 (European Commission, 2013), et en deuxième temps l'analyse a été faite sur l'ajout, aux stations déjà opérationnelles, de la station initialement prévue d'être implantée à Tamanrasset.

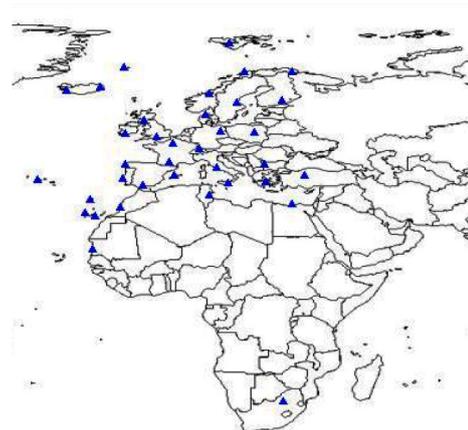


Fig. 6 Distribution géographique des stations RIMS existantes (2013)

Trois stations ont été ajoutées en 2012 (La Palma (Espagne), Athènes (Grèce) et Alexandrie (Egypte). La station de Djerba (Tunisie) est opérationnelle depuis 2009 et la station d'Agadir (Maroc) est en phase de test. Concernant la station de Tamanrasset, un changement de site est en discussion pour des raisons liées à l'indisponibilité (probablement) du signal EGNOS dans certaines parties Sud du territoire Algérien.

#### 4.1 Erreur de système de navigation NSE

La précision d'une position peut être estimée lorsqu'on dispose d'informations sur la qualité du signal du système de navigation; cette information est transmise par EGNOS.

Les figures [2] et [3] donnent le pourcentage du temps pour que le système maintienne l'erreur de position inférieure à 8 m (pour répondre aux besoins de l'aviation civile).

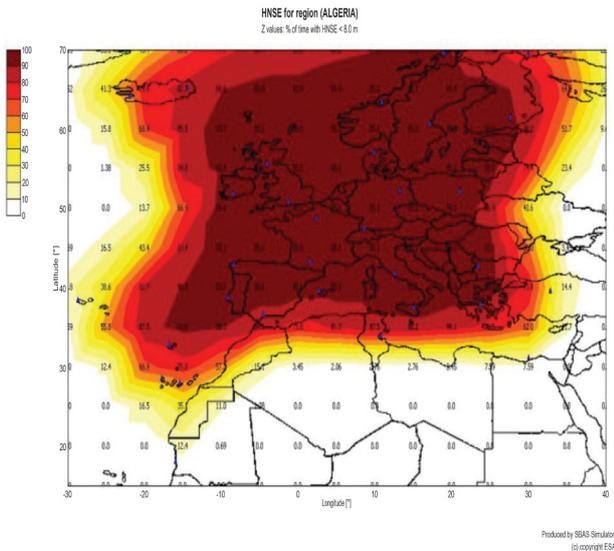


Fig. 2 Erreur horizontale d’EGNOS avec 36 stations RIMS en %

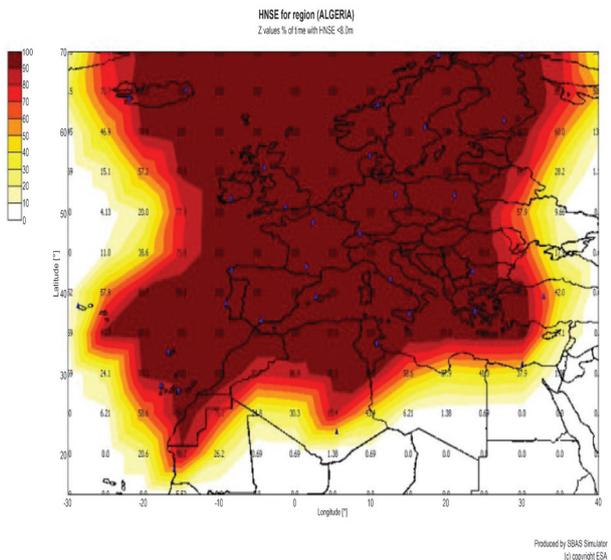


Fig. 3 Erreur horizontale d’EGNOS avec 37 stations RIMS incluant la station probable de Tamanrasset en %

Le tableau [1] donne la disponibilité de service avec une erreur de moins de 8 m dans quelques pays ainsi que les résultats de la simulation :

Tableau 1. Erreur horizontale d’EGNOS en %

Lieu	Réseau actuel (36 stations)	36 stations + station de Tamanrasset
France	95%	100%
Angleterre	94%	100%
Tunisie	80%	100%
Maroc	65%	95%
Nord Algérie	70%	95%
Sud Algérie	0%	70%

L’introduction de la station de Tamanrasset permet d’augmenter le pourcentage de l’erreur de système de navigation, ce pourcentage atteint son maximum (100 %), en France, en Angleterre et en Tunisie.

Dans le sud de l’Algérie, ce pourcentage est nul en l’absence de la station de Tamanrasset, mais l’ajout de cette station au réseau actuel permet de garantir cette erreur < 8 m jusqu’à 70% du temps en horizontal ; et en vertical le système peut garantir cette erreur < 8 m jusqu’à 60 % du temps.

On constate que les corrections d’EGNOS peuvent être utilisées seulement pour le territoire couvert par les stations RIMS du système.

4.2 Niveau de protection XPL

Les messages EGNOS permettent de borner les mesures de pseudo-distance individuellement.

Cela permet d’éliminer une mesure si celle-ci excède la borne de confiance afin de ne pas affecter la solution de navigation (Leite-Ribeiro, 2011).

Les figures [4] et [5] illustrent le niveau de protection donné par EGNOS et donnent le pourcentage du temps pour que le système puisse assurer une protection horizontale inférieure à 40 m pour les applications de l’aviation civile.

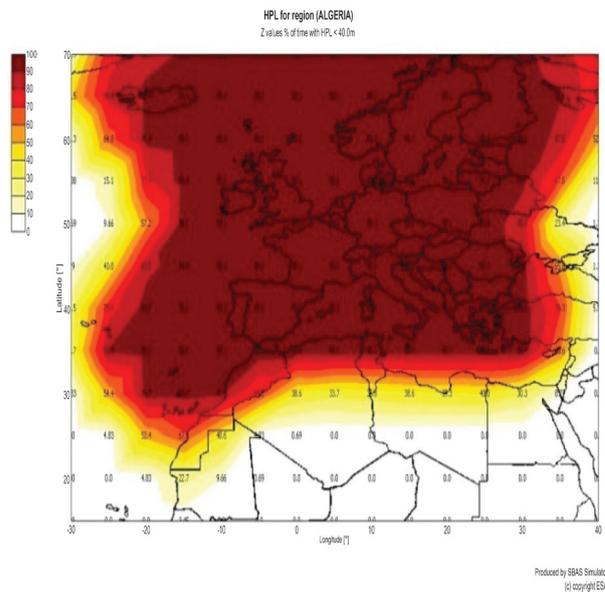


Fig. 4 Niveau de protection horizontale avec 36 stations RIMS en %

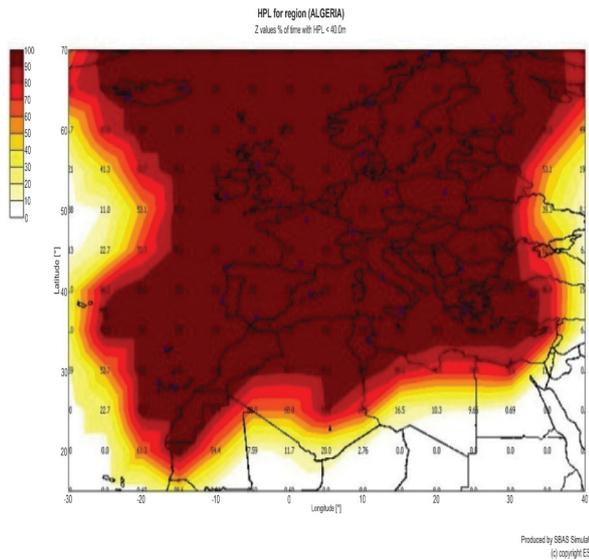


Fig. 5 Niveau de protection horizontale avec 37 stations RIMS incluant la station probable de Tamanrasset en %

L'ajout de la station de Tamanrasset permet d'augmenter la zone de protection en particulier en Algérie. Le résultat de l'estimation du niveau de protection horizontal est résumé dans le tableau [2]:

Tableau 2. Niveau de protection en %

Lieu	Réseau actuel (36 stations)	36 stations + station de Tamanrasset
France	95%	100%
Angleterre	95%	100%
Tunisie	85%	100%
Maroc	85%	100%
Nord Algérie	80%	100%
Sud Algérie	0%	75%

Sur le nord de l'Algérie, pendant 80 % du temps, le système peut assurer une protection horizontale avec le réseau actuel. Contrairement au sud de l'Algérie, où le pourcentage du temps pour que cette protection soit inférieure à 40 m est nul.

Néanmoins, l'utilisation de la station RIMS de Tamanrasset permet d'augmenter ce pourcentage pour atteindre 100% dans tous les pays à l'exception du sud de l'Algérie qui bénéficie d'une augmentation de 75 %.

### 4.3 Précision sur l'erreur verticale de la grille ionosphérique

La précision des corrections ionosphériques dépend du nombre des points IPP, plus ce nombre augmente par l'ajout des stations RIMS, plus la précision des corrections ionosphériques  $\sigma_{GIVE}$  sera meilleure.

La figure [6] donne les points de pénétration de l'ionosphère de toutes les stations RIMS avec tous les satellites GPS.

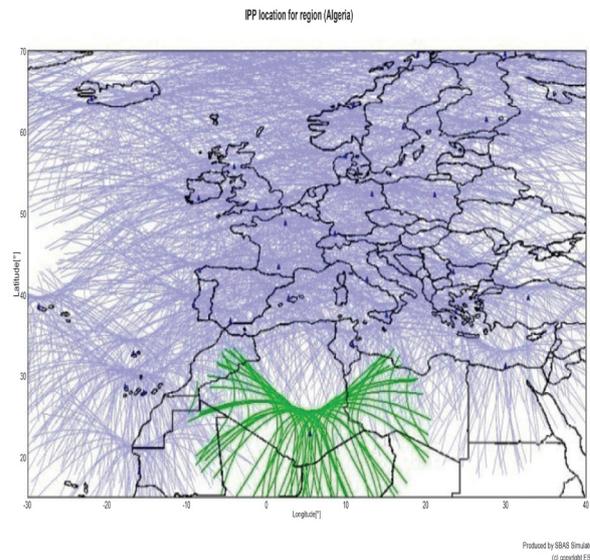


Fig. 6 IPP de l'ionosphère de toutes les stations RIMS (en bleu) et IPP de l'ionosphère de la station probable de Tamanrasset (en vert)

L'ajout de la station de Tamanrasset permet d'augmenter les points de pénétration de l'ionosphère au sud de l'Algérie.

L'utilisation des valeurs  $\sigma_{GIVE}$  fournies par le système permet à l'utilisateur de calculer l'erreur ionosphérique verticale pour chaque point ionosphérique, plus cette valeur est minimisée plus la précision sur l'erreur ionosphérique est améliorée.

Les figures [7] et [8] donnent la précision sur ces valeurs pour la zone étudiée:

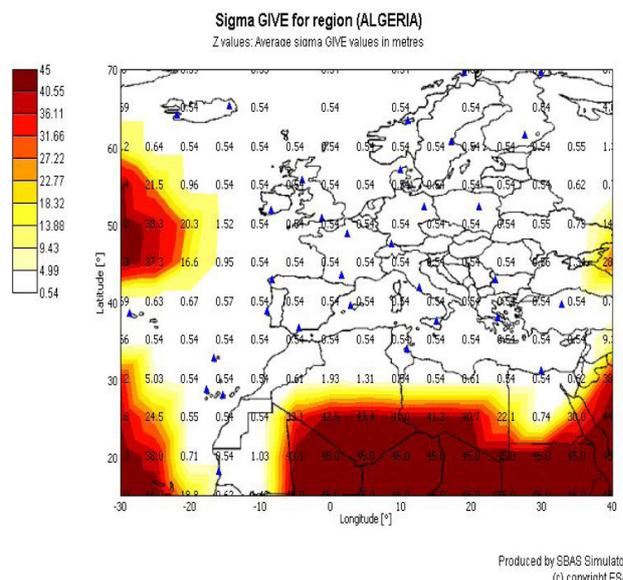


Fig. 7  $\sigma_{GIVE}$  avec 36 stations RIMS en m

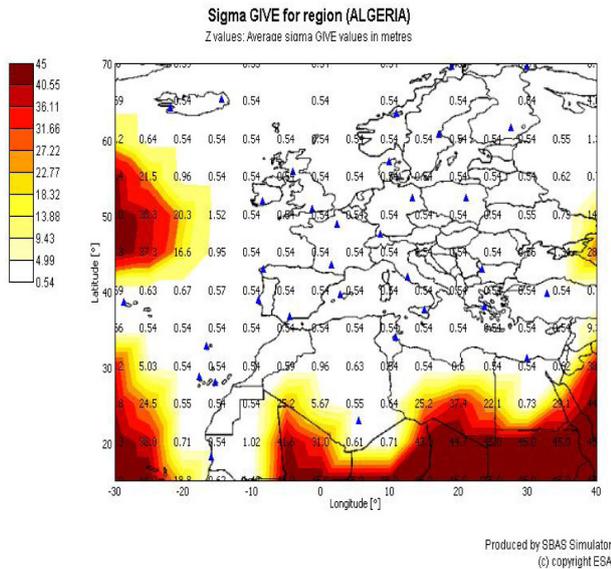


Fig. 8  $\sigma_{GIVE}$  avec 37 stations RIMS incluant la station probable de Tamanrasset en m

Les résultats de la figure [7], montrent que les intervalles des valeurs  $\sigma_{GIVE}$  varient entre 0.54 et 4 dans toutes les régions proches ou pourvues de stations RIMS. Les résultats montrent que cette valeur est égale à 0.54 au Nord de l'Algérie, au centre, cette valeur varie entre 1.31 et 1.93 néanmoins au sud de l'Algérie, elle varie entre 42.5 et 45.

Concernant les résultats de la simulation, l'ajout de la station RIMS de Tamanrasset permet de réduire toutes ces valeurs, en particulier au centre où cette valeur est minimisée dans un intervalle de [0.63, 0.96]; et au sud de l'Algérie; elle a été réduite jusqu'à 0.61.

On peut constater que l'ajout d'une station permet d'augmenter le nombre de points IPP qui permet d'améliorer la précision verticale de la grille ionosphérique.

### 5. Conclusion

L'amélioration des performances du système GPS par EGNOS permet d'obtenir une meilleure précision, d'augmenter la continuité de service et surtout d'assurer le contrôle de l'intégrité.

Cette étude a permis de mieux quantifier l'influence des stations RIMS pour améliorer la précision de positionnement en particulier en Algérie. La mise en œuvre des installations sol d'une station RIMS permettra de recevoir les corrections émises par le système dans le territoire Algérien et bénéficiera certainement des avantages offerts par ce système.

La simulation du site de Tamanrasset a montré que les performances du système ne peuvent pas être atteintes sur tout le territoire Algérien, mais garantit plutôt une meilleure couverture dans la direction du réseau principal de stations RIMS (vers l'Europe), donc assure une meilleure couverture du Nord de l'Algérie. Les conclusions tirées de cette étude sont:

- Les corrections fournies par chaque station RIMS dépendent des stations voisines;
- L'amélioration de service EGNOS est interne du réseau des stations RIMS;
- La portée entre deux RIMS est importante ; plus les stations sont proches plus l'amélioration est importante, c'est-à-dire les stations isolées n'ont aucune influence.

Pour toutes ces raisons le déplacement de la station de Tamanrasset plus au Nord, vers le centre du pays notamment, pourrait assurer une meilleure couverture du système EGNOS en Algérie.

### Acronymes

- EGNOS : European Geostationary Navigation Overlay Service
- ESA : European Space Agency
- Fpp : Obliquity Factor at Pierce Point
- GIVE : Grid Ionospheric Vertical Error
- IC: Ionospheric correction
- IGP : Ionospheric Grid Points
- IPP: Ionospheric Pierce Point
- NSE : Navigation System Error
- PRCf: : Fast Pseudo Range Correction
- RIMS : Ranging and Integrity Monitoring Stations
- RRC : Range-Rate Correction
- XPL : Horizontal or Vertical Protection Level

### Références Bibliographiques

- Allien. A.; Taillandier. C; Capo. C; Priselkow. K; Legenne. J; Marechal. J et Jeannot. M. [2011]: *Guide EGNOS à l'usage des développeurs d'applications*. Commission Européen, ED 2.0.
- Arbesser-Rastburg. B[2002]: *Ionospheric Corrections for satellite navigation using EGNOS*, European Space Agency, ESA-ESTEC, TOS-EEP.
- Commission des Communauté Européennes [2003] : *Intégration du programme EGNOS dans le programme GALILEO*.
- EGNOS Message Server (EMS): <http://www.egnos-pro.esa.int/ems/>
- European Commission [2013]: *EGNOS Data Access Service (EDAS) Service Definition Document*, New services available: FTP, SISNeT, Data Filtering, Ntrip. New client software version available.

- European Space Agency (SBASimulator); <http://www.egnos.pro.esa.int/sbassimulator>
- Gillieron. P-Y. [2004]: *Principes et Architecture des Systèmes d'Augmentation*, Laboratoire de topométrie, EPFL. Ref: EGN-SDD EDAS, V2.0.
- Guay. J-C [2010]: *Récepteur SBAS-GNSS logiciel pour des applications temps-réel*, École De Technologie Supérieure, Université du Québec, maîtrise en génie électrique M. Ing.
- Jimenez-Baños. D, Powe. M, Raj mathur. A, Toran. F, Flament. D, Chatre. E. [2011]: *EGNOS Open Service Guidelines for receiver manufacturers*; 24th International Technical.
- Leite-Ribeiro. J-P. [2011]: *Positioning Systems in Airport Environments*; master thesis; Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, Portland OR.
- Ventura- Traveset. Michel. J, P and Gauthier. L. [2004]: *Architecture, mission and signal processing aspects of the EGNOS System: the first European implementation of GNSS*; European Space Agency (ESA).
- Walter. T. [2012]: *Satellite Navigation for Guidance of Aircraft*, Presented to Workshop on Science Application of GNSS in Developing Countries.
-

## Algerian Augmentation Positioning System (SAAP)

H. ABDELLAOUI & N. ZAOURAR

Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et Aménagement du Territoire

Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene

BP32, El Alia Bab Ezzouar, Alger, Algérie

Email: abdhassen@hotmail.fr, naimaboulasba@gmail.com

**ملخص :** نتطرق في هذا المقال إلى المراحل الأساسية لمشروع ذو بعد كبير يخص انجاز شبكة لرفع دقة التموقع، تركز على محطات دائمة الاستقبال من نوع "GNSS" المنظومة الساتلنتية الشاملة للملاحة (م س ش م).

محطات (م س ش م)، تشمل حاليا مجموعتين ساتلنتيتين عمليتين: GPS (الولايات المتحدة) و GLONASS (روسيا) وخلال السنوات القليلة القادمة يلتحق بهما GALILEO (أوروبا) و BEIDOU/COMPASS (الصين).

يغطي مشروع الشبكة كامل التراب الوطني بمحطات دائمة الاستقبال من نوع GNSS متعددة التردد، ذات الخواص التقنية و معايير الدقة المعمول بها عالميا في المنظومات الملاحية العملية.

يرتكز المبدأ على تعزيز المنظومات الساتلنتية GNSS بشبكة رفع أو تغطية، تبت أنيا تصحيحات تهدف إلى رفع دقة التموقع و تصخر معلومات لتأكد من مدى صحتها.

أصبحت منظومات رفع الدقة وسيلة ضرورية لكل التطبيقات ذات الدقة السنتيمترية. فهي تستعمل في الأشغال التي تتطلب دقة كبيرة في القياس لاسيما في حالة متابعة تشويه القشرة الأرضية، معاينة المنشآت الفنية، رسم الخرائط، الجيوديزيا، و استطلاع الغلاف الجوي من الأرض أو الجو.

عدة دراسات تستغل معطيات GNSS لمراقبة و تسيير أخطار الزلازل بما في ذلك البحوث الجيوفيزيائية التي يمكنها الاستفادة من دقة معطيات المحطات دائمة الاستقبال و قياسات محطات المد و الجزر "الماريغراف" لتحديد مركز الزلازل و شدتها.

**الكلمات الأساسية :** نظام الرفع، التموقع، النظام العالمي للتموقع الفضائي (GNSS)، الدقة-التمييز، الجزء الأرضي للنظام.

**Résumé :** Nous présentons dans cet article les phases principales d'un projet de grande envergure qui consiste à la réalisation par l'Institut National de Cartographie et de Télédétection, d'un réseau d'augmentation de positionnement à base de stations permanentes type GNSS (Global Navigation Satellite System). Les GNSS, englobent actuellement deux constellations satellitaires opérationnelles : GPS (USA) et le GLONASS (Russie) et dans quelques années, deux autres; GALILEO (Europe) et BEIDOU/COMPASS (Chine) sont prévus pour les rejoindre.

L'architecture du réseau projeté, couvrira tout le territoire national, par des stations de réception permanentes GNSS

multi-fréquences, répondant aux spécifications techniques et normes de précision adoptées par les systèmes déjà opérationnels à travers le monde.

Le principe consiste à compléter les constellations satellitaires formant le GNSS par des réseaux d'augmentation ou de recouvrement qui délivrent en temps réel des corrections destinées à accroître la précision du positionnement ainsi que la fourniture des informations permettant de garantir l'intégrité de ces corrections.

Ces systèmes d'augmentation, sont devenus aujourd'hui un outil indispensable pour toutes les applications de précision centimétriques. Ils sont de plus en plus utilisés dans le cadre des travaux nécessitant une grande précision dans les mesures, notamment pour le suivi des déformations de la croûte terrestre, l'auscultation des ouvrages d'art, la cartographie, la géodésie et le sondage de l'atmosphère depuis le sol ou l'espace.

Pour la surveillance des séismes, beaucoup d'études s'intéressent à l'exploitation des données issues des systèmes d'augmentation GNSS pour une meilleure gestion du risque sismique. La recherche en géophysique pourrait tirer profit des combinaisons de ces données précises à celles des stations sismiques et des stations marégraphiques pour déterminer la localisation des épicentres ainsi que les magnitudes.

**Mots clés :** Système d'augmentation, positionnement, GNSS, précision, segment-sol.

**Abstract :** We present in this article the main phases of a major project that involves the realization by the National Institute of Cartography and Remote Sensing, of a network increases positioning based on GNSS permanent stations (Global Navigation Satellite System). The GNSS consist of two currently operational satellite constellations: GPS (USA) and GLONASS (Russia) and in a few years, two other; Galileo (Europe) and BEIDOU/COMPASS (China) are expected to join them.

The architecture of the proposed network will cover the whole national territory, by receiving stations permanent GNSS multi-frequency meets the technical standards of accuracy adopted by the same systems already operational around the world.

The principle is to complete the constellations forming the GNSS, by ground segment increase or recovery, which delivers real-time corrections to increase the positioning

accuracy and the provision of information to ensure the integrity of these corrections.

These augmentation systems have now become an indispensable tool for all precision applications centimeter. They are increasingly used in the work requiring high precision in the measurements, in particular for monitoring deformations of the earth's crust, auscultation structures of art, cartography, geodesy and surveying of atmosphere from the ground or space.

For monitoring earthquakes, many studies focus on the exploitation of data from GNSS augmentation systems for better management of seismic risk. The geophysical research could benefit from the combination of these data with those of accurate seismic stations and tide gauges to determine the location of the epicenters and magnitudes.

**Keywords :** Augmentation system, positioning, GNSS, accuracy, ground segment.

## 1. Introduction

Although the installation of GNSS stations was preliminary designed as a continuous static network, mapping activities, intensive cadastral work, monitoring the tectonic and seismic activity requiring more accuracy, led to start setting up a network real-time kinematic (NRTK) that supposed to cover the whole country.

The NRTK positioning is nowadays a very common practice. It allows users metric or even centimeter accuracy in real time with an average distance of 25-35 km between reference stations.

In order to realize this goal, the National Institute of Cartography and Remote Sensing as the active mapping authority responsible for geodetic activities in Algeria, launched a major project on the implementation of a device covering the entire national territory, composed of permanent stations GNSS (Global Navigation Satellite System) such as GPS, GLONASS, and Galileo.

The preliminary aim of this network is to establish 14 reference stations throughout Algeria, attached to International GNSS Service (IGS) of the Mediterranean to form the first order. The ultimate goal is to install more than 350 stations.

## 2. Project objectives

What will the stations and/or network be used for? What is needed to day and what is needed in future?

The project comes as a continuation of the use of GPS spatial geodesy, for high-precision positioning. It is based on all systems GNSS. Its objectives are:

- Data contribution for the global network of permanent stations (e.g. the International GPS Service, IGS; the Mediterranean Network), enabling the realization of

reference systems in the International Terrestrial Reference Frame (ITRF) and at the same time participate in the rehabilitation and modernization of the Algerian reference system;

- ensure positioning with sub-centimeter accuracy by the use of more accurate models for processing data from a network of permanent GNSS stations distributed in Algeria and meet the highest international standards and requirements;

- set its reliable and of the highest quality in near real time and in real time, providing a wide range of scientific applications such as geodynamics, sea level monitoring, weather forecasting, applications mapping, monitoring of local and regional crustal deformation, enabling earthquake prediction and hazard assessment, and studies on the determination of the time;

- Controlling the height system and monitoring sea-level changes by tide-gauge fixing between the Algerian National Fundamental GPS Network and Algerian National Sea-level Monitoring System.

## 3. What type of stations and network are needed

GPS reference stations and networks are readily scalable. They can be easily enhanced and upgraded as requirements change and the number of users increases. Thus, initially, it will often be quite sufficient to establish only the stations and services that are really needed.

Afterwards, as the requirements increase, the number of users grows and additional funds are available, new stations and features can be added and the services that are provided can be improved and enlarged. The initial investment is never lost.

- What is required?
- What applications have to be supported?
- What will the stations and/or network be used for?
- What is needed today?
- What will be needed in future?
- The area to be covered
- Where to establish the stations?
- What can be the separation distance between stations?
- The need for suitable sites with an open view of the sky
- Power, communication, security
- The infrastructure that is readily available and can be used
- The new infrastructure that has to be added
- The type of users that have to be supported
- The number of users that have to be supported
- Is it sufficient simply to log data and provide RINEX files?
- Is it also required to transmit RTK/DGPS data?
- The most suitable methods of communication between the receivers and the server

- The most suitable methods for distributing RTK/DGPS data
- The most suitable communication for distributing RTK/DGPS data
- The cost of establishing the stations and/or network
- The cost of running the stations and/or network
- The running costs for RTK and GIS rovers
- Computing the baselines between stations to check the positions of the antennas
- The budget that is available today
- The budget that will be available in future
- Charging for services and data
- Who is effectively the owner ?
- Who from the organization will be effectively in charge of supervising the system?
- What is planned for promoting the services?
- What is the vision over the next 5 years?
- Does a business plan and a financial plan available?

**4. Network size and configuration**

GNSS measurement errors are spatially correlated, the quality of the error estimates degrades as a function of spacing between the reference stations of the network. So, what is the effective distance between reference

stations that enables the precision required for real-time positioning, using multi-frequency, multi-constellation receivers?

Given the vastness of our country, the deployment study of this project provides three networks with different inter-station distances:

The first network as reflected in Figure 1 and identified in the following discussion the “blue” or “large” network, has inter-station distances of about 400 kilometers. We use it as a first order or reference network and it is intended to consolidate networks of densification.

The second (the “green” or “medium” network) is characterized by distances of about 150 kilometers, which is the average spacing of a national-scale geodetic network.

The last one “red network” or “small network” with distances of about 70 kilometers, is comparable with existing GNSS European networks designed for RTK purposes. Although these last two networks are designed for post-processing applications (i.e., to materialize a national or international reference system), the possibility of using these for real-time positioning could be very interesting in the future.

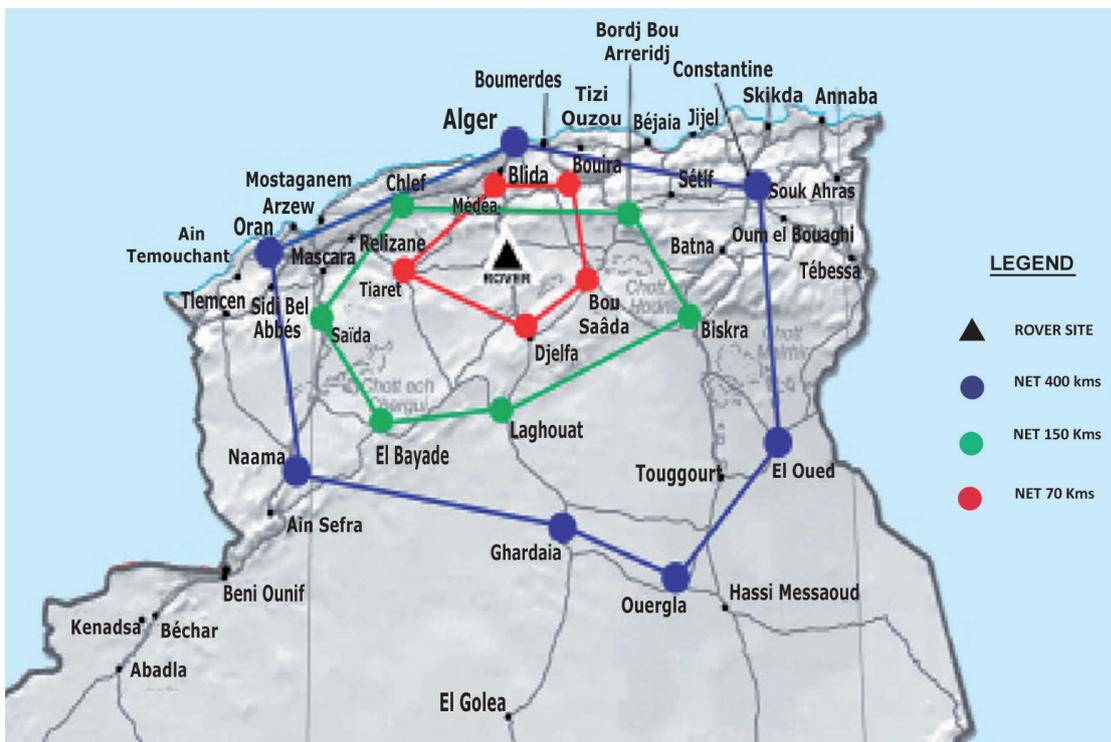


Fig. 1 Example of the three different GNSS networks distribution around the rover/SAAP project [10]

Based on experiments conducted around the world (including study GNSS solutions by Dr. Mark Petovello, University of Calgary), the influence of the distance of rover site and reference stations is clearly shown by figure 2 below.

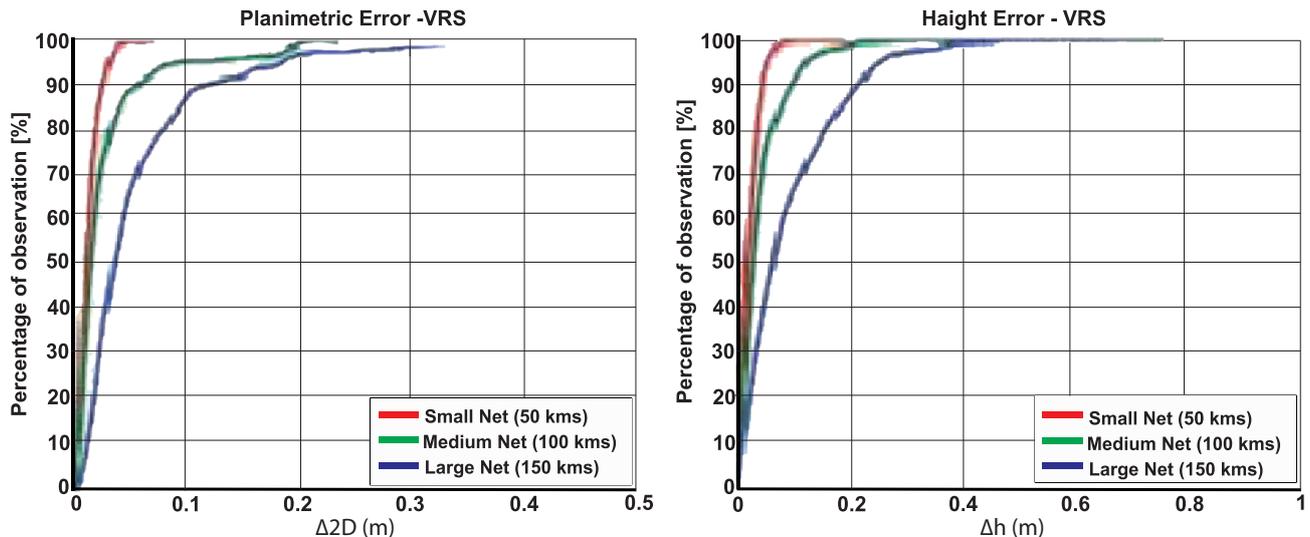


Fig. 2 NRTK positioning quality of planimetric/horizontal error (left) and the height error (right) [10]

The figure shows the average behavior of a multi-frequency, multi-constellation GNSS receiver in the case of a VRS (Virtual Reference Station) correction broadcast by networks of various sizes. The CDF (Cumulative Distribution Functions) analysis brings out an effective increase of the errors (both planimetric/horizontal and height) when the size of the GNSS network increases.

The planimetric error, for example, changes from values below 5 centimeters (95% probability) considering the “red” network up to 10 and 15 centimeters with the “green” and the “blue” ones, respectively. A similar behavior can be observed for the elevation error, with values from ranging from 6 centimeters (“red” network) to 10 centimeters (“green” network) and about 25 centimeters (“blue” network).

## 4. SAAP implementation and functionality

### 4.1 Ground segment

The SAAP ground segment is a terrestrial platform planned for horizontal and vertical accuracy enhancement of GNSS systems. It consists of a permanent GNSS stations network connected with a Control Center (CC) via specific lines. GNSS stations form an active geodetic network called ALgerian Continuously Operating Reference Stations (AL-CORS).

Data provided from AL-CORS will be used to provide useful services to increase the accuracy of GNSS systems in batch mode and in real time.

Indeed, the SAAP project will provides:

- A precise real-time positioning service, providing decimeter accuracy;

- A real-time positioning service with high accuracy, ensuring centimeter level ;
- A geodetic positioning service in offline and online modes, ensuring millimeter accuracy.

#### 4.1.1 The AL-CORS Networks

AL-CORS is composed of 372 permanent GNSS stations well distributed all over the national territory and subdivided into two networks, the Special Order Network-A (ROSA-A) and the Special Order Network-B (ROSA-B).

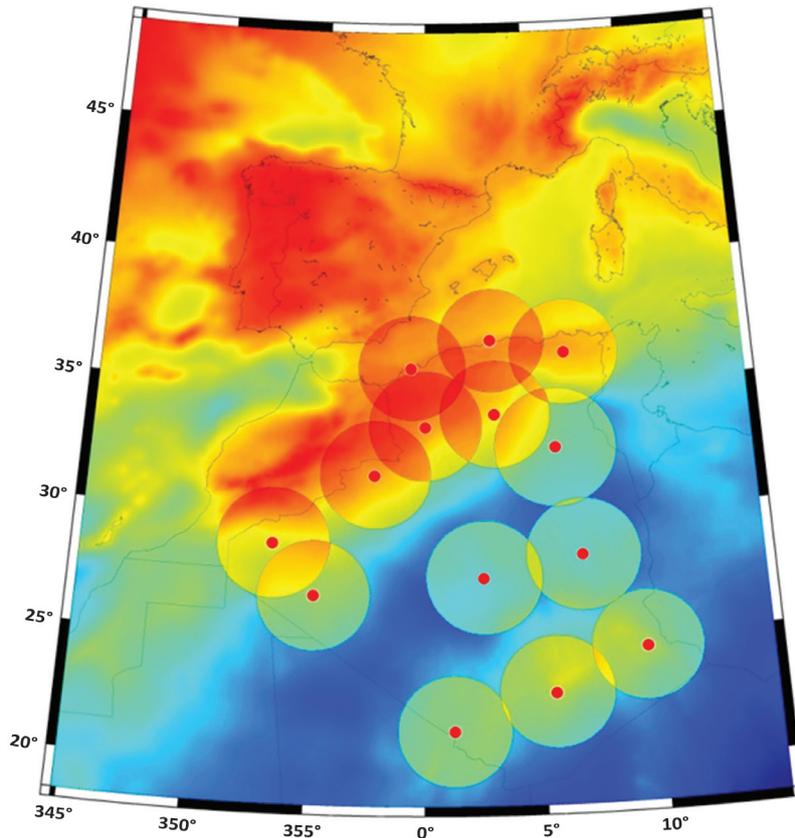
AL-CORS has a twin role:

- Provides a permanent, stable and precise framework to the national geodetic infrastructure. Thus, it will constitute the Reference Network for a new Algerian Reference Frame;
- Supplies the necessary data for GNSS users working with DGNSS or DGNSS/NRTK modes for practical tasks.

The first AL-CORS network is constituted by fourteen (14) permanent GNSS stations. These sites are located in the following cities : Algiers, Oran, Constantine, Ouargla, Laghouat, Nâama, Hamaguir, Oum el Assel, In Salah, Tamanrasset, Borj Badji Mokhtar, Djanet, Bordj Omar Dris, Chenachen; their geographical distribution is shown in figure 3.

They observe continuously at a rate of 30 seconds and broadcast the measurements to the Control Center for processing and dissemination.

The distances between neighboring GNSS stations are from 400 km to 450 km, with homogeneous geographical distribution over the national territory and aligned to surround IGS COR-Stations.



GMT 2014 Apr 28 09:19:03

Fig. 3 GNSS Permanent Sites configuration: Special Order Network-A

#### 4.1.2 Control Center and SAAP network applications

Regarding the delayed mode DGNSS post-processing, the Control Center will publish on the Internet the GNSS observation files in RINEX and Hatanaka formats. These files are downloadable by users after authentication via FTP. On the real-time mode DGNSS/NRTK, the CC will process the corrections to be broadcasted, from the operating ALCORS stations raw data.

CC software uses this data to process the network RTK corrections and diffuses them into the RTCM standard format to user mobile subscribers.

##### 4.1.2.1 Real time applications

The NRTK (Network Real Time Kinematic) could be the most important SAAP ground-based augmentation feature; it is an evolution of the RTK positioning appeared with the development of GNSS permanent networks. Instead of using the measured observations in a single base station, a GNSS network known coordinates for positioning in real time, is used. This is called NRTK with the advantage that the corrections are transmitted more frequently by mobile telephony (GPRS/EDGE/3G). The most important difference from the single RTK is the length of baselines that in the case of NRTK are generally longer (density of permanent GNSS network).

This accuracy parameter is compensated by the inclusion of a plurality of fixed stations instead of one only [8].

Three types of technical solutions NRTK could be used, as described in the flowchart in figure 4, providing more or less equivalent information. The only differences between these solutions act on the distribution of tasks performed by the computers of the Control Centers (which retrieves permanent stations observations and transmits correction information) and the unknown station [2].

1. The MAC (Master Auxiliary Concept) solution: this is the solution where the majority of operations are performed at the receiver side. The receiver sends its approximate position to a server which infers subnet stations near the unknown station. A master station is selected from that subnet, the others are considered as auxiliary stations. The master station observations are sent to the unknown station and differential corrections to the auxiliary ones processed in the server.

2. The FKP (Flaschen Korrektur Parameter) solution: this is an intermediate solution for the distribution of operations between server and receiver. The server calculates a surface model of corrections from GNSS network. This model of corrections is then sent to the receiver in order to process a new position.

3. The VRS (Virtual Reference Station) solution: this is a solution where the majority of operations are performed on the server side. The receiver sends its approximate position to the server of processing. From the observations acquired on the permanent stations, the server simulates

observations for a virtual station in the approximate position sent by the receiver and transmits this information. The receiver then uses these simulated observations to perform differential process.

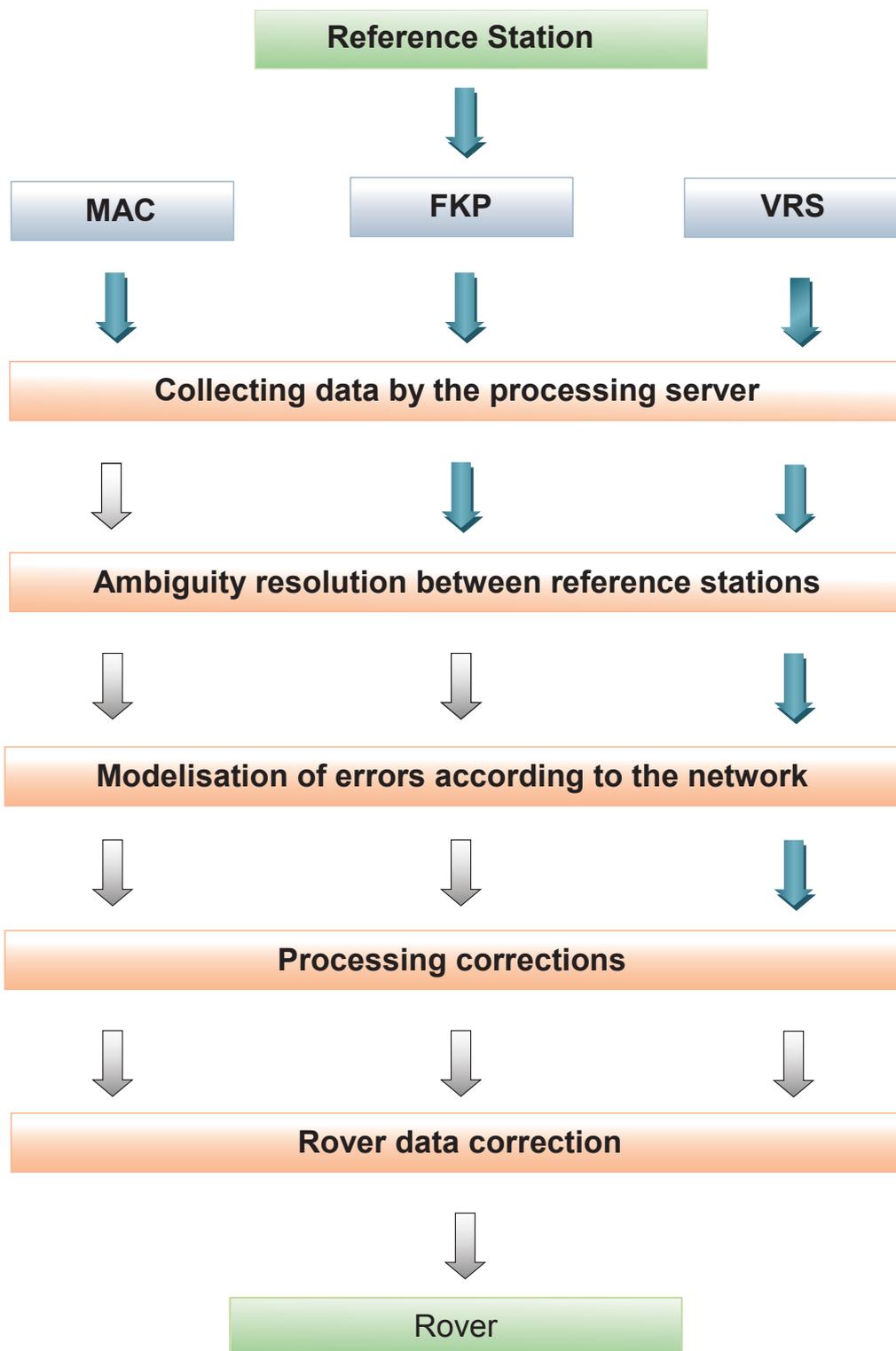


Fig. 4 The different methods of NRTK. Steps following the empty arrows are achieved in the servers and steps following full arrows in the mobile receiver

4.1.2.2 IGS products and SAAP data processing

The International GNSS Service (IGS) is a worldwide association that gathers resources and permanent GNSS stations data to make available precise GNSS products. The IGS is dedicated for providing products as the standard for GNSS according to Earth science research, multidisciplinary applications, and education [9].

In addition, the IGS is supporting applications requiring real-time access to IGS products through its Real-Time Service (RTS) which is a GNSS orbit and clock correction service that enables precise point positioning

(PPP) and related applications, such as time synchronization and disaster monitoring, at worldwide scales. In order to remain at this level of performance and to achieve this degree of accuracy, the Algerian permanent GNSS stations are constrained to surrounded IGS COR-Stations through a treatment in post-processing using sophisticated GNSS softwares and IGS products, providing combined weekly solutions.

The figure 5 below shows the first six operational GNSS permanent stations of INCT with their geographical distribution.

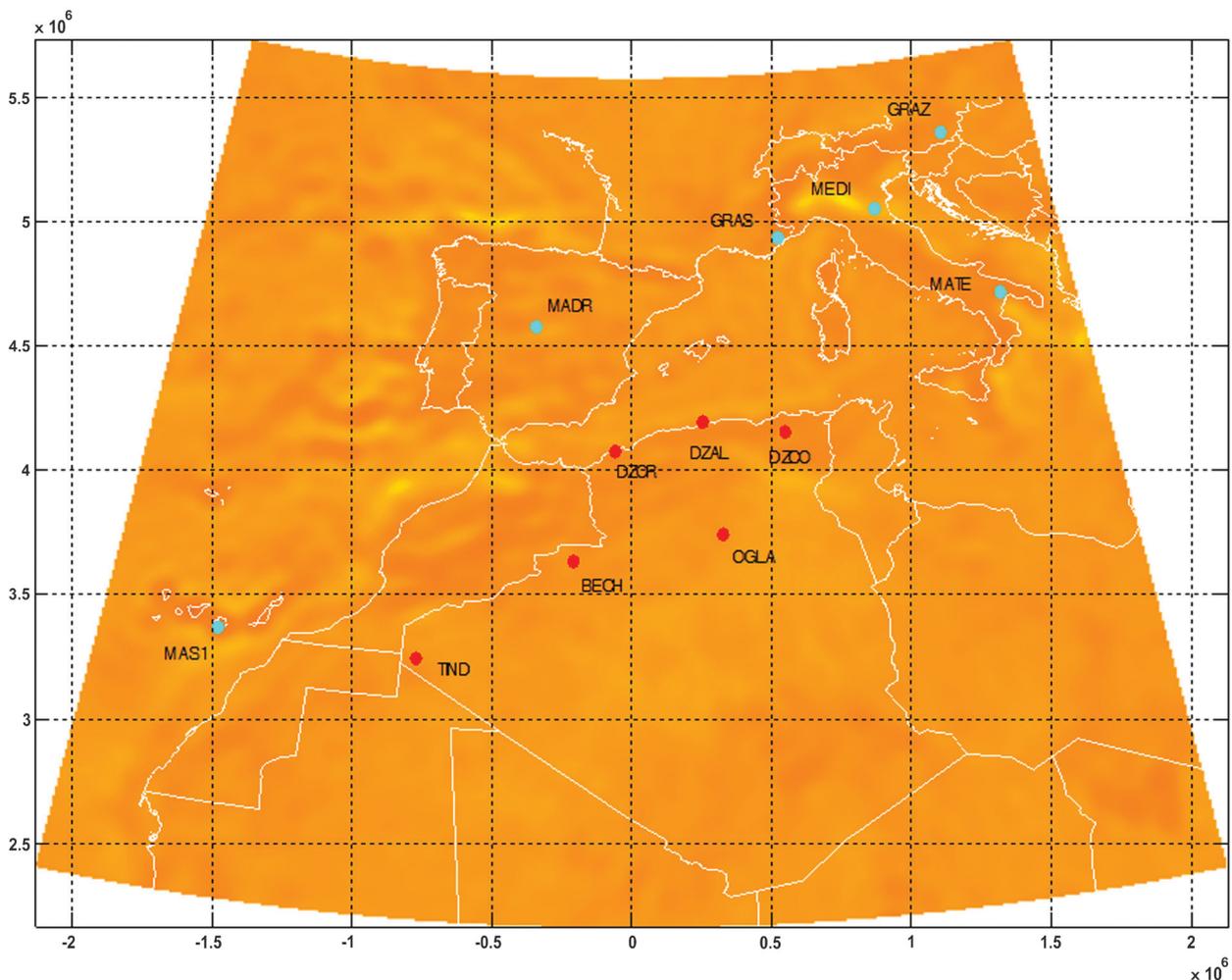


Fig. 5 Operating Algerian Permanent GNSS Stations in red and the IGS COR-Sites in blue

5. Expected errors

The error which can be expected between two adjacent stations in the different networks, can be computed from the formula (see Standards and Guidelines of Federal Geodetic Control Committee FGCC):

$$\sigma = (e^2 + ((0.1)(\rho)(d))^2)^{1/2}$$

Where :

$\sigma$  = maximum allowable error in cm at 95% confidence level;

e = base error in cm;

d = distance in km between adjacent stations;

p = the minimum geometric relative position accuracy standard in parts per million at 95% confidence level.

Order A: National Geodetic Reference System, primary networks

Order AA: Global-regional geodynamics deformation measurements, (using IGS data and orbital adjustment techniques).

Order B: National Geodetic Reference System, secondary networks and engineering surveys.

Thus,

$\sigma_{70 \text{ km}} = 7 \text{ cm}$ , (Order B : e=0,8cm, p=1ppm)

$\sigma_{150 \text{ km}} = 1,6 \text{ cm}$ , (Order A : e=0,5cm, p=0,1ppm)

$\sigma_{400 \text{ km}} = 5 \text{ mm}$  (order AA : e=0,3cm, p=0.01ppm)

## 6. Perspectives

The SAAP project was initiated in April 2013 with many ambitious tasks intended for promoting various academic studies and development in order to support the ongoing realizations mentioned above.

The main stages and practical responsibilities to carry-out in the mean and long terms in the setting of this project are enumerated as follows:

- 1 - Complete the installation of the Special Order Network-A (ROSA-A) and the Special Order Network-B (ROSA-B) and their connection to the nearest IGS COR-Sites;
- 2 - Processing and analysis of SAAP GNSS data in post-processing;
- 3 - Realization of a Control Data and Analysis Center;
- 5 - Validation of data and broadcast corrections through real application tests;
- 6 - Implementation of automated on-line processing utilities for user subscribers.

## 7. Bibliographical references

1. AKTUĞ, B., ÖZDEMİR, S., CİNGÖZ, A., AYSEZEN, Ş., ERKAN, Y. (2007). A multi-purpose continuous GPS network within the boundary zones of the Eurasian, African, and Arabian plates.
2. BLEWITT, G. (1997). Basics of the GPS technique. Observation equations. In JOHN-SON, B., editor. Geodetic Applications of GPS, pages 1054. Nordic Geodetic Commission.
3. BOTTON, S., DUQUENNE, F., EGELS, Y., EVEN, M. et WILLIS, P. (1997). GPS. Localisation et navigation. Hermès.
4. CAPDEROU, M. (2002). Satellites orbites et missions. Springer-Verlag, ISBN 978-2-287-21317-5.
5. CHENAL, J. (2011). Le système de positionnement spatial européen Galileo. Insitut Géographique National.
6. HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER, H. et WASLE, E. (2008). GNSS - Global Navigation Satellite Systems. Springer-Verlag, ISBN 978-3-211-73017-1.
7. KOUBA, J. (2009). A guide to using International GNSS Service (IGS) products. Rapport technique, IGS.
8. KOUBA, J. et HÉROUX, P. (2000). Precise Point Positioning using IGS orbit and clock products. Rapport technique, Geodetic Survey Division.
9. LANDAU H., and U. VOLLATH and X., CHEN. (2011). "Virtual reference station systems" Journal Of Global Positioning System, ISSN 1446-3156.
10. Mark Petovello, 2011. GNSS Solutions, Network RTK and Reference Station Configuration.
11. TECHNICAL REPORT, CREIS. (2012) : Etude préliminaire du projet SAAP.
12. VOLKER Janssen. (2009). A comparison of the VRS and MAC principles for network RTK.
13. WIKIPEDIA. (2014): GNSS. Internet. [http:// en.wikipedia.org/wiki/GNSS](http://en.wikipedia.org/wiki/GNSS).

# Étude des perturbations séismo-ionosphériques et séismo-électromagnétiques enregistrées par DEMETER

<sup>1</sup>R. MEBARKI, <sup>2</sup>N. ZAOURAR, <sup>2</sup>M. HAMOUDI & <sup>3</sup>M. PARROT

1. Institut National de Cartographie et de Télédétection - INCT, Algérie

Email: inct99@wissal.dz ; mebarki\_imen@yahoo.fr

2. Laboratoire de Géophysique, FSTGAT, USTHB, Algérie

3. LPCE2 (Laboratoire de physique et Chimie de l'Environnement et de l'Espace), Orléans- France

**ملخص :** إن مراقبة الأقمار الصناعية لطبقات الغلاف الجوي للأرض تسمح بدراسة الإشارات اليونوسفيرية المرتبطة بالظواهر الأرضية كالزلازل، البراكين و أمواج التسونامي العالية. هذا المقال يعرض دراسة التغيرات المسجلة على مستوى اليونوسفيرية بواسطة القمر الصناعي الصغير الحجم «ديميتر». ديميتر يقيس على مستوى ارتفاعه: الحقل الكهربائي و الحقل المغناطيسي على مدى ترددات مختلفة كما يقيس أيضا تغيرات العناصر المكونة للبلازما. الهدف الأساسي لديميتر هو دراسة الاضطرابات اليونوسفيرية الناتجة عن النشاط الزلزالي. تحويلة الموجات المستمرة هي الطريقة المستعملة لدراسة الإشارات المتشكلة في اليونوسفير على إثر وقوع زلزال أولي منذ حدوث نشاط آخر أكثر أهمية. دراسة معطيات زلزال اليابان تبين أن قيم الدليل الطيفي المحصل عليها تاهل هذا المؤشر لكشف النشاط الزلزالي قبل حدوثه.

**Mots clés :** signatures ionosphériques, phénomènes telluriques, DEMETER, TOC, précurseurs, mouvements browniens fractionnaires.

**Abstract :** The ionospheric signatures related to the telluric phenomena, such as earthquakes, tsunamis or volcanic activities express a particular coupling between the solid Earth and its various surrounding fluid envelopes. Such phenomena are of great importance, because they occur between a few hours and a few days before the main shock, and then, they can be considered as short term precursors. DEMETER is the first satellite devoted and optimized to study the correlation between seismo-electromagnetic phenomena and ionospheric-magnetospheric perturbations detection. The Continues wavelet Transform (CWT) is the method used to analyze the fractality of signals caused by the precursors at the level of the ionosphere. This article studies the Japan earthquake data record by DEMETER (subduction zone). This analysis allowed us to obtain a roughness values included between  $2 < \beta \leq 3$  and  $1 \leq \beta < 2$ , what classifies the seismo-ionospheric signals and the seismo-electromagnetic ones as Fractional Brownian Motions persisting or anti-persisting having a statistical memory. This property of the correlation with long reach, offer us the possibility of using the spectral exponent  $\beta(t)$  as a prediction indication of a seismic activity.

**الكلمات الأساسية :** الإشارات اليونوسفيرية، الظواهر الطبيعية، ديميتر، تحويلة الموجات المستمرة، زلزال أولي.

**Keywords :** ionospheric signatures, telluric phenomena, DEMETER, CWT, precursors, Fractional Brownian Motions.

**Résumé :** L'observation satellitaire des enveloppes fluides de la planète Terre permet l'étude des signatures ionosphériques relatives aux phénomènes telluriques, tels que : les séismes, les tsunamis ou les volcans. Dans ce travail, nous nous intéresserons à l'étude des variations ionosphériques enregistrées par le microsatellite DEMETER. Ce dernier, mesure dans l'ionosphère le champ électrique et le champ magnétique dans diverses bandes fréquentielles, ainsi que les paramètres caractérisant le plasma à l'altitude du satellite. L'objectif principal de DEMETER est d'étudier les perturbations ionosphériques en liaison avec l'activité séismique. La Transformée en ondelettes Continue (TOC) est la méthode sélectionnée pour le traitement de la fractalité des signaux engendrés par les précurseurs au niveau de l'ionosphère. Cet article étudie les données enregistrées par DEMETER au dessus du Japon (zone de subduction). Les résultats obtenus montrent que tous les signaux séismo-ionosphériques et séismo-électromagnétiques pré-séismiques se comportent comme des mouvements browniens fractionnaires persistants ( $2 < \beta \leq 3$ ) ou anti-persistants ( $1 \leq \beta < 2$ ) ayant une mémoire statistique, ce qui offre la possibilité de proposer l'exposant spectral comme un indice de prédiction de l'activité séismique.

## 1. Introduction

La Terre est souvent secouée par des tremblements de terre violents aux conséquences humaines et matérielles dramatiques. La prévision temporelle de ces phénomènes reste encore incertaine.

La Sismologie moderne peut donc franchir la limite théorique et observationnelle de la surface de la Terre pour conquérir l'ensemble de la planète et les interactions entre ses différentes parties solides et fluides [Pulinets et al., 1994, Lognonne et al., 2006 ; Lagoutte et al., 2005 ; Occhipinti, 2006 ; Parrot, 2006 & Li, 2007].

Ce changement de paradigme rend plus vaste le champ d'action de la sismologie et ouvre une nouvelle série d'observations pour la détection des phénomènes telluriques par le biais de l'observation satellitaire des enveloppes fluides de la Terre.

DEMETER (*Detection of Electro-Magnetic Emissions Transmitted from Earthquakes Regions*), est un microsatellite développé par le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES / France), il avait pour objectif la détermination

de l'origine des signaux enregistrés dans l'ionosphère ainsi que l'ensemble de leurs caractéristiques spectrales, spatiales et temporelles.

Ceci, afin de permettre la détermination des conditions d'apparition de ces signaux à haute altitude ainsi que leur variabilité en fonction des caractéristiques géophysiques de l'événement source d'une part, et des conditions atmosphériques, ionosphériques et magnétosphériques d'autre part.

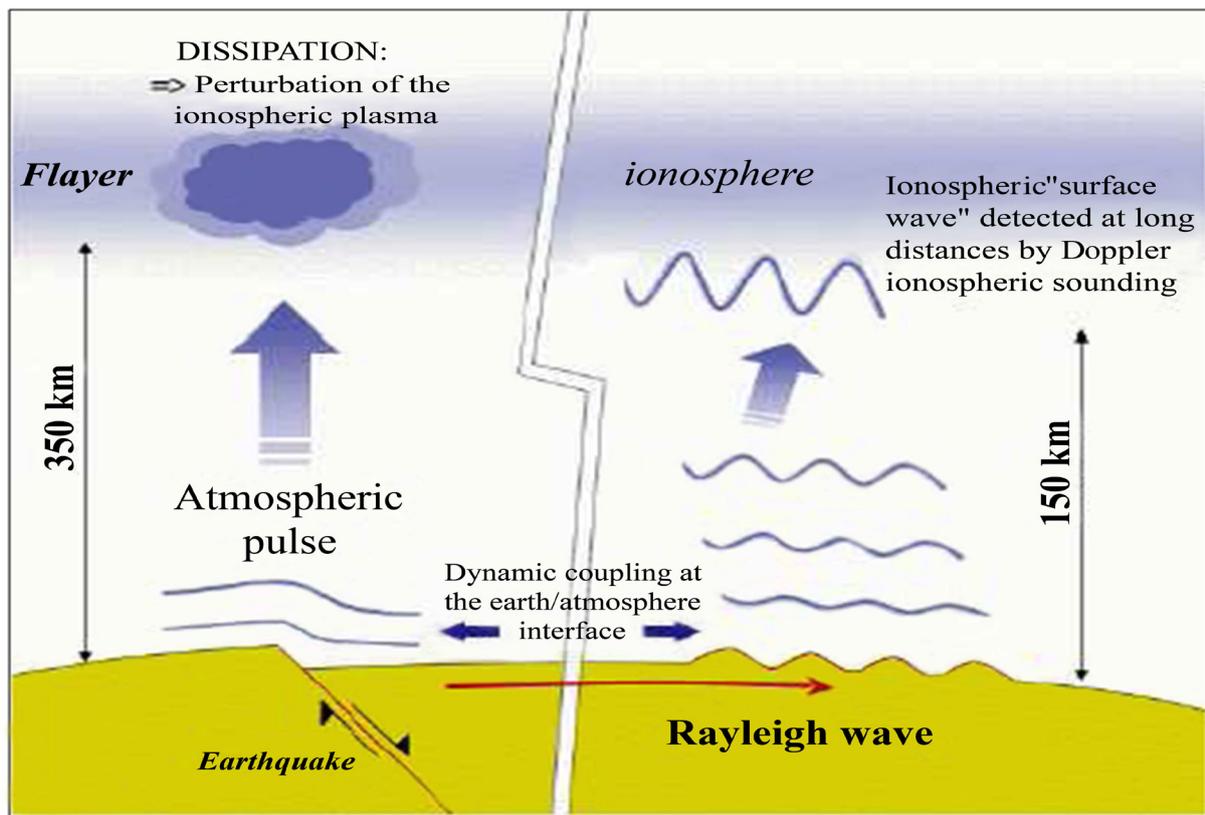


Fig. 1 Couplage dynamique Post-séismique entre la Terre solide et l'atmosphère. [Occhipinti et al., 2004]

## 2. Perturbations ionosphériques liées à une activité séismique

Dans un passé proche, la sismologie s'appuyait, essentiellement, sur l'étude des phases co et post séismique. Ces dernières années et avec le développement des outils d'acquisition et d'analyse, l'étude de la phase pré-séismique a donné de nouveau l'espoir aux sismologues, afin qu'ils puissent établir des méthodes de prévisions. Plusieurs chercheurs [Pulinets et al., 1994, Occhipinti, 2006 ; Parrot, 2006] ont commencé à exploiter certains enregistrements tels que : les émission EM de type VLF, ULF et ELF [Pulinets, 1994, Liu et al., 2000] et l'effet de l'onde de Rayleigh sur le plasma ionosphérique, mis en évidence depuis les années soixante grâce aux observations par sondeur Doppler ensuite par GPS via la mesure du contenu électronique total (TEC),

afin de trouver une éventuelle corrélation entre les perturbations ionosphériques et les phénomènes telluriques.

Certains d'entre eux ont réussi à mettre en évidence plusieurs types d'ondes atmosphériques générées par l'onde séismique de Rayleigh [Pulinets, 1998, Lognonne et al., 2006 ; Lagoutte et al., 2005 ; Occhipinti, 2006 ; Parrot, 2006 & Li, 2007]. Ils ont alors déduit que le principe d'un tremblement de terre est beaucoup plus compliqué que celui d'un phénomène isolé. Quand ce dernier se déclenche, il fait vibrer le sol (ou l'eau- cas des séismes marin ou off-shore) qui, à son tour, fait vibrer l'air et engendre des ondes acoustiques (ou des ondes de gravité ou gravito-acoustiques) qui se propagent et s'amplifient en se déplaçant vers le haut jusqu'à atteindre l'ionosphère (Fig.1).

### 3. L'approche fractale des mesures séismo-ionosphériques

Les signaux ionosphériques relatifs aux phénomènes telluriques ont une nature non stationnaire et imprévisible.

L'analyse approfondie de ces signaux transitoires requiert un outil de traitement capable d'exploiter toute l'information véhiculée par leurs singularités. La transformée en ondelettes continue (TOC) est donc un microscope mathématique [Torresani, 1995], elle est définie par :

$$C_f(b, a) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cdot \overline{\psi} \left( \frac{t-b}{a} \right) \cdot dt \quad (1)$$

Où  $f(t)$  est le signal,  $\overline{\psi}$  le conjugué de l'ondelette mère,  $a$  et  $b$  correspondent respectivement au facteur d'échelle et à la translation.

Les ondelettes agissent comme un microscope mathématique, adaptant sa résolution à la taille de l'objet analysé. Les ondelettes les plus employées pour l'étude de la fractalité des signaux ionosphériques sont les gaussiennes et leurs dérivées. Pour notre étude, nous avons choisi une gaussienne déplacée en fréquence appelée ondelette de Morlet :

$$\psi(t) = \exp(-t^2/2) \cdot \exp(i\omega t) \quad (2)$$

L'approche fractale par TOC met donc l'accent sur la mesure de la régularité locale traduite par le paramètre de Hurst  $H$  ou par l'exposant spectral  $\beta$  [Lévy, 1965 et Meyer et al., 1987] qui reflètent la rugosité du signal et qui sont liés par la relation suivante :

$$\beta = 2H + 1 \quad (3)$$

### 4. Analyse en ondelettes d'un événement pré-séismique

Les données acquises par DEMETER depuis le début de la mission sont d'une grande qualité et des événements importants ont déjà été enregistrés ([http://smc.cnes.fr/DEMETER/Fr/A\\_publications.htm](http://smc.cnes.fr/DEMETER/Fr/A_publications.htm)). Plusieurs niveaux

d'accès aux données sont disponibles. Nous avons utilisé dans ce travail les données relatives au niveau 1 correspondant aux données physiques calibrées [Lagoutte et al., 2006]. Une information auxiliaire est également ajoutée à ces fichiers afin de les rendre prêts pour les plus hauts niveaux de traitements. Les fichiers de données sont alors classés selon l'identifiant et selon le numéro de la demi-orbite correspondante.

DEMETER fonctionne selon deux modes d'acquisition principaux [Lagoutte et al., 2005 & 2006]:

- **Mode «Survey»**, noté aussi Surveillance ou aperçu.
- **Mode «Burst»** aussi dit mode Événement ou mode continu.

Parmi les zones séismiques survolées par ce satellite, seules les zones continentales seront couvertes en mode *burst* car il est peu probable de mesurer des phénomènes électromagnétiques dont l'origine provient du fond des océans en raison de la très forte atténuation des ondes électromagnétiques dans l'eau. Les dorsales seront donc couvertes en mode *survey*, un mode qui pourra évoluer dans le cas de la survenue des événements intéressants [Lagoutte et al., 2005 & 2006].

Grâce à la base de données DEMETER, nous avons réussi à accéder à plusieurs séries temporelles de données physico-chimiques du plasma ionosphérique local (IAP / ISL) et de données séismo-électromagnétiques enregistrées au dessus du Japon.

#### 4.1 Séisme de Honshu

La séismicité de la côte Sud de Honshu est due essentiellement à la subduction de la plaque océanique des Philippines au dessous de la plaque Eurasiatique avec une vitesse de 4 cm/an. L'une des conséquences de ce choc, est le séisme du 05 septembre 2004 enregistré à 10:07:07 (TU) et causé principalement par une faille inverse. Les stations séismologiques au sol ont enregistré une magnitude de 7.2 sur l'échelle de Richter et le foyer a été localisé à 14 Km de profondeur, dans la croûte près de la côte Sud Ouest de Honshu à 33°.06 N de latitude et 136°.64 E de longitude.

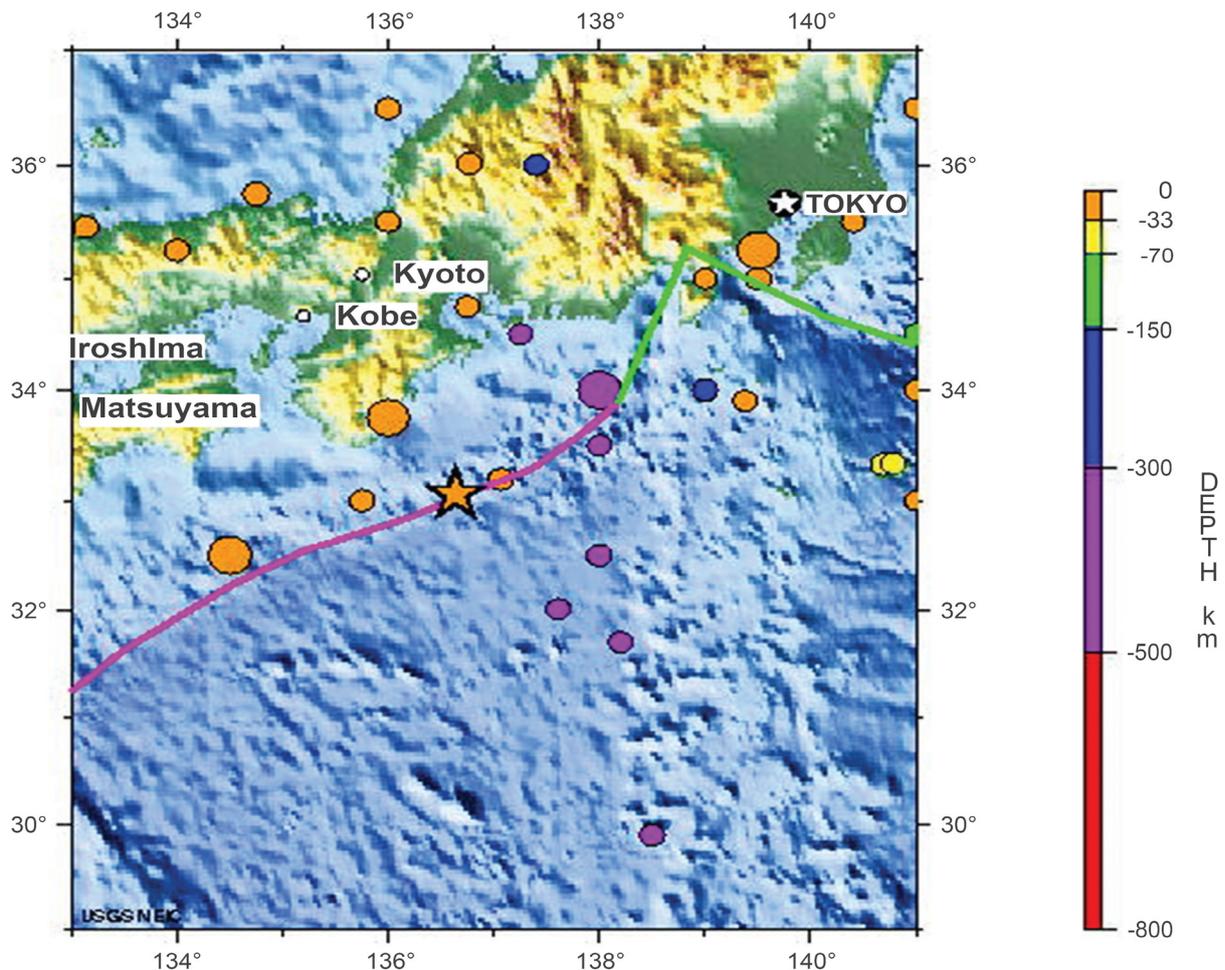


Fig. 2 Localisation de l'épicentre séismique (étoile en orange). [Source : <http://neic.usgs.gov>]

Les données relatives à la demi-orbite N° 838, enregistrée le 29 Août 2004 à 01h:26min:00sec par DEMETER, sont analysées pour expliquer les conditions qui régnaient au niveau de l'ionosphère une semaine avant le séisme principal de Honshu.

Pour la mise en évidence des précurseurs de ce séisme principal, nous avons analysé les données recueillies par DEMETER issues des outils suivants: ICE (*Instrument Champ Electrique*), IMSC (*Instrument Magnetic Search Coil*- mesure du champ magnétique en spirales), IAP (*Instrument Analyseur de Plasma*) et ISL (*Intrument Sonde*

*langmuir*) qui permettent d'étudier l'état de l'ionosphère au dessus de certaines régions séismiques.

Les mesures effectuées par le réseau sismologique japonais au sol [SEISMIC EVENT- serveur DEMETER] sont aussi exploitées à travers l'image Quick look (fig 3) de la demi orbite descendante N°838. Ces données sont utilisées uniquement pour corréler les événements séismiques point par point avec les perturbations enregistrées par DEMETER et avec les singularités mises en évidence par l'exposant spectral  $\beta(t)$ .

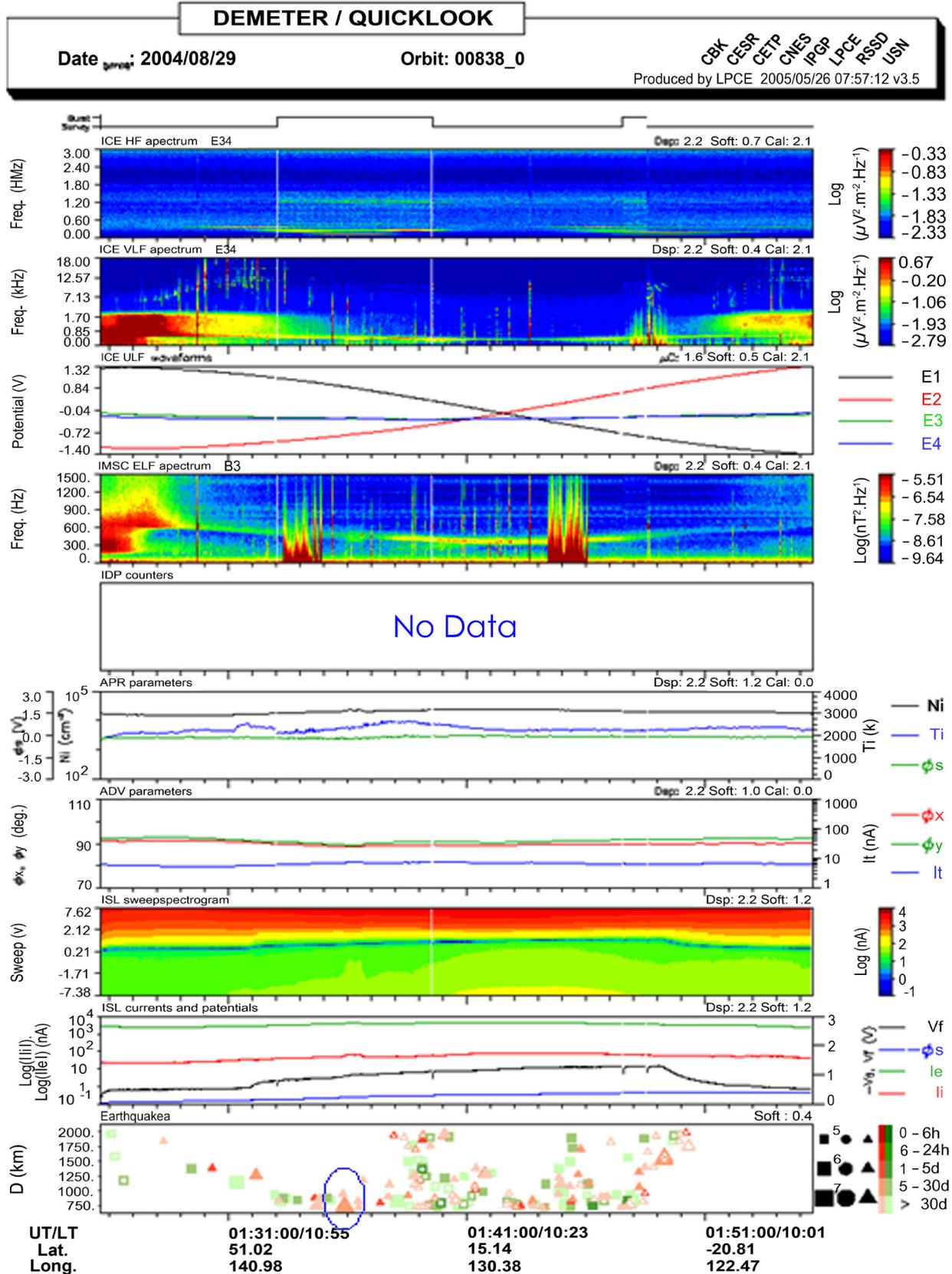


Fig. 3 L'image Quicklook (QL) de la demi-orbite N°838-0, cette représentation montre les positions des séismes le long de l'orbite DEMETER. Échelle de couleurs correspondant à l'intervalle de temps entre le tremblement de terre et l'orbite: le carré vert désigne les événements post-séismiques et le triangle rouge les événements pré-séismiques. Le triangle sélectionné en bleu affiche un séisme précurseur de magnitude 7 enregistré 5 à 30 jours avant un séisme majeur. [Serveur DEMETER].

## 4.2 Traitement des données satellitaires

Les effets séismo-électromagnétiques sont des perturbations électriques et magnétiques causées par les phénomènes telluriques [Pulinets et al., 1994, Liu et al., 1998]. Ils comprennent : les émissions électromagnétiques dans une large bande de fréquences, les perturbations ionosphériques, les anomalies de propagation des signaux TBF (Très Basses Fréquences), etc.

L'activité séismique peut également, générer des variations dans la population du plasma à cause des changements de la composition des ions et des neutrons suite aux réactions chimiques et à l'excitation moléculaire [Occhipinti, 2006, Mourad, 2007]. Ces variations séismo-ionosphériques résultent de la redistribution de la concentration des électrons en fonction de l'altitude.

### 4.2.1 Analyse spectrale par transformée de Fourier

Nous avons effectué une analyse spectrale, par Transformée de Fourier (TF), de plusieurs séries temporelles enregistrées par DEMETER dans le but de déterminer la nature complexe et le modèle mathématique qui caractérise l'évolution de ces signaux.

Les données exploitées sont caractérisées par les paramètres suivants :

- les signaux électriques et magnétiques Très Basses Fréquences (*TBF ou VLF en anglais*), le pas d'échantillonnage est  $\Delta t = 0.00015$  seconde pour une longueur du signal  $N = 32768$  échantillons ,
- les signaux IAP dont le pas d'échantillonnage  $\Delta t = 4.506$  seconde et la taille du signal  $N_{IAP} = 329$  IAPN échantillons ,
- les signaux ISL ont une taille de  $N_{ISL} = 1486$  échantillons avec un pas d'une valeur/seconde.

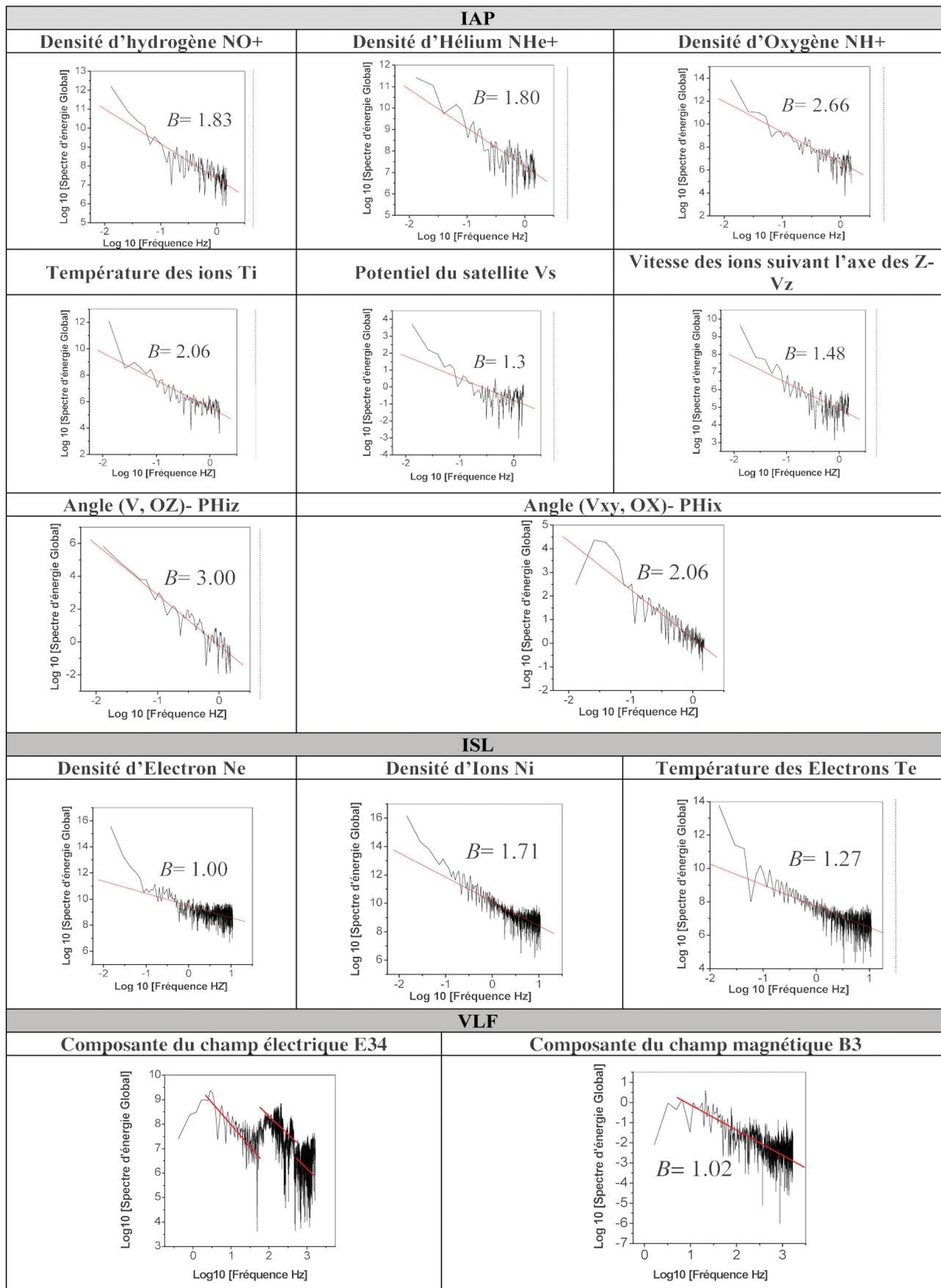


Fig. 4 Spectres de Fourier des signaux analysés

Nous remarquons que le comportement spectral varie d'un signal à un autre, ce qui implique que les enregistrements séismo-électromagnétiques et séismo-ionosphériques enregistrés par DEMETER sont de nature complexe. Nous constatons sur les graphes du champ électrique et magnétique, qu'il y'a des interférences et des alternances entre deux régimes différents.

On peut constater à partir des spectres illustrés par la figure 4 que les signaux : B3, IAP et ISL montrent une décroissance très nette de l'énergie vers les hautes fréquences. L'analyse spectrale révèle donc que ces enregistrements se comportent comme des mouvements browniens fractionnaires (mBf) qui obéissent à une loi en décroissance algébrique  $F(f) \approx f^{-(2H+1)}$  ou  $f$  est la fréquence. À une dimension, le mBf est considéré comme un très bon modèle pour caractériser les phénomènes physiques qui possèdent des corrélations sur de longues périodes [Mandelbrot, 1983, Herman, 1997, Hölschneider, 1989, Lévy, 1965].

Pour le spectre E34, on remarque qu'il est de nature très complexe. L'avantage de l'analyse spectrale est de permettre, à travers les spectres d'énergie, de déterminer les différents domaines fréquentiels de séparation de chaque processus. Ce qui nous facilite le choix de la méthode d'analyse appropriée à chaque intervalle.

#### 4.2.2 Analyse multi-échelles

Les singularités non stationnaires de l'ensemble des données précédentes gagneraient beaucoup à être

étudiées par le biais d'une méthode multi-échelles et non stationnaire, qui offre la possibilité de représenter les signaux dans le plan temps fréquence afin de permettre une double localisation.

#### a. Analyse des signaux séismo-électromagnétiques

Les phénomènes électromagnétiques enregistrés sur la bande fréquentielle VLF varient très rapidement en fonction du temps et en fonction de la vitesse de déplacement de DEMETER (période de 100 Min). L'analyse en ondelettes sera donc appliquée sur une série emporelle d'environ une minute correspondant à l'intervalle [01h:35min : 22s:412ms---01h:36min:16s:315ms] sur l'image QL. Ce choix va nous permettre d'étudier l'activité électromagnétique au dessus du Japon uniquement.

Afin de mieux localiser les phénomènes séismiques et apprécier les différents changements rapides au voisinage du précurseur, l'intervalle temporel initial s'étalant sur [0- 60 s] sera étudié en deux phases :

- Etude avant et pendant le déroulement du précurseur correspondant à l'intervalle temporel [31.5 s, 31.8 s]. La taille du signal de la partie pré-séismique est égale à 2048 valeurs échantillonnées avec un pas de. La bande fréquentielle exploitée par la TOC est  $f \in [10^{-3} Hz, 3.33 KHz]$
- Etude après le précurseur correspondant à l'intervalle temporel [36.8 s, 38.03 s] qui enregistre 8192 échantillons.

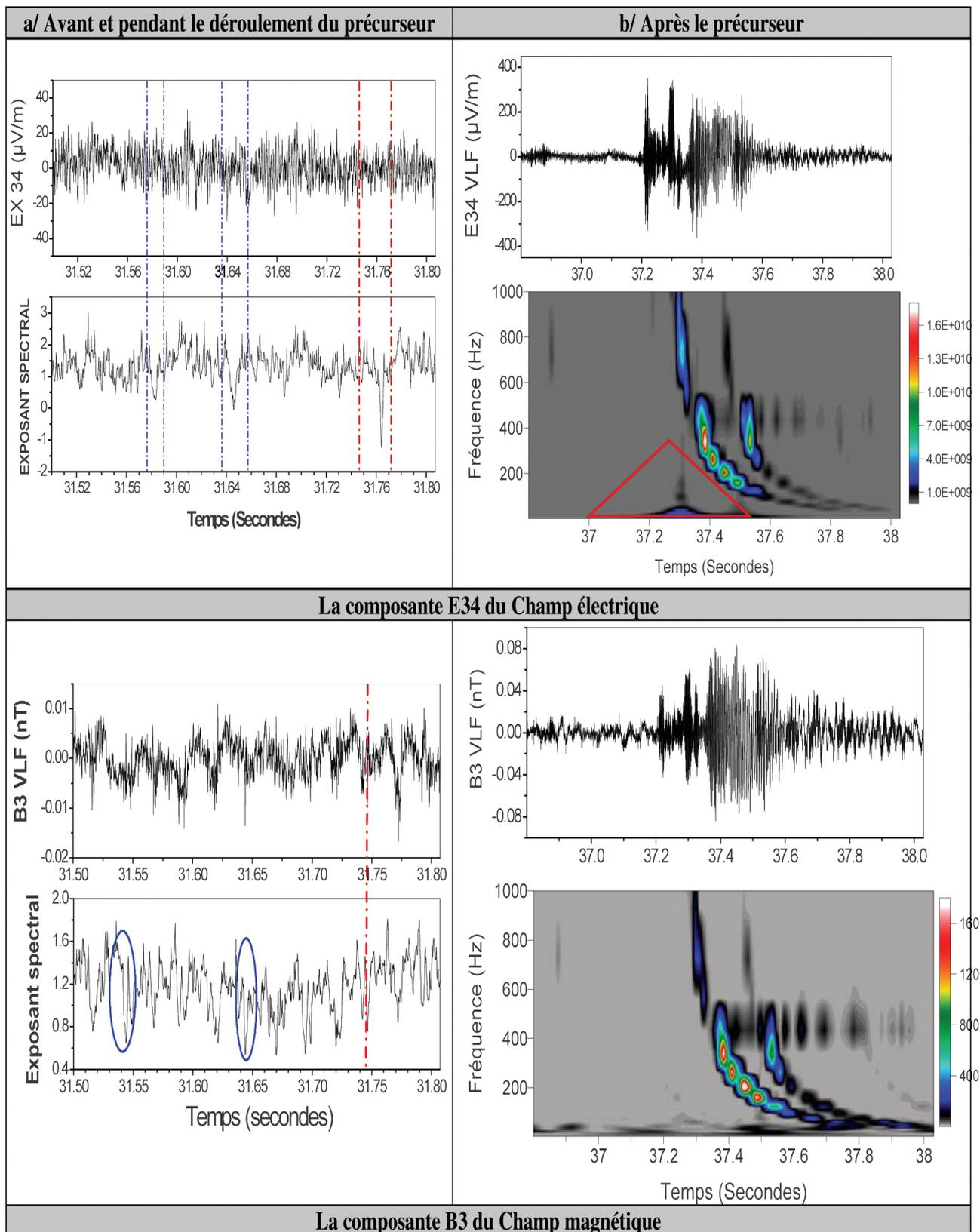


Fig. 5 Analyse par TOC des signaux électromagnétiques VLF générés par le précurseur  
*A droite* : l'analyse pré et co-séismique. *A gauche* : l'analyse post-séismique

La phase avant le précurseur de la figure 5 montre un comportement quasi similaire des deux champs E34 et B3. La morphologie des deux signaux est en accord avec le concept spectral calculé précédemment par la Transformée de Fourier (Fig.4). On peut donc calculer l'évolution temporelle pour l'estimation d'un exposant spectral. Les valeurs moyennes de ce facteur sont égales à  $(1.33 \pm 0.47)$  pour le signal E34 et à  $(1.17 \pm 0.23)$  pour le signal B3 ce qui classe ces signaux comme des mouvements browniens fractionnaires anti-persistants. Cet exposant révèle la présence de fortes activités séismiques avant (zones limitées en bleu) et pendant le déclenchement du séisme. Les perturbations pré-séismiques du signal E34 sont donc localisées à la 31<sup>ème</sup> seconde 585 millisecondes et la 31<sup>ème</sup> seconde 650 millisecondes correspondant respectivement en temps universel à:  $t=01h:35min:53s:997ms$  et à  $t=01h:35min:54s:062ms$ , ce qui donne des avances de 156ms et 91ms avant le précurseur de Honshu enregistré à  $01h:35min:54s:153ms$ .

Les perturbations détectées sur le signal B3 sont localisées à 31<sup>ème</sup> seconde 544 millisecondes et à la 31<sup>ème</sup> seconde 644 millisecondes correspondant respectivement aux fortes activités séismiques (Fig.3) localisées à :

- $t=01h:35min:54s:153ms$ ,
- $t=01h:35min:53s:956ms$ ,
- $t=01h:35min:54s:056ms$ .

Sur les résultats de la phase post-séismique du précurseur de Honshu relative aux signaux E34 et B3, on voit très clairement apparaître dans le demi plan temps-fréquence des scalogrammes, un certains nombres de courbes très énergétiques. Cette forme correspond à un *sweep* dont on peut distinguer la fréquence fondamentale qui est représentée par la courbe la plus énergétique alors que les courbes adjacentes correspondent aux fréquences harmoniques. On peut donc effectuer une double localisation de la fréquence fondamentale des deux champs :

- En temps pour  $t \in [37.3 \text{ sec} - 37.8 \text{ sec}]$  secondes correspondant à l'intervalle  $[01h:35min:59s:712ms - 01h:36min:00s:212ms]$  par rapport au temps d'enregistrement de DEMETER relatif à la demi-orbite N°838 ;
- En fréquence pour  $f \in [0.6 \text{ Hz} - 1000 \text{ Hz}]$  ce qui permettra d'isoler la fréquence harmonique.

On constate également que le champ électrique (E34-phase b) se comporte comme un brownien fractionnaire pour les très basses fréquences comprises entre : 0.6Hz et 100Hz, ce qui justifie l'apparition de la perturbation à l'instant 37.3 secondes (équivalent à  $t(TU)=01h:35min:59s:712ms$ ), correspondant ainsi à une forte activité séismique 5 secondes après le déclenchement du précurseur.

Notons que les courbes d'énergie convergent, en hautes fréquences (1kHz), vers les moments de perturbations séismiques indiquant ainsi une très forte activité enregistrée dans l'ionosphère 5 secondes après le déclenchement de l'événement tellurique.

Les hypothèses sur les mécanismes de génération de ces perturbations séismo-électromagnétiques peuvent dériver de différentes origines telles que : la génération d'onde EM au niveau du sol et/ou à la piézoélectricité [Pulinets et al, 1994, Bernard, 2003 & Mourad, 2007]. Ces phénomènes peuvent donc produire un changement dans le courant de couplage atmosphère-ionosphère. Les ondes électromagnétiques (EM) ainsi générées se propagent à travers les diverses couches atmosphériques (atmosphère neutre et l'ionosphère) ce qui perturbe la réponse réelle du sol par des mécanismes de diffusion (ou interaction) élastique. Cette interaction se produit entre les particules du plasma excitées par la propagation de l'onde gravito-acoustique. Ces régimes diffusifs dépendent étroitement de la bande fréquentielle d'émission des ondes EM par les roches. Ils sont aussi contrôlés par la température, la pression et les mécanismes réactionnels collisionnels des couches atmosphériques traversées. Le transport des ondes EM jusqu'aux couches ionosphériques est du à la turbulence atmosphérique et au vent thermosphérique [Li, 2007, Mourad, 2007]. Ces régimes diffusifs déclenchent des champs électriques anormaux, des instabilités de plasma générant ainsi des ondes à diverses fréquences. Une autre source des perturbations observées avant les précurseurs peut être causée par les ondes acoustiques de gravité qui peuvent résulter des effets secondaires comme les émissions de gaz à partir du sol. Cet effet peut être important parce qu'en altitude, l'amplitude de ces ondes augmente avec la diminution de la densité atmosphérique.

#### **b. Analyse des signaux séismo-ionosphériques**

Les mesures effectuées par l'Instrument Analyseur de Plasma (IAP), nous permettent d'accéder à une importante série temporelle de perturbations représentant les fluctuations de température, de densité (des ions majoritaires  $H^+$ ,  $He^+$ ,  $O^+$ ) et de la vitesse des ions du plasma local ainsi que la direction de son flux.

De son côté, l'Instrument Sonde Langmuir (ISL) mesure la densité totale du plasma, la température électronique et le potentiel du satellite.

La figure ci-dessous montre que l'évolution des exposants spectraux calculés par TOC, traduisent fidèlement la moindre activité séismique reflétée par les signaux IAP et ISL. La puissance de ces exposants, nous a permis de mettre en valeur les différents événements séismiques enregistrés au cours de la trajectoire N°838 de DEMETER.

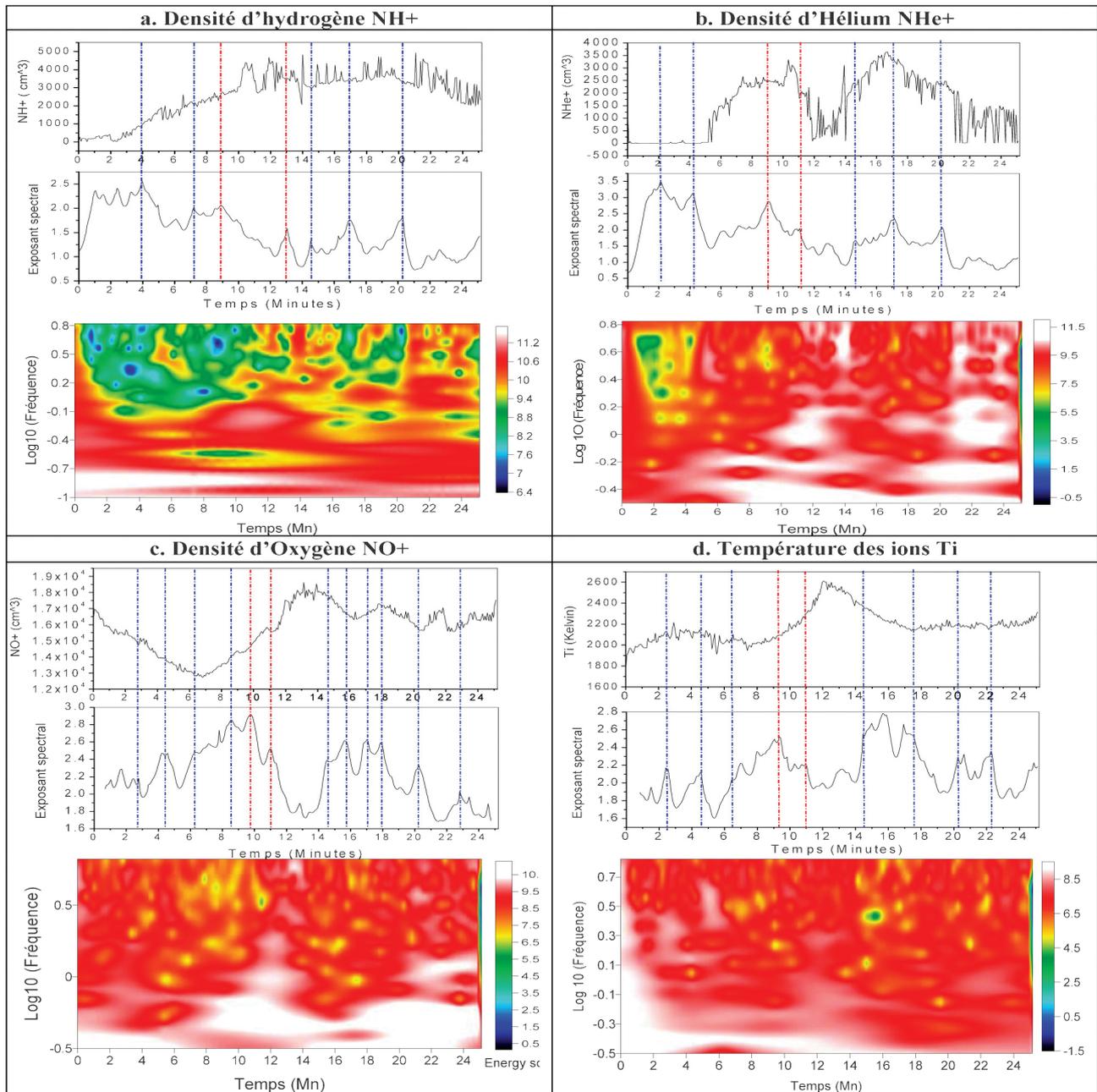


Fig. 6 Ensemble des résultats correspondant aux signaux IAP et l'évolution temporelle de leurs exposants spectraux obtenue par TOC (pour chaque figure, en haut : le signal et en bas : son exposant spectral  $\beta(t)$  et la distribution de l'énergie)

L'ensemble des signaux IAP, considérés comme des mouvements browniens fractionnaires, ont mis en évidence, grâce au traitement par ondelettes, toutes les activités sismiques enregistrées le long de la demi-orbite N° 838-0 de DEMETER. L'analyse par TOC, nous a permis d'obtenir des valeurs de rugosité comprises entre  $2 < \beta \leq 3$  ou entre  $1 \leq \beta < 2$  (Tab.1) associées à de fortes concentrations énergétiques (les nuages blancs

sur les scalogrammes), ce qui classe les signaux séismo-ionosphériques comme des mBF's persistants et anti-persistants ayant une mémoire statistique. Cette propriété de la corrélation à longue portée, implique que ces phénomènes telluriques peuvent se répéter dans le futur de la même manière. Ce qui nous offre la possibilité d'utiliser l'exposant spectral  $\beta$  comme un indice de prédiction de l'activité sismique.

Tab 1. Valeurs des exposants spectraux relatifs aux enregistrements IAP

signal	NH+	NHe+	NO+	Ti	Vs	Vz	PHIX	PHIZ
<b>Exposant spectral moyen</b>	1.5	2.25	2.65	2.4	1.4	1.25	3	2.6

L'analyse par TOC des données ISL, échantillonnées à 1 valeur par seconde montre que les différentes activités sismiques qui génèrent des variations positives ou négatives de la densité électronique et de la densité des ions, sont mises en évidence grâce à l'exposant spectral.

Les fluctuations temporelles des ions et des électrons sont sensiblement reflétées par l'évolution du facteur de rugosité qui traduit tous type de perturbations (voir fig.7). Cet indice nous a permis de mettre l'accent sur des événements importants tel que le précurseur de Honshu (zone limitée en rouge).

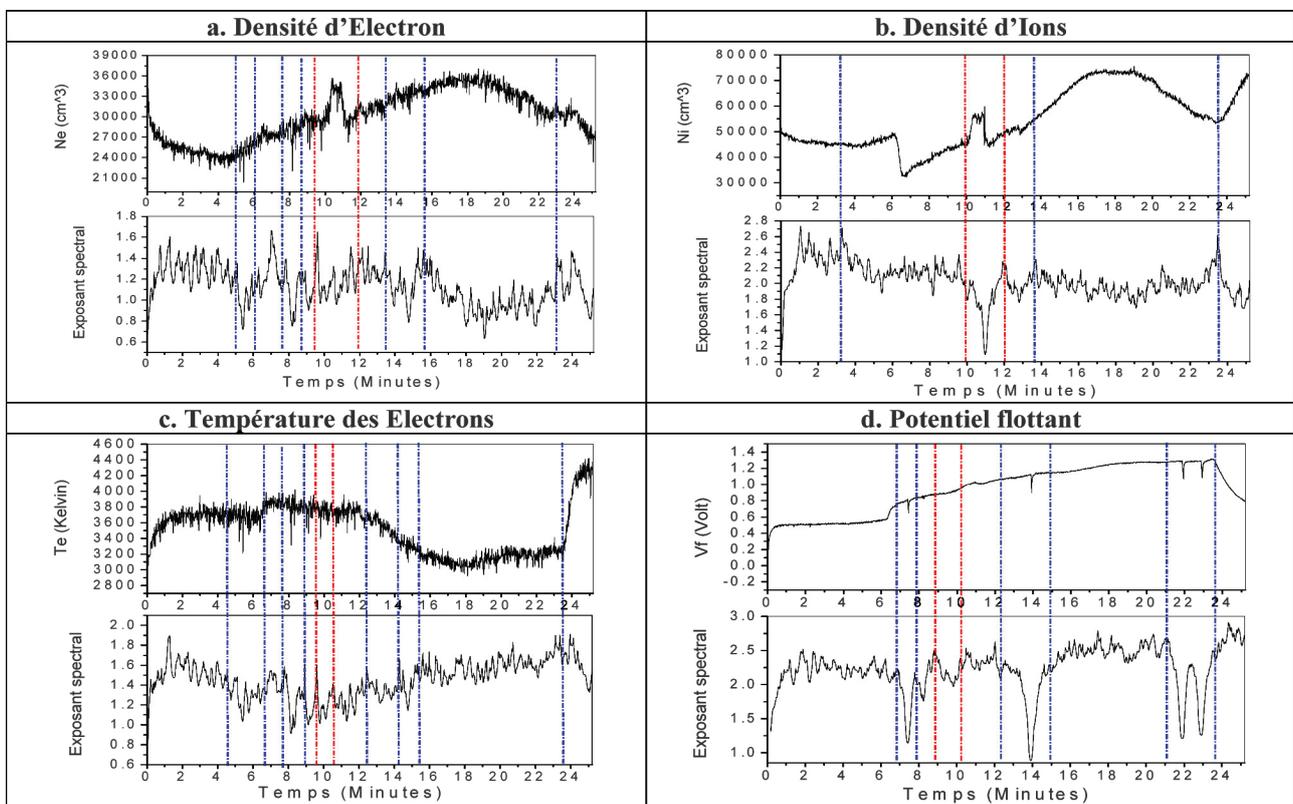


Fig. 7 Ensemble des résultats correspondants aux signaux ISL (en haut : le signal et en bas: son exposant spectral  $\beta(t)$ )

### 4.3 Discussion des résultats

La haute ionosphère est le siège de plusieurs phénomènes électromagnétiques [Brasseur, 1982] engendrés par des événements telluriques ou externes. Alors pour la séparation des effets séismo-ionosphériques et séismo-électromagnétiques des orages magnétiques, il faut connaître avec précision la situation magnétique de la dernière semaine du mois d'Août 2004.

Conformément aux résultats obtenus avec le logiciel de prévisions de propagation ionosphérique « point à point »,

développés par le Centre National d'Etudes des Télécommunications (CNET) de France Télécoms, en collaboration avec l'Ecole Nationale Supérieure de Télécommunications (ENST), la situation magnétique prédominante durant le mois d'Août 2004 est caractérisée par une activité très soutenue.

Les principaux événements solaires susceptibles d'entraîner des Perturbations Ionosphériques à Début Brusque (PIDB) sont déterminés le : 13, 14, 15 et 18 du mois alors

que le 7<sup>ème</sup> et le 30<sup>ème</sup> jour d'août correspondent aux orages magnétiques de moyenne à forte intensité où l'indice planétaire équivaut respectivement le 5 et le 6 sur une échelle de 9. L'activité magnétique relativement agitée de cette fin du mois d'août peut dissimuler l'effet des séismes au niveau de la haute ionosphère (siège de toutes les perturbations). Néanmoins, une étude statistique de l'activité sismique peut la déceler d'une manière indépendante des perturbations magnétiques.

L'interaction des ondes gravito-acoustiques générées par les contraintes et les ondes sismiques avec le plasma est en effet susceptible d'engendrer un déséquilibre de l'ionosphère détectable par tous les enregistrements de DEMETER.

L'ensemble des signaux IAP et ISL, considérés comme des mouvements browniens fractionnaires, ont mis en évidence grâce au traitement par ondelettes, l'activité

sismique générée par le précurseur de Honshu (Tab.2) enregistré le long de la trajectoire N° 838 down de DEMETER. La fractalité des signaux du couple IAP-ISL, résulte de la diffusion élastique.

L'analyse par TOC du domaine fréquentiel allant des UBF (ultra basse fréquence) jusqu'au TBF (très basse fréquence), nous a permis d'obtenir des valeurs de rugosité comprises entre  $2 < \beta \leq 3$  ou entre  $1 \leq \beta < 2$ , ce qui classe les signaux séismo-ionosphériques comme des mouvements browniens fractionnaires persistants et anti-persistants ayant une mémoire statistique. Cette propriété de la corrélation à longue portée, implique que ces phénomènes telluriques peuvent se répéter dans le futur de la même manière ce qui nous offre la possibilité d'utiliser l'exposant spectral  $\beta$  comme un indice de prédiction de l'activité sismique

Tab 2. Précurseur annoncé 5 jours avant le séisme majeur du 5 Septembre 2004

Identification	Date	Temps TU	Latitude (°)	Longitude (°)	Distance satellite Epicentre (km)	Magnitude	Période Du séisme	Région
Précurseur de Honshu	29/08/2004	01:35:54	33.08	136.21	726.81	7	5 à 30 jours	Près de la côte sud Ouest de Honshu, Japon

Le données de type: IMSC et ICE sont caractérisés comme des Sweeps modulés en fréquence et en amplitude, localement browniens. Leur traitement par TOC a révélé l'existence de deux grandes familles de perturbations ionosphériques de nature sismique. La première correspond aux oscillations supposées engendrées par la piézoélectricité ou par une onde gravito-acoustique causée par la déformation des roches sous l'effet des contraintes sismiques de pressions ou de dilatations. La seconde se produit généralement après les séismes et elle est causée par la vibration de l'ionosphère sous le rythme des ondes acoustiques, ondes de gravité ou ondes gravito-acoustiques; cela dépend essentiellement de la localisation géographique de la région sismique. Pour le Japon, ce sont des ondes de type gravito-acoustique. Nous concluons, que les variations des champs électrique et magnétique peuvent renfermer deux régimes bien distincts. Un régime régulier (ou harmonique ou périodique) correspondant à l'oscillation de l'ionosphère sous l'action des ondes générées par l'onde sismique de Rayleigh [Li, 2007].

L'autre est irrégulier (ou aléatoire) causé par les multi-diffusions et le transport du rayonnement électromagnétique par les différentes couches atmosphériques.

Nous remarquons que l'outil ondelettes a fourni une localisation temporelle du précurseur de Honshu, du 29 Août 2004, avant son déclenchement de quelques millisecondes voire même quelques secondes par rapport au catalogue sismique de DEMETER (SEISMIC EVENT).

Les valeurs moyennes locales de l'exposant spectral enregistrées une semaine avant le séisme majeur peuvent être donc considérées comme un indice de localisation temporelle des précurseurs mais également comme un indice qui révèle l'intensité des événements sismiques. La majorité des signaux sismiques qui caractérisent la population du plasma tels que :  $NH^+$ ,  $NHe^+$ , Ne, Ni, Te, Vp, Vs et Vz, affichent un exposant spectral compris entre [1.2 -- 1.8] pour un événement isolé de magnitude 7.

Cela nous a permis de faire correspondre aux valeurs de  $\beta(t)$  inférieurs à "1.2", la présence de séismes de magnitude supérieurs à 7. Le reste de signaux exploités tels que:  $NO^+$ , Ti, direction du flux des ions et le potentiel flottant ont donné des valeurs de  $\beta(t)$  comprises entre [2.1 ----2.6] classant ainsi ces enregistrements comme des mouvements persistants.

Cette analyse réalisée par la TOC, nous a permis de constater que les différents signaux répondent de diverses manières selon leur degré de sensibilité aux perturbations séismo-ionosphériques et séismo-électromagnétiques. La majorité des signaux traités sont donc des mBf's persistants ou anti-persistants, ce qui nous offre la possibilité d'adopter le facteur de rugosité comme un indice de prédiction de l'activité séismique.

## 5. Conclusion

L'analyse par ondelettes des phénomènes physico-chimiques ou électromagnétiques enregistrés au niveau du plasma ionosphérique a permis de mettre en évidence différentes signatures ionosphériques relatives aux phases pré, co et post-séismique générées par les précurseurs. Cette activité ionosphérique est liée au processus de la diffusion élastique et des multi-diffusions produites par la propagation des ondes séismiques (onde de Rayleigh) dans l'atmosphère.

Nous avons exploité les propriétés de la TOC pour construire un estimateur robuste, permettant de récupérer l'information contenue dans les statistiques locales du signal, qui se manifestent sur différentes échelles temporelles dans l'ionosphère. L'ensemble de nos observations suggère que la variation temporelle de la valeur de l'exposant spectral répond à des propriétés d'invariance d'échelle intrinsèque au modèle de diffusion moléculaire qui régit l'interaction entre les particules du plasma excitées par la propagation d'ondes induites par une activité séismique.

Ces premiers résultats indiquent que ces corrélations pourraient être essentielles dans la compréhension et la prédiction à court terme des séismes, en relations avec les perturbations séismo-ionosphériques.

## Références Bibliographiques

- Bernard P., (2003). «*Qu'est-ce qui fait trembler la Terre ?*», EDP Sciences- France.
- Brasseur G., (1982). «*Physique et chimie de l'atmosphère moyenne*», Masson, Paris.
- Herman.F.J, (1997), «*Ascaling medium representation, a discussion on well-logs, Fractals and waves*». Thèse de Doctorat, université de technologie de Delft, Delft, pays-Bas.
- Hölschneider M, (1989). «*Analyse d'objets fractals par transformation en ondelettes*», Thèse de Doctorat, Université de Provence (Aix-Marseille).
- Lévy P, (1965). «*Processus stochastiques et mouvements Brownien*». Gauthiers-villars.
- Li, F., (2007). «*Etude dans l'ionosphère de la densité électronique et de la turbulence électrostatique en fonction de l'activité sismique*», Thèse de Doctorat, Université d'Orléans (France).
- Lognonne P., Artrub J., Garcia R., Crespon F., Ducic V., Jeansou E., Occhipinti G., Helbert J., Moreaux G. & Godet P-E. (2006). «*Ground-based GPS imaging of ionospheric post-seismic signal*» Planetary and Space Science 54, 528–540.
- Lagoutte D., Brochot J.Y, de Carvalho D., Madrias L & Parrot M. (2006), «*DEMETER Microsatellite wave data processing level 1*», LPCE, CNRS- France.
- Lagoutte D., Brochot J.Y, Madrias L, Parrot M, Poirier B. (2005), «*DEMETER microsatellite scientific mission center data product description*», LPCE, CNRS et l'université d'Orléans- France.
- Lagoutte D., Berthelie J.J., Lebreton J.P., Parrot M. and Sauvaud J.A. (2005). «*DEMETER microsatellite scientific mission center data user guide*» LPCE, CNRS et l'université d'Orléans (France).
- Liu J.Y., Chen Y.I., Pulinets S.A., Tsai Y.B., Chuo Y.J (2000). «*Seismo-ionospheric signatures prior to  $M \geq 6.0$  Taiwan earthquakes*». Geophysical research letters, Vol, 27, NO-19, pages 3113-3116.
- Mandelbrot B.B, (1983), «*The fractal geometry of nature*». W.H. Freeman, San Francisco.
- Mourad H. (2007). «*Mise en oeuvre d'une méthodologie pour l'étude de rayonnement parasite basse fréquence de panneaux solaires sur des capteurs situés en zone proche*», Thèse de Doctorat de l'université de Limoges- France.
- Occhipinti G. (2006). «*Observations multi-paramètres et modélisation de la signature ionosphérique du grand séisme de Sumatra*». Thèse de Doctorat de l'Institut de Physique du Globe de Paris (France).
- Parrot M. (2006). «*Le microsatellite DEMETER*», université d'Orléans (France).
- Pulinets S.A. , Legen'ka A.D. and Alekseev V.A. (1994). «*Pre-earthquake ionospheric effects and their possible mechanisms*». Plenum Press- New York.
- Pulinets S.A. (1998) «*Strong earthquake prediction possibility with the help of topside sounding from satellites*». Adv. Space Res. Vol.21, No.3, pp.455-458. Elsevier Science Ltd edition (Great Britain).
- Torresani. B, (1995). «*Analyse continue par ondelette*». Inter Editions / CNRS éditions.

## Variations spatiales des caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines de la plaine alluvionnaire de Guelma, (Nord-est algérien)

K. BENMARCE, A. CHOUABBI & L. BOUABSA

Université Badji Mokhtar, Laboratoire de géodynamique et de la ressource naturelle, B.P. 12, 23000 Annaba, Algérie.

Email: kabenmarce@yahoo.fr, abdelmajid.chouabbi@univ-annaba.org, lakhdar.bouabsa@univ-annaba.dz

**ملخص :** إن منطقة الدراسة الواقعة في شمال شرق الجزائر هي منطقة منخفضة وهذا بسبب حركات الضغط والتوسع التي حدثت في بداية الميوسين، هي منطقة مليئة بالطمي من نفس الفترة على شكل مصطبات ترابية، جزء منها مزود بطبقة من الحجر الجيري واقعة في منابعها. يتمحور هذا البحث حول الاختلافات الفضائية للخصائص الفيزيائية-الكيميائية للمياه الجوفية للمنطقة المنخفضة. تم أخذ عينات للمياه الجوفية من سبعة 7 منابع (بما في ذلك خمسة تقع في المنطقة المنخفضة و اثنين على حدودها المباشرة) في نهاية شهر أبريل 2009 (موسم الأمطار) و تحليلها. تم تحديد 16 معامل في عينات المياه : درجة الحموضة ،  $T^{\circ}C$  ، التوصيل الكهربائي (EC)،  $Ca^{2+}$  ،  $Mg^{2+}$  ،  $Na^{+}$  ،  $K^{+}$  ، الكلورين،  $SO_4^{2-}$  ،  $NO_3^{-}$  ، (العسر الكلي)، TAC (لقب القلوية كاملة)، أورثو فوسفات ( $PO_4^{3-}$ ) ،  $MN^{2+}$  و  $AL^{3+}$ .

التغيير في قيم درجة الحموضة ما بين 7.7 و 10.7 عرض الطابع الأساسي لجميع المياه تحليلها، و الموصلية الكهربائية تتراوح بين 1030 S / سم إلى 2020 S / سم يظهر زيادة من المنبع إلى المصب و لوحظ وجود ارتباط كبير بين التوصيل الكهربائي (EC) وغيرها من المعالم ( $Ca^{2+}$  ،  $Mg^{2+}$  ،  $Na^{+}$  ،  $K^{+}$  ، الكلورين،  $HO_3^{-}$  و  $AL^{3+}$  باستثناء  $NO_3^{-}$  ،  $SO_4^{2-}$  ،  $PO_4^{3-}$  و  $MN^{2+}$ .

الأيونات السائدة هي الكلوريدات و الكبريتات و الكاتيونات، و هي ممثلة أساسا بالكالسيوم و المغنيزيوم. مكن تطبيق أساليب الاستكشاف المتعددة المتغيرات (التحليل العاملية) من التعرف على المعايير الأكثر أهمية التي تصف نوعية هذه المياه، و وضع تقسيم مساحي لكيمياء المياه. أظهر المعامل I (ي) الذي يمثل التمعدن زيادة هذا المعيار من منبع إلى مصب الطبقة، مكن المعامل الثاني الممثل للتلوث الأنتروبي من التعرف على محيط مخفض في الجانب الأوسط للطبقة المحدد بين محيطين مؤكسدين و جوانبهما من المنبع إلى المصب حسب اتجاه التدفق.

**الكلمات الأساسية :** المياه، و المياه الجوفية الطمي، سحنة الكيميائية التلوث تمعدن.

**Résumé :** La zone d'étude qui se situe au nord-est algérien est une dépression résultant de mouvements de compression et d'extension survenus au début du Miocène, comblée d'alluvions du même âge disposées en terrasses et alimentées en partie par la nappe des travertins située à leur amont. Cette recherche s'articule autour des variations spatiales des caractéristiques physicochimiques des eaux souterraines de la dépression. Les eaux souterraines de 7 sources (dont cinq situées dans la dépression et deux sur ses bordures immédiates) ont été prélevées à la fin du mois d'avril 2009 (saison des pluies) puis analysées. 16 paramètres ont été déterminés dans les échantillons d'eau : pH,  $T^{\circ}C$ , conductivité électrique (C.E),  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^{+}$ ,  $K^{+}$ ,  $Cl^{-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^{-}$ , TH (dureté totale), TAC (titre alcalimétrique complet), ortho phosphate ( $PO_4^{3-}$ ),  $Mn^{2+}$  et  $Al^{3+}$ . La variation des valeurs du pH entre 7,7 et 10,7 montre un caractère basique de toutes les eaux analysées, celle de la conductivité électrique entre 1030  $\mu S/cm$  et 2020  $\mu S/cm$  montre un accroissement de l'amont à l'aval. Une corrélation significative a été observée entre la conductivité électrique (CE) et d'autres paramètres ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^{+}$ ,  $K^{+}$ ,  $Cl^{-}$ ,  $HCO_3^{-}$  et  $Al^{3+}$  exceptés  $NO_3^{-}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$  et  $Mn^{2+}$ ). Les anions dominants sont les chlorures et les sulfates et les cations dominants sont représentés essentiellement par le calcium et le magnésium.

L'application des méthodes exploratoires multivariées (analyse factorielle) a permis d'identifier les paramètres les plus pertinents qui décrivent la qualité de ces eaux et de définir une zonation de la chimie des eaux. Le facteur I représentant la minéralisation a mis en évidence l'augmentation de ce paramètre de l'amont vers l'aval de la nappe. Le second facteur représentant la pollution anthropique a permis d'identifier un milieu réducteur dans la partie centrale de la nappe limité entre deux milieux oxydants à ses extrémités amont et aval. Les faciès chimiques chloruré et sulfaté calcique et magnésien des eaux sont liés à la nature lithologique des terrains traversés. L'accroissement des teneurs des paramètres est enregistré surtout à l'aval de l'aquifère selon le sens de l'écoulement.

**Mots clés :** eau, aquifère, alluvions, faciès chimiques, minéralisation, pollution.

**Abstract :** The study area is a depression resulting from movements of compression and expansion occurred in the early Miocene that has undergone sedimentation forming terraces of the same age and supplied in part by the aquifer of travertine located in its upstream. This research focuses on the spatial variations of the physicochemical characteristics of groundwater depression. Groundwater with seven springs were taken during the rainy season, at the end of April 2009, in order to be analyzed in the laboratory. For the analysis, sixteen parameters were determined from water samples: pH, T°C, electrical conductivity (EC), Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, TH (total hardness), TAC (as total alkali), ortho-phosphate (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), Mn<sup>2+</sup> and Al<sup>3+</sup>. The application of multivariate methods (factor analysis) was used to identify the most relevant parameters that described the quality of water. The first factor I representing the mineralization showed an increase of this parameter from upstream to downstream of the aquifer. The second factor II represented the anthropogenic pollution that could identify a reducing environment in the central part found between two oxidizing environmental boundaries; upstream and downstream. The change in pH values between 7.7 and 10.7 showed a basic character of all analyzed water, the electrical conductivity of values between 1030 µs/cm and 2020 µs/cm showed an increase from upstream to downstream. A significant correlation was observed between the electrical conductivity (EC) and other parameters (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> and Al<sup>3+</sup>; except for NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> and Mn<sup>2+</sup>). The dominant anions were chlorides and sulfates, and the dominant cations were represented mainly by calcium and magnesium. Chemical facies of water that were chlorinated and sulfated with magnesium were related to the surrounding lithology. Increased contents of the parameters were mainly recorded downstream of the aquifer following the direction of flow.

**Keywords :** water ; aquifer ; alluvium ; chemical facies ; mineralization ; pollution

## 1. Introduction

La composition chimique des eaux souterraines dépend de la nature géologique du sol d'où elles proviennent, mais aussi des substances réactives qu'elles auraient pu rencontrer lors de l'écoulement [Fédrigoni et al. 2001, in : Chénini, 2009, Jordana et Batista, 2004, Magesan et al. 2003]. Ainsi, les éléments minéraux dissous dans l'eau durant son parcours déterminent sa qualité [Thais, 2004, Jain et al. 2005, Glynn et Plummer 2005]. Cependant, cette qualité peut être altérée lorsque des substances extérieures entrent en contact avec la nappe aquifère. Tel est le cas des substances indésirables voire toxiques qui dégradent l'eau souterraine et compromettent son usage, notamment en tant qu'eau destinée à l'alimentation des populations.

L'utilisation intensive des ressources naturelles et l'accroissement des activités humaines ont engendré de graves problèmes sur la qualité des eaux souterraines [Mor et al. 2006]. Dans les pays en développement, obtenir de l'eau saine pour la consommation humaine est devenu un sérieux problème du fait d'un manque de protection de l'environnement.

Dans notre cas, la nappe est très convoitée pour l'alimentation en eau potable de la population, compte tenu de l'importance de son potentiel hydrique. Elle offre également des terres très fertiles pour l'activité agricole. Ces opportunités l'exposent, d'une part, à une surexploitation, et d'autre part, à une dégradation éventuelle de la qualité de ses eaux par les fertilisants et engrais chimiques essentiellement azotés qui peuvent transiter vers les eaux de la nappe [Kloppmann, 2003, Bolduc et al., 2006, Gourcy et al., 2011, Boualla, 2011, Deh et al., 2012].

Les travaux antérieurs réalisés dans la zone d'étude ont mis en évidence une pollution d'origine agricole des eaux souterraines, utilisant pour cela la méthode du calcul de l'indice de contamination [Chaoui et al., 2007], la méthode DRASTIC standard développée par les services de l'agence américaine de la protection de l'environnement USEPA [Aller et al., 1987, in : Djabri et Hani, 2005, Panagopoulos et al., 2006, Hamza et al., 2008] et par l'analyse des paramètres physicochimiques [Kloppmann et al., 2011, Schoeller, 1962, Schoeller, 1963, In : Bakalowicz, 2013]. Selon le rapport interne établi par la Sogréah (2005) pour le compte de la direction des ressources en eau de la wilaya de Guelma, l'hypothèse d'une éventuelle alimentation de la nappe alluvionnaire par celle des travertins a été émise.

Cette étude a été réalisée en fin de période de recharge de la nappe, à la fin du mois d'avril 2009. Elle s'articule sur la caractérisation qualitative des eaux souterraines et leur comportement hydrochimique dans l'espace de la nappe alluvionnaire à partir du traitement des paramètres physico-chimiques utilisés comme traceurs naturels [Schoeller, 1963, In : Bakalowicz, 2013], la détermination des paramètres les plus pertinents qui décrivent le comportement des eaux par l'analyse en composantes principales [Hotelling, 1933, In : Nagabhsushan et Kumar, 2007, Husson et al., 2010] et enfin la mise en évidence de l'alimentation de la nappe alluvionnaire par la nappe des travertins émise en hypothèse dans le rapport de la Sogréah (2005).

### 1.1 Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est située au Nord-est algérien, à 60 km au Sud de la ville d'Annaba (Figure 1). Elle fait partie de la chaîne des Maghrébines de l'Algérie orientale [Vila, 1980] et s'étend entre 7° et 7°30' Est et entre 36° et 36°30' Nord, entre 180 et 250 m d'altitude.

Elle est soumise à un climat semi-aride tempéré caractérisé par deux saisons bien distinctes : l'une pluvieuse et froide allant du mois d'octobre au mois de mai et l'autre sèche et chaude durant les autres mois de l'année. Les moyennes annuelles de pluie et de températures enregistrées sont respectivement de 536 mm et 20 °C [Benchaïba et Gaagai, 2012]. Elle est entourée de diverses nappes de

charriage, donnant naissance aux actuelles montagnes [Vila, 1980, Vila et al., 1968, Raoult, 1975, Lahondère, 1987] : Mahouna (1411m) au Sud, Haouara (1292m) au Nord et Débar (1060m) au Nord-Ouest. Les reliefs sont constitués de terrains allochtones appartenant pour l'essentiel au domaine tellien constitué de marnes et de carbonates d'âge Méso-Cénozoïque [Algéo, 2004].

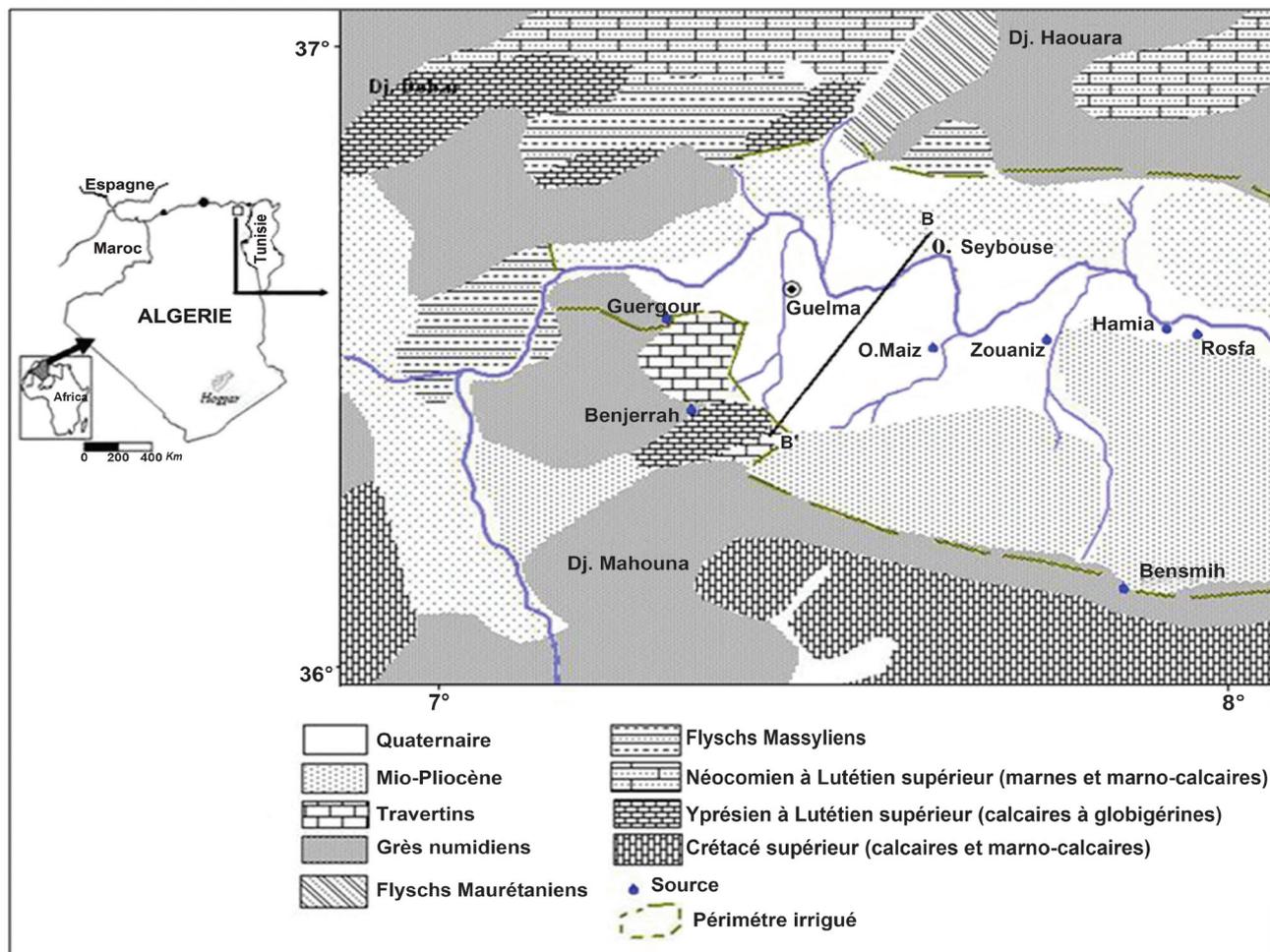


Fig. 1 Localisation des sources étudiées dans le bassin de Guelma (Extrait de la carte géologique de Vila, 1980)

C'est une dépression remplie d'alluvions plio-quaternaires formant des terrasses (haute, moyenne et basse) disposées en gradins sur la rive droite de l'Oued Seybouse et reposant sur un substratum marneux gypsifère d'âge Miocène. La puissance maximale de la nappe est localisée au centre et s'amincit progressivement vers ses extrémités [Sogréah, 2005]. Cette disposition géométrique est vérifiée par les logs stratigraphiques des forages de reconnaissance et d'exploitation réalisés par la direction des ressources en eau de la wilaya de Guelma pour l'alimentation en eau de la population.

Son sol est un périmètre d'irrigation sollicité par une activité agricole intense, où l'usage des engrais chimiques

est pratiqué d'une façon plus ou moins intensive [Djabri et al., 2003, Djabri et Hani, 2005, Laaraba et Haj Zobir, 2009]. En période hivernale, la nappe est alimentée par les eaux de pluie et en partie par la nappe des travertins située à l'amont des écoulements à une altitude moyenne de 300 m. En période estivale, elle est alimentée par les eaux d'irrigation à partir de l'Oued Seybouse « return flow », [Hani, 2003].

L'établissement d'une carte piézométrique (figure 2) a permis de déterminer un écoulement souterrain suivant une direction sud-nord, depuis la nappe des travertins vers l'Oued Seybouse.

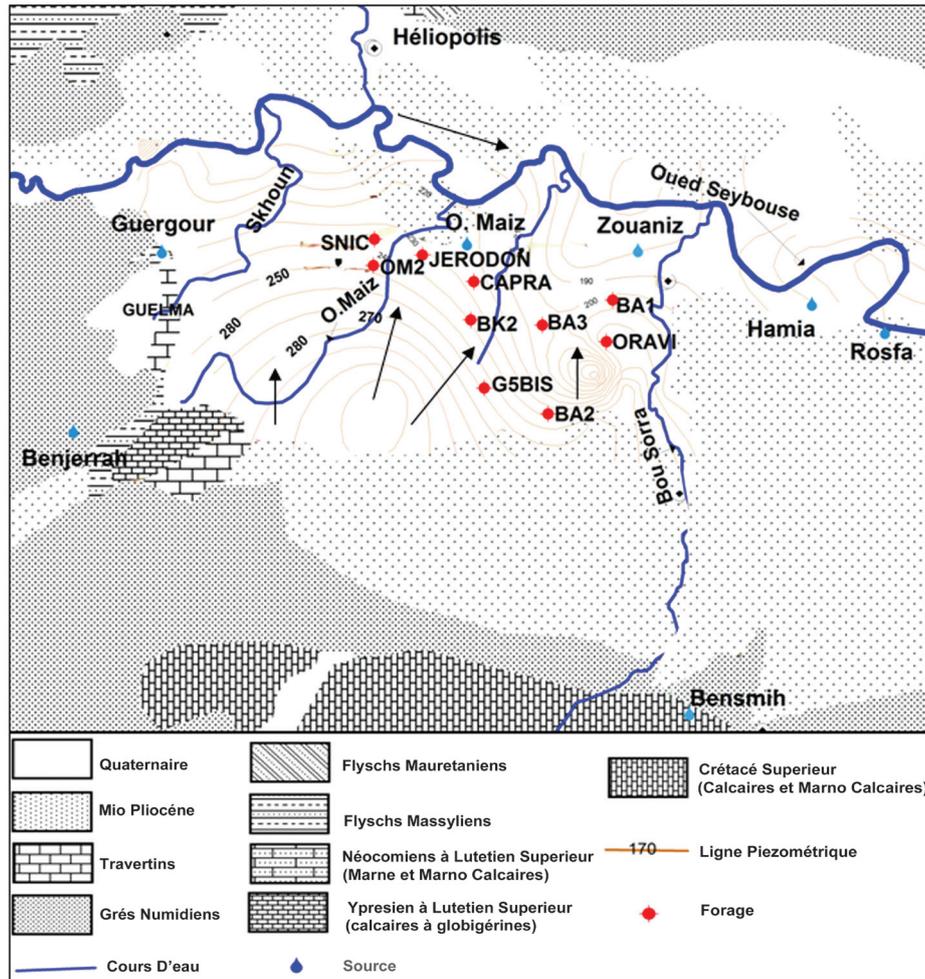


Fig. 2 Carte piézométrique de la nappe de Guelma (Avril 2009)

## 2. Matériel et méthodes

Les eaux de sept sources ont été prélevés dans les mêmes conditions météorologiques et hydrodynamiques (30 avril /2009), période qui correspond à la recharge de la nappe alluvionnaire par les précipitations et la moyenne journalière de pluie enregistrée est de 52 mm (figure 3).

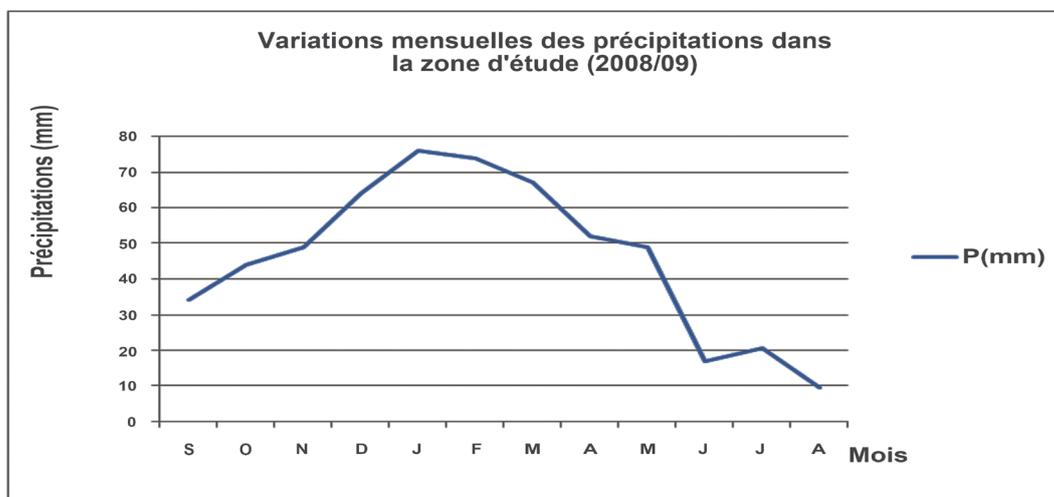


Fig. 3 Variations mensuelles des précipitations dans la zone d'étude (2008/09)

Les échantillons d'eau prélevés sont mis dans des bouteilles en polyéthylène de capacité 1,5 litre, préalablement lavées à l'acide nitrique 1M puis à l'eau distillée. Sur le terrain avant remplissage des bouteilles, celles-ci ont été lavées trois fois avec l'eau à prélever. Le remplissage des bouteilles a été fait à ras bord puis le bouchon vissé afin d'éviter tout échange gazeux avec l'atmosphère. Les échantillons d'eau ont été ensuite transportés dans une glacière à 4°C au laboratoire pour analyse dans l'heure qui suit le prélèvement. Les paramètres physico-chimiques caractéristiques de la qualité des eaux souterraines ont été déterminés selon les méthodes usuelles d'analyse [Rodier J., 2009] et qui sont les suivantes :

Les mesures in situ ont concerné les paramètres physiques (T, pH, conductivité) à l'aide d'un appareil multiparamètres WTW 340i. Les ions calcium et magnésium sont déterminés par complexométrie par titrage avec le sel disodique de l'EDTA (Ethylen Diamine tétra-acétique). La dureté calcique est déduite de la dureté totale et magnésienne. La mesure de l'alcalinité est basée sur la neutralisation d'un certain volume de l'échantillon par l'acide sulfurique (H2SO4 N/50). Les chlorures sont déterminés par la méthode de Mohr (Argentimétrie). Les sulfates sont déterminés par précipitation par le chlorure de baryum. La mesure turbidimétrique sur le trouble est obtenue à  $\lambda = 435$  nm à l'aide d'un spectromètre du type : SE 120. KARL KOLB. Les nitrates sont obtenus par méthode de réduction au cadmium. La lecture est automatique sur l'auto-analyseur de type SKALAR à  $\lambda = 540$  nm. Le sodium et le potassium sont déterminés par spectrophotomètre à émission de flamme sur appareil de type : JENWAY.PFP7.  $Mn^{2+}$ ,  $PO_4^{3-}$ , par spectrophotomètre visible, NV202. Ret. RG232. Etuve Binder, balance analytique: 0,1 mg Sartorius, agitateur magnétique : agimatique.  $Al^{3+}$ , par volumétrie inverse.

L'analyse statistique des données obtenues a été effectuée par le logiciel SPAD 5.5.

**Application de l'Analyse en Composantes Principales (ACP)**

L'ACP est une méthode statistique multidimensionnelle descriptive, utilisable comme aide à l'interprétation d'une matrice de données [Hotelling, 1933, In : Nagabhushan et Kumar, 2007, Husson et al., 2010]. La matrice des données physico-chimiques comporte m analyses (ou éléments mesurés). Cette méthode, en cherchant les directions préférentielles d'allongement d'un nuage de points sur ces directions préférentielles (axes factoriels) lesquelles, sont des combinaisons linéaires des variables de départ. Chaque variable contribuant au facteur intervient avec un coefficient appelé vecteur propre. Pour l'analyse des teneurs chimiques, dont les gammes de variations peuvent être disparates, il convient de dépendérer ces variables en les centrant et en les réduisant. Les teneurs sont ainsi centrées sur une moyenne nulle et divisées par l'écart type. La variance apportée par chacune des variables est dès lors égale à 1, et donc l'inertie (variance) totale du nuage de points égale à  $1 \times n$  variables sur m individus. Le premier axe factoriel est celui qui explique le plus grand pourcentage de cette variance totale, le second explique ensuite le plus grand pourcentage de variance résiduelle.

Dans notre cas, l'ACP a été réalisée sur 13 variables et 7 individus (sources).

**3. Résultats**

Dans le secteur d'étude, les eaux souterraines étudiées proviennent d'un aquifère alluvionnaire constitué de terrasses et alimenté en partie par la nappe des travertins située à son amont. La profondeur de l'eau par rapport à la surface du sol dans l'aquifère varie entre 8 et 25 mètres et les écoulements souterrains se font du sud vers le nord. Les valeurs des paramètres de la qualité des eaux qui ont été déterminées sont représentées dans le tableau 1.

**Tableau 1.** Résultats des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la nappe alluvionnaire de Guelma (avril/2009)

Nom de source	C.E $\mu$ /sm	Ph	T °C	TH °F	Tac °F	Ca <sup>2+</sup> mg/l	Mg <sup>2+</sup> mg/l	K <sup>+</sup> mg/l	Na <sup>+</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Mn <sup>2+</sup> mg/l	Al <sup>3+</sup> mg/l	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/l
Guergour	1104	7,7	18	53	35	145	41	2,2	98	405	115	130	175	0	2,7	0,31
Benjerah	1030	7,9	19	49	27	117	40	2	80	320	150	130	18	0	2,7	0,23
O.Maiz	1092	10,7	17	87	28	130	40	3	65	335	125	98	23	0	2,7	0,33
Zouaniz	1585	8,8	18	52	28	150	35	2,2	60	335	150	58	98	0	2,7	0,32
Hamia	2020	9,3	19,5	87	37	200	90	5	126	448	354	230	90	0	5,4	0,27
Rosfa	1954	8,4	18,8	75	37,4	178	74	8	93	482	300	110	31	0	5,4	0,27
Bensmih	1215	8,7	19,7	47	28	140	19	0,8	70	335	150	168	13	0,5	5,4	0
moyenne	1428,57	8,78	18,57	64,28	31,49	151,43	48,43	3,31	84,57	380	192	132	64	0,07	3,85	0,25
<b>Norme</b>	<b>1500</b>	<b>6,5 - 8,5</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>12</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>50</b>	<b>0,05</b>	<b>0,2</b>	<b>2</b>

Le pH des eaux étudiées varie entre 7,7 et 10,7 avec une moyenne de 8,7. On remarque que 57 % des sources ne rentrent pas dans l'intervalle recommandé par l'O.M.S. (6,5 – 8,5), et possèdent un caractère alcalin. Ce sont les sources O. Maiz, Zouaniz et Hamia situées à l'aval de la nappe et Bensmih dans sa partie sud-est. Les autres sources, soit 43 %, possèdent un pH situé dans la fourchette des valeurs de l'O.M.S.

La température de l'eau qui émerge, influence la presque totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques [Chapman et Kimstach 1996 : *in* Derwich et al., 2010]. Elle est liée au mode de circulation de l'eau. La profondeur qu'une eau peut atteindre selon le gradient géothermique local : 3 °C /100 m [Ouali et al., 2007], sa vitesse de remontée et son mélange avec les eaux de subsurface, conditionnent ce paramètre [Schöeller, 1963, *in* : Bakalowicz, 2013, Prasad et Narayana, 2004]. Les températures des eaux étudiées, varient entre 17°C et 19,7°C avec une moyenne de 18,57°C. Elles sont inférieures à la norme de 25°C.

La conductivité électrique désigne la capacité de l'eau à conduire un courant électrique et elle est déterminée par la teneur en substances dissoutes, la charge ionique, la capacité d'ionisation, la mobilité et la température de l'eau. Par conséquent, elle peut renseigner sur le degré de minéralisation d'une eau.

La conductivité électrique des eaux étudiées, varie entre 1030 µS/cm et 2020 µS/cm avec une moyenne de 1428,57 µS/cm. Les valeurs au dessus de la norme sont enregistrées au niveau des sources Zouaniz (1585 µS/cm), Hamia (2020 µS/cm et Rosfa (1954 µS/cm) situées à l'aval du sens d'écoulement. Elles représentent 42% des points d'eaux analysées. Au niveau des autres points (58%), les valeurs de la conductivité sont inférieures à la norme.

Les concentrations en ion calcium (Ca<sup>2+</sup>) varient entre 130 mg/l et 200 mg/l avec une moyenne de 151,43 mg/l et dépassent la norme dans l'ensemble des échantillons. Celles des ions magnésium (Mg<sup>2+</sup>)

varient entre 19 mg/l et 90 mg/l avec une moyenne de 48,43 mg/l. Les valeurs situées au dessus de la norme sont enregistrées à l'aval et représentent 28,57 % de l'ensemble des échantillons. Les ions potassium et sodium présentent des valeurs inférieures à la norme dans l'ensemble des échantillons. Leurs teneurs varient respectivement entre 0,8 mg/l et 8 mg/l avec une moyenne de 3,31 mg/l pour le potassium et entre 60 mg/l et 126 mg/l avec une moyenne de 84,57 mg/l pour le sodium. Les teneurs élevées sont enregistrées également à l'aval pour l'ion potassium avec un taux de 28 %. Pour le sodium, les valeurs enregistrées au dessus de la moyenne représentent 42,85 % de l'ensemble des échantillons, dont deux à l'aval et le troisième dans la partie sud ouest. Les teneurs en bicarbonates qui dépassent la norme admise dans l'ensemble de l'aquifère, varient entre 320 mg/l et 482 mg/l avec une moyenne de 380 mg/l. Les teneurs en ions chlorures varient entre 115 mg/l à l'amont et 354 mg/l à l'aval avec une moyenne de 192 mg/l qui se situe en dessous de la norme. Les valeurs maximales enregistrées au dessus de la norme et qui représentent 28,57 % de l'ensemble des échantillons prélevés se trouvent à l'aval dans le sens des écoulements souterrains. Pour les teneurs en sulfates, les deux valeurs extrêmes de 58 mg/l et 230 mg/l se trouvent à l'aval. Toutefois, toutes les valeurs sont inférieures à la norme. Les teneurs en nitrates des eaux varient entre 13 mg/l dans la partie sud-est de l'aquifère et 175 mg/l dans sa partie sud-ouest avec une moyenne de 64 mg/l. Les deux autres valeurs supérieures à la norme et à la moyenne se trouvent à l'aval de l'aquifère, ces valeurs représentent 42,85 % de l'ensemble des échantillons. Le seul échantillon contenant du manganèse avec une teneur dix fois supérieure à la norme se trouve dans la partie sud-est de l'aquifère, il représente 14,28 % de l'ensemble des échantillons. Le TAC se situe dans l'intervalle 320 mg/l de CaCO<sub>3</sub> à 482 mg/l de CaCO<sub>3</sub>, ce qui se traduit par de très fortes concentrations en ions bicarbonates provenant de la nappe des travertins qui alimente en partie la nappe alluvionnaire (figure 4).

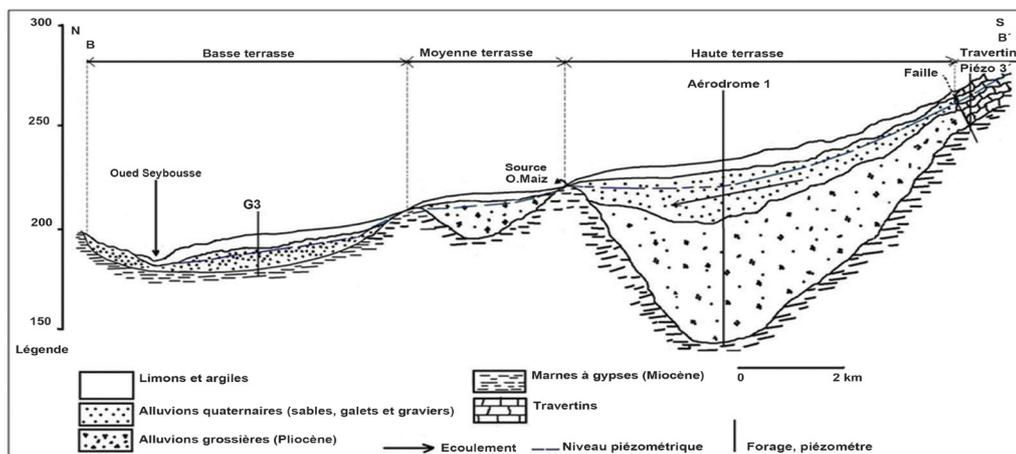


Fig. 4 Relation entre la nappe alluvionnaire et celle des travertins et niveau Piézométrique.

La dureté totale de l'eau (THt) est rattachée principalement à la quantité de calcium et de magnésium dans l'eau. Dans les échantillons d'eau, le THt varie entre 9,83 méq/l et 17,5 méq/l. Pour tous les points d'eaux étudiés, la valeur de THt est supérieure à la valeur guide de l'OMS qui est de 32 °F. Selon la classification de Durfor et Becker [Durfor C.N.and Becker E., 1964], les eaux de sources analysées dans la nappe alluvionnaire du bassin de Guelma possèdent une dureté élevée due aux teneurs élevées des ions calcium et magnésium. Ces concentrations sont attribuables à la lithologie des terrains traversés (travertins) et au substratum marneux gypsifère. Les fortes valeurs enregistrées à l'aval de l'aquifère (Hamia et Rosfa) sont attribuables à un enrichissement par dissolution. Les concentrations en potassium (K<sup>+</sup>) se situent entre 1 mg/l et 8 mg/l et sont dans la limite permise pour l'eau de boisson, leur origine est lithologique. Les concentrations en calcium sont élevées dans tout l'aquifère, celles du magnésium sont élevées à l'aval. Les ions chlorures, sulfates, nitrates, aluminium et ortho phosphates sont des constituants minéraux qui peuvent altérer la qualité de l'eau souterraine lorsque leurs concentrations dépassent la valeur guide. Les ions sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), à des concentrations supérieures à la valeur guide dans l'eau de boisson peuvent provoquer des diarrhées chez l'être humain [CDC-EPA, 1999]. Les concentrations en ions chlorures (Cl<sup>-</sup>) varient entre 150 mg/l en amont et 270 mg/l à l'aval. Celles des ions ortho

phosphate se situent entre 0 et 0,33 mg/l. Tous les points d'eaux étudiés ont présenté une concentration en PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> inférieure à la valeur limite de 0,5 mg/l. Les concentrations en ions sulfates se situent entre 85 mg/l et 200 mg/l. Elles sont dans la limite permise pour l'eau de boisson.

Les ions nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) sont présents dans la nature où ils font partie du cycle de l'azote. Ils représentent la forme la plus soluble de l'azote. Principalement utilisés comme engrais inorganiques pour la croissance des plantes et la synthèse de composés azotés organiques, les nitrates en excès peuvent se retrouver rapidement dans les eaux souterraines [Office of Drinking Water, 1987, Bolduc et al., 2006, Gourcy et al., 2011, Boualla, 2011, Deh et al., 2012]. Les déchets contenant de l'azote organique représentent aussi une source de nitrates obtenus à partir de différents processus bio-chimiques (ammonification et nitrification).

#### 4. Interprétation et discussion

##### 4.1 Zonation géochimique des eaux à partir d'une analyse multivariée

Une forte association est constatée d'une part, entre la conductivité (C.E.) et les ions Cl<sup>-</sup>(r=0,91), Ca<sup>2+</sup>(r=0,94), Mg<sup>2+</sup>(r=0,84), K<sup>+</sup>(r=0,78), HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>(r=0,77), Na<sup>+</sup>(r=0,55), HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>(0,77) et d'autre part, entre la C.E et les ions Al<sup>3+</sup>(r=0,67) (Tableau. 2).

**Tableau 2.** Matrice de corrélation des eaux souterraines de la nappe alluvionnaire de Guelma (avril/2009)

Paramètres	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	C.E	O <sub>2</sub>	Mn <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
Ca <sup>2+</sup>	1,00												
Mg <sup>2+</sup>	0,93	1,00											
K <sup>+</sup>	0,73	0,83	1,00										
Na <sup>+</sup>	0,79	0,84	0,51	1,00									
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,84	0,86	0,88	0,77	1,00								
Cl <sup>-</sup>	0,95	0,96	0,80	0,74	0,79	1,00							
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,22	0,08	-0,09	0,39	0,30	-0,07	1,00						
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,54	0,56	0,10	0,77	0,33	0,57	0,01	1,00					
C.E	0,94	0,84	0,78	0,55	0,77	0,91	0,07	0,29	1,00				
O <sub>2</sub>	0,42	0,49	0,60	0,35	0,64	0,30	0,54	-0,27	0,42	1,00			
Mn <sup>2+</sup>	-0,22	-0,39	-0,43	-0,28	-0,38	-0,20	-0,37	0,29	-0,22	-0,87	1,00		
Al <sup>3+</sup>	0,69	0,61	0,52	0,48	0,54	0,75	-0,30	0,64	0,67	-0,23	0,47	1,00	
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,15	0,26	0,34	0,14	0,31	0,06	0,47	-0,41	0,17	0,92	-0,95	-0,55	1,00

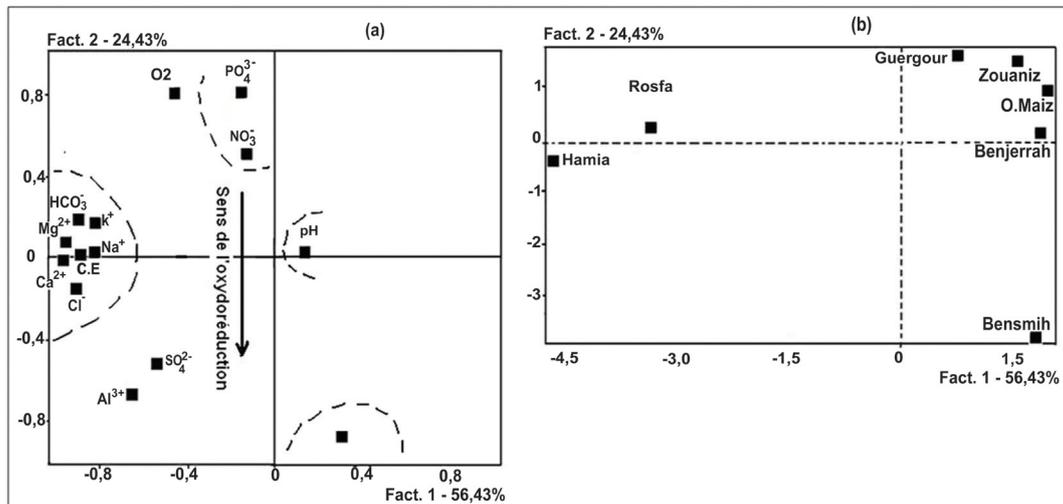
La projection des variables et des individus a été effectuée sur 2 axes, qui représentent 80,86% de la variance totale (figure 5).

La projection des variables montre le développement d'un groupe sur l'axe 1 (56,43 % de la variance) représenté par la conductivité, Ca<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> Na<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Al<sup>3+</sup> et Cl<sup>-</sup> (figure 5a) qui expriment donc la minéralisation des eaux de la nappe alluvionnaire. L'axe 1 oppose l'ensemble des éléments chimiques constituant la minéralisation des eaux au pH. Ces éléments chimiques responsables du

faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien des eaux sont d'ailleurs les chlorures, les sulfates, le calcium et le magnésium.

Selon le facteur 2 (24,43 %), il y a opposition de deux groupes bien distincts. Il s'agit de l'ensemble formé de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> et du groupe constitué de Mn<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> et Al<sup>3+</sup>. Le premier évolue dans la nappe alluvionnaire où le sol est le siège d'activités agricoles intenses et caractérise des conditions de milieu oxydantes (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

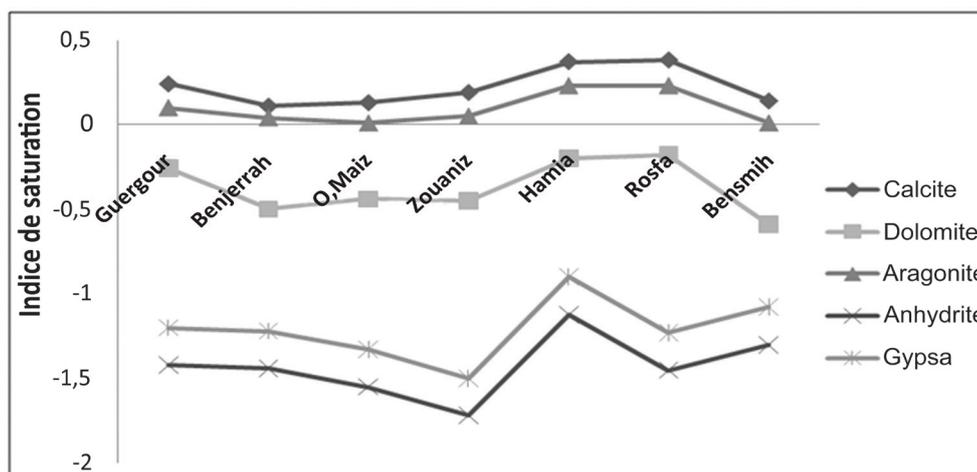
Le second possède une origine à chercher en profondeur et on assiste de ce fait à un phénomène d'oxydoréduction dans le sens de la flèche (figure 4a) ; milieu réducteur ( $Mn^{2+}$ ) au niveau des sources Hamia et Rosfa (figure 5b). L'augmentation de la minéralisation de l'amont vers l'aval est liée fidèlement à celle des teneurs en  $Cl^-$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $HCO_3^-$  et à un degré moindre à celle des  $SO_4^{2-}$ .



**Fig. 5** Analyse en composantes principales des eaux souterraines de la nappe alluvionnaire de Guelma (avril/2009)  
(a) : Projection des variables. (b) : Projection des individus

#### 4.2 Origines de la minéralisation des eaux souterraines

L'étude des indices de saturation (I.S) des eaux par rapport aux principaux minéraux, calculés avec le programme WATEQF [Simler, 2013], montre que les concentrations des principaux minéraux sont essentiellement sous le contrôle de l'équilibre de la calcite et de l'aragonite (figure 6).



**Fig. 6** Indices de saturation des eaux souterraines de la nappe alluvionnaire de Guelma par rapport aux principaux minéraux (avril/2009)

Les valeurs maximales des chlorures acquises par dissolution, se localisent à l'aval de la nappe alluvionnaire (Hamia : 354 mg/l et Rosfa : 300 mg/l), alors que les valeurs minimales inférieures à la norme se répartissent dans le reste de l'aquifère. Les teneurs en chlorures élevées ont pour origine le lessivage des formations lithologiques (évaporitiques)[Schoeller, 1962, In : Bakalowicz, 2013]. En raison de la contribution  $NO_3^-$  et  $PO_4^{3-}$  au deuxième

axe factoriel, dans sa partie positive et des variables  $Mn^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$  et  $PO_4^{3-}$  au deuxième axe dans sa partie négative, le deuxième facteur a été interprété comme un indicateur du pouvoir d'oxydoréduction du milieu en liaison avec la profondeur de la nappe (milieu réducteur dans sa partie centrale 150 m de profondeur et oxydant dans ses extrémités amont et aval avec des valeurs élevées des nitrates ; 175 mg/l à l'amont et 90 et 98 mg/l à l'aval).

La concentration en  $\text{NO}_3^-$  à l'aval de l'aquifère suppose une contamination de l'eau [Kloppmann, 2003]. En effet, la présence des activités agricoles peut expliquer ces teneurs élevées en nitrates dans l'eau. Les points d'eaux restants ont présenté des concentrations en nitrates inférieures à 50 mg/l. Sous des conditions oxydantes, le manganèse est moins mobile que les autres ions [Jordana and Batista, 2004]. Sa présence uniquement dans la source Bensmih, à l'exception des autres sources, laisse supposer une alimentation de bas en haut et différente de celle des autres sources.

La moyenne des composantes sur le premier vecteur propre, par point de surveillance, indique que la minéralisation augmente de l'amont vers l'aval dans le sens des écoulements souterrains et que la partie centrale de la nappe est un milieu de mélange des eaux avec celles de la nappe des travertins.

La moyenne des composantes sur le deuxième vecteur propre, par point de surveillance, indique que la partie centrale de la nappe est un milieu réducteur et que ses bordures amont et aval sont des milieux oxydants.

## 5. Conclusion

La nappe alluvionnaire du bassin de Guelma est une dépression remplie de dépôts plio-quadernaires séparés par endroits par des lentilles argileuses et reposant sur un substratum marneux gypsifère d'âge Miocène. Elle est alimentée en partie par la nappe des travertins située à l'amont des écoulements.

A partir de l'analyse en composantes principales, on a pu déterminer une zonation du point de vue minéralisation : faible à l'amont de l'aquifère, proche de la moyenne dans sa partie centrale et élevée à l'aval. Pour la source de Bensmih, l'ACP a permis de mettre en évidence une zone d'alimentation qui diffère de celle des autres sources.

L'analyse des données analytiques observées sur sur le réseau de surveillance de la qualité des eaux souterraines de la nappe alluvionnaire a permis, d'identifier les trois principaux facteurs d'influence sur le chimisme des eaux ; la minéralisation, l'oxydoréduction et la pollution anthropique.

La teneur totale en sels minéraux des eaux de l'aquifère est due essentiellement à deux causes ; naturelle et anthropique. Les processus naturels sont dus aux conditions climatiques, l'évaporation, et la concentration par dissolution ; en ce qui concerne les processus anthropiques ; l'activité agricole.

En ce qui concerne le facteur de l'oxydoréduction ; la partie centrale de l'aquifère est considérée comme un milieu réducteur et ses deux extrémités amont et aval comme milieux oxydants. L'étude a également montré une pollution des eaux par les nitrates, surtout dans les deux bordures amont et aval de l'aquifère.

Dans le détail, la température des eaux souterraines de la nappe alluvionnaire est influencée par la température ambiante de la région qui agit à travers le couche de transition meuble et perméable. Le pH des eaux varie légèrement de neutre à alcalin. Cette alcalinité proviendrait de la dissolution des minéraux présents dans la nappe des travertins.

La charge minérale des eaux est le résultat final d'un ensemble de processus complexes qui s'effectue le long du parcours de l'eau depuis la zone d'alimentation en amont (travertins) jusqu'à l'aval (Benetts et al., 2005). Les réactions majeures reconnues comme responsables d'enrichissement ou d'appauvrissement des éléments sont l'échange  $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+}$  dû à l'interaction eau-roches carbonatées, l'échange de base  $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$  ou  $\text{Na}^+ - \text{Mg}^{2+}$  et la dissolution des sulfates et des chlorures.

Les eaux souterraines chlorurées sulfatées calciques et magnésiennes, sont caractérisées par une minéralisation qui croît dans le sens des écoulement par mise en solution des éléments minéraux contenus dans les différentes formations lithologiques. Les ions chlorures, sulfates, calcium et magnésium sont responsables des faciès chimiques. L'hydrochimie des eaux de la nappe alluvionnaire a permis de déterminer l'origine de la minéralisation et de confirmer sa communication avec la nappe des travertins.

## Références Bibliographiques

- Algérie Geophysique (Algéo.), 2004. Etude géophysique de la plaine de Guelma. Rapport interne. Agence nationale des ressources en eau, Constantine Algérie.
- Aller L., Bennet T., Lehr J.H., Petty R.J. et Hacket G., 1987. DRASTIC : A standardised system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings (EPA 600/2-87). Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, États-Unis, 455 p.
- Bakalowicz M., 2013. Henri Schœller, hydrogéologue pionnier du traçage naturel. Les eaux souterraines: hydrologie dynamique et chimique, recherche, exploitation et évolution des ressources. Dix-neuvièmes journées techniques du Comité Français d'Hydrogéologie de l'Association Internationale des Hydrogéologues. Bordeaux 30 Mai-2 Juin 2013. 27-31
- Benchaiba L et Gaagai A., 2012. Contribution à la modélisation de la relation des débits liquides et solides au niveau du barrage Hammam Dèbagh à l'Est Algérien. Société Lib. Edition Mersenne Vol. 4, n°120705. ISSN 2111-4706
- Bennetts D.A., Webb J.A., Stone D.J.M., Hill D.M., 2005. Understanding the Stalination process for groundwater in an area of southeastern Australia, using hydrochemical and isotopic evidence. J Hydrol, 304, 1-15.

- Bolduc S., Larocque M., Pichonnet G., 2006. Vulnérabilité de l'eau souterraine à la contamination par les nitrates sur le bassin versant de la rivière Noire (Montérégie, Québec). *Rev. Sci. Tech. Eau*, 19(2): 87-99.
- Boualla N., 2011. Contamination des eaux souterraines du bassin de la sebkha d'Oran par les nitrates. *SciencesLib*. Editions Mersenne ; volume 3, n° 110507 ISSN 2111-4706.
- CDC-EPA., 1999. Health effects from exposure to high levels of sulfate in drinking water study. EPA 815-R-99-001, January.
- Chaoui W., Bosnobra H. et Chaoui K., 2007. Etude de la vulnérabilité à la pollution des eaux superficielles et souterraines dans la région de Boucheggouf.
- Chapman D., Kimstach V., 1996. Selection of water quality variables. *Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring*, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London, pp. 59-126.
- Chénini I et Ben Mammou A., 2009. Hydrochimie et caractérisation qualitative des ressources en eau d'un système aquifère multicouche en zone aride : Application au bassin de Maknassy (Tunisie centrale) sécheresse, 20(2), 217-222.
- Deh S.K., Kouamé K.J., Saley M.B., Tanoh K.J.J., Anani E.K.A., SigNo K.H., Jourda J.P. et Biemi J., 2012. Evaluation de la vulnérabilité spécifique aux nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) des eaux souterraines du District d'Abidjan (sud de la cote d'ivoire). *Int. Journ. Biol. Chem. Sci.* 6(3) : 1390-1408. ISSN 1991-8631.
- Derwich E., Benaabidate L., Zian A., Sadki O., Belghity D., 2010. Caractérisation physico-chimique des eaux de la Nappe alluviale du haut Sebou en aval de sa Confluence avec oued fes. *Larhyss Journal*. n° 08, pp. 101-112.
- Djabri L., Hani A., Laouar R., Mudry J. et Louhi A., 2003. Potentiel pollution of groundwater in the valley of the Seybouse River, north-east Algeria. *Environmental geology*, 44: 733-744.
- Djabri L. et Hani A., 2005. La method DRASTIC, un moyen moderne pour l'étude de la vulnérabilité des nappes: application aux nappes superficielles Guelma-Boucheggouf-Annaba. *Sciences de la terre, eau et environnement*, N° 27.
- Durfor C.N., Becker E., 1964. Public water supplies of the 100 largest cities in the US. *US-Geological Survey Water Supply Paper*, 1812, 364.
- Fedrigoni L., Krimissa M., Zouari K., Maliki A., Zouppi GM., 2001. Origine de la minéralisation et comportement hydrogéochimique d'une nappe phréatique soumise à des contraintes naturelles et anthropiques sévères : exemple de la nappe de Djébiana (Tunisie). *C R Acad Sci Paris, (Science de la terre et des planètes)* ; 332 : 665-71.
- Glynn P.D. & Plummer L.N., 2005. Geochemistry and the understanding of groundwater systems. *Hydrogeology Journal*. 13, 263-287.
- Gourcy L., Hérivaux C., Buscarlet E., Surdyk N., Thiery D., 2011. Modélisation du transfert des nitrates couplée avec une analyse socio-économique afin de donner les outils pour la gestion des eaux souterraines. Application de la nappe alluviale de la plaine de l'Ain. Manuscrit auteur publié dans « Groundwater conference 2011-Gestion des ressources en eau souterraine, Orléans, France 2011 ».
- Hamza M.H., 2008. Evolution de la vulnérabilité à la pollution de la nappe cotière alluvionnaire de Meltine Ras Jebel Raf-Raf (nord-est tunisien), selon les méthodes paramétriques DRASTIC, SINTACS et SI. *Revue des sciences de l'eau*, vol. 21, n° 1, p. 75-86.
- Hani A., 2003. Analyse méthodologique de la structure et des processus anthropiques: application aux ressources en eau d'un bassin côtier méditerranéen. Thèse de doctorat, univ. BADJI Mokhtar, Annaba, 210 p.
- Hotelling (1933). Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *J.Educ.Psy.*24, p 417-441, p 498-520.
- Husson F., Josse J. et Pagès J., 2010. Principal component methods-hierarchical clustering-Partitional clustering : Why would we need to choose for visualizing data ? *Technical report-Agrocampus*, p. 17.
- Jain P., Sharma J.D., Sohu D., Sharma P., 2005. Chemical analysis of drinking water of villages of Sanganer Tehsil, Jaipur District. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, Vol. 2, N°4373-379.
- Jordana S., Batista E., 2004. Natural groundwater quality and health. *Geologica Acta*, Vol.2, N°2, 175-188.
- Kloppmann W., 2003. Etude isotopique de la pollution azotée de la nappe d'Alsace entre Sierentz et Ottmarsheim. Rapport inédit BRGM, BRGM/RP-52331-FR, 69 p.18 fig.
- Kloppmann W., Bourhane A., Asfirane F., 2011. Méthodologie de diagnostic de l'origine de la salinité des masses d'eau. Emploi des outils géochimique, isotopiques et géophysiques. Rapport inédit BRGM, BRGM/RP-60026-FR 129 p.
- Laaraba A et Hadj Zobir S., 2009. Pollution organique des eaux de l'Oued Seybouse (plaine alluviale de Guelma, Nord-Est Algérien). *Bulletin des Sciences Géographiques* n°23.
- Lahondere J.C., 1987. Les séries ultra telliennes d'Algérie nord orientale et les formations environnantes dans leur cadre structural. Th. Doct. Es sciences. Université Paul Sabatier, Toulouse. 1- 242.
- Magesan, G.N., Vogeler, I., Clothier, B.E., Green, S.R. et Lee, R., 2003. «Solute movement through an allophanic soil». *Journal of Environmental Quality*, 32(6): 2325-2333.

- Mor S., Ravindra K., Dahiya R.P., Chandra A., 2006. Leachate characterization and assessment of groundwater pollution near municipal solid waste landfill site. *Environ Monit Assess*, N°118, 435-456.
- Nagabhsushan P., Kumar P., 2007. Principal Component Analysis of histogram Data. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. EdsISNN Part II LNCS 4492, 1012-1021.
- Office Of Drinking Water (O.D.W), 1987. Estimated national occurrence and exposure to nitrate and nitrite in public drinking water supplies. US Environmental Protection Agency.
- Ouali S., Khellaf A. & Beddari K., 2007. Etude des ressources géothermiques du Sud algérien. *Revue des ressources renouvelables*. vol 10 n° 3, 407-417.
- Panagopoulos G.P., Antonakos A.K., Lombrakis N.J., 2006. Optimization of the DRASTIC method for groundwater vulnerability assessment via the use of simple statistical methods and GIS. *Hydrgeol. J.*, 14: 894-911.
- Prasad B.G., Narayana T.S., 2004. Subsurface water quality of different sampling stations with some selected parameters at Machilipatnam Town. *Nat. Env. Poll. Tech.* 3 (1), 47-50.
- Raoult J.F., 1975. Chevauchement d'âge éocène dans la dorsale du Djebel Bou Aded (Est de la chaîne numidique, Algérie). *C.R.Acad.sc.*, (D), t. 266, p. 861-864, Paris.
- Rodier J., 2009. L'analyse de l'eau ; eaux naturelles, eaux résiduelles, eaux de mer. Chimie, physico chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. 8<sup>ème</sup> édition Dunod, Paris. 1383 pages.
- Schoeller H. 1962. Les eaux souterraines. Hydrologie dynamique et chimique. Recherche, exploitation et évaluation des ressources. Masson, Paris, 642 p.
- Schoeller M. 1963. Recherches sur l'acquisition de la composition chimique des eaux souterraines. E.Drouillard éd., Bordeaux, 231 p.
- Simler R. 2013. Logiciel Diagrammes. Téléchargeable sur : <http://www.lha.univ-avignon.fr/LHA-Logiciels.htm>
- Sogréah (Société française d'ingénierie), 2005. Etude d'actualisation et de finalisation du plan national de l'eau. Région hydrographique Centre et Est- Rapport de mission 2, volet 6 : hydrogéologie. Vol. 2, 164 -168.
- Thais P. A., 2004. Etude du transfert d'eau et de solutés dans un sol à nappe superficielle drainée artificiellement. Thèse Doct. ENGREF, Paris, 210 p.
- Vila J.M., Busnardo R., Devries A., Magne J., Sigal J., 1968. Données stratigraphiques sur la série renversée et charriée du Djebel Bousbaa et étude de son cadre structural (région de Guelma, constantinois, Algérie). B.S.G. Paris France, (7), X, 206-212.
- Vila J.M., 1980. La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Th. Doct. Es sciences naturelles, Paris 3 tomes, 665 pages, 199 figures, 40 planches.

## Application of two statistical methods for rainfall network development in northeast of Algeria

<sup>1</sup>M. TOURKI and <sup>2</sup>K. KHANCHOUL

<sup>1</sup> Laboratoire Sols et Développement Durable, Institut des Sciences et Technologies, Centre Universitaire de Mila, B.P. 26, 43000 Mila, Algérie. Email: tourki\_mahmoud@yahoo.fr

<sup>2</sup> Laboratoire Sols et Développement Durable, Département de Géologie, Université Badji Mokhtar-Annaba, B.P.12, 23000 Annaba, Algeria. Email: kam.khanchoul@gmail.com

**ملخص :** يمثل المطر عاملا أساسيا في مفهوم المناخ، حيث أن الدراسات و البحوث التي أنشأت في ميدان تتبع هطول الامطار تواجه دائما عراقيل كثيرة وصعوبات بسبب عدم وجود قياسات و بيانات متصلة و كذلك نقص في كثافة شبكة الرصد المتخصصة في ترقب الأمطار المتهاطلة.

و نظرا لهذه المشكلة، تقدم هذه الدراسة منهجيات مستعملة لوضع شبكة دقيقة لرصد التهاطلات السنوية المتوسطة. يتعلق الأمر بالتنبؤ بالتهاطلات باستعمال الانحدار الخطي المتعدد و شبكات نورون الاصطناعية و هذا اعتبارا من 40 محطة رصد موزعة في الشمال الشرقي للجزائر.

تم استعمال الأساليب الإحصائية، لنمذجة العلاقة بين المتغير التابع (الأمطار السنوية المتوسطة المقاسة) و المتغير المستقل (ارتفاع المحطة، مسافة المحطة بالنسبة للبحر، الإحداثيات الجغرافية للمحطة).

تبين النتائج التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة، أن نموذج شبكات نورون الاصطناعية (MCP) قادر على منح تنبؤات جيدة فيما يخص كميات الأمطار السنوية المتوسطة مقارنة مع نموذج الانحدار الخطي المتعدد. في هذه الحالة، التقدير المقدم من طرف شبكات نورون الاصطناعية هو أقرب إلى القيم الفعلية من التهاطلات المرتبطة بطريقة الانحدار الخطي المتعدد المتغيرات مع خطأ متوسط و ضعيف بنسبة 0.12 و كذلك عامل الكفاءة و عامل ارتباط مرتفع بنسبة 0.90 و 0.95 على التوالي.

**الكلمات الأساسية :** المتغيرات الفيزيائية، التنبؤ، تساقط الأمطار، النمذجة، الانحدار الغير خطي، شبكة نورون الاصطناعية.

**Résumé :** La pluie est un paramètre important du climat et les études sur les précipitations sont généralement entravées en raison du manque de données continues ou de la faible densité du réseau pluviométrique, en particulier dans les pays en développement. Compte tenu de ce problème, l'étude présente des méthodologies utilisées pour l'optimisation d'un réseau d'observation des précipitations moyennes annuelles. Il s'agit de la prédiction des précipitations en utilisant la régression linéaire multiple et les réseaux de neurones artificiels, à partir de 40 stations pluviométriques réparties dans le nord-est de l'Algérie. Les deux méthodes statistiques sont utilisées pour modéliser les relations entre une

variable dépendante (données pluviométriques) et les variables explicatives (altitude, distance de la mer, les coordonnées latitude et longitude). Les résultats obtenus dans cette étude indiquent que le modèle du réseau de neurone Multi-Couches Perceptron (MCP) est capable de fournir une meilleure représentation des estimations des précipitations en comparaison avec le modèle de régression linéaire multiple. Dans ce cas, l'estimation présentée par les réseaux de neurones artificiels est plus proche des valeurs réelles que les précipitations liées à la régression multivariée avec une erreur quadratique moyenne faible de 0,12 et un facteur d'efficacité et un coefficient de corrélation élevés de 0,90 et 0,95 respectivement.

**Mots clés :** variables physiques, prévision, précipitation, modélisation, régression non linéaire multiple, réseau de neurone artificiel.

**Abstract :** Rainfall is an important climatic parameter and the studies on rainfall are commonly hampered due to lack of continuous data or low density of rainfall network, especially in the developing countries. In view of this problem, this study presents the methodologies used for the optimization of a rainfall observation network by predicting annual averaged rainfall. This is the prediction of rainfall using multiple nonlinear regression and artificial neural networks from 40 rainfall stations in the north-eastern Algeria. The two statistical methods are used to model relationships between a dependent variable (rainfall data) and explanatory variables (altitude, distance from the sea, latitude and longitude coordinates). The results obtained in this study indicate that Multi-Layer Perceptron Neural Network (MLP) model is able to provide more or less a better representation of rainfall prediction in comparison with the multiple nonlinear regression model. In this case, forecasting result exhibited by the proposed artificial neural network networks is the closest to actual rainfall values among the multivariate regression taken the low root mean square error of 0.129 and high efficiency factor and coefficient of correlation of respectively 0.88 and 0.94.

**Keywords :** physical variables, prediction, rainfall, modeling, multiple nonlinear regression, artificial neural network.

## 1. Introduction

Precipitation plays a significant role in agriculture and it is a major area in climatic studies (Ayoade, 1983). The availability of precipitation data is vital for hydrologic analysis such as design of water resources systems. In fact, studying about precipitation can lead to the identification of its characteristics, the analysis of temporal and spatial variability, and resolving the problems such as floods, droughts, mass wastings, etc.

Often Algerian hydrologists encounter the problem of missing data where the consistency and continuity of rainfall data are very important in statistical analyses such as time series analysis. Both consistency and continuity may be disturbed due to change in observational procedure and incomplete records (missing observations) which may vary in length from one or two days to several months or years (De Silva, 2007). Nevertheless, filling of the gaps provided by inconsistent rainfall data is crucial, and different methods and approaches are available to accomplish task.

It is also true that more rainfall gauges are needed when dealing with rainfall characteristics, soil erosion, and hydrological models. The input of the later models is given by rain gauge measurements so that the accuracy of the output depends essentially on the rain gauge network density configuration (Maheepala et al., 2001). In situ monitoring of rainfall is accurate and reliable, but is usually limited in its usefulness at the regional and global scale because of the high temporal and spatial variability of rainfall. The areal rainfall estimated by rain gauges exhibits a great deal of uncertainty where the rain gauge network is sparse (Collischonn et al., 2008). The development of methods to interpolate climatic data from sparse networks of stations has been a focus of research for much of this century (Thiessen, 1911; Shepard, 1968; Hughes, 1982; Hutchinson and Bischof, 1983; Phillips et al., 1992; Daly, 1994).

In the northeast of Algeria, the existing rainfall gauges in the drainage basins are not adequate to characterize the spatial variation of rainfall, especially in the upper and central parts of the basins. Consequently, studying precipitation is important, not only because it can help up better understanding the precipitation pattern such as its distribution within a watershed, but also it can be applied in forecasting and flood frequency estimation.

However, a mathematical model is not so easy to build because the precipitation is related to enormous factors, which lead to the difficulty to use a specific model to describe the precipitation.

More recently, empirical models such as artificial neural networks (ANNs) are becoming increasingly popular. Their application has gained enormous

interest in the hydrology and water resources research for application to a number of hydrological prediction problems (Govindaraju and Rao, 2000).

The main objective of the current study is to identify a better method for the estimation of rainfall observations in ungauged stations by increasing rain gauge network. The specific objectives of the research are to develop and introduce empirical models for missing data estimation at a regional scale, compare and evaluate the estimates obtained from each used method, and to study the suitability of the important factors such as topography, distances from the sea, aerial coverage of each gauge, etc., which can prove to have significant influences on rainfall estimates.

## 2. Study area

Eastern Algeria is divided into hydrological units called drainage basins (Figure 1). The later are largely nuanced due to their large geographical area, and given the loose of hydroclimatological network, need to rely on data from a higher number of observation stations.

The eastern Algeria is the wettest region of the country and has, therefore, the largest share of water surface. With a mean annual runoff that can exceed 200-300 mm on the Tellian basins, which are opposed to the Western basins, where the dominant semi-arid regions allow lower flow in majority less than 50 mm per year (Mebarki, 2005). The northeastern selected basins have an exoreic flow type (Coastal basins of Constantine, Rhumel-Kebir, Seybouse, and Medjerda). Thus, the mountainous character of the Tell and abundant rainfall provide to the streams an outlet to the Mediterranean Sea. Moreover, the dominant influence of the climatic factor, especially rainfall, rhythms the availability of surface water resources, their scarcity and their recurrent oversupply.

The eastern Algeria is distinguished by a variety of the physical-geographical context, where from south to north and over 250 km as the crow flies, we move from a barren terrain, highly flat and sub-arid to arid climate (e.g. Cherf and Mellegue drainage basins) to humid mountains with beautiful forests of cork oak and by overlooking on several hundred meters, the Mediterranean Sea. The organization of the eastern orographic part of Algeria is affected by a high latitudinal gradient that concerns both topographic elevations and bioclimatic zones (Côte, 1996). This set is geologically completed by a variety of structural units.

Areas of high rainfall (above 900 mm) are located in the northern mountainous along the coast in the northeast. Rainfalls of 600 to 800 mm sweep the rest of the Tellian Atlas, with areas that can get much rainfall in El Kala. In the High Plains, rainfall decreases towards the southern part (350 mm) with relatively less than 300 mm.

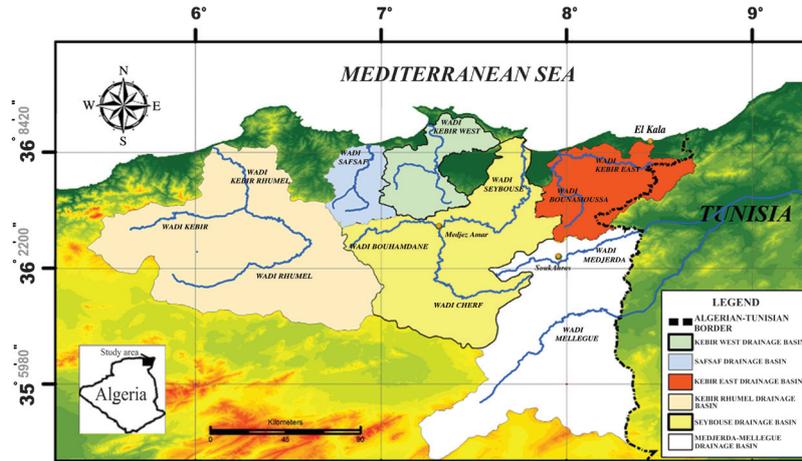


Fig. 1 Location map of the study area

The Seybouse basin (6450 km<sup>2</sup>) covers a distance of 160 km, with an orientation significantly Southwest Northeast. The union of Wadi Cherf that starts in the High Plains, and Wadi Bouhamdane forms the Wadi Seybouse at Medjez Amar village. Wadi Rhumel that belongs to the Rhumel Kebir basin (8811 km<sup>2</sup>) starts from an elevation of 1160 m in the southern edge of the Tell. The basin is drained mainly by two main rivers, namely Wadi Rhumel and Wadi Kebir (Figure 1). The Coastal Basins of Constantine are composed mainly of Bounamoussa and Kebir East drainage basins with an area of 3203 km<sup>2</sup>, and the Kebir West, Safsaf (5524 km<sup>2</sup>). The drainage basins of Medjerda at Souk Ahras gauge station (217 km<sup>2</sup>) and Mellegue (4575 km<sup>2</sup>) belong to the great Medjerda basin whose network system starts in Algeria and continues its way in Tunisia to the Mediterranean Sea.

The nature and distribution of the vegetation are generally controlled by the physical and climatic aspect. The major divisions of forest species are determined by climate, especially by the amount of annual rainfall, which in turn depends on relief and soil conditions. Despite its small extension in terms of discontinuity surfaces, the forest canopy extends from the

Mediterranean mountainous forests to the sparse forests (Oak) relayed by a dominance of cultures and rangeland of the High Plains (Cherf and Mellegue basins).

### 3. Materials and methods

#### 3.1 Density of Rain Gauges

For the majority of the catchments, network density of point-measuring rain-gauges is a fundamental tool that provides, with more accuracy, an estimate of rainfall at a point and predicts weather conditions, floods, and droughts. The areal rainfall estimated by the 40 selected rain gauges exhibits a great deal of uncertainty where the rain gauge network is sparse (Figure 2). Based on this limited number of stations, it is difficult to determine how much rain actually falls across the whole north-eastern part of Algeria. Any prediction of rainfall is limited by the difficulties of measuring precipitation in high land areas where the frequency of occurrence of thunderstorms is higher. For these selected stations a regionalization approach developed by statistical analysis is used to estimate point rainfall.

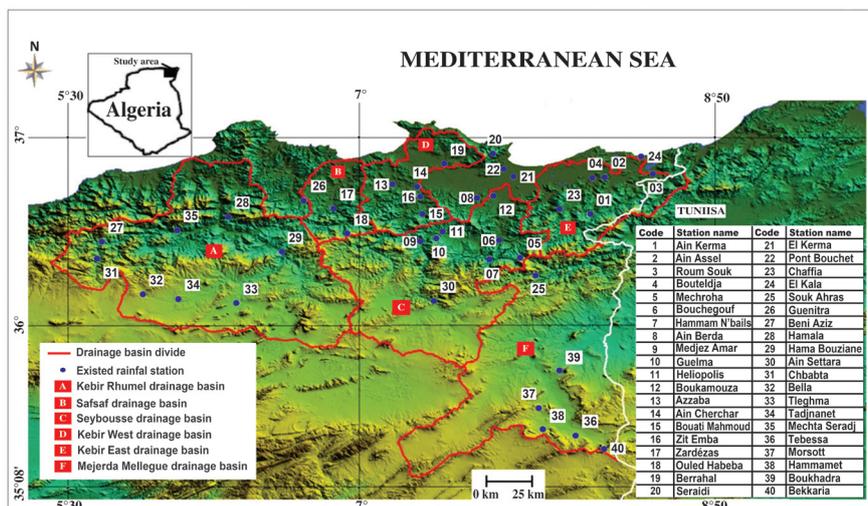


Fig. 2 Location map of the rainfall gauge stations

3.2 Input data

Annual climate data for the study north-eastern regions of the country are extracted from the National Agency of Hydraulic Resources and National Office of Meteorology. For all the existed rainfall stations, the annual rainfall means are available for a period varying from 28 to 37 complete years, from 1970 to 2010; most of them vary between 28 and 34 years. Most of the stations are found on plains and over coasts, the number of the stations decreases toward the south and over mountainous regions (over 600m).

The prime and available factors dependent upon rainfall are distance from the sea, elevation of the station, and station coordinates such as latitude and longitude (Table 1). A consideration is taken for the former variable because an air stream moving inland becomes progressively drier as moisture is lost in the form of rain and consequently there is a diminution in rainfall unless this is off-set by an increase in elevation. Moreover, this factor is largely associated with the prevailing rain-bearing winds where the directions and trajectories of winds have an important effect on their rain-bearing properties.

Table 1. Data of the topographic parameters at the study rainfall stations

Station codes	Rainfall stations	Rainfall (mm)	Elevation (m)	Distance from the sea (km)	Longitude (UTM in m)	Latitude (UTM in m)
1	Ain Kerma	676.45	235	34	427738	4049894
2	Ain Assel	813.90	35	14	434378	4071936
3	Roum Souk	706.61	150	11	456663	4073346
4	Bouteldja	743.36	20	15	428981	4071269
5	Mechroha	1082.36	748	54	395160	4024340
6	Bouchegouf	545.66	120	45	385320	4034731
7	Hammam N'bails	694.60	478	57	380781	4023484
8	Ain Berda	631.45	85	26	375660	4060140
9	Medjez Amar	600.28	250	54	348794	4034501
10	Guelma	523.81	301	55	356629	4036542
11	Heliopolis	598.57	280	51	359637	4040544
12	Boukamouza	652.45	40	20	383000	4061440
13	Azzaba	626.08	93	18	336620	4068603
14	Ain Cherchar	768.81	34	24	348586	4066927
15	Bouati Mahmoud	669.01	156	39	350375	4051230
16	Zit Emba	544.18	50	26	348630	4064717
17	Zardézas	637.83	180	30	309445	4054897
18	Ouled Habeba	816.00	886	44	315438	4039853
19	Berrahal	676.24	33	18	360820	4080541
20	Seraidi	801.70	840	4	383123	4085980
21	El Kerma	575.10	14	6	388190	4074940
22	Pont Bouchet	629.07	6	5	387890	4077020
23	Chaffia	826.00	170	28.15	413534	4052897
24	El Kala	862.30	13	13.00	450973	4083547
25	Souk Ahras	556.36	580	63.43	401968	4014264
26	Guenitra	660.29	169	31.87	295956	4060010
27	Beni Aziz	663.80	770	40.16	201939	4038562
28	Hamala	809.21	660	55.67	260746	4051356
29	Hama Bouziane	518.47	460	65.26	284692	4029854
30	Ain Settara	289.06	741	89.00	354601	3999410
31	Chbabta	382.38	710	49.20	199480	4028618
32	Bella	360.24	990	73.04	219872	4006677
33	Tleghma	335.79	750	107.04	263439	4000056
34	Tadjnanet	336.14	845	81.67	236401	4003391
35	Mechta Seradj	460.29	350	40.88	237110	4044041
36	Tebessa	313.79	850	164.90	419820	3918624
37	Morsott	266.70	740	143.00	402902	3935553
38	Hammamet	325.26	880	155.00	404580	3922963
39	Boukhadra	299.00	885	125.31	412684	3957421
40	Bekkaria	216.04	950	172.56	432680	3911339

Broadly speaking there is a tendency for rainfall to increase with increasing elevation but the relationship is so broad that little pattern is discernable and a wide range of rainfall occurs at the same elevation (Hounam, 1958). Hence it is generally necessary to include elevation of the rain station as an explanatory variable in the interpolation

method. The relationship between rainfall and distance to the sea is also evident as mentioned in some studies mainly during the rainy monthly periods (Hounam, 1958; Hayward and Clarke, 1996; Kieffer Weisse and Bois, 2000). This distance from each rain station to the sea was measured using Google Earth ruler in kilometers.

The global climatology of the vertical gradient of rainfall rate can characterize precipitation-system structure more concretely. According to Hirose and Nakamura (2004) the vertical gradient of rainfall rate at low levels in the coastal upwelling region obstruct the large moist inflow and generate copious orographic downward increase of rain. In general, the vertical gradient for individual systems decreased as rain area increased or as storms developed vertically. Zahar and Laborde (2007) have stated in their study that it exists an elevation gradient that varies only with distance to the sea.

Concerning the rain station coordinates, the longitudes and latitudes in degrees have been converted to Universal Transverse Mercator (UTM) in meters to be used in the statistical analysis and represented in maps using GIS program.

Nevertheless, other approaches have been adopted in different studies; a background of this literature can be cited here. For predicting rainfall, correlation and regression was carried out by Omogbai (2010) to study the rainfall pattern of Northern Nigeria and its relationship with sea surface temperature. The data set (available in the form of monthly and seasonal rainfall totals) of Systat comprising of rainfall data and sea surface temperature were used for this work. In another study Kumar and al. (2007) have used relation between regional rainfall over Orissa and the large scale climate indices like El-Niño Southern Oscillation (ENSO), Equatorial Indian Ocean Oscillation (EQUINOO) and a local climate index of Ocean-Land Temperature as predictor variables to predict the monthly as well as seasonal rainfall using artificial neural networks (ANNs) methodology.

Since global climatic factors like, distance from sea, latitude the Himalayan Mountain, distribution of land and water, surface pressure and wind, upper air circulation and western cyclones are affecting Indian sub-divisional rainfall. The researchers have correlated these independent parameters to predict rainfall (Mahajan and Mazumdar, 2013). Moreover, the Outgoing long wave radiation, global temperature and sunspot numbers have been used as firm predictors of rainfall in other techniques like artificial neural network and Multiple linear regression for Tamil Nadu rainfall prediction. Similarly, An ArcView GIS-based spatial interpolation module has been presented in the island of Crete. The response variable is "Precipitation" and the predictor variables are elevation, longitude, and latitude. The developed module using multiple linear regression to predict precipitation at ungauged locations has performed satisfactorily.

### 3.3 Statistical techniques

#### 3.3.1 Multiple regression

The multiple regression is to learn more about the relationship between several explanatory or predictor variables

and a dependent or criterion variable. In multivariate linear regression, the model specification is defined as a statistic method that is used to model a linear relationship between a dependent variable and one or more explanatory variables (Aksornsingchai and Srinilta, 2011). The Multivariate regression model can be expressed as a linear function shown in equation (1).

$$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n, \dots \quad (1)$$

Where  $y$  is the value of a dependent,  $x_i$  is the value of the  $i$ th explanatory variable, and  $\beta_i$  is an adjustable error coefficient of the  $i$ th explanatory variable. Nonlinear regression aims to describe the relationship between a response variable and one or more explanatory variables in a non-linear fashion. When the model function is not linear in the parameters, the sum of squares must be minimized by an iterative procedure.

The regression analysis to derive rainfall equations using key precipitation production parameter is adopted by introducing correlation matrix and multiple regression analyses. The performance is followed using a combination of the four explanatory variables. Throughout this study, the following symbols are used:  $P$  = mean annual rainfall,  $H$  = elevation,  $D$  = distance from the sea,  $Lat$  = latitude,  $Long$  = longitude. It is strongly advised to view early a scatterplot of data to determine which model to use for each dependent variable and its corresponding explanatory variable. If the variables appear to be related linearly, a linear regression model can be used but in the case that the variables are not linearly related, data transformation might help and/or a mathematical function (eg. nonlinear function) that fits the data to that type of model can be adopted.

The result of the multiple regression analysis is tested for significance within a 95% confidence interval using the ANOVA (Analysis of Variance). This technique is used whenever an alternative procedure is needed for testing hypotheses concerning means when there are several samples. Estimates of the amount of variation are obtained separately and compared using an F-test and conclusions are drawn using the value of F. To test the significance of the observed F, we must state the rejection of the hypothesis of independence when  $F > F^*$  (critical value taken from the table of the F distribution). In this case,  $F^*$  is equal to 2.64 at degrees of freedom of  $u_1 = c-1, u_2 = N-c$  and a significance level of 5%, knowing that  $c$  and  $N$  are respectively the number of used variables and data.

It is possible that the observed correlation between two variables ( $X$  and  $Y$ ) may be in part because of a third or more variables that are related to both of these variables. When this or these confounding variables are also observed, we may be interested in estimating the correlation between  $X$  and  $Y$  after eliminating the effect of their correlation with the control variables. Thus, the principle of this method is

to measure the correlation between a dependent variable and one explanatory variable when all other variables involved are kept constant ; that is, when the effects of other variables are removed. Indeed, using statistical techniques for the partial correlation of order three, the Tanagra software, working under Excel, initially calculates the correlations of all the variables 2 by 2 from data. Then it updates closer and closer this correlation matrix by introducing the first control variable  $z_1$ , then the second  $z_2$ , and the third  $z_3$ , until it gets the desired third order partial correlation and t-statistic for the significance testing. In this study, the critical t value is taken from the t-Student table (t critical = 2.03) by considering the significance level of 0.05 (alpha) and degrees of freedom of  $n - k - 2 = 40 - 3 - 2 = 35$ .

**3.3.2 Artificial neural networks**

In addition to the multiple regression analysis application, an artificial neural network (ANN) training algorithm, Multi-Layer Perceptron (MLP), is used in the present study. The basic Multi-Layer Perceptron (MLP) model employed in this study possesses a three layer learning network consisting of three distinctive layers, the input layer, where the data are introduced to the ANN, the hidden layer, where data are processed, and the output layer, where the results of ANN are produced (Figure 3).

The MLP is a layered feed-forward network, which means that the units each performed a biased weighted sum of their inputs and pass this activation level through a transfer function to produce their output, and the units are arranged in a layered feed-forward topology (Figure 3). Then, the network's weights and thresholds must be set so as to minimize the prediction error made by the network. This is the role of the training algorithms and the best-known example of a neural network training algorithm is back propagation.

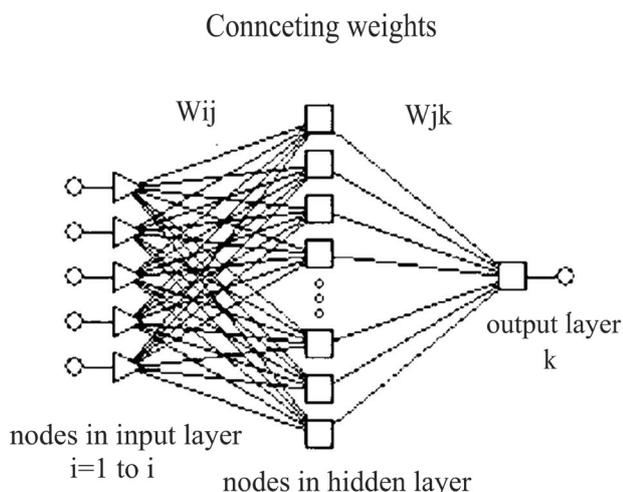


Fig. 3 An exemplary three-layer feedward ANN structure

Back propagation involves two phases: a feed forward phase in which the external input information is propagated forward to a hidden layer node usually through a sigmoid activation function, and a backward phase in which modifications to the connection strengths are made based on the differences between the computed and observed information signals at the output units. The difference or error of the later information signals is minimised by adjusting the weights and biases through some training algorithm, where the error (E) calculated at the output is propagated back to hidden layer and finally to input layer by updating the weights of interconnection. The error (E) is defined as:

$$E = \frac{1}{2} \sum_k [d(k) - O(k)]^2 \quad (2)$$

where  $d(k)$  is the observed output at the  $k$ th node of the output layer and  $O(k)$  is the estimated output at the  $k^{th}$  node of the output layer. The same response procedure is repeated for each hidden node (Kuo et al., 2007). The number of nodes in a hidden layer provides the best training results is the initial process of the training procedure.

The input combinations that are tested to estimate annual rainfall values are covering the topographical factors and the target layer are consisting of the unique mean annual rainfall data. Using neural network program, the data sets of 40 patterns are divided into three sets for the purpose of training (60%, 70%, 80%), verification (20%, 15%, and 10%), and testing (20%, 15%, and 10%) to reach the best generalization. The training data set is used to train the neural network by minimizing the error of this data set during the training at different iterations. The cross verification data are used to find the network performance by monitoring the training and guard against overtraining. Then, the test set is used for checking the overall performance of the trained network.

The networks that have been created are inserted into the network set in performance order, so that the last one inserted is the best discovered. The ANNs program has generated these results and statistics to indicate the performance of the best network obtained. During the training process, we have created a large number of networks, and we have retained more than just the best of these.

**3.3.3 Performance evaluation criteria**

Besides the statistical parameters that are automatically performed using STATISTICA such as coefficient of correlation and Mean Squared Error (MSE) to estimate the accuracy of the proposed methodology, a variety of verification criteria, which could be used for the evaluation and inter-comparison of different models, are proposed by World Meteorological Organisation (WMO) (1975). A suitable one for the present study is chosen,

Root-Mean-Squared Error (RMSE). This can be defined as:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - \hat{P}_i)^2}{N}} \quad (3)$$

where  $\hat{P}_i$  is observed annual rainfall value; is calculated annual rainfall value; and N is number of elements. RMSE gives a quantitative indication for the model error; it measures deviation of the forecasted and/or simulated value from the actual observed value. The ideal value for RMSE is 0.

Also, a percentage forecast error named percentage root mean squared error (PRMSE) in ANN models with three different proportions of ratio is illustrated as follows:

$$PRMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(P_i - \hat{P}_i)^2}{P_i^2}} \times 100 \quad (4)$$

Other possible mathematical associations are tried with the independent variables. The model efficiency factor EF of observed and predicted values are estimated for different predictions on validation datasets. The best model is selected based on the EF value approaching one. The Nash-Sutcliffe efficiency factor is estimated for all the validation sets using the equation:

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \hat{P}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \quad (5)$$

where  $\bar{P}$  is the mean of observed values.

#### 4. Results and discussion

Preliminary univariate analyses of the relationship between annual rainfall, altitude and distance from the sea with the 40 rainfall gauges have shown that the relationship between rainfall and elevation is negatively moderate ( $r = -0.475$ ) and it increases to  $-0.739$  with rainfall and distance (Table 2a). After screening the data graphically (e.g. by a scatterplot) in order to determine how the explanatory and dependent variables are related (linearly, exponentially, etc.), we have discovered that the data resemble an exponential function between the dependent variable and each of the explanatory ones.

Applying multiple nonlinear regression for the rainfall data set using XLSTAT software and choosing the best function among the preprogrammed functions, the results show an evident relationship between the rainfall and the topographical parameters ( $r = 0.84$ ). The regression parameters related to this relation are represented by the following equation:

$$P = 719974 + 0.55 * H + 4.86 * D + 1.75E-03 * Lat - 0.36 * Long - 3.11E-04 * H^2 - 5.09E-02 * D^2 - 8.18E-10 * Lat^2 + 4.5E-08 * Long^2 \quad (6)$$

By making logarithmic transformation of the five used variables, the correlation matrix (table 2b) has shown a slight increase of the association between altitude, distance to the sea, and longitude. The purpose of the logarithmic transformation is to remove that systematic change in spread, achieving approximate «homoscedasticity». Thus, one reason researchers (although not the only reason) utilize data transformations is improving the normality of variables.

The aforementioned procedure of nonlinear multiple regression for the logarithmic transformed data was used throughout the study variables, and the investigation has revealed that the relationship is quite significant, with a coefficient of correlation equals to 0.92. When another nonlinear multivariate regression is used by taking 70% of the data for training and 30% for the model validation, the coefficient of correlation becomes equal to 0.94. The equation related to this analysis can be written as follows:

$$P = 88051.39 - 0.47 * H + 1.75 * D + 28.53 * Lat - 11612.53 * Long + 6.50E-02 * H^2 - 0.31 * D^2 - 1.09 * Lat^2 + 382.09 * Long^2 \quad (7)$$

The analyses have shown that relationship between annual rainfall and altitude is quite different for the two regional climatic groups of gauges (humid-subhumid and semi-arid regions). In drier twelve gauges, located in south-western and south-eastern semi arid climates, there is evidence, but not consistently, that rainfall is negatively related to altitude whilst in the eastern wetter regions, annual rainfall generally has increased positively with altitude. Hence, in the semi-arid regions, higher elevations do not always receive more rainfall; some locations with low elevation receive more rainfall where the rainfall is chiefly due to a shelter effect of the elevation influence and continentality. The relationship reflects low precipitations at higher elevations, particularly on the leeward plateaus, depending on exposure of the station to the prevailing wind, orientation and slope of the hills and mountains. For instance, the positive correlation is not such good fit in the humid and subhumid areas because much of the variance remained unexplained in those areas.

The interaction between rainfall and distance from the sea for the study gauges is less evident with the logarithm of both values (Table 2b). This relationship becomes less marked and more spatially variable in humid-subhumid regions. Decreases in rainfall with distance are greatest in the drier areas, and therefore are dissimilar in magnitude in the two groups of gauges.

Table 2. Correlation matrix related to rainfall, altitude, distance, and geographic coordinates

a- Result of non transformed data

Parameters	<i>P</i>	<i>H</i>	<i>D</i>	<i>Lat</i>	<i>Long</i>
<i>P</i>	1				
<i>H</i>	-0,475	1			
<i>D</i>	-0,739	0,730	1		
<i>Lat</i>	0,208	-0,315	0,024	1	
<i>Long</i>	0,737	-0,734	-0,988	-0,051	1

b- Result of natural logarithm transformed data

Parameters	<i>P</i>	<i>H</i>	<i>D</i>	<i>Lat</i>	<i>Long</i>
<i>P</i>	1				
<i>H</i>	-0,480	1			
<i>D</i>	-0,682	0,746	1		
<i>Lat</i>	0,163	-0,376	-0,210	1	
<i>Long</i>	0,820	-0,662	-0,860	-0,036	1

From the results, it may be noted that the value of Root-Mean-Squared Error (RMSE = 0.176) and PRMSE (2.40%) are considered not too high compared to the values of the non transformed data with PRMSE and EF equal respectively to 18.63 and 0.73. In fact, the former multivariate model according to its EF value of 0.88 has provided a more satisfactory performance in estimating rainfall (Table 3).

The scatter plots of observed (measured) rainfalls and predicted rainfalls of all the gauges are given in Figure 4. As it can be seen from the figure, the observed rainfalls are not very close to the simulated ones; more residuals are observed outside the 95% confidence band. So it proved that the multiple regression model has not increased in accuracy, which suggests that its contribution could be important at a drainage basin level, but the impact of the physical parameters is insignificant at a regional level, due to regional fluctuations in average rainfall.

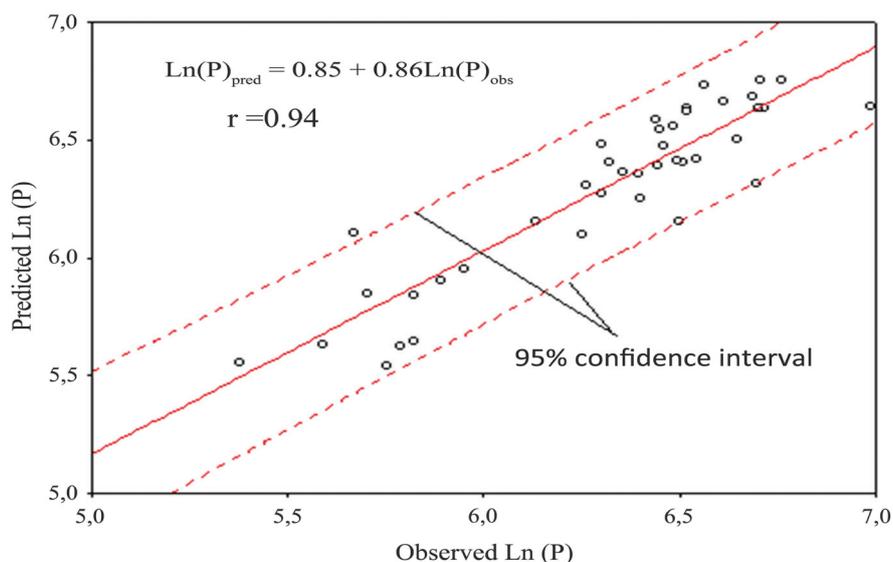


Fig. 4 Predicted against observed rainfalls using multiple nonlinear regression

Therefore, it is not feasible to use the model to predict rainfall under such conditions. Nevertheless, we can conclude from the used ANOVA (analysis of variance) that  $F_{4,35}$ , having the value of 29.16, is too high to have been merely the result of sampling error (Table 3). The sample is significant evidence for detecting a relationship between the five variables.

**Table 3.** Statistical parameters in multiple nonlinear regression model

Parameters	Values
RMSE	0.176
PRMSE (%)	2.40
Coefficient of correlation ( r )	0.94
EF	0.88
ANOVA	
df <sub>1</sub> = C-1	4
df <sub>2</sub> = N-C	35
Fcalculated	29.16
Fcritical at α = 5%	2.64

df<sub>1</sub> and df<sub>2</sub> : degrees of freedom ; Fcritical at α= 5%: value taken from F-distribution table at significance level (α) of 5%.

In this study we have used multiple regression to predict a single precipitation variable from four explanatory variables. However, we may suspect the relationship between two variables to be influenced by other variables, and to provide explanation to this correlational relationship we have used partial correlation. By considering the univariate coefficients of correlation shown in table 2b, we note that most of these coefficients are higher than the partial coefficients of correlation, except for the precipitation versus latitude (Table 4). It appears before

testing that the data are consistent with lack of connection between the explanatory variables and those of dependent ones once we have retrieved the information provided by the control variables. The t-statistic for the significance testing in  $r_{12,345}$  is higher than the critical t values of 2.03, which means that there is a significant correlation between precipitation and altitude, even with removing the three variables (D, Lat and Long), even though there is opposite interaction between the simple correlation and partial correlation. In addition, the p-value is lower than 0.05 for detecting a rejection of an interaction between the explanatory and dependent variables.

In  $r_{15,234}$ , if we control for the three variables H, D, latitude, we see there's still a connection between precipitation and both longitude. It is the same thing for the partial correlation  $r_{14,235}$  when holding constant the variables altitude, distance to the sea, longitude, where latitude does not loose from its connection with precipitation. Since t-statistic is greater than critical t at significance level of 0.05, and p-value is less than alpha, we can't reject the hypothesis that both longitude and latitude might influence the rainfall distribution. In contrary, when applying partial correlation for the substantial significant interaction between precipitation and distance to the sea, we notice that the partial correlation is greatly smaller than the simple correlation. Based on the testing significance ( $t < \text{critical } t$ ) and p-values which is greater than alpha (Table 4), it is clear to suggest that after eliminating the contribution of the control variables, we find the moderate relation between precipitation and distance to the sea vanishes. Moreover, it appears that the direction of the relation changes as well, suggesting that after removing the contribution of the three variables (altitude, latitude and longitude), areas receiving more rainfall in fact are inaccurately diagnosed with distance to the sea.

**Table 4.** Partial coefficients of correlation and significance tests

Partial correlation designation	Target	Input	Control variables	r	t-test	p-value
$r_{12,345}$	<i>P</i>	<i>H</i>	<i>D, Lat, Long</i>	0.361	2.291	0.028
$r_{13,245}$	<i>P</i>	<i>D</i>	<i>H, Lat, Long</i>	0.20	1.213	0.233
$r_{14,235}$	<i>P</i>	<i>Lat</i>	<i>D, H, Long</i>	0.528	3.678	0.0008
$r_{15,234}$	<i>P</i>	<i>Long</i>	<i>H, D, Lat</i>	0.752	6.750	0.0000

From a series of ANN exercises, the training ratio of 60:20:20 and 70:15:15 are found the best division for the models. Table 5 summarizes the networks performance during the training, validation, and testing stages for the

three chosen ratios. In this table, the retained models possess low error standard deviation and high coefficients of correlation.

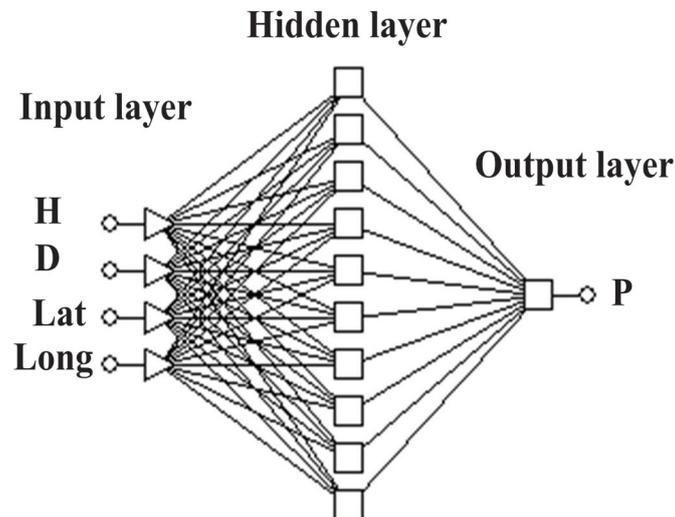
**Table 5.** Performance of MLP network stages and forecast errors in ANN models

Ratio	Statistical parameters	Training	Validation	Testing	Nodes	RMSE	PRMSE (%)	r	EF
60:20:20	Data ratio	0.363	0.403	0.449	10	0.129	2.074	0.943	0.88
	Error S.D.	0.120	0.111	0.151					
	S.D.ratio	0.329	0.276	0.336					
	Correlation	0.944	0.963	0.942					
70:15:15	Data ratio	0.373	0.363	0.422	7	0.133	2.20	0.938	0.88
	Error S.D.	0.128	0.064	0.179					
	S.D.ratio	0.343	0.176	0.425					
	Correlation	0.939	0.985	0.906					
80:10:10	Data ratio	0.375	0.495	0.404	8	0.137	2.21	0.933	0.87
	Error S.D.	0.142	0.061	0.181					
	S.D.ratio	0.378	0.123	0.449					
	Correlation	0.927	0.992	0.970					

Standard deviation ratio (S.D. Ratio) is the division of the error S.D. by the data S.D.

In addition, the configuration with 4 input nodes, 7 and 10 hidden nodes and unique output for the previous ratios have provided the best performance during the training stage of 820 iterations (Figure 5), with the highest coefficient of correlation (0.94) and the lowest

RMSE and PRMSE (Table 5). The comparison of the Nash-Sutcliffe efficiency factor in assessing the performance of a model between the ratios has given a better factor for the proposed models, and which are equal to 0.88.



**Fig. 5** Neural network illustration using MLP technique

The logarithmic presentation is also given in figure 6 for the 60:20:20 ratio in order to see clearly the model performances for rainfalls of different heights. It can be seen from the fit line equations (assume that the equation is  $y = ax + b$ ) that the  $a$  and  $b$  coefficients for the MLP model are respectively closer to the 1 and 0 than the nonlinear multiple regression. This confirms the RMSE and PRMSE statistics evaluated in table 3. During the testing, the MLP model has produced the closest values to the observed mean annual rainfalls by its highest coefficient of correlation (0.94).

The significantly less underestimations of the high logarithmic rainfall values (> 6.50 mm, mostly) for the MLP model are obviously seen from the scatterplots. Compared to MNL regression (multiple nonlinear regression) shown in figure 4, there is less overestimation of low values (< 6.00 mm) for the MLP model. It can be considered that the MLP model has given good prediction in both the training and testing phases where all data lie in line of almost perfect agreement.

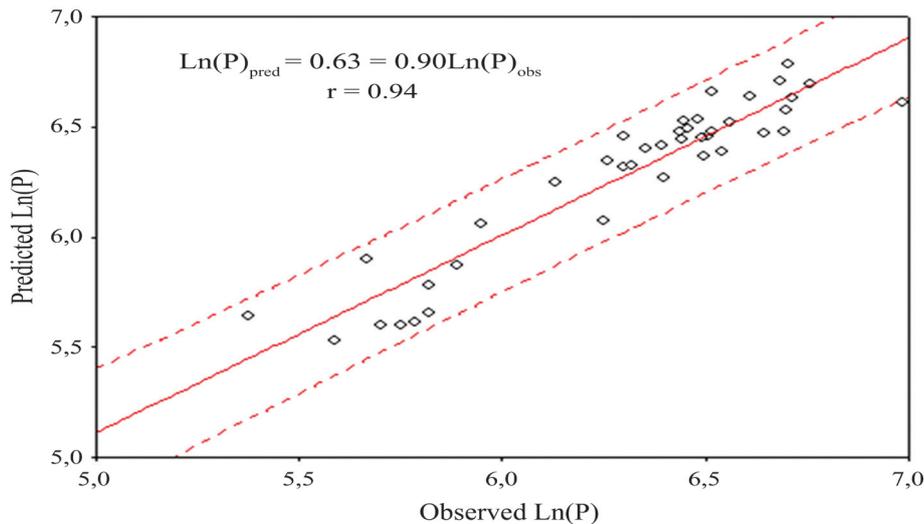


Fig. 6 Comparison of predicted and observed rainfalls using MLP model

When the MLP model is compared with the MNLR method in respect of calculated RMSE, PRMSE. It can be seen from the previous discussion that both MLP at ratio 60:20:20 outperforms the MNLR model in terms of errors. The rainfall estimates of the two models are represented in

figure 7 in the form of curves. It is obviously seen from the curves that MLP is closer to the corresponding observed rainfall values. Moreover, the MLP model seems to have fairly better performance than the MNLR from the error viewpoint.

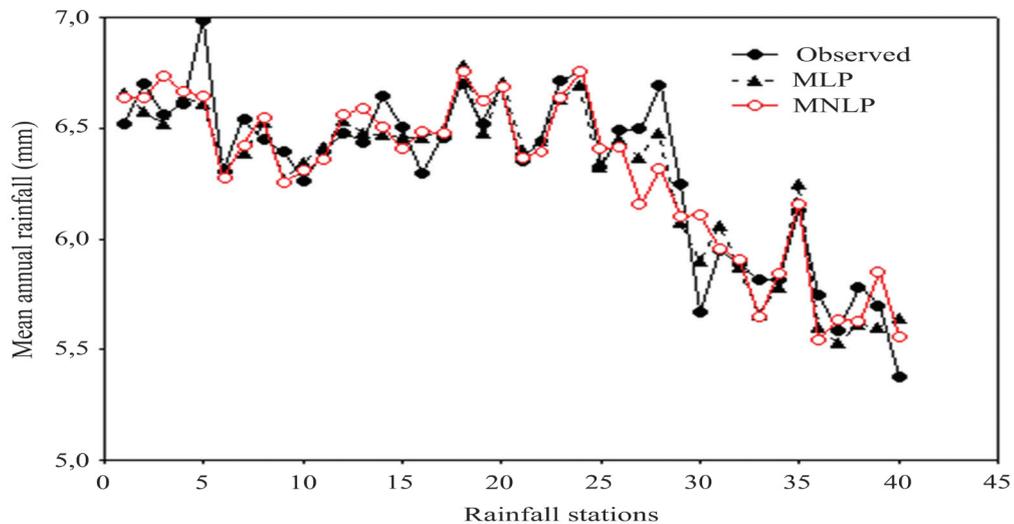


Fig. 7 Mean annual rainfall estimated by MLR and MLP models for the 40 rainfall stations

Further inspection of the ANN model is performed by adding mean annual rainfall data of 13 rain gauge stations distributed over the study area. The resulting ANN-based estimation model, obtained using the 13 stations in analysis, has revealed that the differences between the observed and predicted rainfall values are generally relatively small. The statistical calculations have given a stronger correlation ( $r = 0.93$ ) between predicted and actual rainfall values and low error (RMSE = 0.164).

The superiority of artificial neural networks over a conventional method in the reviewed prediction study can be attributed to their capability to capture the nonlinear dynamics and generalize the structure of the whole data set (Celikoglu and Cigizoglu, 2007). In fact, the relationships are not linear that any hydrologist, who has at least one neuron, knows that the neural networks have the advantage of not having to worry about this non-linearity. Obviously, using the artificial neural networks such as MLP for modelling rainfall estimation is more reliable than the classical method in the weir studied herein.

### 5. Rain gauges increase

In the northeastern area, the existing rainfall stations are not sufficient to characterize the spatial variation of rainfall because it often varies spatially with drainage basin topography. For example areas in higher elevations

generally receive more rainfall than areas in lower elevations within the drainage basin. To fulfil that criteria twenty six dummy stations are manually distributed over two selected drainage basins, Seybouse and Kebir Rhumel, to reach a rather uniform coverage (Figure 8).

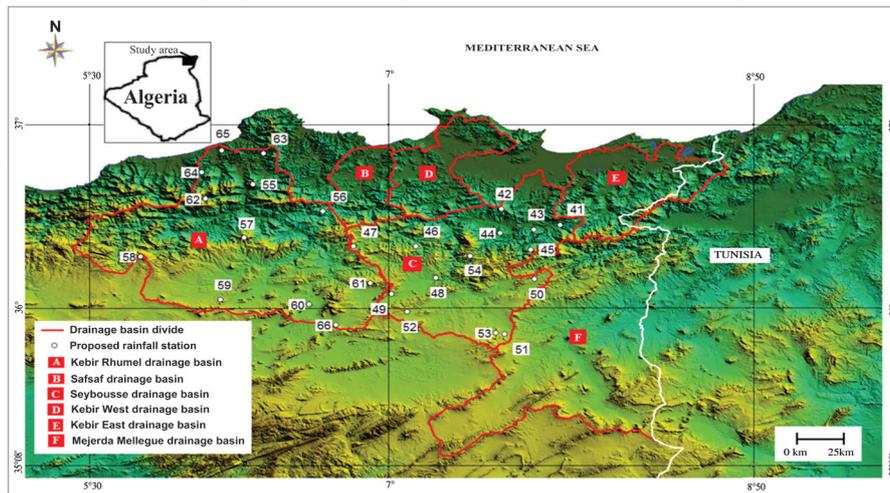


Fig. 8 Map of the proposed rainfall stations (symbolized by white squares with station codes)

The estimation of the mean annual rainfall in the proposed rainfall gauge stations is done using the MLP model and MNL, and the results are presented in Table 6. From this

table, we have taken a closer look at the five variables for the selected stations by analysing the data using a multiple regression application.

Table 6. Suggested rainfall stations with ANN predicted rainfall values.

Station codes	Elevation (m)	Distance to the sea (km)	Longitude (UTM in m)	Latitude (UTM in m)	Predicted rainfall (MLP)	Predicted Rainfall (MNL)
41	533	39.38	392930	4039550	860.05	855.90
42	816	50.96	371790	4044690	894.39	853.25
43	351	57.81	386170	4032070	594.05	567.84
44	440	65.39	371010	4030240	555.76	539.58
45	978	70.57	384700	4019900	636.95	677.05
46	704	63.53	332810	4022830	558.63	601.81
47	854	67.60	304770	4023540	536.30	575.23
48	825	92.96	341600	4003630	373.47	440.79
49	891	91.16	321300	3994330	347.29	440.06
50	868	88.00	386040	4002330	424.66	507.18
51	785	126.00	371980	3968890	266.05	314.16
52	867	103.77	328250	3983278	304.67	381.72
53	908	124.66	367985	3969849	280.86	336.05
54	651	87.93	357315	4016669	422.43	446.66
55	1120	18.21	260500	4062180	1071.06	1012.49
56	710	46.66	291610	4045170	776.96	716.93
57	1094	69.82	255800	4029980	531.65	520.75
58	1236	62.00	208650	4020090	454.43	437.29
59	954	94.27	243860	3992720	311.75	323.08
60	797	104.90	283780	3988740	289.10	320.25
61	1086	80.93	311870	4001040	417.83	530.83
62	647	30.36	238860	4054160	864.73	693.48
63	113	25.14	265870	4080930	587.78	600.76
64	186	13.45	237890	4070080	650.81	558.75
65	93	3.28	247060	4083100	417.76	246.86
66	869	116.96	295710	3976050	282.42	303.59

The results have been perfect where the experiment has given a high coefficient of correlation. By using logarithm transformations of the explanatory and dependent variables, the relationship has been improved by an increase of the coefficient of correlation to 0.94. Again, these results show the good performance of the MLP neural network and in a way the multiple nonlinear regression in the assessment of rainfalls.

**6. Conclusion**

This study is prompted by the need for rainfall information, especially for hydrometeorological purposes, over unsettled areas where rain gauge density is quite inadequate. Four factors recognized as affecting the distribution of mean annual rainfall in northeast of Algeria are investigated quantitatively at 40 rain gauges, using multiple nonlinear regression and artificial neural network analysis. The factors are the elevation of the rain gauging station, its distance to the sea, its latitude and its longitude.

For the prediction of mean annual rainfall in suggested gauges, two different models are used, MNL and MLP. In order to increase our confidence in the use of one of the models, it has been necessary to compare their outputs with root mean squared error, efficiency factor and coefficient of correlation statistics. However, to date, there have been no studies of comparison of the MNL outputs with those of ANNs methods in Algeria.

From the results of this study, the ANN configuration established shows somehow the highest statistical performance in the rainfall prediction when the four physical parameters are used as associated input variables in the network, while the MNL has shown also its significance performance in the rainfall estimation. Nevertheless, the performance evaluation of the neural network model (eg. MLP) remains statistically more efficient compared to the classical regression regardless of the input sets. As a fact, the ANN model configuration can be suggested as a potential tool for modeling the mean annual rainfall of the northeast of Algeria at ratio 60:20:20 or 70:15:15 when rainfall data are not available.

A similar analysis to be carried out on rainfall prediction using other factors (slope, exposure to rain bearing winds, wind direction and convergence) which are not included in the network inputs could explain more this relationship between rainfall and physical principles. Achieving this could certainly improve the reliability of the whole methodology, by diminishing the variability of the starting dataset.

**Bibliographical references**

Aksornsingchai P. and Srinilta C. 2011. Statistical downscaling for rainfall and temperature prediction in Thailand. *Proceedings of the International Multi-Conference of Engineers and Computer Scientists*, 1: 356-361.

Ayoade J.O. 1983. *Introduction to climatology for the Tropics*. John Wiley and Sons, New York.

Celikoglu H.B. and Cigizoglu H.K. 2007. Public transportation trip flow modeling with generalized regression neural networks. *Advances in Engineering Software* **38**: 71-79.

Collischonn B., Collischonn W., Tucci C.E.M. 2008. Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates. *Journal of Hydrology* **360** (1-4): 207-216.

Côte, M. 1996. *L'Algérie, espace et société*. Masson - Armand Colin, Paris.

Daly C. 1994. A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. *Journal of Applied Meteorology* **33**: 140-158.

De Silva R.P., Dayawansa N.D.K., Ratnasiri M.D. 2007. A comparison of methods used in estimating missing rainfall data. *Journal of Agricultural Science* **3**(2): 101-108.

Govindaraju R.S. and Rao A.R. 2000. *Neural Networks in Hydrology*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

Hayward D. and Clarke R.T. 1996. Relationship between rainfall, altitude and distance from the sea in the Freetown Peninsula, Sierra Leone. *Hydrological Sciences Journal* **41**(3): 377-383.

Hirose M. and Nakamura K. 2004. Spatial and temporal variation of vertical profiles of rainfall rate observed by TRMM precipitation radar. *Journal of Climate* **17**: 3378-3397.

Hounam C.E. 1958. Estimation of average annual rainfall over the port Phillip region of Victoria. *Australian Meteorological Magazine* **21**: 1-30.

Hughes D.A. 1982. The relationship between mean annual rainfall and physiographic variables applied to a coastal region of southern Africa. *South African Geographical Journal* **64**: 41-50.

Humbert J., Mahr, N., Siefert N. 1997. Quantification spatiale des précipitations du bassin Rhin- Meuse. Secteur oriental, Période 1971-1990 (Precipitation spatial mapping of the Rhin-Meuse basin. Eastern zone, period 1971-1990). Final Report, Agence de l'Eau Rhin Meuse, CEREG, Strasbourg.

Hutchinson M.F. and Bischof R.J. 1983. A new method for estimating mean seasonal and annual rainfall for the Hunter Valley, New South Wales. *Australian Meteorological Magazine* **31**: 179-184.

Kieffer Weisse A. and Bois P.H. 2000. Topographic Effects on Statistical Characteristics of Heavy Rainfall and Mapping in the French Alps. *Journal of Applied Meteorology* **40**: 720-740.

Kumar D., Reddy M. J. and Maity R. 2007. Regional rainfall forecasting using large scale climate teleconnections and artificial intelligence techniques. *Journal of Intelligent Systems* **16** (4), 307-322.

- Kuo J.T., Hsieh M.H., Lung W.S., She N. 2007. Using artificial neural network for reservoir entrophication prediction. *Ecological Modelling* **200**: 171-177.
- Llasat M. and Puiggerver M. 1992. Pluies extrêmes en Catalogne, influence orographique et caractéristiques synoptiques. *Hydrologie Continentale* **7**: 99-115.
- Mahajan S., Mazumdar H. 2013. Rainfall prediction using neural net based frequency analysis approach. *International Journal of Computer Applications* **84**(9): 7-11.
- Maheepala U.K., Taolkyi, A.K., Perera B.J. 2001. Hydrological data monitoring for urban stormwater drainage systems. *Journal of Hydrology* **245**: 32-47.
- Mebarki A. 2005. Hydrologie des bassins de l'est algérien : ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse de Doctorat d'Etat, Université Mentouri de Constantine, Constantine, Algérie.
- Naoum S. and Tsanis I.K. 2003. Estimating rainfall at ungauged locations using topographical and geographical features by means of multiple linear regression. 8th International Conference on Environmental Science and Technology, Lemnos Island, Greece, 604-607.
- Phillips D.L., Dolph J., Marks D. 1992. A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitation in mountainous terrain. *Agricultural and Forest Meteorology* **58**: 119-141.
- Omogbai, B.E. 2010. Prediction of Northern Nigeria rainfall using sea surface temperature. *Journal of Human Ecology*, **32**(2): 127-133.
- Selvaraj R. S. and Aditya R. 2011. Statistical method of predicting the northeast rainfall of Tamil Nadu. *Universal Journal of Environmental Research and Technology*, **1**(4): 557-559.
- Shepard D.L. 1968. A two dimensional interpolation function for irregularly spaced data. Proceedings of 23rd National Conference, Association for Computing Machinery, ACM, Washington, 517- 524.
- Thiessen A.H. 1911. Precipitation averages for large areas. *Mon. Weather Review* **39**: 1082-1084.
- World Meteorological Organisation, 1975. Intercomparison of conceptual models used in operational hydrological forecasting, W.M.O., Technical series. *Water Resources Research* **27**(9): 2415-2450.
- Zahar Y. et Laborde J.P. 2007. Modélisation statistique et synthèse cartographique des précipitations journalières extrêmes de Tunisie. *Revue des sciences de l'eau* **20** (4): 409-424.
-

## Des villes à systèmes fonctionnels non équilibrés : cas d'Ouled Djellal dans les Zibans

S. HASSAINE<sup>1</sup> & A. FARHI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme (EPAU), Alger. E-mail : hassaine.said@yahoo.fr

<sup>2</sup>Université Mohamed Khider de Biskra. E-mail : farhi.a@voila.fr

**ملخص :** يعتبر التمييز الوظيفي والمكاني حاليا من أكبر الظواهر لفنا للمدينة الجزائرية بصفة عامة و نواتها التاريخية التقليدية بصفة خاصة. فمن خلال التوزيع الكمي و النوعي غير المتوازن للمرافق العامة و المحلات التجارية، تتجسد هذه الظاهرة في عزلة و تهيمش نواتها التاريخية و في بنية فضائية تحتوي على مركزيات مكانية تعاني من سوء تسلسلها الهرمي و موقعها في المنظومة الحضرية الشاملة للمدينة. لا تزال هذه الظاهرة مستمرة رغم الوعي النظري بأهمية المقاربة النظامية للمدينة و ممارستها في التخطيط.

أجل إثبات الوجود الفعلي لهذه الظاهرة واستعادة هذه المكونات المورفولوجية التي تشكل ذاكرة المدينة، نحاول في هذا المقال من خلال تحليل مدينة أولاد جلال الواقعة في الجنوب الشرقي للجزائر إبراز هذا الواقع، معتمدين في ذلك على الاستفادة من النموذج المتعدد المقاييس المبني على الخلفية النظامية.

**الكلمات الأساسية :** مركزية فضائية، عزلة، حي، تهيمش، مستوى تسلسلي، نظام.

**Résumé :** La ségrégation spatiale et fonctionnelle compte aujourd'hui parmi les phénomènes les plus frappants de la ville algérienne en général et de son noyau historique traditionnel en particulier. De par une répartition quantitative et qualitative non équilibrée des équipements publics et des commerces, elle se traduit en termes d'enclavement et de marginalisation de son noyau historique et d'une armature spatiale dont les centralités souffrent d'une mauvaise hiérarchisation et localisation dans l'organisme urbain global. Ce phénomène urbain perdure malgré la prise de conscience théorique d'une approche systémique de la ville et sa pratique urbanistique. Pour démontrer son existence effective et récupérer ces entités morphologiques constituant la mémoire de la ville, ce papier tente, à travers l'analyse de la ville d'Ouled Djellal située dans le sud-est algérien, de mettre en exergue cette réalité en faisant recours au modèle multicritères sur fond systémique.

**Mots-clés :** centralité spatiale, enclavement, district, marginalisation, niveau hiérarchique, système.

**Abstract :** Functional and spatial segregation is now one of the most striking phenomena in the Algerian city in general and of its traditional historic core in particular. Through an unbalanced quantitative and qualitative distribution of public equipment and shops, it results in terms of isolation and marginalization of its historic core and a space armature which centralities suffer from poor hierarchization and location in the overall urban organism. This urban phenomenon persists despite awareness theoretical systemic approach to the city and its urban practice.

To demonstrate the actual existence and recover these morphological entities within the memory of the city, this paper attempt, through the analysis of the town of Ouled Djellal located in the south-eastern Algeria; highlight this reality by making use of multicriteria model systemic background.

**Keywords :** spatial centrality, isolation, district, marginalization, hierarchical level, system.

### 1. Introduction

Nous amorçons cette introduction par la définition des notions principales articulant notre analyse visant à démontrer que la ville d'Ouled Djellal présente une situation de ségrégation spatiale et fonctionnelle. En effet, ce phénomène, se traduit en termes d'enclavement et de marginalisation de son noyau historique et d'un dysfonctionnement affectant l'organisme urbain global. Bien que la ségrégation ait comme définition générale, l'action de séparer des éléments d'un tout, d'un ensemble, de les mettre à part ; en urbanisme, il s'agit du processus de différenciation des entités formant la ville en unités distinctes et différenciées. Ce processus, impliquant souvent une organisation sectorielle ou zonale, génère un espace urbain ségréatif qui exprime le degré de différenciation socio-économique de la société dans sa globalité qui se manifeste en ville (Lefebvre, 1968). Quant à l'enclavement, on trouve à son origine étymologique le terme latin «clavis», qui signifie la «clef». Il est employé pour signifier toute forme d'emprisonnement,

d'incrustation et de blocage. La problématique de l'enclavement et son opposé «désenclavement» renvoie à la position des lieux sur le gradient qui va de la fermeture à l'ouverture. Enfermer, d'une certaine façon c'est exclure, mettre en marge et par conséquent marquer la différence par la distance. Concernant la marginalisation, c'est le fait de se marginaliser ou d'être marginalisé, de mettre à l'écart et en situation de dépendance. Généralement l'espace est marqué par de fortes discontinuités et disparités que l'on appréhende à travers le modèle centre/périphérie. Ce différentiel spatial constitue un système, où un ensemble de flux, d'échanges et de contacts divers mettent en relation les différents quartiers de la ville. La marge, en tant que sous-catégorie de l'espace périphérique, constitue un objet d'analyse marqué par un éloignement fonctionnel et symbolique du centre particulièrement important, et donc révélateur des tensions qui fondent le rapport dichotomique centre/périphérie. La marginalisation ne rend pas compte uniquement de la localisation spatiale de l'entité considérée dans l'organisme urbain, mais aussi de son niveau fonctionnel très bas la caractérisant. Une entité marginalisée, qui est géographiquement centrale et économiquement périphérique, à l'instar d'un centre historique qui ne coïncide pas avec le centre-urbain actuel d'une ville, finit par se réifier, car elle est dépourvue du souffle de vie qu'entretient le concept de centralité. Par contre, le phénomène de dédoublement successif des parcours et des entités morphologiques urbaines, engénérant un nouveau centre-ville, caractérisé par une pluralité fonctionnelle, fait perdre au centre historique son rôle initial important en lui attribuant un rôle secondaire ou marginal. Dans ce cas de figure, où la nouvelle centralité urbaine se fait apparaître dans un espace périphérique : il s'agit de l'excentricité du centre-urbain. D'après le paradigme de J-L. André (1994), on a une centralité loin des centres, ce qui veut dire et ce qu'il faut faire : «...créer de la centralité aux marges de la ville, c'est aller au-delà. C'est toute l'agglomération qu'il nous faut repenser».

Une entité morphologique urbaine, enclavée et marginalisée, constitue un système fermé, très fragile, ne pouvant pas vivre en autonomie. Le seul remède envisageable, pour qu'elle puisse survivre, c'est qu'elle jette ses cordons ombilicaux dans le plasma des espaces péricentraux et périphériques de la ville. Les entités urbaines périphériques, constituées par des districts ou des quartiers, le fait qu'elles soient monofonctionnelles ou sous équipées, elles se caractérisent par cette notion de marginalisation. En somme, en considérant la ville comme une œuvre socioculturelle, produite à travers la double dimension diatopique et diachronique, implique que ces concepts de ségrégation, d'enclavement et de marginalisation, sont d'origine historique et sociale. Désenclaver le centre historique, en vue de le récupérer comme élément dynamique dans la globalité du système urbain,

ne signifie pas le réintégrer comme élément muséographique, mais plutôt évaluer les rapports dialectiques qu'il entretient avec l'espace central, péricentral et périphérique de la ville.

Ce thème, mettant en relation le noyau historique avec toutes les autres entités morphologiques formant la ville, semble être largement discuté en Algérie et à l'étranger. Avec la prise de consciences de la question patrimoniale, beaucoup de recherches théoriques ont été réalisées. Des projets de réhabilitations ou de rénovation de certains centres, ont été aussi élaborés par les instruments d'urbanisme en vigueur, les PDAU et les POS.

Néanmoins, en essayant de l'appréhender selon un point de vue théorique et projectif nouveau, on se rend compte de son actualité. Nous pensons que l'objectif de récupération du centre historique ne se réaliserait qu'en restructurant aussi l'espace péricentral et périphérique dans le cadre d'un réaménagement spatial intégré, inscrit dans une approche systémique globale. Cette tâche, de renouvellement urbain, rendra possible le rétablissement de la continuité morphologique et fonctionnelle dont a besoin la ville. La plupart des recherches académiques et des plans d'aménagement spatial s'attaquaient auparavant aux différents problèmes selon une conception atomique de la ville. Au lieu de chercher des solutions durables à la ville, considérée comme système géré par des interactions et des interdépendances ; ils proposaient des solutions ponctuelles, sans envisager leur impact spatial et fonctionnel à l'échelle de l'espace urbain global.

## 2. Cas d'étude : la ville-oasis d'Ouled Djellal dans les Ziban

Ouled Djellal est une ville moyenne d'environ 60000 habitants, située à 100 Km au sud-ouest de Biskra. Avec la ville voisine de Sidi Khaled, distante de sept kilomètres au sud, elle marque l'extrémité méridionale des Ziban. De par sa position stratégique dans le réseau urbain de cette région saharienne, elle constitue un passage obligé dans le grand raccourci territorial contournant Biskra du côté sud pour sortir sur la vallée de l'Oued Righ. Ses espaces périphériques constituent un réservoir foncier intarissable et un lieu d'accueil préféré pour une population en phase de transition de la vie semi-nomade à la vie sédentaire, et de l'activité agro-pastorale à l'activité secondaire et tertiaire.

Plusieurs époques historiques avaient marqué aussi bien la structure matérielle de la ville que la structure sociale de ses habitants. Sur l'itinéraire de la voie transsaharienne, décrit par le voyageur El Ayachi au 17<sup>ème</sup> siècle, Ouled Djellal constituait une halte obligée pour les pèlerins allant du Maghreb extrême à la Mecque (Belhamissi, 1979). Son noyau historique traditionnel, recelant une grande diversité de valeurs architecturales et urbaines, se trouve

actuellement enclavé et marginalisé sur le plan spatial et fonctionnel. Son centre colonial, dont les premières édifications remontent à 1885 en tant que Fort administratif et espace dominant, préserve ce statut structurel à titre d'espace central. Quant à son périurbanisation, elle reflète une crise architecturale bien visible sur le cadre bâti et le tissu urbain. La ville de nos jours, dont la structure est à caractère monocentral, souffre d'enclavement et de marginalisation de son noyau historique et de sa dégradation physique, ainsi que de périphéries urbaines sous-équipées et sans identité.

Ce travail, s'inscrit dans la continuité d'une recherche micro régionale sur la Wilaya de Biskra et dont les résultats attribuent, sur le plan de son armature urbaine, le cinquième niveau à Ouled Djellal sur une échelle de huit niveaux. Démontrant par conséquent que cette ville, bien qu'elle commande administrativement son espace, ne joue pas réellement son rôle, car elle ne le maîtrise pas totalement. Pour remédier à ce déséquilibre fonctionnel affectant la structure territoriale, l'auteur recommande le renforcement et la promotion de cette ville au sixième niveau (Farhi, 2001). Il essaye aussi de trouver une réponse opératoire à une recherche collective dirigée par Côte (2005) sur le fait urbain du Bas-Sahara algérien, à laquelle ont participé des chercheurs des Universités d'Aix-en-Provence et de Biskra. En s'interrogeant sur le fait urbain saharien, Côte remarque d'une part, que les taux d'urbanisation des villes du sud-est algérien sont plus élevés que ceux des villes des territoires non sahariens, d'autre part, une urbanisation nouvelle de par son ampleur, ses rapports avec l'environnement et ses formes contradictoires avec les typologies locales. Pour remédier à ces problèmes identifiés, Côte interpelle les différents acteurs dans l'aménagement urbain sur la nécessité de restructurer les villes de cette région, y compris leurs centres historiques, et de recomposer leurs espaces discontinus, notamment leurs périphéries urbaines.

Les données utilisées dans ce travail relèvent d'une enquête de terrain que nous avons effectuée en 2010. C'est à travers les 40 districts formant la ville, que nous avons localisé spatialement tous les équipements urbains, les commerces et services divers, en relevant toutes leurs caractéristiques quantitatives et qualitatives. Nous avons identifié 164 équipements et 1482 commerces. Pour la cartographie, nous avons travaillé sur des photos-contact de l'Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT). Cependant, pour avoir une vision globale permettant de lire et d'observer l'importance fonctionnelle des districts, nous avons utilisé une seule carte, réalisée par assemblage de 25 photos aériennes couvrant toute la ville. Quant aux données démographiques, nous avons utilisé celles du Recensement Général de la Population et de l'Habitat (ONS, 1998 et 2008).

### 3. Méthodologie adoptée

La vérification de l'enclavement et la marginalisation du centre historique traditionnel ainsi que le dysfonctionnement urbain affectant la ville, peut être abordée à partir de plusieurs approches méthodologiques dont chacune dispose de son support conceptuel. Sachant que ces dernières peuvent varier de la subjectivité de l'expérience émotionnelle spatiale telle que l'approche psychosensorielle fondée par K. Lynch (1976), à l'objectivité rationnelle comme l'approche fractale de la morphologie urbaine de Frankhauser (1994). Dans le champ de l'urbanisme pratique algérien, les derniers instruments d'aménagement urbain apparus avec la Loi n°90-29, continuent de pérenniser la traditionnelle démarche fonctionnaliste. Leur défaillance s'aperçoit notamment dans leur processus d'élaboration et leur projection temporelle les rendant obsolètes. Quant à leurs rapports écrits, servant de garde-fous aux plans censés être appliqués, ils souffrent sur les plans formel et fondamental.

Face à cette réalité urbaine critique, le recours à l'analyse multicritères (AMC) revêt une importance capitale. Sa manipulation sur une toile de fond qui prend en considération toute la ville comme système opératoire, permet de saisir cette entité urbaine dans sa totalité et dans ses parties, en allant des plus simples classifications jusqu'aux hiérarchisations complexes évoquées par L.V. Bertalanffy (1980). L'observation des zones problématiques spatiales sur des instruments graphiques, construits à partir de données statistiques, cartographiques et d'investigation sur terrain, renforcent la structure analytique engagée dans ce travail fondé sur le modèle de hiérarchisation fonctionnelle. Dans la traduction des concepts hypothétiques en opérations de recherche, nous avons construit les variables en empruntant une méthode d'origine sociologique qui repose sur les travaux de P. Lazarsfeld (1955, 1965), R. Boudon (1961, 1965), M. Rosenberg (1955) et H. Lefebvre (1961). Le mouvement de la pensée et l'analyse qui permettent d'établir un instrument de mesure naissent généralement d'une représentation imagée. Le chercheur, plongé dans l'analyse d'un problème théorique, esquisse d'abord une construction abstraite. La méthode consiste à spécifier cette entité conçue en termes vagues, qu'on appelle «concept», en analysant ses composantes dites «dimensions», qui débouchent sur des «indicateurs», des «critères» et «indices» mesurables.

Comme outil aidant à la décision, l'analyse multicritères est d'un grand apport à la planification urbaine pour choisir dans les opérations d'aménagement spatial les solutions appropriées à certains problèmes affectant la ville. Actuellement, vu que les problèmes décisionnels rendant compte de l'espace édifié présentent toutes les

caractéristiques des problèmes multicritères, le traitement par l'évaluation multicritère spatiale devient incontournable. C'est à partir des années 1970, que cette méthode commençait à connaître un développement important pour devenir un outil scientifique à part entière. Son principal pionnier est B. Roy (1993), créateur en 1974 du laboratoire d'analyse et modélisation de systèmes pour l'aide à la décision (LAMSAD). Cet outil analytique, cherchant à déterminer le fonctionnement de l'espace urbain à partir d'un système de mesures dont les données impliquées dans l'analyse doivent être quantifiées, son application est une réponse à la complexité urbaine. L'élargissement du nombre de critères pour la connaissance du phénomène considéré permet de faire entrer les dynamiques liées aux changements spatiaux dans la définition de la croissance urbaine. Comme il permet de contrebalancer l'influence d'un indicateur par rapport à un autre et de le rendre réellement signifiant.

Le «critère», c'est un caractère qui permet de distinguer une chose d'une autre, d'émettre un jugement ou une estimation. Néanmoins, pour aider les décideurs en aménagement spatial à trouver des solutions adéquates aux problèmes urbains, les critères ne doivent pas avoir tous le même poids. Aboutir à un résultat fiable, non tendancieux, nécessite leur pondération. Donc dans ce modèle analytique, la construction des critères et leur pondération ne sont jamais arbitraires. L'exemple des équipements sanitaires est très explicite, leur hiérarchie varie de la petite salle de soins axée sur les soins primaires, jusqu'au centre hospitalo-universitaire assurant les soins hautement spécialisés (Djellal-Assari, 2004).

Les districts, comme entités de base formant la ville, servant au recensement général de la population et de l'habitat (O.N.S, 1998), sont le support spatial de la variable structurelle composée de deux dimensions fonctionnelles appartenant au secteur tertiaire. La première dimension se compose des équipements publics, tandis que la deuxième se constitue de commerce et services. Leur analyse est censée vérifier la variable exprimée en termes d'enclavement et de marginalisation du centre historique traditionnel ainsi qu'en dysfonctionnement urbain affectant la ville. Ces deux variables, étroitement liées par des interactions, imposent à priori la nature des dimensions, leur nombre et leurs critères devant déterminer le niveau fonctionnel des différentes parties la ville. L'analyse de ces deux dimensions, dont leurs éléments constituants sont répartis à travers les 40 districts formant la ville, se fera selon deux critères concernant les équipements publics et six critères concernant les commerces et services.

La méthode consiste à établir d'abord une classification des districts selon chaque critère, ensuite définir les différents niveaux pour des ensembles de districts. Dans le cadre d'une approche systémique, dont les principes de structure

et de niveaux d'organisation conçoivent que chaque niveau hiérarchique se trouve à la fois contenu dans le niveau supérieur et contenant le niveau inférieur (Jacob, 1975), cette analyse conduit à déterminer les niveaux des districts selon une progression géométrique de raison 2 (2, 4, 8, 16, etc.). Cependant, la définition de leurs niveaux synthétiques se fera selon une progression arithmétique (2, 4, 6, 8, etc.), car on aura simplement à répartir les moyennes des niveaux précédemment hiérarchisés selon la progression géométrique. De par cette méthode, la détermination du niveau de chaque entité composante du système analysé est liée à la hiérarchisation de tous les districts de la ville par rapport à un ensemble de critères distincts. Quant aux principales entités morphologiques de la ville, représentant notre objet matériel à analyser, elles sont constituées des districts suivants :

- Le noyau historique traditionnel : se compose de sept districts (D8, D9, D10, D11, D30, D31, D32).
- Le centre colonial : se compose de cinq districts (D14, D15, D16, D43, D44).
- Espace péricentral et périphérique : se compose des 28 districts restants.

#### 4. Les équipements urbains

L'analyse des districts selon la dimension «Équipements publics», repose sur deux critères :

1) Critère d'équipements indifférenciés : en considérant que tous les équipements ont la même importance, leur évaluation se fera selon leur nombre par district.

2) Critère d'équipements pondérés : de par la taille et l'aire d'influence des équipements, chacun d'eux sera attribué d'un coefficient de pondération K, variant de 1 à 5, tout en s'inspirant de la grille d'équipements (Zucchelli, 1983). Vu que ces deux critères concernent des niveaux partiels définis selon la logique de progression géométrique et servent à l'élaboration du niveau synthétique des équipements, on se contente de leur analyse détaillée d'évoquer le résultat suivant :

- Dans le premier critère, la hiérarchie des districts révèle une grande disparité quantitative dans la répartition des équipements entre le centre colonial et le noyau historique.
- Dans le deuxième critère, il se fait apparaître un grand écart qualitatif en équipements entre le centre colonial et les autres entités morphologiques de la ville.

##### 4.1 Une répartition spatiale quantitative et qualitative non équilibrée des équipements urbains

La définition du niveau synthétique des équipements est opérée selon le principe de progression arithmétique car il s'agit simplement de faire la moyenne des deux niveaux précédents définis selon le principe de progression géométrique.

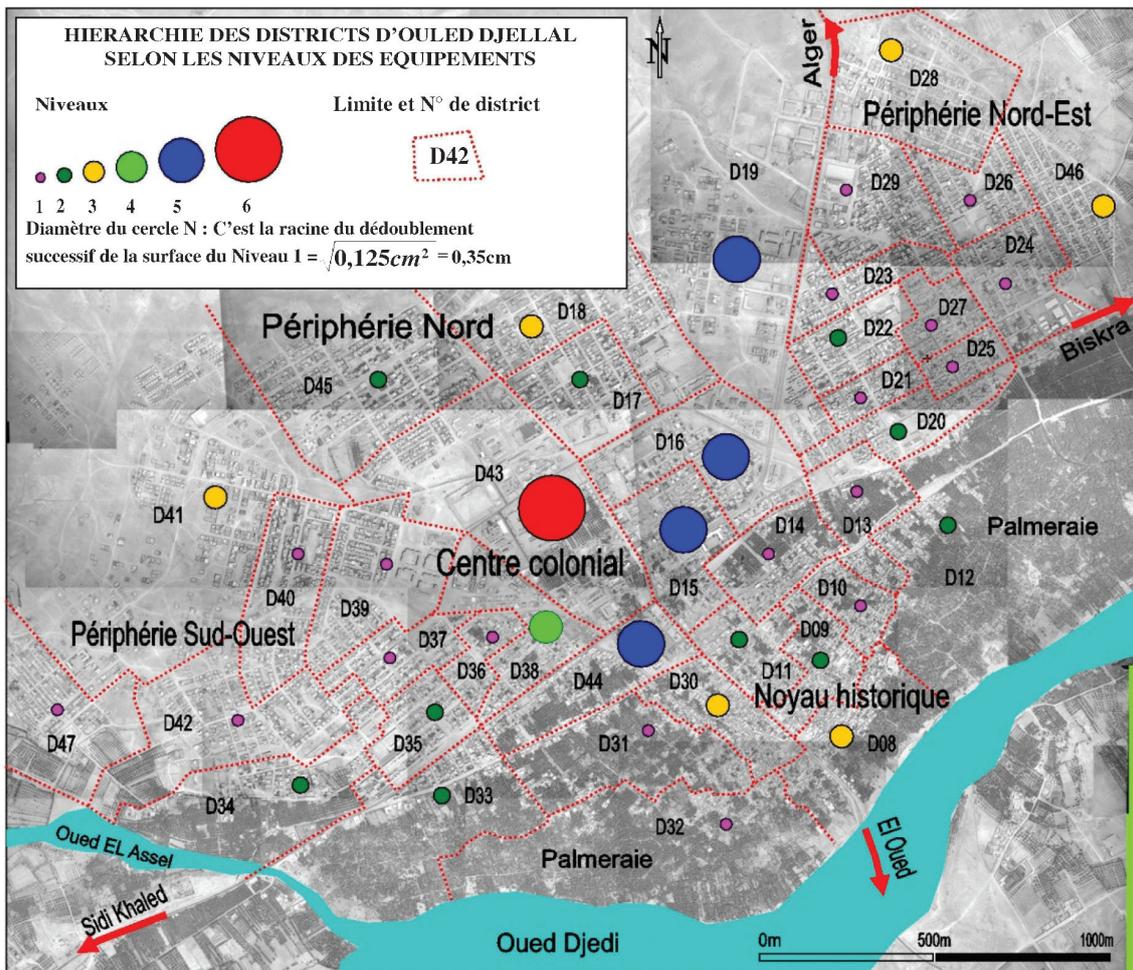
La répartition de cette moyenne dégage 6 intervalles :  $\leq 1,5$  , ]1,5 à 2,5] , ]2,5 à 3,5] , ]3,5 à 4,5] , ]4,5 à 5,5] , ]5,5 à 6,5] ; correspondant consécutivement aux niveaux 1 à 6 (Tableau 1). La carte 1 montre que les districts du centre colonial (D43, D15, D16, D44), et le D19 qui est considéré comme péricentral, vu sa localisation spatiale et sa taille, occupent les deux plus hauts niveaux, 5 et 6. A l'occasion, il importe de noter que dans le D43, occupant le plus haut niveau 6, se situe le Fort administratif français, qui, de par sa vocation historique et sa reconversion en siège de Daïra, confirme le concept de «persistance topique du monument» emprunté par A. Rossi (1991) au grand historien de Paris M. Poëte (1967) dans ses analyses urbaines. Par contre, les districts du noyau traditionnel occupent le niveau 3 (D8, D30), le niveau 2 (D9, D11), le

niveau 1 (D10, D31, D32). L'on constate aussi l'existence d'un seul district au niveau 4 (D38). Quatre districts se partagent le niveau 5 (D15, D16, D44, D19), dont les trois premiers appartiennent au noyau colonial et le quatrième à la périphérie. Ce tableau ainsi que la carte 1 montrent divers hiatus sur le plan de la répartition des équipements existants sur les districts composant la ville. Ces hiatus se situent principalement au niveau sommital. Si les quatre districts du niveau 5 supportent quantitativement le seul district du niveau 6, ils ne sont cependant pas supportés par un nombre suffisant de districts de niveau 4. Le seul district (D38) qui s'y trouve, traduit l'une des grandes faiblesses de cette répartition et par conséquent le dysfonctionnement du système urbain par rapport à cette importante dimension construite sur deux critères.

**Tableau 1.** Classement et niveaux synthétiques des districts selon le critère d'équipements

DISTRICTS	MOYENNE DES NIVEAUX PARTIELS $M = (NEI+NEP)/2$	CLASSEMENT	NIVEAU SYNTHETIQUE DES EQUIPEMENTS	INTERVALLES DE NIVEAUX
D43	6	1	6	] 5,5 à 6,5] (1 districts)
D15	5	2	5	] 4,5 à 5,5] (4 districts)
D16	5	2	5	
D19	5	2	5	
D44	5	2	5	
D38	4	6	4	] 3,5 à 4,5] (1 districts)
D08	3,5	7	3	] 2,5 à 3,5] (6 districts)
D41	3,5	7	3	
D18	3	9	3	
D28	3	9	3	
D30	3	9	3	
D46	3	9	3	
D09	2,5	13	2	] 1,5 à 2,5] (10 districts)
D12	2,5	13	2	
D17	2,5	13	2	
D20	2,5	13	2	
D34	2,5	13	2	
D35	2,5	13	2	
D45	2,5	13	2	
D11	2	20	2	
D22	2	20	2	
D33	2	20	2	
D10	1,5	23	1	$\leq 1,5$ (18 districts)
D23	1,5	23	1	
D26	1,5	23	1	
D29	1,5	23	1	
D31	1,5	23	1	
D40	1,5	23	1	
D42	1,5	23	1	
D14	1	30	1	
D24	1	30	1	
D37	1	30	1	
D39	1	30	1	
D47	1	30	1	
D13	1	35	1	
D21	1	35	1	
D25	1	35	1	
D27	1	35	1	
D32	1	35	1	
D36	1	35	1	
40 Districts	NEI : Niveau de district selon le critère d'équipements indifférenciés NEP : Niveau de district selon le critère d'équipements pondérés			

Source : S. HASSAINE, 2011.



Source : S. HASSAINE, 2011. (Fond de plan : assemblage de 25 photos aériennes de 2001, 1/4000, INCT)  
**Carte. 1** Hiérarchie des districts d'Ouled Djellal selon le niveau des équipements urbains

### 5. Les commerces et services

L'analyse de cette deuxième dimension repose sur la répartition des 1482 locaux de commerce et de services en cinq familles :

- Commerces C1 : alimentation diverse (alimentation générale, boulangerie, boucherie, vente de poissons, volailles, fruits et légumes, confiserie, etc.).
- Commerce C2 : réparation et transformation (automobiles, bicyclettes, téléviseurs, radios, téléphones portables, tournage, ferronnerie, menuiserie, artisanat, vitrerie, etc.).
- Commerce C3 : restauration (café, restaurant, pâtisserie, pizzeria, etc.).
- Commerce C4 : produits non consommables (habillement, produits cosmétiques, électroménager, meubles, droguerie, Pièces de rechange, matériaux de construction, etc.).
- Commerce C5 : profession libérale et services (cabinet médical, bureau d'études, salon de coiffure, pharmacie,

auto-école, cybercafé, studio de photographie, taxiphone, etc.).

Afin d'aboutir à des niveaux hiérarchiques crédibles, cette répartition typologique nous a permis de dégager six critères :

1. Critère de commerce et services indifférenciés (C1+C2+C3+C4+C5) : il s'agit de ne pas faire de distinction entre toutes ces activités tertiaires, et par conséquent les considérer de même importance.
2. Critère de commerce (C3+C5), regroupant la restauration, la profession libérale et les services.
3. Critère de commerce (C1+C2+C4), regroupant l'alimentation, les produits non consommables et les services de réparation et de transformation.
4. Critère de la logique de la rareté commerciale selon le Modèle de DAVIES (Berry, 1967), qui prend en charge les cinq familles identifiées (C1, C2, C3, C4, C5).
5. La densité de commerces par hectare.
6. Le taux de commerces par 100 habitants.

**5.1 Une ségrégation quantitative et qualitative dans la répartition des commerces et services**

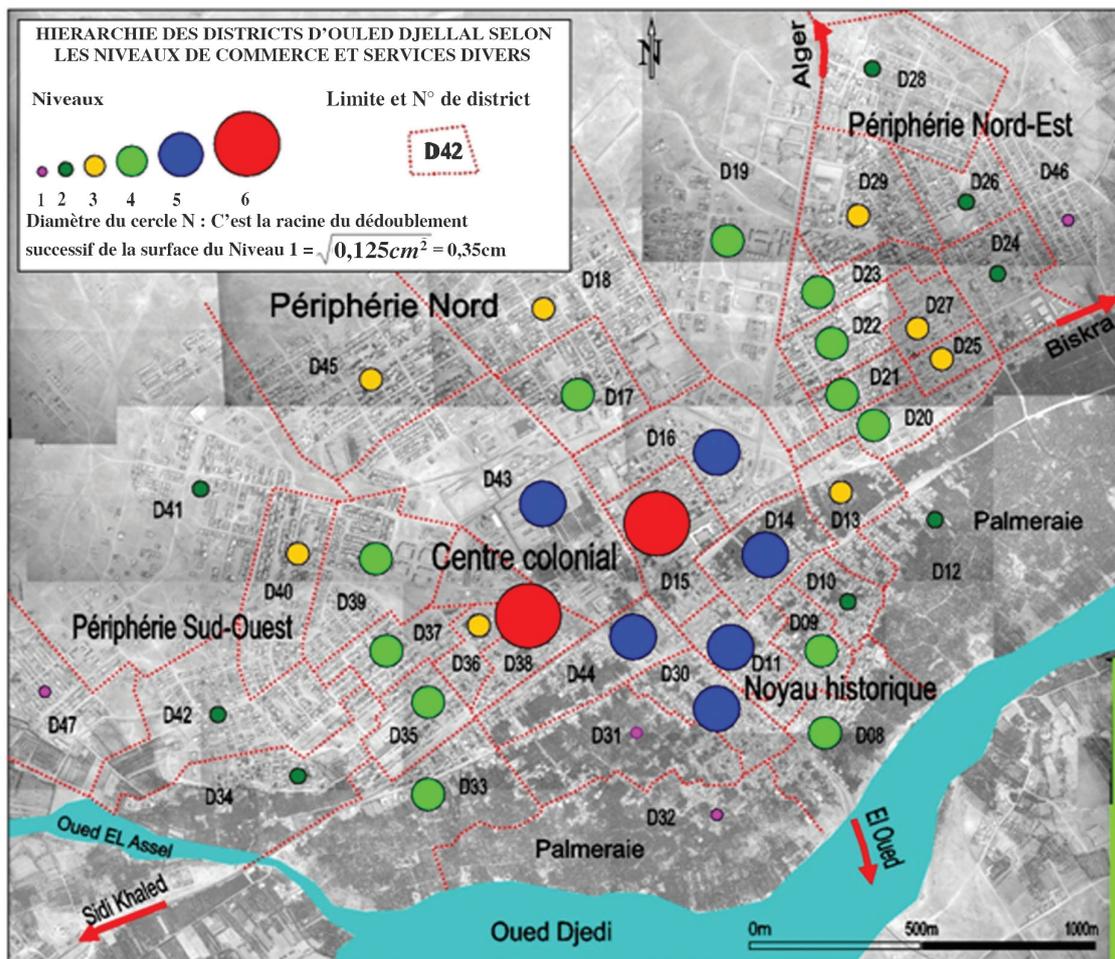
Une récapitulation de tous les niveaux définis selon la logique de progression géométrique, relatifs aux six critères, nous a servi de base à l'élaboration du niveau synthétique commercial (Tableau 2). Dans ce dernier, la définition des niveaux est opérée selon le principe de progression arithmétique, car il s'agit simplement de faire la moyenne des six niveaux partiels définis selon le principe de progression géométrique. La répartition de cette moyenne dégage six intervalles:  $\leq 1,5]$  ,  $] 1,5 \text{ à } 2,5]$  ,  $] 2,5 \text{ à } 3,5]$  ,  $] 3,5 \text{ à } 4,5]$  ,  $] 4,5 \text{ à } 5,5]$  ,  $] 5,5 \text{ à } 6,5]$  ; correspondant respectivement aux niveaux 1 à 6. Son observation montre l'existence de cinq districts du centre colonial, dont un au niveau 6 (D15) et quatre au niveau 5 (D14, D44, D16, D43). A remarquer que le D15, partage le même niveau sommital 6 avec le D38 qui n'est que l'extension immédiate du D43. Quant au noyau traditionnel, il enregistre deux districts au niveau 5 (D11, D30), deux au niveau 4 (D9, D8), un district au niveau 2 (D10) et deux au niveau 1 (D31, D32).

La carte 2 montre une logique quantitative au sein des trois derniers niveaux (4, 5, 6), avec la suite progressive de 2, 6 et 11 districts par niveau. Cependant, l'absence de districts de niveaux 3 et 2, censés former les espaces péricentraux entre ceux des deux niveaux sommitaux (5, 6) et ceux du niveau 4, porte atteinte à la logique de répartition spatiale des districts selon la théorie des lieux centraux fondée par Christaller en 1933 (Prost,1965), cherchant à expliquer la hiérarchie des villes, selon leurs tailles, leurs localisations et leurs fonctions ; et qu'on essaie d'interpréter à l'échelle intra urbaine. L'on observe aussi qu'à partir du niveau 4 jusqu'au niveau 1, la logique s'inverse et chacun des niveaux hiérarchiques commence à dominer moins de districts de niveau inférieur. Cette situation paradoxale montre que la dimension commerciale est en contradiction avec le principe de hiérarchisation et de subordination des différentes parties de la ville considérée comme système entretenant son propre équilibre.

**Tableau 2.** Classement et niveau synthétique commercial des districts

DISTRICTS	MOYENNE DES NIVEAUX ( $\sum N/6$ )	CLASSEMENT DES DISTRICTS	NIVEAUX DES COMMERCES ET SERVICES DIVERS	INTERVALLES (Moyenne des Niveaux)
D 15	5,83	1	6	] 5,5 à 6,5] (2 districts)
D 38	5,83	1	6	
D 14	5,50	3	5	] 4,5 à 5,5] (6 districts)
D 44	5,33	4	5	
D 16	5	5	5	
D 30	5	5	5	
D 11	4,83	7	5	
D 43	4,66	8	5	
D 20	4,50	9	4	] 3,5 à 4,5] (12 districts)
D 09	4,33	10	4	
D 39	4,33	10	4	
D 19	4,16	12	4	
D 21	4,16	12	4	
D 37	4,16	12	4	
D 17	4	15	4	
D 08	3,83	16	4	
D 22	3,83	16	4	
D 23	3,83	16	4	
D 33	3,66	19	4	
D 35	3,66	19	4	
D 36	3,50	21	3	] 2,5 à 3,5] (8 districts)
D 13	3,33	22	3	
D 29	3,33	22	3	
D 45	3	24	3	
D 18	2,83	25	3	
D 27	2,83	25	3	
D 40	2,83	25	3	
D 25	2,66	28	3	
D 12	2,50	29	2	] 1,5 à 2,5] (8 districts)
D 24	2,50	29	2	
D 42	2,50	29	2	
D 26	2,16	32	2	
D 10	2	33	2	
D 34	2	33	2	
D 41	1,83	35	2	
D 28	1,66	36	2	
D 46	1,5	37	1	$\leq 1,5$ (4 districts)
D 31	1	38	1	
D 32	1	38	1	
D 47	1	38	1	
40 districts				

Source : S. HASSAINE, 2011



Source : S. HASSAINE, 2011. (Fond de plan : assemblage de 25 photos aériennes de 2001, 1/4000, INCT)  
 Carte. 2 Hiérarchie des districts d'Ouled Djellal selon le niveau de commerce et services

**6. Système fonctionnel d'Ouled Djellal : hypercéphalie de l'espace central, absence de centralités secondaires et dysfonctionnement urbain**

Le tableau 3, du niveau fonctionnel des districts d'Ouled Djellal, construit sur la variable structurale composée de deux dimensions (Equipements urbains, Commerces et services), définit cinq intervalles :  $\leq 1,5]$  ,  $] 1,5 \text{ à } 2,5]$  ,  $] 2,5 \text{ à } 3,5]$  ,  $] 3,5 \text{ à } 4,5]$  ,  $] 4,5 \text{ à } 5,5]$  ; correspondants aux niveaux hiérarchiques de 1 à 5. Ce tableau montre que parmi les cinq districts du centre colonial, quatre sont de niveau 5 (D43, D15, D16, D44) et un district de niveau 3 (D14). Quant au noyau traditionnel, composé de 7 districts, la hiérarchisation fonctionnelle en révèle l'existence d'un seul au niveau 4 (D30), trois au niveau 3 (D8, D11, D9) et trois au plus bas niveau 1 (D10, D31, D32). Sachant que l'occupation des niveaux 3 et 4 par les quatre districts de cette entité historique, ne s'explique que par la percée urbaine opérée dans ce quartier en 1975, devenue à vocation tertiaire, notamment en services marchands.

Le modèle théorique pyramidal du système fonctionnel de la figure 1, révèle que le centre colonial s'impose comme espace central de la ville actuelle. Les districts du noyau traditionnel varient des plus marginaux et enclavés, à celui occupant une centralité intermédiaire à vocation commerciale (D30). Les districts n'ayant pas de relation spatiale avec la percée urbaine, se voient occuper les plus bas niveaux. Quant aux districts périphériques, la carte 3 montre que cette catégorie se classe dans les trois derniers niveaux (1, 2, 3). La localisation spatiale des districts appartenant aux trois derniers niveaux prouve l'existence d'un véritable dysfonctionnement urbain. Il se traduit par une rupture fonctionnelle très apparente entre ceux-là et les districts limitrophes du centre colonial occupant le niveau le plus élevé, provoquant par conséquent aux habitants de longs déplacements au centre-ville pour satisfaire leurs divers besoins, surtout à pieds, à vélo ou à motocyclettes. L'écart entre les deux entités contigües, enregistre deux et même trois niveaux hiérarchiques. L'espace entourant le centre colonial de niveau 5, régresse vers la périphérie des niveaux 3, 2 et 1 ;

sans même passer par le niveau 4 que nous considérons comme support de la continuité fonctionnelle et morphologique respectant le principe de la hiérarchie systémique de la ville, théorisé par Caniggia (1994) dans son modèle intra-urbain expliquant le phénomène de dédoublement successif de la ville à travers ses parcours, ses centralités et sa croissance spatiale.

La comparaison du modèle théorique aux résultats de cette analyse montre le déséquilibre pyramidal du système fonctionnel d'Ouled Djellal. Différentes zones non équilibrées sont mises en exergue. La première se traduit par une macrocéphalie sommitale représentée par

les cinq districts de niveau 5. Le regroupement de ces derniers dans le même espace constitué par le centre colonial, ainsi que l'existence seulement de deux districts au niveau 4 (D19, D30), accentuent non seulement l'hypertrophie de ce quartier, mais dénote aussi l'hypotrophie des zones intermédiaires et l'absence de centralités secondaires nécessaires à l'équilibre de la ville. Par contre, la deuxième zone non équilibrée démontre l'une des plus grandes faiblesses du système fonctionnel urbain de cette ville moyenne. Elle se situe au niveau de la base avec seulement sept districts et une très forte hypotrophie basique.

**Tableau 3.** Classement et niveau synthétique fonctionnel des districts

DISTRICTS	MOYENNE M=(NE + NCSD)/2	CLASSEMENT	NIVEAU FONCTIONNEL	INTERVALLES (Moyenne des Niveaux)
D 15	5,5	1	5	]4,5 à 5,5] (5 districts)
D 43	5,5	1	5	
D 16	5	3	5	
D 38	5	3	5	
D 44	5	3	5	
D 19	4,5	6	4	]3,5 à 4,5] (2 districts)
D 30	4	7	4	
D 08	3,5	8	3	]2,5 à 3,5] (10 districts)
D 11	3,5	8	3	
D 09	3	10	3	
D 14	3	10	3	
D 17	3	10	3	
D 20	3	10	3	
D 22	3	10	3	
D 18	3	10	3	
D 33	3	10	3	
D35	3	10	3	
D 21	2,5	18	2	]1,5 à 2,5] (16 districts)
D 23	2,5	18	2	
D 28	2,5	18	2	
D 37	2,5	18	2	
D 39	2,5	18	2	
D 41	2,5	18	2	
D 45	2,5	18	2	
D12	2	25	2	
D 13	2	25	2	
D 25	2	25	2	
D 27	2	25	2	
D 29	2	25	2	
D 34	2	25	2	
D 36	2	25	2	
D 40	2	25	2	
D 46	2	25	2	
D 10	1,5	34	1	≤ 1,5 (7 districts)
D 24	1,5	34	1	
D 26	1,5	34	1	
D 42	1,5	34	1	
D 31	1	38	1	
D 32	1	38	1	
D 47	1	38	1	
40 Districts	NE : Niveau d'équipements NCSD : Niveau de commerce et services divers			

Source : S. HASSAINE, 2011

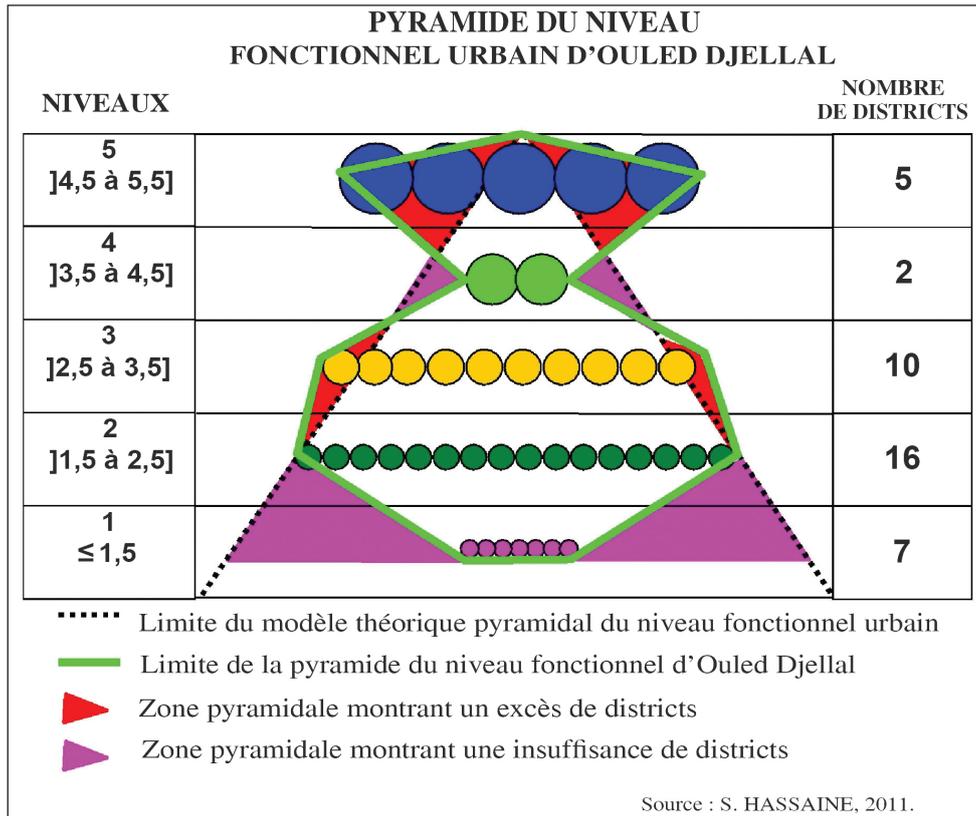
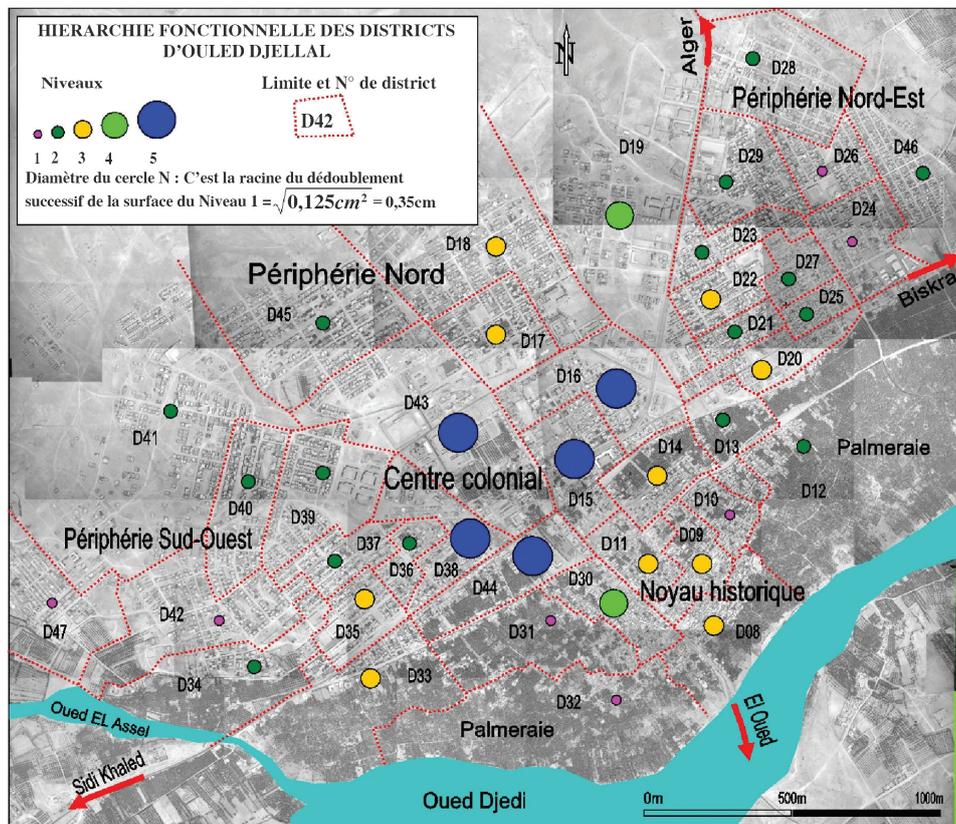


Fig. 1 Pyramide du niveau fonctionnel des districts de la ville d'Ouled Djellal



Carte. 3 Hiérarchie fonctionnelle des districts de la ville d'Ouled Djellal

## 7. Conclusion

En démontrant que la ville d'Ouled Djellal présente une situation de ségrégation spatiale et fonctionnelle, on démontre d'une part que son noyau historique souffre d'enclavement et de marginalisation au sein de la structure globale, de l'autre, l'existence d'un dysfonctionnement urbain qui se traduit par une répartition inégale des équipements urbains et des commerces. Pour remédier à cette situation non équilibrée affectant son système fonctionnel, nous recommandons à l'échelle wilayale la promotion de la ville au sixième rang. Cette promotion lui permettra de jouer un rôle polarisant assurant l'équilibre micro régional en participant à l'allègement du poids que supporte actuellement le chef-lieu de Wilaya (Biskra). Les opérations d'aménagement attendues à l'échelle intra urbaine faisant promouvoir son armature spatiale du niveau 5 au niveau 6, feront générer des centralités secondaires structurant mieux la ville actuelle. Certains districts du noyau historique (D08, D09, D11), les districts de la périphérie nord-est (D20, D21, D25) et les districts de la périphérie sud-ouest (D33, D35), devraient être érigés au niveau 4. La promotion projetée de ces districts appartenant à différentes localisations spatiales, est en cohérence avec les modèles de hiérarchisation structurelle, élaborés en théories urbaines. Pour résoudre ce problème identifié, on doit agir sur la structure urbaine. Alors, dans le cadre d'une opération de renouvellement urbain devant participer au développement durable de cette ville, nous souhaitons la consolidation de ces districts à travers l'implantation d'équipements de proximité, de commerce de détail et services divers. Nous envisageons alors une structure polycentrique hiérarchisée à quatre centres urbains. D'abord, maintenir la centralité spatiale maximale de niveau 5, formée par l'espace central actuel constitué par les districts du centre colonial. Ensuite, trois centralités secondaires dont leurs districts devront être de niveau 4. La première se localisera dans la partie nord-est de la ville (D20, D21, D22), correspondant à la zone de croissance urbaine des années 1950, créée en position spatiale détachée du noyau colonial et du noyau historique traditionnel. La deuxième, dans la partie sud-ouest (D33, D35), apparue aussi dans les mêmes conditions historiques et spatiales que la première. La troisième, au niveau du noyau traditionnel, autour de la percée urbaine de 1975 (D08, D09, D11, D30). Enfin, entre ces quatre centralités spatiales, devront exister des districts de niveau 3, marquant les espaces péricentraux. Quant aux districts de niveau 1 et 2, ils trouveront leurs places dans l'espace périphérique de la ville.

## Références Bibliographiques

- Belhamissi M. (1979). *Al Djazair min khilali raahalat al-Maghariba fi Al-ahd Al-othman* (l'Algérie à travers les voyageurs Maghrébins à l'époque Ottomane). Ouvrage en langue arabe, SNED, Alger.
- Bertalanffy L. V. (1980). *Théorie générale des systèmes*, Bordas, Paris.
- Berry B. (1967). *Geography of market centers and retail distribution*, Englewood Cliffs: Prentice Hall. Trad. Fr. De B. Marchand, Géographie des marchés et du commerce de détail, Paris, Armand Colin, 1971.
- Boudon R. (1961). *Les méthodes en sociologie*, PUF, Coll. Que sais-je ? Paris.
- Caniggia G. (1994). *Lecture de Florence*, Institut Supérieur d'Architecture Saint-Luc Bruxelles, Bruxelles.
- Christaller W. (1933). *Die zentralen Orte in Süd deutschland*, Gustav Fischer, Jena.
- Côte M. (2005). « *La ville et le désert, le bas-Saharien algérien* », Côte M. (Directeur scientifique), Alkama D., Ballais J-L., Belguidoum S., Bensaad A., Farhi A., Mazouz S., Rousseau V. Karthala- IREMAM, Aix-en-Provence-Paris.
- Djellal-Assari N. (2004), *Le rôle des activités de service dans l'organisation et la structuration spatiales d'Alger*, Thèse de Doctorat d'Etat en urbanisme, Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme, Alger.
- Farhi A. (2001). *Macrocéphalie et pôles d'équilibre : la wilaya de Biskra*, Revue L'Espace Géographique, 2001/3, pp. 245-255. [www.cairn.info/revue-espace-geographique-2001-3-page-245.htm](http://www.cairn.info/revue-espace-geographique-2001-3-page-245.htm).
- Frankhauser P. (1994). *La fractalité des structures urbaines*. Anthropos, Paris.
- Jacob F. (1975). « *La logique du vivant, une histoire de l'hérédité* », Ed. Gallimard, Mayenne.
- Jean-Louis A. (1994). *Au cœur de la ville*, Editions Odile Jacob, Paris.
- LAMSADE-CNRS UMR 7243- Université Paris Dauphine (2011), Site Internet : <http://www.lamsade.dauphine.fr>
- Lazarsfeld P., Rosenberg M. (1955). « *The language of social research: A reader in the methodology of social research* », The Free Press, Glencoe, Ill.
- Lazarsfeld P., Boudon R., (1965). « *Le vocabulaire des sciences sociales, concepts et indices* », ouvrage collectif, Mouton, Paris/La Haye.
- Lefebvre H. (1961). « *Critique de la vie quotidienne, fondement d'une sociologie de la quotidienneté* ». Tome 2, L'Arche Editeur. Paris.
- Lefebvre H. (1968), « *Le droit à la ville* », Editions Anthropos, Paris.
- Loi n° 90-29 du 1<sup>er</sup> décembre 1990 relative à l'aménagement et l'urbanisme. Journal Officiel de la République Algérienne, n° 52, Imprimerie Officielle, Alger.

- Lynch K. (1976). *L'image de la cité*, Bordas, Paris.
- Office Nationale des Statistiques, Recensement général de la population et de l'habitat (RGPH) de la ville d'Ouled Djellal de 1998 et de 2008, Alger.
- Poëte M. (1967). *Introduction à l'urbanisme*, Anthropos, Paris.
- Prost M-A. (1965). *La hiérarchie des villes en fonction de leurs activités de commerce et de service*. Préface de J.R.Boudeville, Gauthier- Villars, Paris.
- Rossi A. (1991). *L'architecture de la ville*. l'Equerre, Coll. Formes urbaines, Paris.
- Roy B. (1993). *Aide Multicritère à la Décision : méthodes et cas*, Economica, Paris.
- Zucchelli A. (1983), *Introduction à l'urbanisme opérationnel et à la composition urbaine*. Vol.1 et 3, OPU, Alger.
-

## La 3<sup>ème</sup> session du Comité d'Experts des Nations Unies pour la Gestion Globale de l'Information Géospatiale à l'Échelle Mondiale (UN-GGIM)

■ *Cambridge, Royaume Uni, du 24 au 26 juillet 2013.*

**U**ne délégation algérienne conduite par le Directeur Général de l'INCT a participé aux travaux de la troisième session du Comité d'Experts des Nations Unies pour la Gestion de l'Information Géospatiale à l'Échelle Mondiale (UN-GGIM), tenue à Cambridge, Royaume Uni, du 24 au 26 juillet 2013.

Cette session a enregistré la participation de 247 spécialistes, représentant 72 pays membres, des organisations internationales gouvernementales et non gouvernementales ainsi que des organismes du secteur privé.

Les travaux du Comité ont porté sur l'examen des rapports élaborés par les différents sous groupes, sur la base des réponses aux questionnaires distribués préalablement aux états membres et aux organisations régionales sur la situation actuelle et sur le rôle des gouvernements dans l'adoption et la tenue à jour d'une Infrastructure Nationale de Données Géospatiales.

L'ordre du jour adopté a porté sur les points suivants:

1. Évolution future de la gestion de l'information géospatiale : Le Comité d'experts a approuvé le document de référence sur les tendances futures en matière de gestion de l'information géospatiale et a fourni les orientations stratégiques face aux évolutions qui devraient marquer les 5 à 10 années à venir;
2. Système de référence géodésique mondial: le Comité envisage l'élaboration d'un plan d'action en vue de renforcer les Infrastructures mondiales en matière de géodésie;
3. Elaboration d'un portail cartographique mondial pour le développement durable;

4. Evolution des mécanismes institutionnels nationaux de gestion de l'information géospatiale;

5. Cadre juridique pour la mise à disposition de la donnée géographique propriétaire;

6. Création et application des normes pour le secteur de l'information géospatiale au niveau mondial;

7. Mise en relation des informations géospatiales avec d'autres données, notamment statistiques. Compte tenu de la sensibilité de la donnée statistique, le Comité a proposé la mise sur pied d'un groupe restreint d'experts géographes et statisticiens pour la prise en charge de cette question;

8. Élaboration d'une déclaration de principes commune sur la gestion de l'information géospatiale;

9. Intégration des cartes topographiques et des cartes marines;

10. Développement d'une base de connaissances en information géospatiale;

11. Situation de la cartographie dans le monde élaborée sur la base des situations transmises par les pays membres sous formes de rapports nationaux;

12. Activités relatives à l'information géospatiale dans le système des Nations Unies. A ce titre, le Comité a demandé au secrétariat du GGIM d'élaborer un rapport sur la question pour la prochaine session;

13. Rapports des entités régionales et des groupes thématiques;

Le Comité a enregistré la création d'entités régionales dénommées UN-GGIM-Région. A cet effet, les représentants des pays arabes de l'Asie de l'Ouest, ainsi que le Maroc, ont tenu une réunion en marge de la Conférence de Cambridge, du 21 au 23 juillet 2013 à laquelle la délégation algérienne n'a pas pris part et lors de cette session il a été convenu de créer un mécanisme régional de coordination dans la gestion de l'information géospatiale sous l'égide de la Commission Economique et Sociale des Nations Unies pour l'Asie de l'Ouest (UN-ESCWA).

Les différents rapports ont été débattus et adoptés par le Comité d'experts et feront l'objet d'un rapport qui sera adressé au Secrétaire-Adjoint des Nations Unies.

S'agissant de l'Algérie, les recommandations de la Conférence Nationale des Données Géographiques, organisée au CNA-Alger en Octobre 2012, prennent en charge les orientations onusiennes. A ce titre l'INCT en collaboration avec les producteurs et utilisateurs de la donnée géographique, mettront en place les dispositions techniques et juridiques nécessaires pour la mise en place de l'Infrastructure Nationale de la Donnée Géographique.



## Réunion 2013 de la Commission de l'Association Cartographique Internationale (ACI) sur les normes et les infrastructures de géoinformation

■ *Dresde, Allemagne, du 22 au 25 août 2013.*

**L**a réunion 2013 de la Commission de l'Association Cartographique Internationale (ACI) sur les normes et infrastructures de géoinformation a été tenue à la Technische Universität de Dresde, Allemagne, du 22 au 25 août 2013. La réunion était présidée par M. Antony Cooper (Afrique du Sud). Les participants étaient issus du milieu universitaire ou d'organismes géospatiaux des pays suivants : République tchèque, Danemark, Namibie, Afrique du Sud et Etats-Unis d'Amérique.



La Commission de l'ACI effectue des recherches sur le développement et la mise en œuvre d'infrastructures de données spatiales (SDI) au niveau mondial, régional, national et local, et sur la théorie et les notions qui les sous-tendent, tout en prenant en considération les conséquences pour l'ACI.

La réunion a traité les sujets suivants :

- La modélisation des parties prenantes dans une infrastructure de données spatiales (SDI), à partir du document de la Commission sur « l'élargissement du modèle officiel de l'infrastructure de données spatiales pour y inclure des informations géographiques fournies spontanément ».

- L'expérience Namibienne en matière de mise en œuvre de sa SDI.
- Examen du document « L'impact d'une infrastructure de données spatiales sur les fournisseurs de services à valeur ajoutée et vice versa » qui a été présenté à la 26<sup>ème</sup> Conférence Cartographique Internationale, également tenue à Dresde, au cours de la semaine suivante.

Il est prévu de soumettre les documents susmentionnés, lorsqu'ils seront terminés, aux fins de publication dans un journal scientifique.



*Comité exécutif (CE) de l'ACI pour la période 2011-2015.*

## La 26<sup>ème</sup> Conférence Cartographique Internationale (ICC2013)

■ *Dresden, Allemagne, du 25 au 30 août 2013.*

**L**a 26<sup>ème</sup> Conférence Cartographique Internationale (ICC 2013), qui s'est déroulée du 25 au 30 août 2013 à Dresden / Allemagne, a regroupé plus de 1400 participants, venus de 35 pays. Plus de 76 sessions et 450 communications ayant trait aux développements et avancées technologiques dans le domaine des sciences géographiques.

Monsieur MARBUS Ulbig, Ministre de l'Intérieur, a procédé à l'inauguration officielle de la conférence. Les travaux de l'Assemblée Générale de l'Association Cartographique Internationale (ACI), ont débuté par une allocution de son Président. Les interventions qui se sont succédées durant cette manifestation ont balayé les différents aspects liés à la production et la gestion des données géographiques, notamment le développement et la mise en œuvre des processus de généralisation des bases de données topographiques, la cartographie des frontières, ainsi que les procédés de mise en œuvre des infrastructures des données géographiques.

L'INCT a marqué une participation très active à cette Conférence par une présentation orale et un poster scientifique portant respectivement sur la mise en place d'une méthodologie de développement d'Infrastructures de Données Géographiques (IDG) et d'un processus de généralisation cartographique. Deux nouveaux produits cartographiques ont également été exposés, à savoir, les cartes, en relief du monde et du nord de l'Algérie. Il convient de noter que l'INCT est le seul établissement africain et arabe ayant participé à cette exposition.



Parallèlement aux travaux de la Conférence, les représentants de l'INCT ont tenus des discussions fructueuses avec les experts internationaux, notamment pour l'introduction des technologies nouvelles dans le processus de fabrication de la carte de base, notamment l'exploitation des données topographiques à grande échelle (1 / 10 000) .



## Réunion annuelle du Conseil Mixte des Associations d'Informations Géospatiales (JBGIS)



■ *Potsdam, Allemagne, 31 août 2013.*

**L**e Conseil Mixte des Associations d'Informations Géospatiales (JBGIS) est une coalition des présidents/secrétaires généraux/directeurs qui représentent des organisations internationales reconnues engagées dans la coordination, le développement, la gestion, la normalisation ou la réglementation des informations géospatiales et des questions connexes.

Le JBGIS a pour objectif de communiquer, lorsque possible, d'une voix collective et unifiée au niveau international en ce qui concerne les affaires géospatiales, notamment aux Nations Unies et avec d'autres acteurs mondiaux de l'information géospatiale. Son second objectif consiste à aider les coordinations des activités pertinentes entre les organisations représentées par les membres du JBGIS.

La réunion annuelle du JBGIS s'est tenue à l'Institut Albert Einstein dans le campus des sciences à Potsdam le 31 août 2013.

Les organisations internationales suivantes étaient représentées : la Fédération Internationale des Géomètres (FIG), l'Association des Infrastructures de Données Spatiales Globales (GSDI), l'Association

Internationale de Géodésie (AIG), l'Association Cartographique Internationale (ACI), la société IEEE géoscience et télédétection, l'Union Géographique Internationale (UGI), l'« International Map Industry Association » (IMIA) et la Société Internationale de Photogrammétrie et Télédétection (ISPRS).

Le Conseil Mixte des Sociétés d'Informations Géospatiales a convenu d'ajuster sa déclaration des opérations pour clarifier son rôle et sa composition. Il a également ré-élu le professeur William Cartwright, président sortant de l'ACI, aux fonctions de président pour l'année qui vient.

Le Comité a examiné les progrès réalisés et en particulier la meilleure connaissance des organisations participantes au sein du Comité d'experts des Nations Unies pour la gestion de l'information géospatiale à l'échelle mondiale (UN-GGIM) ainsi que la réalisation et la publication d'un ouvrage intitulé : « Best Practices on Geo-information for Risk and Disaster Management » (Meilleures pratiques en géoinformation pour la gestion des risques et des catastrophes).

Il a été décidé que la prochaine réunion annuelle du JBGIS aura lieu à New York, juste avant la cinquième session de l'UN-GGIM en août 2014.

## 24<sup>ème</sup> Symposium International du CIPA

■ *Strasbourg (France) du 2 au 6 septembre 2013.*

**L**e 24<sup>e</sup> symposium du CIPA, Comité mixte de la Société Internationale de Photogrammétrie et de Télédétection (ISPRS) et du Conseil International des Monuments et Sites (ICOMOS) a eu lieu à Strasbourg (France) du 2 au 6 septembre 2013. Environ 300 participants originaires de 40 pays ont participé à l'évènement organisé par la SFPT Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection et l'équipe Photogrammétrie et Géomatique de l'INSA de Strasbourg.

Pierre GRUSSENMEYER, Directeur du Symposium a souhaité la bienvenue aux participants lors de la cérémonie d'ouverture. Par la suite, Laurent POLIDORI a salué l'assistance au nom de la SFPT, Samir ABDULAC au nom d'ICOMOS France et Mario SANTANA au nom du CIPA. Fabio REMONDINO (Président de la Commission 5 de l'ISPRS) a ensuite présenté un état de l'art sur les technologies de relevé et Stefano DE CARO (Président de l'ICCROM) a présenté un discours sur les liens entre la technologie et la formation.

Au cours des autres sessions plénières, David MYERS (Fondation Getty) et Yiannis AVRAMIDES (Fond mondial du patrimoine) ont présenté le système ARCHES destiné à la gestion des sites du patrimoine mondial, tandis que Ramtin ATTAR présentait les possibilités technologiques pour la représentation du patrimoine à travers les recherches d'Autodesk. Jun CHEN (Président de l'ISPRS) a présenté un panorama des activités des commissions de l'ISPRS.

Le programme scientifique comprenait 27 sessions orales (soit un total d'environ 140 exposés) et 2 sessions d'affiches comprenant environ 40 présentations.



Les diverses présentations scientifiques étaient regroupées en quatre groupes de sessions présentant :

- les techniques et méthodes de levés du patrimoine (photogrammétrie, balayage laser, intégration de capteurs, drones, etc).
- la gestion, la modélisation 3D et la visualisation du patrimoine mondial (SIG, maquettes numériques, logiciels libres, etc.)
- les technologies de l'information, la formation et la communication

Les sessions spéciales étaient consacrées à la gestion et la coopération dans les projets du patrimoine mondial, les inventaires et les bibliothèques numériques, la conservation de la pierre et l'efficacité énergétique des bâtiments.

Il est à signaler que le 25<sup>ème</sup> Symposium CIPA sera organisé à l'Université des technologies de Taipei (Taiwan) du 31 août au 5 septembre 2015.

## La 17<sup>ème</sup> Conférence des utilisateurs francophones d'Esri « SIG 2013 »

" La transformation numérique de la planète est en cours "



■ *France, les 2 & 3 octobre 2013.*

**L**a 17<sup>ème</sup> Conférence des utilisateurs francophones d'Esri organisée par Esri France les 2 & 3 octobre 2013 a mis en avant le rôle essentiel du SIG dans la transformation du monde. Démonstrations à l'appui, les fonctions de la dernière version 10.2 d'ArcGIS exploitant le temps réel et immersion 3D, ont passionné les spécialistes et les décideurs du monde économique, politique et scientifique.

En réunissant 2 474 spécialistes et décideurs venus à sa conférence francophone, Esri France a montré son savoir-faire cartographique et mis en avant ses engagements pour aider à gérer les espaces économiques, scientifiques et politiques du monde.

Les présentations et ateliers techniques qui ont suivi tout au long des deux jours du Colloque déclinent les moyens de cet engagement. D'abord, à travers la présentation des derniers outils et fonctionnalités offertes par l'éditeur, mais aussi par la vision et les travaux des nombreux spécialistes et décideurs du monde économique, politique et scientifique, venus participer à la manifestation. En témoigne enfin, les 212 communications présentées cette année autour de 40 thèmes, comme la gestion urbaine, le géomarketing, l'accessibilité, l'éclairage, l'immobilier, la circulation, l'infrastructure ou les réseaux.



## Forum mondial de Chengdu sur l'Initiative des Nations Unies pour la Gestion de l'Information Géo-spatiale à l'échelle mondiale (UN-GGIM)

■ *Chengdu, Chine, du 15 au 17 Octobre 2013.*

**P**lus de 180 experts de 40 pays ont participé au Forum mondial de Chengdu pour la Gestion de l'Information Géo-spatiale à l'Échelle Mondiale, qui s'est tenu à Chengdu en Chine, du 15 au 17 Octobre 2013 et organisé conjointement par le Secrétariat des Nations Unies de l'Initiative « Gestion de l'information géo-spatiale à l'échelle mondiale (UN-GGIM) » et l'Administration Nationale de la Géodésie, de la Cartographie et de l'Information Géographique (NASG) de la république de Chine.

Les thèmes traités durant ce Forum portaient sur les applications de cartographie des risques en milieu urbain.

Durant les trois (03) jours de cette manifestation, les participants se sont réunis pour partager les expériences et les méthodes de formation, de gestion, d'analyse, de modélisation et de diffusion de l'information géo-spatiale liées aux risques et dangers dans le milieu urbain.

La cérémonie d'ouverture a été animée respectivement par Mr. Xu Deming, vice-ministre, des Terres et des Ressources, le Directeur Général de Administration Nationale de la Géodésie, la Cartographie et l'Information Géographique (NASG) de la république de Chine, et Mr Wu Hongbo, Sous-Secrétaire Général d'état pour les Affaires Economiques et Sociales.

Les allocutions de bienvenue ont été prononcées par des hauts responsables chinois dont M. Wei Hong, Gouverneur, du Gouvernement Populaire de la Province du Sichuan de la Chine et le Dr Li Pengde, Directeur Général Adjoint de la NASG-Chine.

Les travaux du Forum ont été inaugurés par une communication d'intérêt nationale intitulée « Développement et applications de la cartographie d'urgence en Chine ». Le Dr Li Pengde, Directeur Général Adjoint de la NASG-Chine a présenté l'Administration Nationale de la Géodésie, la Cartographie et l'information Géographique de la république de Chine qui est un nouveau programme de développement géo-spatiale pour répondre à des exigences accrues en Chine et aussi dans la région. Après, le communicant a



mis l'accent sur les actions récentes de développement et les applications de la cartographie d'urgence en Chine.

Pour définir le contexte du Forum, deux (02) exposés ont été présentés par des experts reconnus mondialement, lesquels ont démontré les vrais défis de la disponibilité de l'exploitation des informations géo-spatiales, lors des situations d'urgence, à grande échelle et dans les milieux urbains.

Les Communications présentées lors de ce Forum étaient réparties en huit (08) sessions :



**Session 1:** Interprétation des dangers et des risques en milieu urbain

**Session 2:** Modélisation et applications des dangers et des risques

**Sessions 3 et 4 :** Défis géo-spatiaux pour faire face aux catastrophes urbaines

**Sessions 5 et 6:** Les exigences de l'information géo-spatiale

**Session 7:** Développement d'applications et méthodes géo-spatiales

**Session 8:** Résultats et possibilités.

Les résultats des travaux de ce Forum ont démontré que l'information géo-spatiale a un rôle essentiel dans toutes les phases de gestion et de réduction des risques liés aux catastrophes, et ont permis également, d'étendre la possibilité, pour les nations, non seulement de cartographier leur territoire, mais aussi les zones qui sont vulnérables aux catastrophes naturelles, en particulier le milieu urbain.

## Conférence arabe pour la géométrie-topographie et les noms géographiques



■ Amman, Royaume de Jordanie, du 29 au 31 Octobre 2013.

**L**es Etats arabes prévoient de construire une culture des noms géographiques sur les plans Nationaux et arabe et de développer les systèmes d'enregistrement foncier et de la normalisation des noms géographiques ainsi que les terminologies utilisées et leur écriture dans les cartes, les atlas et les plans et de préserver la diversité culturelle comme héritage commun des peuples arabes afin qu'ils constituent leur propre zone géographique.

Dans ce contexte, une Conférence arabe de la géométrie-topographie et des noms géographiques s'est tenue à Amman au Royaume de Jordanie du 29 au 31 Octobre 2013. Cette conférence a été organisée par le Centre Géographique Royal Jordanien et l'Union Arabe des Géomètres-Topographes, en partenariat avec l'Union Arabe d'Astronomie et des Sciences Spatiales ainsi que la partie arabe des experts des nations unies sur les noms géographiques.



La Conférence a enregistré une large participation des universitaires, des experts et des chercheurs de l'Algérie, la Jordanie, l'Arabie Saoudite, le Qatar, l'Émirats arabes unis, le Liban, Oman, la Libye, le Maroc, la Tunisie, l'Égypte, le Yémen et la Palestine.

Les participants ont recommandé de travailler sur le développement des systèmes d'enregistrement et l'adoption des technologies modernes en créant une base de données pour la géométrie-topographie et les noms géographiques dans les pays arabes.

Ils ont souligné également la nécessité de la sensibilisation des différents segments de la société, quant à l'importance des noms géographiques et ce, par les différents médias ainsi que par la mise en place

des autorités, des institutions, des organes et des comités spécialisés dans le domaine de la géométrie-topographie et les noms géographiques, et ont appelé en même temps pour l'activation de la coopération entre les secteurs publics et privés dans le domaine de la géométrie-topographie et des travaux de normalisation par l'unification des noms géographiques au niveau arabe.

Au terme des travaux de cette conférence, les participants ont opté pour la nécessité d'utiliser le système unifié d'écriture des noms arabes en lettres Romaines et la création de comités spécialisés dans ces domaines pour faciliter leur travail.

Il est à signaler que lors de cette conférence, Il a été convenu que la prochaine session, prévue l'année prochaine, se tiendra en Algérie.

## La première réunion du Groupe d'experts des Nations Unies sur l'intégration des statistiques et de l'information géospatiale

■ *New York, du 30 Octobre au 1 Novembre 2013.*

**L**a Division de statistiques des Nations Unies a organisé la première réunion du Groupe d'Experts des Nations Unies pour l'intégration des statistiques et de l'information géospatiale. Cette 1<sup>ère</sup> réunion s'est déroulée du 30 Octobre au 1 Novembre 2013 à New York.

Le groupe d'experts des Nations Unies pour l'intégration des statistiques et de l'information géospatiale, qui a été récemment mis en place en application de la décision 44/101 adoptée par la Commission Statistique des Nations Unies et de la décision 3/107 prise par le Comité d'experts des Nations Unies pour la gestion de l'information géospatiale à l'échelle mondiale, est composé de représentants des deux (02) communautés (statistique, géospatiale). Il vise à effectuer des études sur l'élaboration d'un cadre commun mondial pour l'intégration des informations statistiques et géospatiales.

Lors de cette 1<sup>ère</sup> réunion, la communauté statistique était représentée par l'Australie, la Finlande, la France, l'Allemagne, l'Inde, le Japon, la Norvège, Saint Lucie et les États-Unis. La communauté géospatiale était représentée par le Brésil, le Bangladesh, l'Égypte, l'Allemagne, le Japon, la Pologne et la République de Corée. La Commission économique des Nations Unies de l'Asie de l'Ouest, la Division des statistiques, la Section de cartographie des Nations Unies et la Commission européenne, étaient aussi représentées.

Dans son discours d'ouverture Mr. Stefan Schweinfest, Directeur intérimaire de la Division statistique, a rappelé aux participants les décisions adoptées par la 44<sup>e</sup> session de la Commission des statistiques et la troisième session de l'UN- GGIM, qui a conduit à la création du Groupe d'experts. Il a souligné que la mise en place de ce groupe d'experts, reflète l'importance de l'intégration des données statistiques et de l'information géospatiale et leur contribution à l'appui au développement social, économique et environnemental et également à la prise de décisions des politiques.

Les différentes contributions ont soutenus pleinement la nécessité d'intégrer les informations statistiques et géospatiales, y compris le partage des connaissances, le renforcement des capacités et d'expertise, l'importance d'une terminologie commune, et les possibilités de collaboration.

Le Groupe d'experts a examiné et étudié en détail les méthodes et les pratiques relatives à l'intégration, la liaison,

le géocodage et la classification géographique. Il a été reconnu que, pour atteindre l'objectif de créer un forum de coordination et de dialogue entre les représentants des deux communautés statistiques et géospatiales, en vue de développer et de mettre en œuvre une plateforme statistique et géospatiale mondiale. A cet effet, il est important d'abord de partager les connaissances, les terminologies et les pratiques existantes. Le Groupe d'experts a décidé de développer un portail Web pour partager ses connaissances, ainsi que les lexiques de terminologies. Ce portail sera administré par la Division de statistique des Nations Unies.

Lors de cette 1<sup>ère</sup> réunion, il a été proposé également de tenir une conférence internationale dans un proche avenir. Et pour assurer une large participation, le Groupe d'experts a décidé de tenir cette Conférence en marge de la quatrième session du Comité d'experts des Nations Unies pour la gestion de l'information géospatiale à l'échelle mondiale, prévue en Août 2014.

L'une des principales questions abordées était aussi les différentes pratiques et approches utilisées pour déterminer et représenter les unités géographiques à des fins statistiques. Le Groupe d'experts a décidé de procéder à une consultation mondiale sur les pratiques de géocodage, de liaison et d'intégration des pratiques de classification géographiques.

Il a été convenu aussi de présenter les résultats de cette consultation mondiale, des activités de recherche et des plans de collaboration pour le recensement de la population 2020 lors de la Conférence internationale.

Au terme des travaux de cette 1<sup>ère</sup> réunion, le Groupe d'experts a affirmé que cette dernière a connu un succès remarquable en matière d'organisation, de coordination et de collaboration. Il a été convenu qu'il est donc impératif que la communauté statistique professionnelle, en partenariat avec les autorités nationales compétentes de l'information géospatiale, restent pleinement engagés pour travailler en étroite collaboration avec ce groupe d'experts.

## La conférence / débat sur les systèmes d'alertes aux tsunamis

■ *Alger, le 12 Novembre 2013.*

**L**a conférence / débat sur les systèmes d'alertes aux tsunamis, qui s'est tenue le 12 Novembre 2013 à Alger a été organisée conjointement par le groupe national « Risques et Aléas Côtiers » et la Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de l'Aménagement du Territoire (FSTGAT) de l'USTHB.

Cette journée technique avait comme objectif de présenter le projet NEAMTWS (Système d'Alerte aux Tsunamis pour l'Atlantique Nord-Est et la Méditerranée) du groupe Intergouvernemental de Coordination (GIC) de l'UNESCO.



Lors de cette conférence, le Dr. Francesca Santoro, secrétaire technique du projet NEAMTWS a présenté l'importance de se doter d'un centre d'alerte aux tsunamis au niveau de tous les pays méditerranéens, notamment l'Algérie qui est sismiquement très active et dont la limite côtière est d'environ 1200 Km, et ce afin d'épargner les conséquences fâcheuses que les tsunamis générés par les séismes peuvent causer.

Parmi les objectifs du projet NEAMTWS on peut citer les suivants :

- Organiser et faciliter les échanges, en temps réel ou quasi réel, des données sismiques, géodésiques, marégraphiques et autres données et informations nécessaires au projet ;
- Favoriser le partage des expériences et des expertises sur l'alerte aux tsunamis et l'atténuation de leurs effets pour la Méditerranée ;
- Promouvoir la recherche dans le domaine des tsunamis ;
- Promouvoir la mise en place et le développement des capacités nationales d'alerte aux tsunamis, conformément aux protocoles et méthodes en vigueur ;
- Se mettre en relation avec d'autres organisations, programmes et projets pertinents.

Ce projet vise à classer l'organisation des centres d'alertes aux tsunamis relatifs aux pays membres comme suit :

- Fournisseurs de services de veille aux tsunamis à partir de l'exploitation de la donnée sismique et marégraphique tels que : la France, la Turquie et la Grèce ;

- Le contact National Tsunamis qui est une personne désignée par le gouvernement d'un état membre du GIC pour représenter son pays dans les activités de coordination du système international d'alerte aux tsunamis ;
- Le point focal d'alerte est un contact permanent, joignable 7j/7j et 24H/ 24H, désigné par le gouvernement d'un état membre pour recevoir et diffuser rapidement les informations relatives aux tsunamis (comme les alertes) ;
- Les centres nationaux d'alerte aux tsunamis dont le rôle est la collecte, le traitement et l'analyse des données sismiques pour envoyer rapidement des messages d'alerte. Ces messages contiennent les précisions sur l'événement sismique et des estimations de l'heure d'arrivée du tsunami aux points de prévision. Par la suite, le centre collecte, traite et analyse les données du niveau de la mer pour confirmer ou annuler l'alerte.

Il est à signaler que durant cette conférence le Dr. Francesca Santoro a lancé un appel d'adhésion, au projet NEAMTWS, auprès des organismes algériens tels que : le CRAAG (données sismiques), INCT (données géodésiques et marégraphiques), force navales (données marégraphiques), office de la météorologie,... etc., qui doivent unifier leurs efforts, chacun en ce qui le concerne pour mettre au point un centre d'alerte Algérien.

## Colloque International sur les barrages et séismes

■ Alger, les 17 et 18 Novembre 2013.

**L**e Colloque International sur les barrages et séismes qui s'est déroulé les 17 et 18 Novembre 2013 à l'Institut Supérieur de Gestion et de Planification, a été organisé par l'Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT), et avait comme objectif de mettre l'accent sur l'impact des séismes sur les infrastructures relatives aux barrages.

L'allocation d'ouverture du Colloque a été donnée respectivement par Monsieur le Ministre, des ressources en eau et de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique et également par le Directeur de l'ANBT, lesquels ont mis en exergue l'importance des investigations sur les aléas sismiques et leurs impacts sur les barrages, particulièrement dans la partie nord de l'Algérie qui représente d'une part une zone sismiquement très active et d'autre part une assise pour tous les barrages algériens, en exploitation et également en cours de réalisation.

Les communications présentées lors de ce Colloque ont porté sur les quatre (04) thèmes suivants :

- Connaissances de l'aléa sismique,
- Conception parasismique des barrages,
- Comportement des barrages en cas de séisme : retours d'expérience et enseignement,
- Gestion de crise : rôle de l'exploitant et organisation des secours.

Des discussions très instructives ont été échangées après chaque communication par les experts Algériens : CGS, INCT, CTS, DGPC et les experts étrangers de : Tunisie, France, Grèce, Espagne, Canada, Serbie ainsi que les experts Algériens résidant à l'étranger tel que le Professeur MEGHRAOUI.



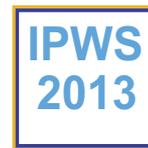
Il importe de signaler qu'au cours de cette manifestation, une grande partie des chercheurs notamment de la communauté des géophysiciens ont exprimé le besoin de se doter d'un réseau actif de stations GNSS permanentes en vue de suivre les évolutions temporelles des grandes failles sismiques du nord de l'Algérie.

Avant de clôturer les travaux de ce Colloque, Monsieur le Ministre des ressources en eau a remercié tous les conférenciers ainsi que les participants. Il a aussi exprimé son souhait de voir les scientifiques et professionnels travailler en collaboration et apporter leurs contributions effectives pour le développement des conceptions parasismiques pour l'amélioration de la sécurité des grands ouvrages hydrauliques et a souligné également la nécessité de mener à bien toutes les recommandations adoptées lors de cette manifestation par les différents experts en hydraulique, en sismologie et en géodésie.





## L'école d'hiver pour le traitement d'image « IPWS 2013 »



■ *Alger, du 25 au 28 novembre 2013.*

**L**e Laboratoire de Traitement d'Image et Rayonnement (LTIR) de la Faculté d'Electronique et d'Informatique de l'Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB) a organisé la deuxième école d'hiver pour le traitement d'images (IPWS 2013), du 25 au 28 Novembre 2013 au cyber espace.

L'allocation d'ouverture de cet évènement a été donnée par Messieurs le Vice Recteur de l'USTHB, le Vice Doyen de la faculté en question et Madame la Présidente du Comité d'Organisation de l'évènement.

Dans ce cadre, plusieurs conférences et ateliers ont été organisés, comme suit :

- **Conférence plénière 1 « évaluation et rehaussement de la qualité d'image et vidéo »:** Présentée par le professeur Chaker Larabi de l'Université de Poitier, France dans laquelle il a exposé des notions importantes sur la qualité d'image et comment améliorer cette dernière suivant le profil de l'utilisateur. Des modèles mathématiques ont été montrés et expliqués.
- **Conférence plénière 2 «classification des images satellites-approches et applications »:** Présentée par Pr Aichouche Belhadj Assia du LTIR/ USTHB et à travers laquelle différentes approches de classification d'images ont été expliquées. Des applications intéressantes pour la détection du changement et la mise à jour des SIG ont été mentionnées.
- **Conférence plénière 3 « la vidéo 3D et la vision stéréoscopique »:** Présentée par le Pr Chaker Larabi, exposant la vidéo et le cinéma en 3D ainsi que leurs dangers et répercussions sur la santé des yeux notamment pour les enfants.
- **Conférence plénière 4 « le system GPS-méthodes et applications »:** Animée par Dr. Salem Kahlouche du CTS/ Arzew qui a présenté des notions générales sur le GPS, il a cité les différents projets réalisés notamment ceux engagés avec l'INCT.
- **Conférence plénière 5 « fractales et ces applications »:** Animée par le Pr Boualem Haddad de LTIR/ USTHB, dans laquelle il a expliqué l'utilité de cette notion de fractales dans le domaine de la météorologie. Il a présenté également les différentes études et travaux réalisés dans ce domaine.

Les séances plénières ont été suivies par un ensemble d'ateliers riches et intéressants notamment :

- **Atelier 1 « morphologie mathématique »:** des notions de base de la morphologie mathématique ont été abordées et mises en pratique sous le logiciel ENVI par Dr Akila Kemmouche du LTIR/ USTHB.



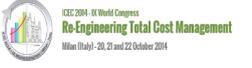
- **Atelier 2 « traitement d'images »:** Portant sur les transformations simples et le filtrage de bruit sous MATLAB. Cet atelier a été présenté par le Dr. Serir Amina de LTIR/ USTHB.
- **Atelier 3 « classification des images optiques »:** Animé par Dr. Raja Kheddami de LTIR/USTHB par lequel plusieurs techniques de classification ont été expliquées dont la technique K-means qui a été démontré sous le logiciel ENVI.
- **Atelier 4 « vidéo surveillance »:** Animé par Mr. A.Skoudarli du LTIR/ USTHB, dans lequel il a présenté des notions générales sur les systèmes de vidéo surveillance et leur principe de fonctionnement. Une démonstration par programmation a été faite.
- **Atelier 5 « traitement des images biomédicales »:** Présenté par Dr. N.Souag du LTIR/USTHB qui a choisi de parler sur l'analyse de mouvement du cœur et son utilité pour le diagnostic des malades. Un programme démonstratif sous le logiciel Matlab aux participants a été remis.

En marge de ces séances, une session poster a été organisée exposant différents travaux des participants.

Avant de clôturer les travaux de l'IPWS 2013, Mme Sérir Amina, présidente du Comité d'organisation a remercié tous les enseignants et participants pour l'intérêt qu'ils ont porté à cet évènement. Elle a déclaré que la formation de la prochaine école (IPWS 2014) va être encore plus riche en contenu.

## CALENDRIER DES MANIFESTATIONS SCIENTIFIQUES INTERNATIONALES

DATE ET LIEU	MANIFESTATION	SITE WEB	CONTACT
01 au 04 Juillet 2014 Salzburg, AUSTRIA 	GI_Forum 2014 Geospatial Innovation for Society	<a href="http://www.gi-forum.org">www.gi-forum.org</a>	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:office@gi-forum.org">office@gi-forum.org</a>
13 au 18 Juillet 2014 Quebec City Convention Centre Quebec City, QC, Canada Salzburg, AUSTRIA 	IGARSS 2014 - 2014 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium	<a href="http://www.ieee.org">www.ieee.org</a>	<b>Billene Cannon</b> <b>Tél:</b> +1 979 846 6800 <b>E-mail:</b> <a href="mailto:billene@cmsworld-wide.com">billene@cmsworld-wide.com</a>
04 au 06 Août 2014 Nairobi, Kenia 	International CODATA Workshop on Data for Science and Sustainability in Developing Countries	<a href="http://www.wfeo.net">www.wfeo.net</a>	<b>Prof. Mabel Imbuga</b> Vice Chancellor of Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology KENYA <b>E-mail:</b> <a href="mailto:vc@jkuat.ac.ke">vc@jkuat.ac.ke</a>
05 au 07 Septembre 2014 Zurich, SWITZERLAND 	Photogrammetric Computer Vision - PCV 2014 ISPRS Technical Commission III Symposium in conjunction with the European Conference on Computer Vision	<a href="http://www.isprs.org/pcv2014/">www.isprs.org/pcv2014/</a>	<b>Wilfried Hartmann</b> <b>Tél:</b> +41 44 633 61 45 <b>E-mail:</b> <a href="mailto:hartmann@geod.baug.ethz.ch">hartmann@geod.baug.ethz.ch</a>
08 au 11 September 2014 Skiathos Island, Greece 	1 <sup>st</sup> International Geomatics Applications "GEOMAPPLICA" Conference	<a href="http://www.geomapplica.prd.uth.gr">www.geomapplica.prd.uth.gr</a>	<b>Mr. Stavros Sakellariou</b> <b>Tél:</b> +30 24210 74282 <b>Fax:</b> +30 24210 74276 <b>E-mail:</b> <a href="mailto:geomapplica@prd.uth.gr">geomapplica@prd.uth.gr</a>
22 au 25 Septembre 2014 Amsterdam, NETHERLANDS 	SPIE Remote Sensing 2014	<a href="http://spie.org/remote-sensing-europe.xml?WT.mc_id=RCaI-ERSW">spie.org/remote-sensing-europe.xml?WT.mc_id=RCaI-ERSW</a>	<b>SPIE Europe</b> <b>Tél:</b> +44 29 2089 4747 <b>E-mail:</b> <a href="mailto:info@spieeurope.org">info@spieeurope.org</a>
23 au 26 Septembre 2014 Vienna, AUSTRIA 	GIScience 2014 8 <sup>th</sup> International Conference on Geographic Information Science	<a href="http://www.giscience.org">www.giscience.org</a>	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:giscience2014@geoinfo.tuwien.ac.at">giscience2014@geoinfo.tuwien.ac.at</a>

<p>29 Septembre au 02 Octobre 2014 Istanbul, TURKEY</p> 	<p>ISPRS Technical Commission VII Symposium Thematic Processing, Modeling and Analysis of Remotely Sensed Data</p>	<p><a href="http://isprstc7-2014.org">http://isprstc7-2014.org</a></p>	<p><b>Conference Secretariat</b> <b>Tél:</b> +90 (212) 285 71 94 <b>Fax:</b> +90 (212) 285 70 73 <b>E-mail:</b> <a href="mailto:akkartala@itu.edu.tr">akkartala@itu.edu.tr</a></p>
<p>06 au 08 Octobre 2014 Toronto, CANADA</p> 	<p>Joint International Conference on Geospatial Theory, Processing, Modeling and Applications ISPRS Technical Commission II Symposium 16<sup>th</sup> IGU Spatial Data Handling Symposium</p>	<p><a href="http://www2.isprs.org/2014GeoTPMA/home.html">www2.isprs.org/2014GeoTPMA/home.html</a></p>	<p><b>E-mail:</b> <a href="mailto:geoinfo5@ryerson.ca">geoinfo5@ryerson.ca</a></p>
<p>13 au 17 Octobre 2014 Darmstadt, Germany</p> 	<p>The Climate Symposium 2014</p>	<p><a href="http://www.theclimatesymposium2014.com">www.theclimatesymposium2014.com</a></p>	<p><b>Rowanna Comerford</b> <b>Tél:</b> +49 6151 807 6040 <b>E-mail:</b> <a href="mailto:rowanna.comerford@eumetsat.int">rowanna.comerford@eumetsat.int</a></p>
<p>14 au 16 October 2014 Russia, Moscow</p> 	<p>The 11<sup>th</sup> International exhibition of Geodesy, Cartography and Geographic Information Systems</p>	<p><a href="http://www.geoexpo.ru">www.geoexpo.ru</a></p>	<p><b>Tél:</b> +7 (495) 935 8100 <b>Fax:</b> +7 (495) 935 8101 <b>E-mail:</b> <a href="mailto:ledenyova@ite-expo.ru">ledenyova@ite-expo.ru</a></p>
<p>21 au 23 Octobre 2014 Milano, Italy</p> 	<p>CEC World Congress. Organised by the Italian Association for Total Cost Management (AICE)</p>	<p><a href="http://www.icec2014.it">www.icec2014.it</a></p>	<p><b>Sarah Bertolaso</b> <b>Tél:</b> +39 02 43912468 <b>Fax:</b> +39 02 48018575 <b>E-Mail:</b> <a href="mailto:icec2014@promoest.com">icec2014@promoest.com</a></p>
<p>27 au 31 October 2014 Johannesburg, South Africa</p> 	<p>10<sup>th</sup> International Conference of the African Association of Remote Sensing of the Environment</p>	<p><a href="http://www.aarse2014.org">www.aarse2014.org</a></p>	<p><b>E-Mail:</b> <a href="mailto:organiser@aarse2014.co.za">organiser@aarse2014.co.za</a></p>
<p>26 au 28 Novembre 2014 Vienna Austria</p> 	<p>11<sup>th</sup> International Symposium on Location-Based Services</p>	<p><a href="http://www.lbs2014.org/contact">www.lbs2014.org/contact</a></p>	<p><b>Tél:</b> +43-1-58801-12601 <b>Fax:</b> +43-1-58801-12699 <b>E-Mail:</b> <a href="mailto:info@lbs2014.org">info@lbs2014.org</a></p>
<p>06 au 08 Novembre 2014 Shatin, Hong Kong</p> 	<p>International Conference on Geo-process Modeling in Virtual Geographic Environments (VGEs): Managing and Sharing Geographic Information</p>	<p><a href="http://www.iseis.cuhk.edu.hk">www.iseis.cuhk.edu.hk</a></p>	<p><b>Tél:</b> (852) 3943 6538 <b>Fax:</b> (852) 2603 7470 <b>E-mail:</b> <a href="mailto:VGE2014@cuhk.edu.hk">VGE2014@cuhk.edu.hk</a></p>
<p>02 au 06 Décembre 2014 Ghent, Belgium</p> 	<p>International Symposium on Cartography in Times of War and Peace</p>	<p><a href="http://geoweb.ugent.be/historcarto2014/">geoweb.ugent.be/historcarto2014/</a></p>	<p><b>E-mail:</b> <a href="mailto:Soetkin.Vervust@UGent.be">Soetkin.Vervust@UGent.be</a> <b>E-mail:</b> <a href="mailto:Helga.Vermeulen@UGent.be">Helga.Vermeulen@UGent.be</a></p>

2015

<p>30 Mars au 01 Avril 2015 Lausanne, Switzerland</p> 	<p>8<sup>th</sup> International Symposium Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas 10th International Symposium Remote Sensing of Urban Areas</p>	<p><a href="http://www.jurse2015.org">www.jurse2015.org</a></p>	<p><b>E-mail:</b> <a href="mailto:contact@jurse2015.org">contact@jurse2015.org</a></p>
<p>11 au 12 Mai 2015 Montreal, Canada</p> 	<p>ICRSETE 2015 : International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering</p>	<p><a href="http://www.waset.org">www.waset.org</a></p>	<p><b>Adresse:</b> Ritz-Carlton Montreal 1228 Sherbrooke West Montreal, Quebec H3G 1H6, Canada</p>
<p>11 au 15 Mai 2015 Berlin, Germany</p> 	<p>36<sup>th</sup> International Symposium on Remote Sensing of Environment (ISRSE36)</p>	<p><a href="http://www.isrse36.org">www.isrse36.org</a></p>	<p><b>E-mail:</b> <a href="mailto:isrse@symposia.org">isrse@symposia.org</a> <b>Tél:</b> (520) 621-8567 <b>Fax:</b> (520) 621-8801</p>
<p>18 au 19 Mai 2015 Paris, France</p> 	<p>ICGIS 2015 : International Conference on Geographic Information Systems</p>	<p><a href="http://www.waset.org">www.waset.org</a></p>	<p><b>Tél:</b> +33-1-43201393 <b>Fax:</b> +33-1-43209560</p>
<p>22 Juin au 02 Juillet 2015 Prague, Czech Republic</p> 	<p>26<sup>th</sup> General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics</p>	<p><a href="http://www.iugg.org">www.iugg.org</a></p>	<p><b>Tél:</b> +420 226 800 <b>Fax:</b> +420 220 922 670</p>
<p>26 au 31 Juillet 2015 Fiero Milano Congressi - Milan Convention Center Milan, Italy</p> 	<p>IGARSS 2015 - 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium</p>	<p><a href="http://www.ieee.org">www.ieee.org</a></p>	<p><b>Nancy Sutta Berns</b> <b>Tél:</b> +1 973 886 8852 <b>Fax:</b> +1 973 656 0999 <b>E-Mail:</b> <a href="mailto:nancy@cmsworld-wide.com">nancy@cmsworld-wide.com</a></p>
<p>23 au 28 Aout 2015 Rio de Janeiro Brazil</p> 	<p>27<sup>th</sup> International Cartographic Conference 16th General Assembly</p>	<p><a href="http://www.icc2015.org">www.icc2015.org</a></p>	<p><b>Conference Secretariat</b> <b>Tél:</b> +55-21-3974 2001 <b>Fax:</b> +55-21-3974 2024 <b>E-Mail:</b> <a href="mailto:info@icc2015.org">info@icc2015.org</a> <a href="mailto:christina@congrex.com.br">christina@congrex.com.br</a></p>

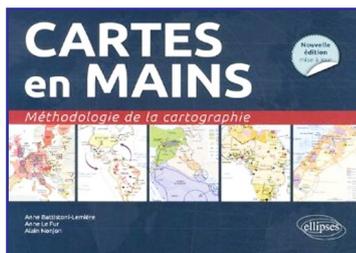


## Atlas des Palestiniens : Un peuple en quête d'un Etat

Jean-Paul Chagnollaud, Pierre Blanc, Sid-Ahmed Souiah, Madeleine Benoît-Guyod

Plus de 120 cartes et infographies entièrement mises à jour pour prendre la mesure d'un conflit à la fois complexe et apparemment sans fin, pour comprendre sa genèse et son évolution. Une société majoritairement condamnée à la plus grande précarité et à l'exclusion, entre les camps, l'exil et les check points. L'archipel palestinien : un territoire déstructuré, fragmenté par le mur, morcelé par les colonies, malmené par les blocus et les restrictions. Les raisons d'une situation diplomatique bloquée: la paix dans l'impasse. La reconnaissance d'un Etat palestinien est loin d'être acquise. mais cet atlas unique en son genre montre aussi les issues possibles, à condition que la communauté internationale se mobilise.

**Éditions : Autrement**  
**96 pages / 15 Janvier 2014**  
**Langue: Français**  
**ISBN-13: 978-2746735873**

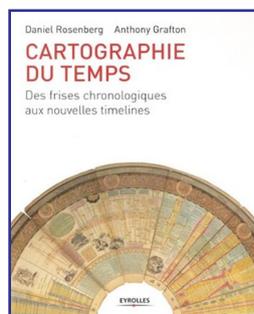


## Cartes en Mains Méthodologie de la Cartographie

Anne Battistoni-Lemière, Anne Le-Fur, Alain Nonjon

Un atlas. L'indispensable pour circonscrire les enjeux contemporains dans leurs cadres spatiaux, à des échelles variées, continentales et mondiales. Une méthode. Toutes les épreuves de cartographie aux concours des écoles de commerce sont décortiquées dans leurs principes, leur finalité, leurs modalités, et surtout leur réalisation technique. Une démonstration par l'exemple. Un décryptage de 38 cartes ou croquis de synthèse structurés. Un lexique. Les 100 mots-clés de la géopolitique les plus utilisés en cartographie. Un ouvrage pour que cartes et croquis deviennent des outils au service de toute analyse géo-économique ou géopolitique. Une référence pour réussir l'épreuve de cartographie aux concours et examens.

**Édition : Ellipses Marketing**  
**3<sup>ème</sup> édition**  
**256 pages / 8 octobre 2013**  
**Langue: Français**  
**ISBN-13: 978-2729881689**



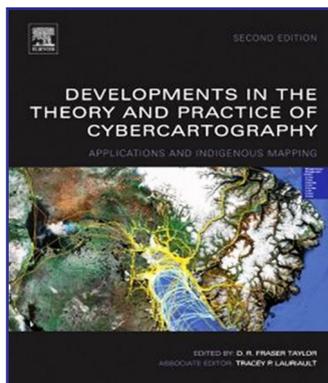
## Cartographie du temps : Des frises chronologiques aux nouvelles timelines

Daniel Rosenberg, Anthony T. Grafton, Marie-Christine Guillon

Des images les plus anciennes aux plus contemporaines, la ligne s'est imposée dans notre manière de représenter le temps. La métaphore linéaire est en effet omniprésente dans les almanachs, les calendriers et les graphiques de toutes sortes, mais aussi dans notre vocabulaire courant qui utilise sans cesse les termes

" avant " et " après ", " long " et court en référence au temps. La frise chronologique linéaire est tellement intégrée à notre système mental qu'il est parfois difficile de croire qu'elle résulte d'un lent processus d'acquisition. Sous sa forme moderne, elle a pourtant moins de 250 ans, et personne n'avait jusqu'à présent entrepris de raconter son histoire. Cartographie du temps est le premier ouvrage à retracer de manière exhaustive l'histoire des représentations du temps en Europe et aux Etats - Unis de 1450 à nos jours. Les auteurs Daniel Rosenberg et Anthony Grafton ont concocté un récit palpitant, riche de personnages hauts en couleurs et de rebondissements inattendus. Des manuscrits médiévaux aux sites Web, ils passent en revue une grande variété de chronographies qui, chacune à sa façon, défient des idées conventionnelles de la forme chronographique. Ainsi présentent - ils cette frise de 1753, de plus de 16 mètres de long, montée sur un dérouleur dans un boîtier, ou cette autre, qui utilise les parties du corps humain pour représenter les généalogies du Christ et des gouvernants de Saxe, ou encore les échelles verticales créées par les missionnaires catholiques et protestants pour illustrer la Bible et encourager la conversion des Amérindiens d'Oregon. Vous découvrirez également la carte des communications en Atlantique Nord de Marconi datant d'avril 1912 et qui localise le Titanic dans le temps plutôt que dans l'espace géographique. Et bien d'autres oeuvres méconnues d'artistes par ailleurs célèbres, comme une chronologie historique du cartographe Gérard Mercator ou un jeu de plateau inventé par Marc Twain. Un ouvrage riche d'illustrations qui passionnera quiconque s'intéresse au rôle des formes visuelles dans l'évolution de notre conception de l'Histoire.

**Édition : Eyrolles**  
**272 pages / 30 Mai 2013**  
**Langue: Français**  
**ISBN-13: 978-2212136074**



## Developments in the Theory and Practice of Cybercartography: Applications and Indigenous Mapping

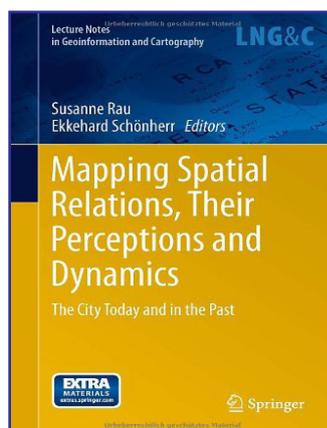
Tracey Lauriault, D. R. F. Taylor

Cybercartography is a new paradigm for maps and mapping in the information era. Defined as "the organization, presentation, analysis and communication of spatially referenced information on a wide variety of topics of interest to society," cybercartography is presented in an interactive, dynamic, multisensory format with the use of multimedia and multimodal interfaces. *Developments in the Theory and Practice of Cybercartography: Applications and Indigenous Mapping* examines some of the recent developments in the theory and practice of cybercartography and the substantial changes which have taken place since the first edition published in 2005. It continues to examine the major elements of cybercartography and emphasizes the importance of interaction between theory and practice in developing a paradigm which moves beyond the concept of Geographic Information Systems and Geographical Information Science. The seven major elements of cybercartography outlined in the first edition

have been supplemented by six key ideas and the definition of cybercartography has been extended and expanded. The new practice of mapping traditional knowledge in partnership with indigenous people has led to new theoretical understanding as well as innovative cybercartographic atlases.

Featuring more than 90 per cent new and revised content, this volume is a result of a multidisciplinary team effort and has benefited from the input of partners from government, industry and aboriginal non-governmental organizations. It highlights the relationship between cybercartography and critical geography. It incorporates several new cybercartographic atlases produced in cooperation with Inuit and First Nations groups. It showcases legal, ethical, consent and policy implications of mapping local and traditional knowledge. It features an interactive companion web site containing links to related sites, additional color images and illustrations, plus important information to capture the dynamic and interactive elements of cybercartography.

Édition: Elsevier Science 2<sup>ème</sup> édition  
394 pages / 24 Février 2014  
Langue: Anglais  
ISBN-13: 978-0444627131

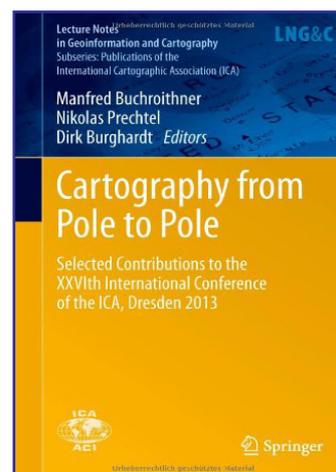


**Mapping Spatial Relations, Their Perceptions and Dynamics: The City Today and in the Past**

Ekkehard Schönherr, Susanne Rau

This book is the product of an eponymous workshop, which took place in Erfurt in May, 2012, and which has since then been supplemented with four further contributions. The topics focus on the potential mapping of perceived urban space and spatial hierarchies as a consequence of social usage (undertaken by a variety of active participants) together with spatio-temporal changes as a result of factors such as demographic urban growth and decline. Historians, cartographers and geographers are brought together to present and discuss different models, ideas and new methods of spatial analysis and modes of representing changes in perceptions. The two main subjects are: the epistemology of spatial change and the question of (historical) media and adequate presentation. This work represents a first step toward the development of a new model for mapping urban changes and spatial relations concerning the past, present and future.

Édition: Springer  
220 pages / 8 Janvier 2014  
Langue: Anglais  
ISBN-13: 978-3319009926

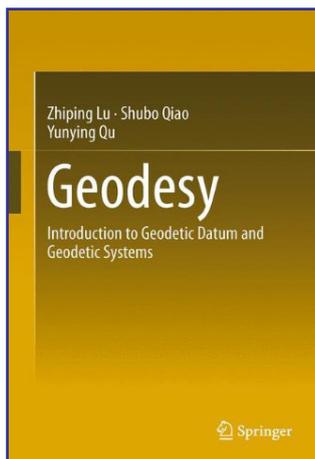


**Cartography from Pole to Pole: Selected Contributions to the XXVth International Conference of the ICA, Dresden - 2013**

Manfred Ferdinand Buchroithner, Nikolas Prechtel, Dirk Burghardt

This volume comprehends a selection of papers presented during the 26th International Cartographic Conference held in Dresden from the 26th to the 30th of August 2013. It covers many fields of relevant Mapping and GIS research subjects, such as cartographic applications, cartographic tools, generalisation and update Propagation, higher dimensional visualisation and augmented reality, planetary mapping issues, cartography and environmental modelling, user generated content and spatial data infrastructure, use and usability as well as cartography and GIS in education.

**Édition : Springer; 2014 edition**  
**600 pages / 26 Août 2013**  
**Langue: Anglais**  
**ISBN-13: 978-3642326172**



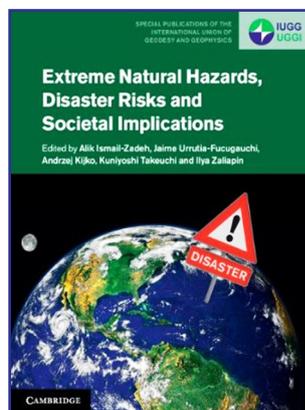
### **Geodesy: Introduction to Geodetic Datum and Geodetic Systems**

*Zhiping Lu, Shubo Qiao, Yunying Qu*

Geodetic datum (including coordinate datum, height datum, depth datum, gravimetry datum) and geodetic systems (including geodetic coordinate system, plane coordinate system, height system, gravimetry system) are the common foundations for every aspect of geomatics. This course book focuses on geodetic datum and geodetic systems, and describes the basic theories, techniques, methods of geodesy. The main themes include: the various techniques of geodetic

data acquisition, geodetic datum and geodetic control networks, geoid and height systems, reference ellipsoid and geodetic coordinate systems, Gaussian projection and Gaussian plan coordinates and the establishment of geodetic coordinate systems. The framework of this book is based on several decades of lecture notes and the contents are developed systematically for a complete introduction to the geodetic foundations of geomatics.

**Édition: Springer**  
**300 pages / 28 Février 2014**  
**Langue: Anglais**  
**ISBN-13: 978-3642412448**



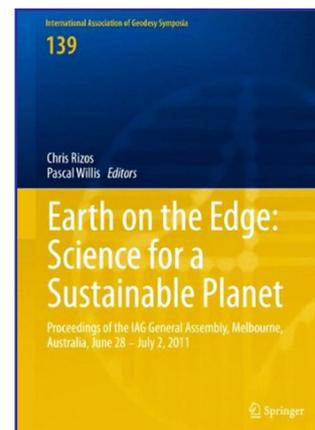
### **Extreme Natural Hazards, Disaster Risks and Societal Implications**

*Alik Ismail-Zadeh, Jaime Urrutia-Fucugauchi, Andrzej Kijko, Kuniyoshi Takeuchi, Ilya Zaliapin*

This book presents a unique, interdisciplinary approach to disaster risk research, combining cutting-edge natural science and social science methodologies. Bringing together leading scientists, policy makers and practitioners from around the world, it presents the risks of global hazards such as volcanoes, seismic events, landslides, hurricanes, precipitation floods and space weather, and provides real-world hazard case studies from Latin America, the Caribbean, Africa, the Middle East, Asia and the Pacific region. Avoiding complex mathematics, the authors provide

insight into topics such as the vulnerability of society, disaster risk reduction policy, relations between disaster policy and climate change, adaptation to hazards, and (re) insurance approaches to extreme events. This is a key resource for academic researchers and graduate students in a wide range of disciplines linked to hazard and risk studies, including geophysics, volcanology, hydrology, atmospheric science, geomorphology, oceanography and remote sensing, and for professionals and policy makers working in disaster prevention and mitigation.

**Edition: Cambridge University Press**  
**464 pages / 30 avril 2014**  
**Langue: Anglais**  
**ISBN-13: 978-1107033863**

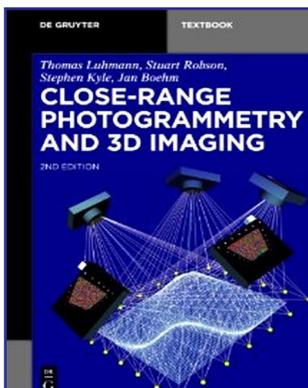


### **Earth on the Edge: Science for a Sustainable Planet**

*Chris Rizos, Pascal Willis*

This book series is composed of peer-reviewed proceedings of selected symposia organized by the International Association of Geodesy. It deals primarily with topics related to Geodesy Earth Sciences : terrestrial reference frame, Earth gravity field, Geodynamics and Earth rotation, Positioning and engineering applications.

**Édition : Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. K**  
**500 pages / 14 Décembre 2013**  
**Langue: Anglais**  
**ISBN-13: 978-3642372216**



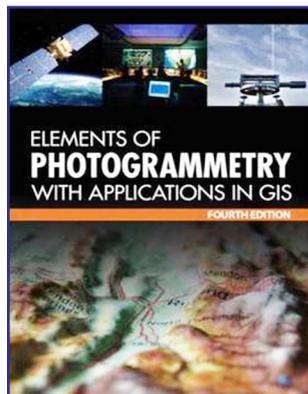
### Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging

*Thomas Luhmann, Stuart Robson, Stephen Kyle, Jan Boehm*

This is the second edition of the established guide to close-range photogrammetry which uses accurate imaging techniques to analyse the three-dimensional shape of a wide range of manufactured and natural objects.

After more than 20 years of use, close-range photogrammetry, now for the most part entirely digital, has become an accepted, powerful and readily available technique for engineers, scientists and others who wish to utilise images to make accurate 3D measurements of complex objects. Here they will find the photogrammetric fundamentals, details of system hardware and software, and broad range of real-world applications in order to achieve this. Following the introduction, the book provides fundamental mathematics covering subjects such as image orientation, digital imaging processing and 3D reconstruction methods, as well as a discussion of imaging technology, including targeting and illumination, and its implementation in hardware and software. It concludes with an overview of photogrammetric solutions for typical applications in engineering, manufacturing, medical science, architecture, archaeology and other fields.

**Édition: Walter de Gruyter & Co**  
**702 pages / 15 November 2013**  
**Langue: Anglais**  
**ISBN-13: 978-3110302691**



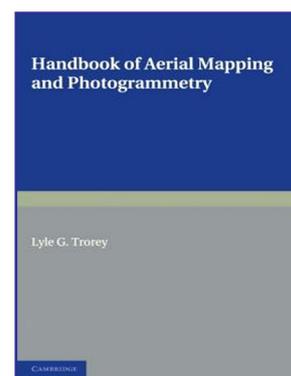
### Elements of Photogrammetry with Application in GIS

*Paul R. Wolf, Bon A. DeWitt, Benjamin E. Wilkinson*

The new edition of this definitive photogrammetry text covers the latest technological advances in this evolving field. Essential for students and professionals, Elements of Photogrammetry with Application in GIS covers both the basic foundational principles of photogrammetry as well as important advanced concepts and applications. In the ten years since the previous edition was published, there have been numerous technological advances in photogrammetric sensors and processing methods. Specifically, there has been an increasing shift towards digital imagery, softcopy computer processing, aerial control, and direct georeferencing, as well as an increased use of laser scan mapping. This fully updated edition covers all of these developments. New to this Edition: New chapter on laser scanning (LIDAR) systems Coverage of up-to-date imaging systems (large format digital cameras), measuring systems, and modern photogrammetric products New material on the integration of GPS and INS (global positioning system and inertial navigation system measurements) and their use in direct georeferencing of images Theory, equations, and processing steps for 3-line scan imagery In-depth coverage: Principles of Photography and Imaging; Cameras and Other Imaging Devices; Image Measurements and Refinements; Object Space Coordinate Systems;

Vertical Photographs; Stereoscopic Viewing; Stereoscopic Parallax; Elementary Methods of Planimetric Mapping for GIS; Tilted Photographs and Perspective Geometry; Introduction to Analytical Photogrammetry; Stereoscopic Plotting Instruments; Topographic Mapping and Spatial Data Collection; Elevated Data Collection by Laser Scanning Systems; Fundamental Principles of Digital Image Processing; Control for Aerial Photogrammetric Projects; Aerotriangulation; Project Planning; Terrestrial and Close-Range Photogrammetry; Introduction to GIS; Photogrammetric Applications in GIS.

**Édition: McGraw-Hill Professional; 4<sup>ème</sup> édition**  
**688 pages / 17 Décembre 2013**  
**Langue: Anglais**  
**ISBN-13: 978-0071761123**



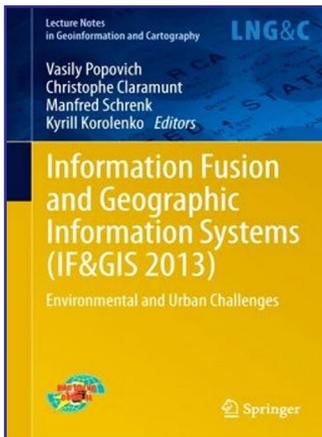
### Handbook of Aerial Mapping and Photogrammetry

*Lyle G. Trorey*

Originally published in 1952, this book is intended as an introductory guide to aerial mapping and photogrammetry. The main emphasis is on making maps during wartime, when accuracy is paramount and information may be minimal; Trorey had experience of this while serving with the Canadian Military Survey in WWII.

This book will be of value to anyone with an interest in mapmaking.

**Édition: Cambridge University Press**  
**214 pages / 12 Septembre 2013**  
**Langue: Anglais**  
**ISBN-13: 978-1107623309**

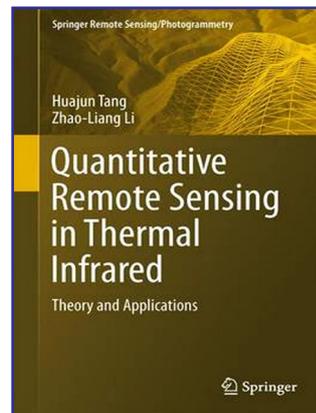


### Information Fusion and Geographic Information Systems (IF&GIS' 2013)

*Vasily Popovich, Christophe Claramunt, Manfred Schrenk, Kyrill Korolenko*

The Workshop Proceedings reflect problems of advanced geo-information science with a special emphasis on environmental and urban challenges. The Proceedings incorporate papers presented by leading scientists doing research on environmental issues from modeling to analysis, information processing and visualization. As well as practitioners engaged in GIS and GIS applications development. The Proceedings pay close attention to the problems of scientific and technological innovations as well as application opportunities such as getting environmental and global warming problems under control, as well as the monitoring, planning and simulation of urban systems with respect to economic trends as related to: Artificial intelligence; GIS ontologies; GIS data integration and modeling; Environmental management; Urban GIS; Transportation GIS; GIS data fusion; GIS and corporate information systems; GIS and real-time monitoring systems; GIS algorithms and computational issues; Landscape studies; Global warming; GIS and the Arctic sea; Novel and emerging GIS research areas; Maritime and environmental GIS; and Coastal GIS.

**Édition: Springer**  
**180 pages / 17 Décembre 2013**  
**Langue: Anglais**  
**ISBN-13: 978-3642318320**

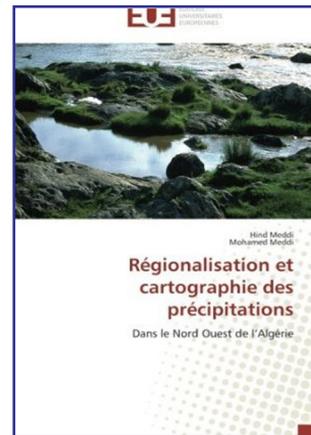


### Quantitative Remote Sensing in Thermal Infrared: Theory and Applications - Springer Remote Sensing/photogrammetry

*Huajin Tang, Zhao-Liang Li*

This book provides a comprehensive and advanced overview of the basic theory of thermal remote sensing and its application in hydrology, agriculture, and forestry. Specifically, the book highlights the main theory, assumptions, advantages, drawbacks, and perspectives of these methods for the retrieval and validation of surface temperature/emissivity and evapotranspiration from thermal infrared remote sensing. It will be an especially valuable resource for students, researchers, experts, and decision-makers whose interest focuses on the retrieval and validation of surface temperature/emissivity, the estimation and validation of evapotranspiration at satellite pixel scale, and the application of thermal remote sensing. Both Prof. Huajun Tang and Prof. Zhao-Liang Li work at the Chinese Academy of Agricultural Sciences (CAAS), China.

**Édition : Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. K**  
**400 pages / 25 Décembre 2013**  
**Langue: Anglais**  
**ISBN-13: 978-3642420269**



### Régionalisation et cartographie des précipitations: Dans le Nord Ouest de l'Algérie

*Hind Meddi, Mohamed Meddi*

L'Ouest algérien a été touché par une sécheresse sévère et persistante qui a eu lieu dès la fin des années 1970. Le test sur les tendances séquentielles a confirmé l'existence de trois grandes tendances durant le dernier siècle : Une augmentation des pluies dès 1945 qui a fait suite à une phase relativement sèche et une décroissance des pluies à partir de 1975. La réduction de la pluviométrie est de 20 % dans la Mitidja et plus de 25 % dans la plaine de Ghriss à l'Ouest. L'étude de la persistance de la sécheresse a montré que, pour avoir une année humide après une année sèche, la probabilité est plus importante au Centre du pays qu'à l'Ouest et pour avoir deux années sèches successives, la probabilité est plus importante à l'Ouest qu'au Centre. Les pluies annuelles, de janvier, mars et de novembre augmentent du Sud au Nord et de l'Ouest à l'Est. La partie littorale et les sommets qui lui sont proche reçoivent les pluies les plus importantes. Les régions intérieures reçoivent moins de pluies du fait de l'appauvrissement des masses nuageuses de leurs humidités au fur et à mesure qu'elle se dirige vers l'intérieur.

**Édition: universitaires européennes**  
**276 pages / 14 Novembre 2013**  
**Langue: Français**  
**ISBN-13: 978-3841794499**

# 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 présentent un intérêt dans la maîtrise des concepts des sciences géographiques.

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

# Avis aux Auteurs

Le Bulletin des Sciences Géographiques est indexé dans la **Bibliographie Géographique Internationale** à l'adresse suivante: [http://prodig.univ-paris1.fr/umr/Poles\\_comptence/Pole\\_Documentation%20et%20valorisation.htm](http://prodig.univ-paris1.fr/umr/Poles_comptence/Pole_Documentation%20et%20valorisation.htm)

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

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

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

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



## INSTITUT NATIONAL DE CARTOGRAPHIE ET DE TELEDETECTION

Créé 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 49 16 94, 021 49 16 95 & 021 49 16 97

**Fax:** 213 021 49 16 91 & 021 49 16 88

**E-mail:** inct@mdn.dz

# Bulletin d'abonnement

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

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

### Prévoir en sus pour les frais d'expédition:

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

### Mode de règlement :

#### Pour l'Algérie :

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

#### Pour l'étranger :

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

Nom et prénom / raison sociale : .....

Fonction : .....

Adresse complète : .....

N°Tél : ..... N°Fax : ..... Email : .....

Date

Signature

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

123, rue de Tripoli- BP 430, Hussein Dey- 16040 Alger.

Tél: 213 021 49 16 94, 021 49 16 95 & 021 49 16 97

Fax: 213 021 49 16 91 & 021 49 16 88

E-mail: inct@mdn.dz

# APPEL À CONTRIBUTION

L'Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT), premier producteur de l'information géographique en Algérie, édite et publie depuis 1997, l'unique revue en Algérie dans le domaine des sciences géographiques, en l'occurrence «**Le Bulletin des Sciences Géographiques (BSG)**».

Ce Bulletin est un espace de réflexion, d'échange d'informations et de discussion dans lequel, la communauté des sciences géographiques aussi bien nationale qu'internationale pourra non seulement valoriser les travaux de ses membres, promouvoir et animer le débat au sein de cette communauté mais également trouver dans celui-ci des informations sur les dernières nouveautés dans le domaine des sciences géographiques.

À cet effet, le Comité de Rédaction du BSG fait appel à toutes les personnalités scientifiques, universitaires et chercheurs au niveau des différents laboratoires et centres de recherche nationaux, spécialisés dans les différentes disciplines liées aux sciences géographiques en général (Sciences géodésiques, Sciences de la terre, Sciences de la mer, Cartographie, Photogrammétrie, Télédétection, Toponymie, Urbanisme, Système d'Informations Géographiques et Bases de Données Géographiques,...etc.), et serait heureux de vous compter parmi les auteurs à cette revue dont la périodicité est semestrielle.

Pour le premier semestre de l'année, la date limite de soumission des contributions est fixée au 30 avril et pour le deuxième semestre la date limite est le 31 octobre.

Veillez envoyer vos articles aux adresses électroniques suivantes :  
[bsg@inct.dz](mailto:bsg@inct.dz) ; [inct@mdn.dz](mailto:inct@mdn.dz) ; [contact@inct.dz](mailto:contact@inct.dz)

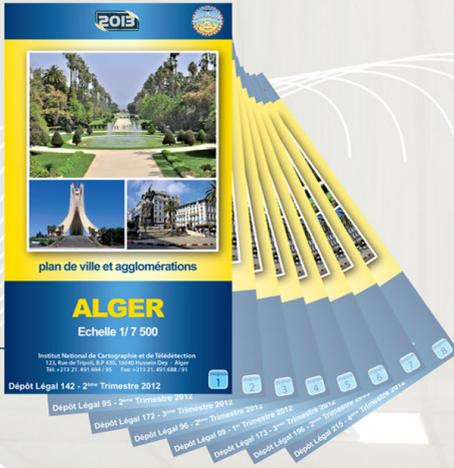
**À défaut, à l'adresse postale suivante :**

Le Bulletin des Sciences Géographiques  
Institut National de Cartographie et de Télédétection  
123, Rue de Tripoli, BP 430, 16040 Hussein-Dey-Alger.



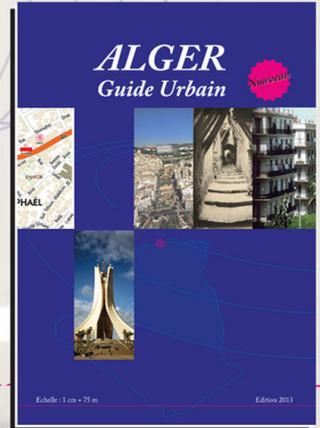
# INCT

## ÉDITION 2013



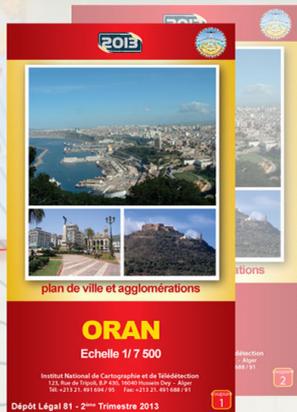
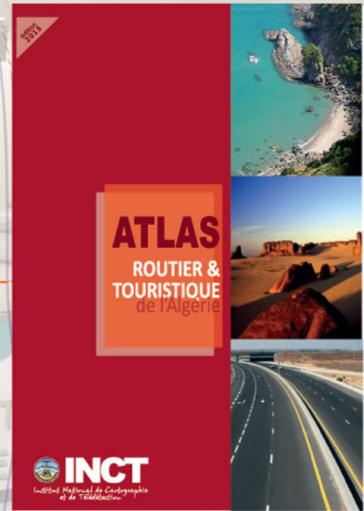
**ALGER**  
Plan de ville  
au 1 / 7 500

**ALGER**  
Guide Urbain  
au 1 / 7 500



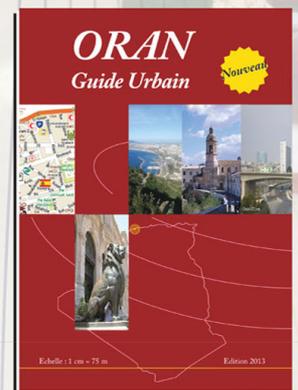
**ATLAS**  
des Limites  
Administratives

**ATLAS**  
Routier et Touristique  
de l'Algérie



**ORAN**  
Plan de ville  
au 1 / 7 500

**ORAN**  
Guide Urbain  
au 1 / 7 500



GRANDS VOYAGES  
À PETITS PRIX