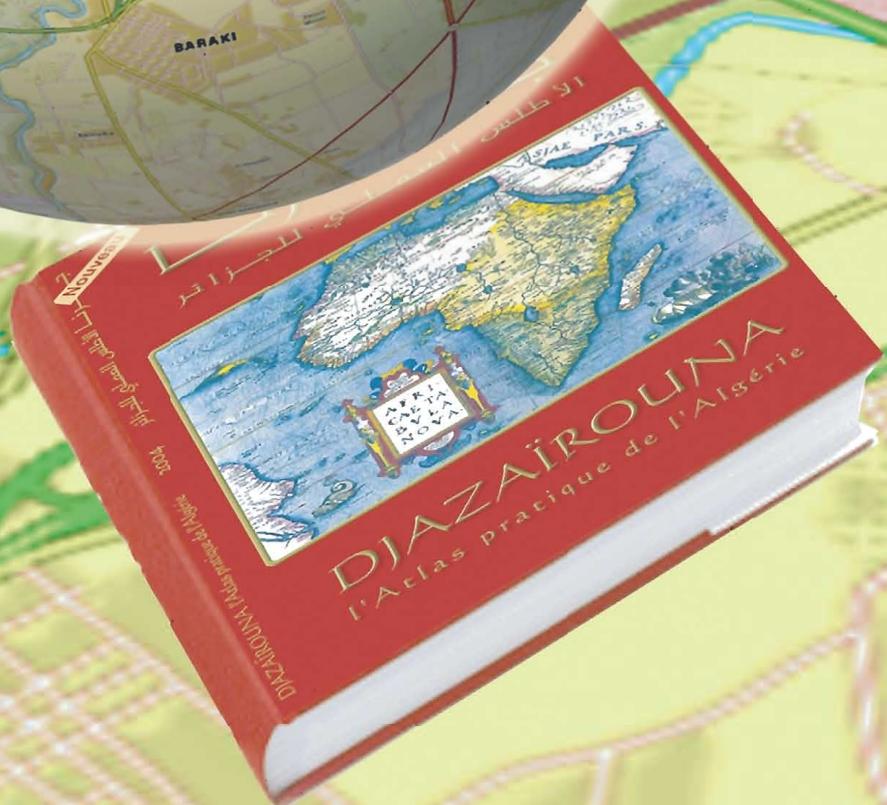
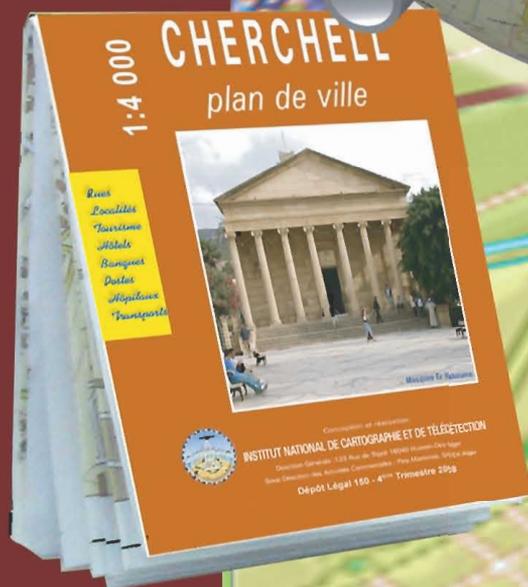
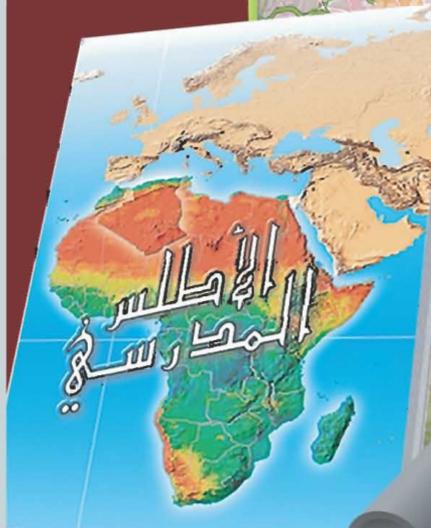
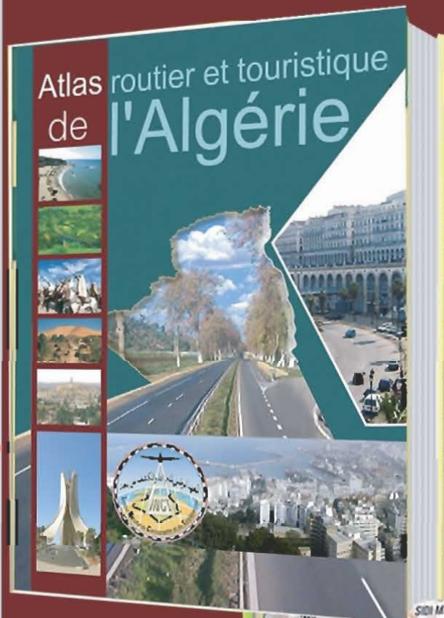


1<sup>er</sup> Semestre 2010 • 13<sup>ème</sup> année • Prix 40 DA • Etranger 15€ • ISSN 1112-3745

# Bulletin des Sciences Géographiques

N°25



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



# INCT BULLETIN DES SCIENCES GÉOGRAPHIQUES

N° 25  
1<sup>er</sup> Semestre 2010

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

Le Bulletin des Sciences Géographiques  
est une revue internationale,  
fondé en Octobre 1997  
N°25 - 1<sup>er</sup> Semestre 2010  
ISSN 1112-3745

Responsable de la revue : INCT

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

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

Tirage :

150 Exemplaires

Comité de Rédaction :

- Mr. ABDEDOU Mohamed  
Sous Directeur des Travaux Spécifiques  
& Arts Graphiques, INCT (Président).
- Mr. DROUAI Fethallah  
Chef du CDCIG / INCT.
- Mr. DEGAICHIA Fethi  
Master, CT/ INCT.
- Melle. KEMIKEM Widad  
Traductrice, CDCIG / INCT.

Comité de Lecture :

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

## Sommaire

## Pages

Analyse des séries temporelles SLR du géocentre et des EOP basées sur les mesures des satellites LAGEOS1/2 et Starlette .....	02
<i>Par B. Gourine, S. Kahlouche &amp; B. Ghezali</i>	
Analysis of Mediterranean sea level from satellite altimetry and tidal data.....	14
<i>Par M. Haddad, M. F. Belbachir, S. Kahlouche, A. Rami &amp; S. Khelifa</i>	
Utilisation d'images satellitaires pour l'étude de la fracturation du môle de Tifrit (région de Saïda, Algérie occidentale).....	25
<i>Par M. Zerka, C. Mesbah &amp; M. Tabeiouna</i>	
Hydrologie, Barrages et Transferts d'Eau en Algérie orientale.....	33
<i>Par A. Mebarki</i>	
Du manuel au numérique pour la cartographie aux moyennes échelles L'exemple des cartes au 1/100 000 en France.....	42
<i>Par F. Lecordix</i>	

2010

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

# Analyse des séries temporelles SLR du géocentre et des EOP basées sur les mesures des satellites LAGEOS1/2 et Starlette

B. Gourine, S. Kahlouche & B. Ghezali  
Centre des Techniques Spatiales – Division de Géodésie Spatiale  
BP n°13, 31200 Arzew – ALGERIE, Fax : (213) 041 47 36 65  
E-Mail: bachirgourine@yahoo.com

**ملخص :** الهدف من هذا المقال هو دراسة أثر القياسات الليزرية (SLR) للقمر الصناعي المنخفض Starlette في التعيين الدقيق للحسابات الجيوديزية (مركز الأرض-EOP) ، في مدة 14 سنة (1993-2007). بينت النتائج بأن التدقيق في مركبات النقل الثلاثة (حركة مركز الأرض) ، تكون على التوالي، بنحو 4 و 5 ملم بالنسبة لحللول LAGEOS1/2 و Starlette. فيما يخص EOP، يكون الانحراف المعياري لحللول LAGEOS1/2 و Starlette على التوالي بنحو 0.14 و 0.20 mas (4-6 ~ ملم) في إحداثيات القطب، و 0.01 و 0.02 ms (5-10 ~ ملم) في الزمن (UT1 و LOD). يعتمد تحليل النتائج من جهة على تحليل التردد، ومن جهة أخرى، على دراسة ضوء السلسلة الإحداثية للمتغيرات. قدرت الأجال الفصلية بنحو بعض الملمترات، في مكونات مركز الأرض بالمقارنة مع نماذج ديناميكية الأرض. نوع الضوء السائد هو الضوء الأبيض، بمستوى يقدر بنحو 2 ملم. تحلل الإشارة الدورية لـ EOP في أجال التداخل السنوي، سنويا وفي فترات قصيرة. يعد ضوء الإيماض الضوء المميز للسلسلة الإحداثية لـ EOP بمستوى يقدر بنحو 4 و 15 ملم في إحداثيات القطب و في LOD على التوالي، بالنسبة لحللول Starlette.

**الكلمات الأساسية :** LAGEOS1/2 ، Starlette ، EOP ، مركز الأرض ، تحليل التردد ، اختلاف Allan.

**Résumé :** L'objectif de cet article est d'étudier l'impact des mesures laser (SLR) du satellite bas Starlette dans la détermination précise des produits géodésiques (EOP et Géocentre), sur une période de 14 ans (1993-2007). Les résultats ont montré que la précision sur les trois composantes de la translation (Mouvement du Géocentre), est de l'ordre de 4 et 5 mm pour les solutions LAGEOS1/2 et Starlette, respectivement. Concernant les EOP, les écarts-types des solutions LAGEOS1/2 et Starlette sont respectivement de l'ordre de 0.14 et 0.20 mas (~ 4-6 mm) en coordonnées du pôle, et de 0.01 et 0.02 ms (~5-10 mm) en temps (UT1 et LOD). L'analyse des résultats est basée d'une part, sur l'analyse fréquentielle, et d'autre part, sur l'étude du bruit des séries temporelles des paramètres d'intérêt. Des termes saisonniers sont estimés, de l'ordre de quelques mm, sur les composantes du géocentre en comparaison avec des modèles géodynamiques. Le type de bruit dominant est le bruit blanc, avec un niveau de l'ordre de 2 mm. Le signal périodique des EOP est décomposé en termes

interannuel, annuel et courtes périodes. Le bruit de scintillation est le bruit caractérisant des séries temporelles des EOP avec un niveau de l'ordre de 4 et 15 mm en coordonnées du pôle et en LOD, respectivement, pour la solution Starlette.

**Mots-clés :** LAGEOS1/2, Starlette, EOP, Géocentre, Analyse fréquentielle, Variance d'Allan.

**Abstract :** The objective of this paper is to study the impact of Starlette laser measurements in the precise determination of geodetic products (EOP and Geocentre), over 14 years period (1993-2007). The results showed that the contribution of these observations is acceptable and satisfactory for SLR technique. Indeed, the precision, on the three translation components (Geocentre Motion), is about 4 and 5 mm for the LAGEOS1/2 and Starlette solutions, respectively. Concerning the EOP, the RMS of LAGEOS1/2 and Starlette solutions are about 0.14 and 0.20 mas (~ 4 - 6 mm) on pole coordinates, and 0.01 and 0.02 ms (~ 5 - 10 mm) on time (UT1 and LOD), respectively. The analysis of the results is performed on two steps : (i) the frequency analysis and (ii) the noise study of the time series of the parameters of interest. Seasonal terms are estimated, about a few mm, on the Geocentre components compared to geodynamic models. The type of dominating noise is the white one, with a level of about 2 mm. The EOP periodic signal is decomposed into terms of inter-annual, annual and short periods. The flicker noise is the characterizing noise of the EOP time series with a level of about 4 and 15 mm on pole coordinates and LOD, respectively, for the Starlette solution. In the light of these encouraging results, the objective is to re-compute the geodetic products, over a long period, on the basis of observations of LEO satellites, namely Starlette, Stella, TOPEX/Poseidon (T/P), Jason-1, etc. in addition to LAGEOS1/2 ones.

**Key words :** LAGEOS1/2, Starlette, EOP, Geocentre, Frequency Analysis, Allan variance.

### 1. Introduction

La technique de télémétrie laser (SLR) est l'une des techniques phares de géodésie spatiale pour l'établissement et la maintenance de l'ITRF, comme VLBI, GPS et DORIS. Elle contribue dans la détermination du repère de référence en fournissant les séries temporelles des coordonnées des stations terrestres et les paramètres d'orientation de la Terre (EOP : Earth Orientation Parameters). Pour une telle détermination, il est d'usage d'employer seules les mesures sur les satellites de haute altitude (par exemple, LAGEOS-1 et LAGEOS-2, 6000 km). L'objectif de cette étude est d'étudier la contribution des mesures laser effectuées sur les satellites à basse altitude comme Starlette (altitude 800 km) dans la détermination précise des produits géodésiques : paramètres de rotation de la Terre (EOP) et variations du géocentre (i.e., paramètres de translations entre les repères hebdomadaires de référence calculés et celui de l'ITRF2005), sur une période relativement longue.

Ce travail concerne d'une part, la détermination du réseau de l'ILRS et les EOP, basé sur les mesures des satellites LAGEOS-1 & -2 et Starlette, durant une période de 14 années ; Ce calcul est effectué suivant différentes solutions de combinaison inter-satellites, notées LA-1 (LAGEOS-1), LA-1&-2 (LAGEOS-1 & -2) et LA-1&STAR (LAGEOS-1 & Starlette). D'autre part, la méthodologie d'analyse des séries temporelles des paramètres géodésiques (géocentre et EOP) est basée sur l'étude du signal saisonnier par

une analyse spectrale et du bruit par la méthode de la variance d'Allan. Enfin, les résultats obtenus sont présentés et discutés.

### 2. Données

Le calcul du réseau laser (coordonnées des stations) et des paramètres d'orientation de la Terre (EOP), réalisé par le logiciel MATLO (Coulot, 2005), comporte deux étapes :

- La première concerne l'utilisation des contraintes minimales pour la résolution des systèmes normaux hebdomadaires :  $\pm 1$  mm ( $\pm 0,33$  mas) sur les rotations ( $R_x$ ,  $R_y$  et  $R_z$ ) et de  $\pm 1$  cm sur les biais en distance par station. Le repère de référence est défini par les stations Laser : 7090 – 7840 – 7080 – 7110 – 7105 – 7810 – 7839 – 7237, (cf. Figure 1). Les résultats obtenus sont des séries temporelles exprimant des solutions hebdomadaires individuelles. Chaque solution génère un repère de référence terrestre propre à elle.

- La deuxième phase consiste à appliquer une transformation à sept paramètres (3 translations, 1 facteur d'échelle et 3 rotations) sur les solutions hebdomadaires individuelles. Les résultats des traitements effectués représentent les séries temporelles des paramètres suivants :

- (i) les paramètres de transformation (translations et facteur d'échelle par rapport à l'ITRF2005);
- (ii) le mouvement du pôle : variations en  $x_p$ ,  $y_p$  et  $LOD$  par rapport à la solution EOPC04;

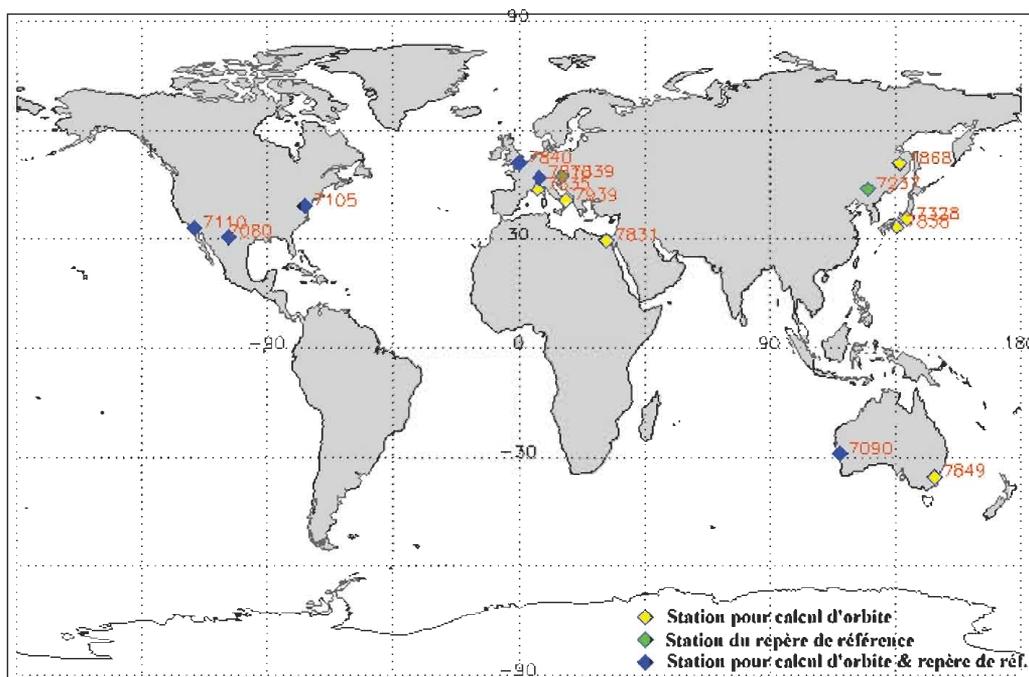


Fig. 1 Réseau de stations SLR pris en compte pour le calcul d'orbite des satellites et pour définir le repère de référence du réseau ILRS.

La durée des observations est de 14 années (du 02/10/1993 au 24/02/2007). Différentes combinaisons inter-satellites ont été adoptées: LAGEOS-1 (LA-1), LAGEOS-1&-2 (LA-1&-2), LAGEOS-1 & Starlette (LA-1&STAR) et avec les mesures pondérées de starlette (LA-1&STARpond).

## 2.1 Paramètres de transformation

Le tableau 1 récapitule les statistiques des séries hebdomadaires des paramètres de transformation d'Helmert entre les solutions des différentes combinaisons et celle de l'ITRF2005.

**Tab 1.** Statistiques des paramètres de transformation (Translations : TX, TY, TZ ; facteur d'échelle : D) correspondantes aux différentes combinaisons. Les valeurs dans chaque case représentent, respectivement, le minimum, le maximum, la moyenne et l'écart-type pondéré.

Solution	TX (cm)		TY (cm)		TZ (cm)		D (ppb)	
LA-1	-0.93 <b>0.12</b>	1.19 <b>±0.49</b>	-1.19 <b>-0.27</b>	1.19 <b>±0.48</b>	-0.90 <b>0.11</b>	1.12 <b>±0.46</b>	-2.40 <b>-0.66</b>	1.03 <b>±0.69</b>
LA-1&LA-2	-0.92 <b>0.03</b>	1.00 <b>±0.39</b>	-0.85 <b>-0.15</b>	1.00 <b>±0.35</b>	-0.79 <b>0.00</b>	0.78 <b>±0.37</b>	-1.87 <b>-0.59</b>	0.76 <b>±0.56</b>
LA-1 &STAR	-1.04 <b>0.30</b>	1.65 <b>±0.47</b>	-1.22 <b>-0.15</b>	1.65 <b>±0.46</b>	-1.22 <b>-0.04</b>	1.17 <b>±0.47</b>	-2.18 <b>-0.26</b>	1.80 <b>±0.75</b>
LA-1 &STARpond	-0.85 <b>0.39</b>	1.68 <b>±0.50</b>	-1.39 <b>-0.10</b>	1.68 <b>±0.50</b>	-1.08 <b>0.23</b>	1.51 <b>±0.49</b>	-5.10 <b>-2.03</b>	1.09 <b>±0.78</b>

### • Variation du Géocentre

Les paramètres de translation revêtent une importance particulière, parmi les paramètres de transformation hebdomadaires calculés entre nos repères de référence terrestres et l'ITRF2005. En effet, ils permettent de mettre en évidence les mouvements du Géocentre. La redistribution de masses dans l'atmosphère, les océans mais aussi dans les réservoirs hydrologiques (rivières, bassins, etc. et précipitations sous forme de pluie, de neige ou de glace) sont autant de sources de variations annuelle et semi-annuelle (de l'ordre de quelques mm) de la position du centre des masses terrestres par rapport à une référence fixe.

Pourquoi s'intéresser à l'étude d'un tel phénomène ? L'intérêt de cette étude concerne trois domaines, d'après (Bouillé, 2000) :

- Effets des variations du géocentre sur l'estimation du niveau de la mer,
- Stabilité du système de référence,
- Contraire les redistributions de masse à l'intérieur et à la surface de la Terre.

Les figures 2 et 3 illustrent les séries temporelles des translations suivant les combinaisons de différentes mesures des satellites laser (LAGEOS-1 & -2 et Starlette). D'après ces figures, nous constatons que la solution de la combinaison (LA-1&STAR) est

légèrement plus large par rapport à la solution de référence (LA-1&-2). En effet, dans le cas de la combinaison LA-1&STAR, la dispersion est de l'ordre de 2.7 cm en TX, 2.8 cm en TY et 2.4 cm en TZ. Par contre, dans le cas de la solution de référence, elle est de l'ordre de 2 cm en TX, 1.9 cm en TY et 1.6 cm en TZ, seulement (cf. Tableau 1). En ce qui concerne la précision, il est bien clair que la solution de référence reste précise avec un écart type moyen de l'ordre de  $\pm 4$  mm pour les trois composantes de la translation alors qu'elle est de l'ordre de  $\pm 5$  mm dans le cas de la solution (LA-1 &STAR).

La figure 3 illustre une comparaison entre les séries temporelles des translations issues des solutions (LA-1&STAR) et (LA-1&STARpond). Cette dernière solution est obtenue par un test qui a consisté à affecter les observations laser de Starlette d'écart types deux fois plus importants que celui de LAGEOS-1, pour évaluer l'effet de la pondération sur les résultats. On constate que les résultats sont sensiblement équivalents pour les paramètres (TX et TY) avec un degré moins pour la composante TZ.

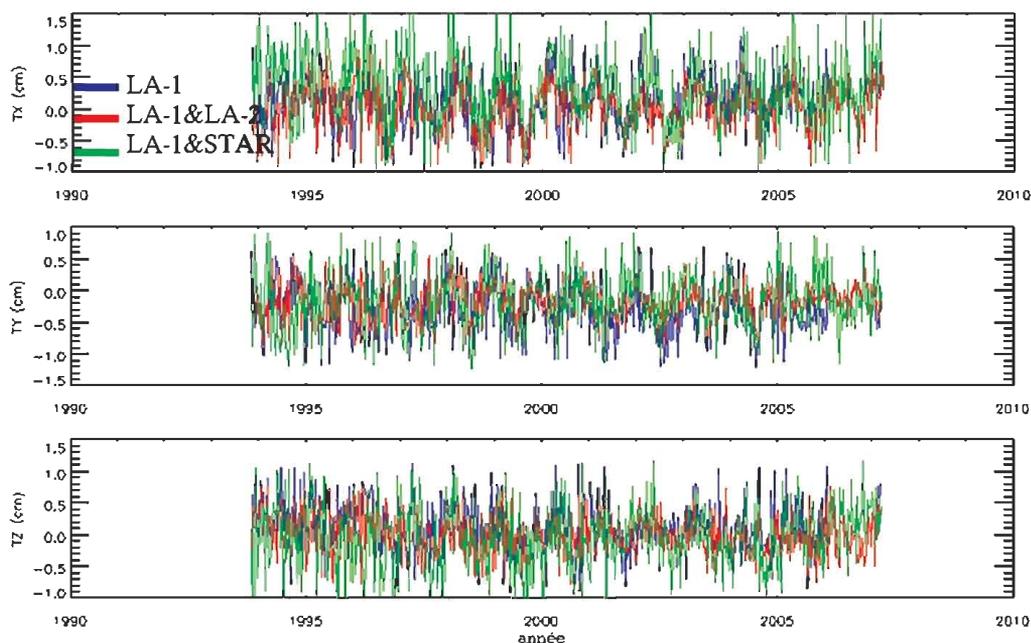


Fig. 2 Séries temporelles des composantes des variations du géocentre (TX, TY, TZ).

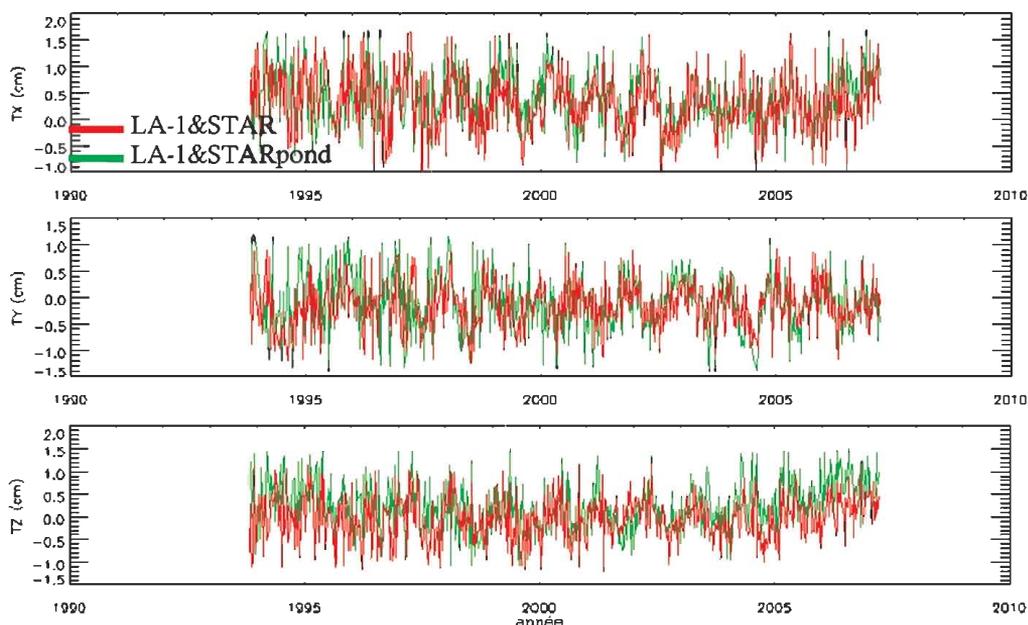


Fig. 3 Comparaison des composantes des variations du géocentre entre les solutions LA-1&STAR et LA-1&STARpond.

• **Facteur d'échelle**

Généralement, les variations de l'échelle du repère de référence sont affectées par les erreurs de détermination des composantes verticales des stations (Coulot, 2005). Ainsi, les biais en distance et les erreurs sur les composantes radiales dues aux erreurs orbitales résiduelles, limitant la précision sur les composantes verticales, influent sur les variations d'échelle. D'autre part, l'effet du réseau est un autre facteur qui peut affecter aussi l'échelle. La figure 4 illustre les graphes des séries temporelles du

facteur d'échelle, correspondantes aux différentes combinaisons.

D'après le tableau 2, la dispersion de la série (LA-1 &STAR) est de l'ordre de  $4.0 \pm 0.56$  ppb (soit  $24 \pm 5$  mm). Dans le cas de la solution LAGEOS, elle est de l'ordre de  $2.7 \pm 0.75$  ppb (soit  $16 \pm 3$  mm). Ceci montre que les mesures de starlette sont plus bruitées. La figure 4b et le tableau 2 montrent la présence d'un décalage en magnitude d'environ 1.8 ppb (ou 11 mm) entre les deux séries de Starlette (mesures pondérées et non pondérées).

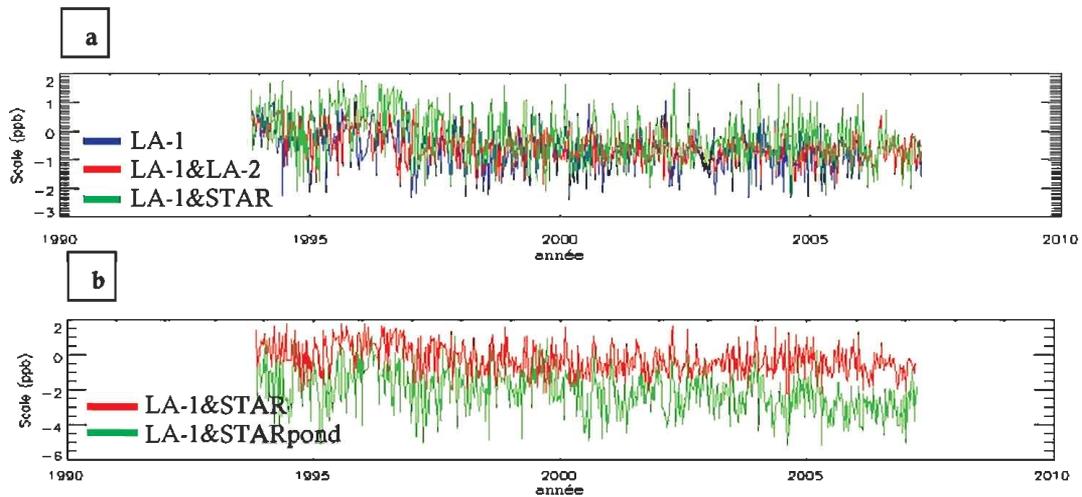


Fig. 4 Séries temporelles du facteur d'échelle suivant (a) les solutions des différentes combinaisons (LA-1, LA-1&LA-2 et LA-1&STAR) (b) les solutions issues des observations pondérées et non pondérées (LA-1&STAR et LA-1&STARpond).

## 2.2 Paramètres du pôle

La figure 5 illustre les séries temporelles d'appoints sur les coordonnées du pôle ( $X_p$ ,  $Y_p$ ), le temps universel  $UT1$  et la longueur du jour  $LOD$ . Ces appoints ont été calculés par rapport à la solution standard EOPC04, série temporelle de référence de l'IERS et ramenés dans un repère de référence cohérent avec l'ITRF2005. D'après le tableau 2, les écarts-types de la solution LA1&LA-2 sont respectivement de l'ordre 0.14 mas (~ 4mm), et de 0.01 ms (~5mm) en coordonnées du pôle et en temps. Concernant, la solution LA-1&STAR, les précisions sont un peu plus larges, de l'ordre de 0.20 à 0.23 mas (ou bien, 6-7mm) en coordonnées du pôle, et de 0.02 ms (soit 10mm) en temps ( $UT1$  et  $LOD$ ). Ces

valeurs sont satisfaisantes pour la technique SLR et elles s'accordent avec les valeurs publiées par l'IERS (Gambis, 2004).

La figure 6 montre qu'il y a une certaine concordance entre les deux séries temporelles de la solution LA1&STAR : cas des observations pondérées et non pondérées de Starlette. En effet, en termes de précision, les deux séries sont de l'ordre de 5-6 mm en coordonnées du pôle et de l'ordre de 10 mm en temps (cf. Tableau 2). On peut dire que les solutions des EOP, obtenues par la méthode mono-technique (SLR), restent en incohérence avec la solution de référence EOPC04 à un niveau de 5 à 10 mm (~ 200 – 300  $\mu$ s) (Gambis, 2004).

Tab 2. Statistiques des paramètres du pôle. Les valeurs dans chaque case représentent, respectivement, le minimum, le maximum, la moyenne et l'écart type suivant les différentes combinaisons.

Solution	$X_p$ (mas)	$Y_p$ (mas)	$UT$ (ms)	$LOD$ (ms)
LA-1	-0.66 0.80 <b>0.07 ±0.26</b>	-0.74 0.80 - <b>0.01 ±0.22</b>	-0.08 0.07 <b>-0.00 ±0.02</b>	-0.15 0.16 <b>0.00 ±0.03</b>
LA-1&LA-2	-0.50 0.61 <b>0.05 ±0.14</b>	-0.52 0.61 - <b>0.02 ±0.13</b>	-0.05 0.05 <b>0.00 ±0.01</b>	-0.11 0.11 <b>0.00 ±0.01</b>
LA-1&STAR	-0.65 0.92 <b>0.14 ±0.23</b>	-0.72 0.92 <b>0.02 ±0.20</b>	-0.06 0.06 <b>0.00 ±0.02</b>	-0.16 0.17 <b>0.00 ±0.02</b>
LA-1 &STARpond	-0.64 0.83 <b>0.10 ±0.15</b>	-0.65 0.83 <b>0.05 ±0.15</b>	-0.06 0.06 <b>-0.00 ±0.01</b>	-0.15 0.15 <b>0.00 ±0.02</b>

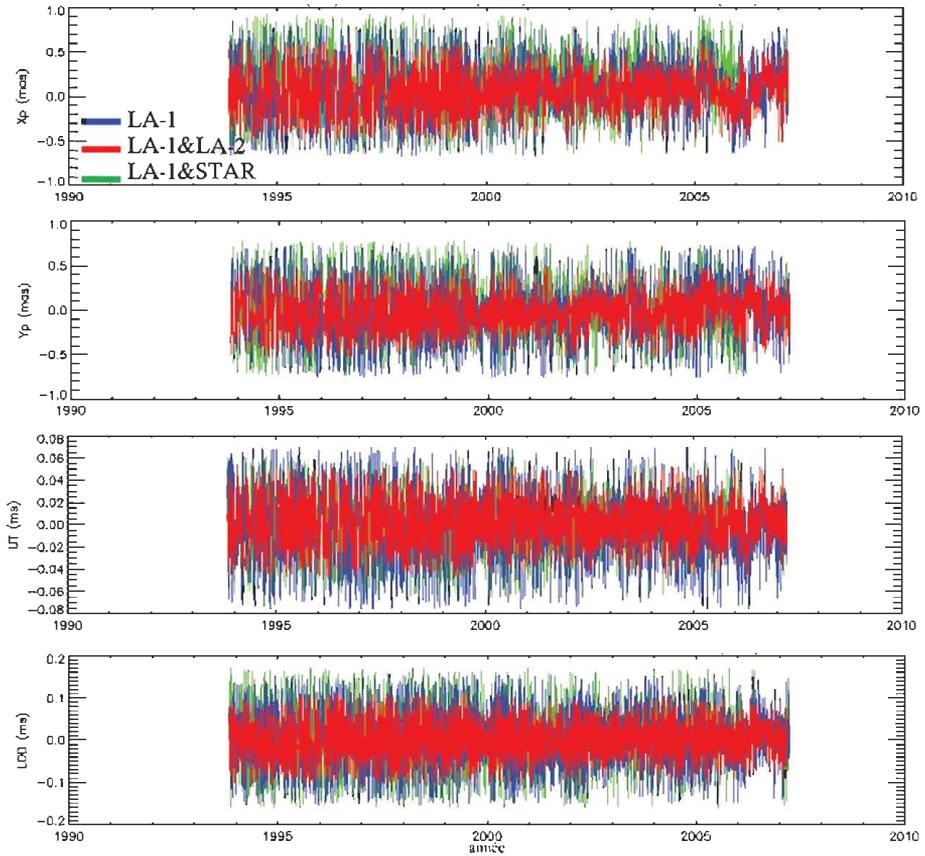


Fig. 5 Séries temporelles des paramètres du pôle ( $X_p$ ,  $Y_p$ ,  $UT$  et  $LOD$ ).

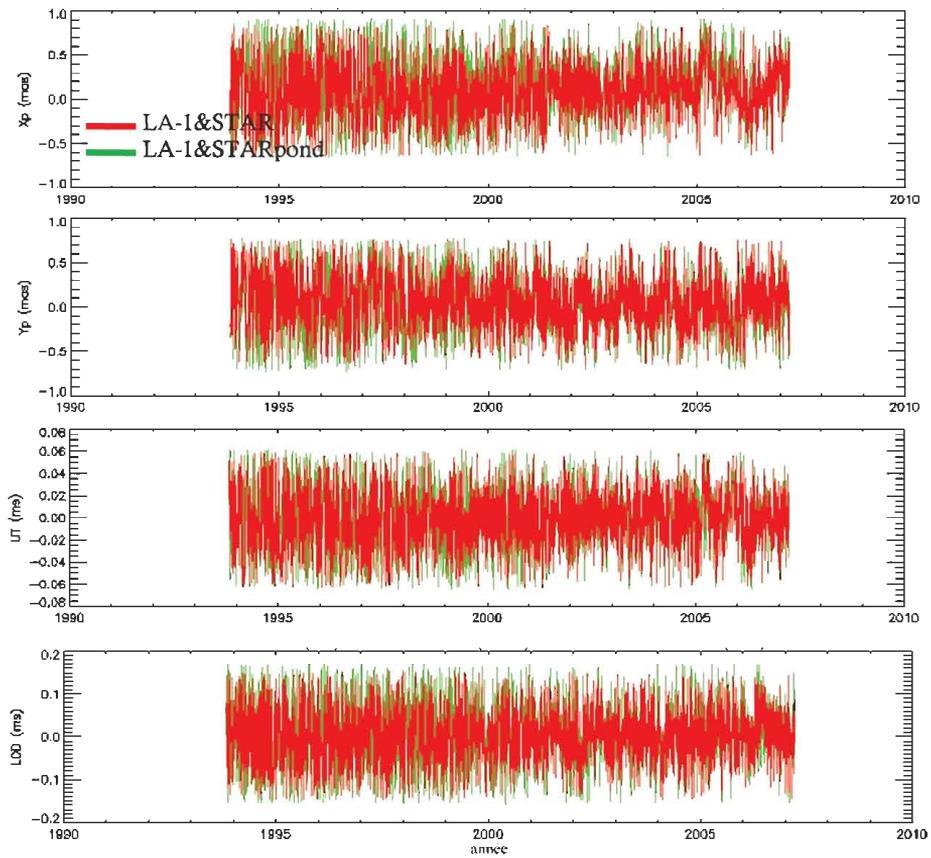


Fig. 6 Séries temporelles des paramètres du pôle ( $X_p$ ,  $Y_p$ ,  $UT$  et  $LOD$ ) suivant les solutions LA-1&STAR et LA-1&STARpond.

### 3. Résultats et discussion

La méthodologie d'analyse, adoptée à travers cet article, repose sur deux aspects:

- (i) l'analyse fréquentielle pour estimer les signaux périodiques (amplitude et phase) des séries temporelles des paramètres d'intérêt, en utilisant le logiciel FAMOUS (Mignard, 2005),
- (ii) l'étude du bruit affectant ces séries, par la méthode de la variance d'Allan (LeBail, 2004).

#### 3.1 Résultats des paramètres de transformation

##### • Variation du géocentre

La comparaison entre les valeurs de la solution (LA-1&STAR) et celles des autres auteurs a permis de révéler des accords de l'ordre du millimètre pour les amplitudes (voire mieux pour le terme annuel sur la composante TY). Concernant les phases, les accords sont moins probants. Ceci est probablement dû au choix du repère de référence et des modèles physiques utilisés dans les calculs (Figure 7 et tableau 3).

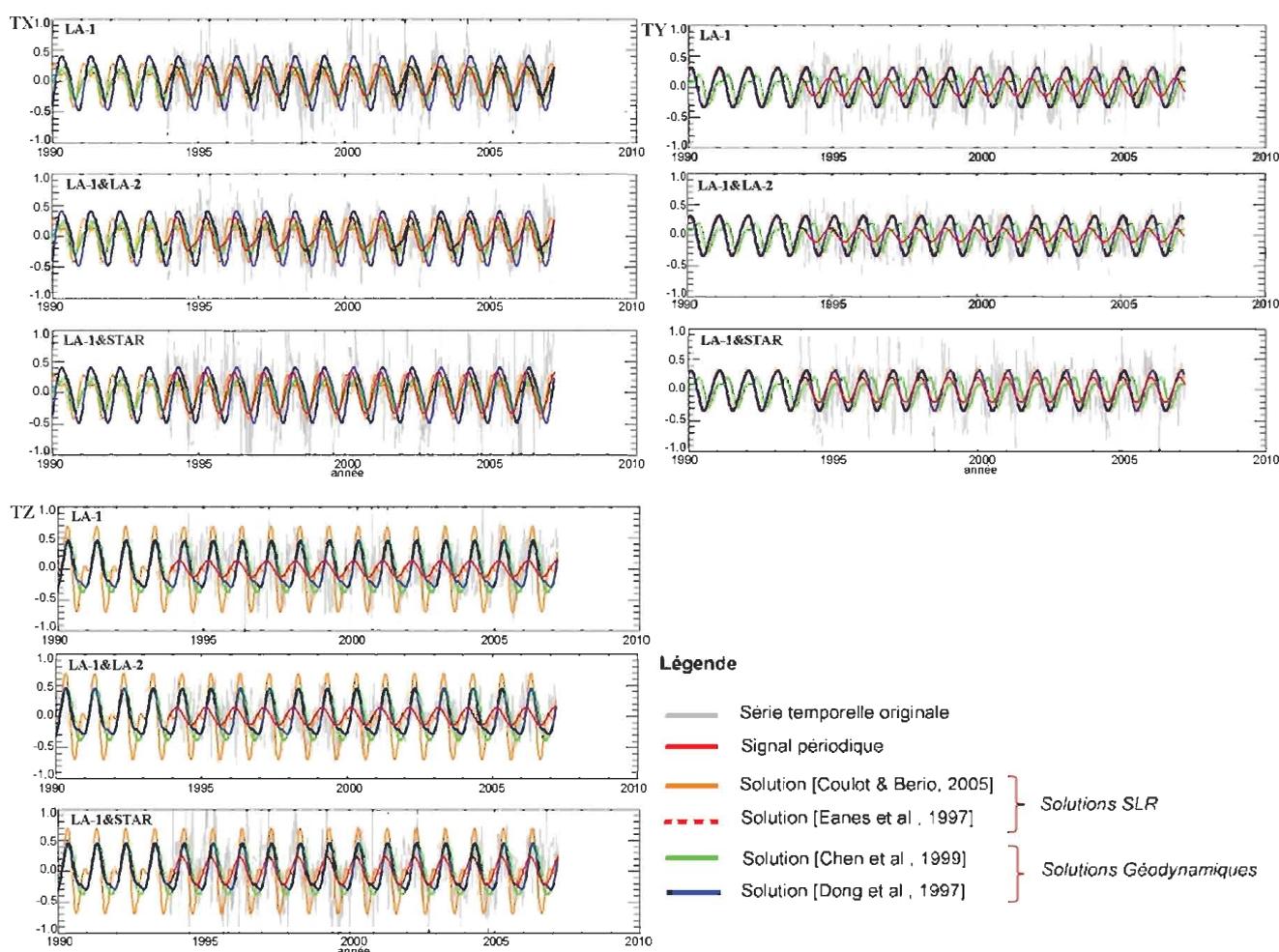


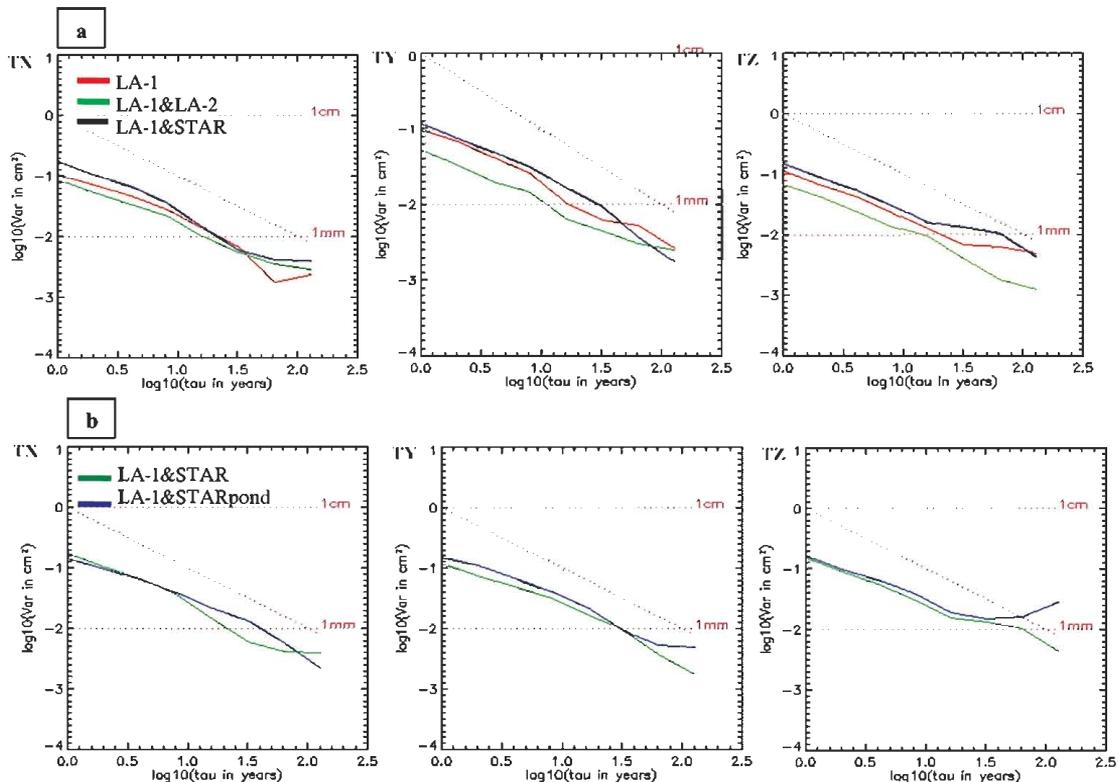
Fig. 7 Comparaison des signaux périodiques estimés par FAMOUS, des solutions obtenues avec celles d'autres auteurs et des modèles géodynamiques.

**Tab 3.** Amplitudes et phases des termes annuels et semi-annuels et leurs précisions sur les trois paramètres de translation pour notre solution, les solutions de [Coulot & Berio 2005] & [Eanes et al. 1997] et les deux modèles géodynamiques [Dong et al. 1997] & [Chen et al. 1999]. La formule adoptée est la suivante :  $A * \cos(\omega(t - t_0) + \varphi)$ ,  $A$  en mm et  $\varphi$  en degrés,  $t_0 = 1$ er janvier 1990.

Paramètre	Notre solution				Coulot & Berio 2005	Eanes et al. 1997	Chen et al. 1999	Dong et al. 1997
	LA-1	LA-1&-2	LA-1&STAR	LA-1&STAR <sub>Pond</sub>				
TX A 1 an	2.3 ± 0.3	2.4 ± 0.3	3.3 ± 0.4	2.4 ± 0.4	2,8	2,2	2,4	4,2
TX φ 1 an	279.5 ± 16.7	280.4 ± 13.7	300.5 ± 11.9	296.4 ± 15.7	284	211	244	224
TX A ½ an	.	0.7 ± 0.2	.	0.8 ± 0.3	1,5	1,1	0,7	0,8
TX φ ½ an	.	277.6 ± 42.9	.	96.2 ± 50.6	352	344	1	210
TY A 1 an	1.5 ± 0.2	1.1 ± 0.3	2.0 ± 0.2	3.1 ± 0.6	3,2	3,2	2,0	3,2
TY φ 1 an	88.9 ± 25.0	65.1 ± 22.2	0.1 ± 20.4	51.9 ± 10.9	340	331	270	339
TY A ½ an	.	.	.	0.9 ± 0.4	<< 0,1	0,8	0,9	0,4
TY φ ½ an	.	.	.	337.7 ± 43.8	.	33	41	206
TZ A 1 an	1.3 ± 0.5	1.3 ± 0.3	2.3 ± 0.4	2.2 ± 0.3	4,8	2,8	4,1	3,5
TZ φ 1 an	322.9 ± 23.3	332.1 ± 17.6	290.9 ± 16.8	261.4 ± 21.0	276	225	228	235
TZ A ½ an	.	.	.	.	3,2	0,4	0,5	1,1
TZ φ ½ an	.	.	.	.	102	193	58	133

Le comportement spectral des séries temporelles du mouvement du géocentre, décrit par la méthode de la variance d'Allan, est illustré par la figure 8a suivant les différentes combinaisons. Après avoir enlevé la tendance (estimée par une régression linéaire) et les composantes périodiques (annuelles et semi-annuelles), on a appliqué la variance d'Allan sur les séries du mouvement du géocentre résultantes. Le type de bruit dominant dans ces séries est le bruit blanc.

Cependant, le bruit affectant les trois composantes du géocentre de la série de LA-1&STAR est légèrement important (~2mm). La série LA-1&-2 reste la moins perturbée avec un niveau de bruit de 1mm. D'autre part, le tableau 4 et la figure 8b montrent que la pondération des mesures n'a affecté que la composante TZ où le type de bruit est un bruit de scintillation (*flicker noise*), avec le même ordre de 2mm.



**Fig. 8** Variance d'Allan des translations suivant : (a) les solutions (LA-1, LA-1&-2 et LA-1&STAR) (b) les solutions (LA-1&STAR et LA-1&STARpond).

Tab 4. Bruit des séries temporelles des paramètres de transformation : pente du graphe log-log de la variance d'Allan et niveau de bruit.

Solution	TX (cm)		TY (cm)		TZ (cm)		D (ppb)	
	Pente	Niveau	Pente	Niveau	Pente	Niveau	Pente	Niveau
LA-1	-0.9	0.16 ±0.01	-0.8	0.16 ±0.01	-0.7	0.16 ±0.01	-0.6	0.28 ±0.02
LA-1 &LA-2	-0.7	0.14 ±0.01	-0.7	0.12 ±0.004	-0.9	0.12 ±0.01	-0.6	0.22 ±0.01
LA-1 &STAR	-0.7	0.19 ±0.02	-0.8	0.17 ±0.01	-0.7	0.19 ±0.01	-0.8	0.32 ±0.04
LA-1 &STARpond	-0.8	0.19 ±0.01	-0.8	0.19 ±0.01	-0.5	0.22 ±0.01	-0.8	0.46 ±0.08

#### • Facteur d'échelle

Le tableau 3 fournit les valeurs des signaux annuels et/ou semi-annuels (amplitudes et phases) des séries temporelles du facteur d'échelle. La solution LA-1&STAR est la seule qui contient les deux composantes périodiques avec une amplitude de l'ordre de 0.17ppb/an et de 0.15ppb/06mois (soit 1mm/an et 0.9 mm/06 mois; valeurs légèrement supérieures par rapport à celles des solutions de LAGEOS mais de même précision). En revanche, l'amplitude annuelle correspondant à la combinaison LA-1&STAR avec pondération est environ deux fois plus importante. Les biais et les pentes d'échelle, correspondants aux différentes combinaisons sont sensiblement équivalents avec une légère différence pour la solution LA-1&STAR. Les précisions

estimées sur ces composantes sont en moyenne de même ordre de grandeur.

Généralement, l'existence de pentes dans les séries temporelles des paramètres de transformation est liée principalement à la géométrie du réseau de poursuite SLR. En effet, il a été à montrer que le choix de la distribution géographique des stations laser influe considérablement sur l'estimation des paramètres d'intérêt (Coulot, 2005). Cependant, d'après le tableau 5, on constate que la valeur maximale des pentes des différents paramètres de transformation est très faible (~ 1mm/an). Par conséquent, le choix du réseau qui a servi comme repère de référence dans nos calculs, a été optimal grâce aussi à la bonne qualité des observations des stations de poursuite de ce réseau.

Tab 5. Amplitudes et phases des termes annuels et semi-annuels du facteur d'échelle et leurs écarts types, suivant les différentes combinaisons. La formule adoptée est :  $A * \cos(\omega(t - t_0) + \varphi)$ , A en ppb et  $\varphi$  en degrés,  $t_0 = 02$  octobre 1993.

Solution	A (ppb) & période	$\varphi$ (°)	Pente (ppb/an)	Biais (ppb)
LA-1	0.12 ± 0.05 (0.8 an)	201.7 ± 35.8	-0.05	1.03
	0.12 ± 0.05 (½ an)	20.7 ± 33.2		
LA-1 &LA-2	0.10 ± 0.03 (0.8 an)	96.1 ± 35.8	-0.04	0.82
LA-1 &STAR	0.17 ± 0.05 (1an)	189.4 ± 29.6	-0.06	1.17
	0.15 ± 0.05 (½ an)	257.9 ± 32.7		
LA-1 &STARpond	0.34 ± 0.09 (1an)	29.0 ± 17.6	-0.06	1.15

La figure 9 illustre le graphe de la variance d'Allan des séries temporelles du facteur d'échelle. On peut constater que le bruit dominant pour les combinaisons utilisant les mesures de Starlette est un bruit

blanc de l'ordre de 2-3 mm. Par contre, pour les solutions LAGEOS, on remarque qu'il y a présence, en plus du bruit blanc, d'un bruit de scintillation à un niveau de 1-2 mm, (tableau 4).

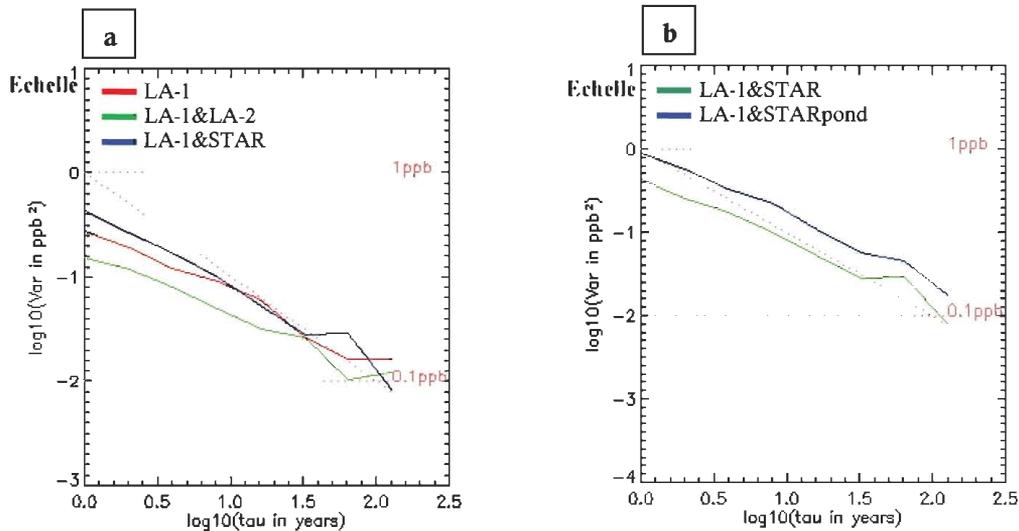


Fig. 9 Variance d'Allan des séries temporelles du facteur d'échelle suivant: (a) les solutions (LA-1, LA-1&LA-2 et LA-1&STAR) (b) les solutions (LA-1&STAR et LA-1&STARpond).

### 3.2 Paramètres du Pôle

Le tableau 6 représente la décomposition du signal périodique des séries temporelles du mouvement du pôle suivant trois gammes de périodes : interannuelles, annuelles et courtes périodes (de quelques jours à quelques mois < 100 jours). Le choix de cette décomposition est lié aux périodes des phénomènes géophysiques intervenant dans les variations du mouvement du pôle qui sont principalement dues à des redistributions de masses dans la Terre et de ses couches fluides. Dans ce cas, les oscillations annuelles et semi-annuelles sont dues essentiellement aux variations de l'atmosphère, des océans et des eaux souterraines (Frède, 1999). Les termes à courtes périodes sont liés aux marées gravitation-

nelles océaniques, atmosphériques et lunisolaires (Coulot, 2005). Tous ces phénomènes sont pris en compte dans nos calculs (Gourine et al., 2009). D'après le tableau 6, les résultats relatifs aux différentes combinaisons sont très proches, car les amplitudes maximales des différents signaux des variations du mouvement du pôle n'excèdent pas 74  $\mu$ s (i.e., 2.2 mm). Ceci montre que les effets résiduels des phénomènes géophysiques, cités précédemment, sur le mouvement du pôle sont faibles et d'ordre millimétrique. En ce qui concerne la durée du jour (LOD), les variations sont induites par la friction des vents et des courants océaniques à la surface de la Terre solide. De même, les variations de ce paramètre peuvent être décomposées en trois termes.

Tab 6. Signaux périodiques des paramètres du pôle (résidus sur les coordonnées du pôle  $X_p$ ,  $Y_p$  et sur la Longueur du jour LOD).  
\* : correspond au terme semi-annuel.

Paramètre	Période	LA-1	LA-1&LA-2	LA-1&STAR	LA-1 & STARpond
$X_p$ ( $\mu$ s)	Interannuelle	56.3	30.1 – 40.8	36.1 – 48.3	33.2 – 36.6
	Annuelle	–	31.9	46.7	<b>32.6*</b>
	Courtes périodes	30.4 – 34.1	23.6 – 28.5	34.5 – 41.3	31.7
$Y_p$ ( $\mu$ s)	Interannuelle	46.0	–	39.0	33.0
	Annuelle	39.7	35.0	72.9	74.4
	Courtes périodes	31.4 – 34.0	10.6 – 22.2	31.3 – 36.1	28.1 – 37.2
LOD ( $\mu$ s)	Interannuelle	6.4	–	6.5	–
	Annuelle	5.9	6.0	–	7.2
	Courtes périodes	5.4 – 6.0	3.5 – 4.1	6.1 – 13.8	5.8 – 13.7

D'après (Frède, 1999), les processus atmosphériques sont la cause principale des variations interannuelles de *LOD*. Quant aux variations saisonnières (annuelles et semi-annuelles), elles sont induites par des variations dans les vents zonaux et stratosphériques, pour le terme annuel, et par la contribution des océans pour le terme semi-annuel. Les variations à courtes périodes (inférieurs à 100 jours) sont principalement attribuées aux échanges de moment cinétique entre la Terre solide et l'atmosphère.

Ces phénomènes d'origine géophysique sont inclus dans la série de référence EOPC04 du terme *LOD* et aussi dans celle calculée par chaque solution. Les amplitudes estimées des différents termes de variations du *LOD* sont de l'ordre de 4 – 6  $\mu$ s (soit

environ 2 – 3 mm) pour les combinaisons LAGEOS et de l'ordre de 7 – 14  $\mu$ s (soit environ 4 – 7 mm) pour les combinaisons Starlette et LAGEOS-1. Ces valeurs restent très faibles vis-à-vis des amplitudes des différents termes (Frède, 1999) car elles décrivent les signaux résiduels des phénomènes en question.

L'étude du bruit, affectant les séries temporelles des paramètres de rotation de la Terre, a permis de nous fournir le type de bruit et son niveau (cf. Tableau 7). Le bruit dominant pour la solution LA-1&LA-2 est le bruit de scintillation avec un niveau de l'ordre de 3 mm en coordonnées du pôle et de 9.5 mm en *LOD*. Alors que pour les solutions Starlette, les niveaux de ce bruit sont de l'ordre de 4 mm en coordonnées du pôle et de 14.5 mm en *LOD*.

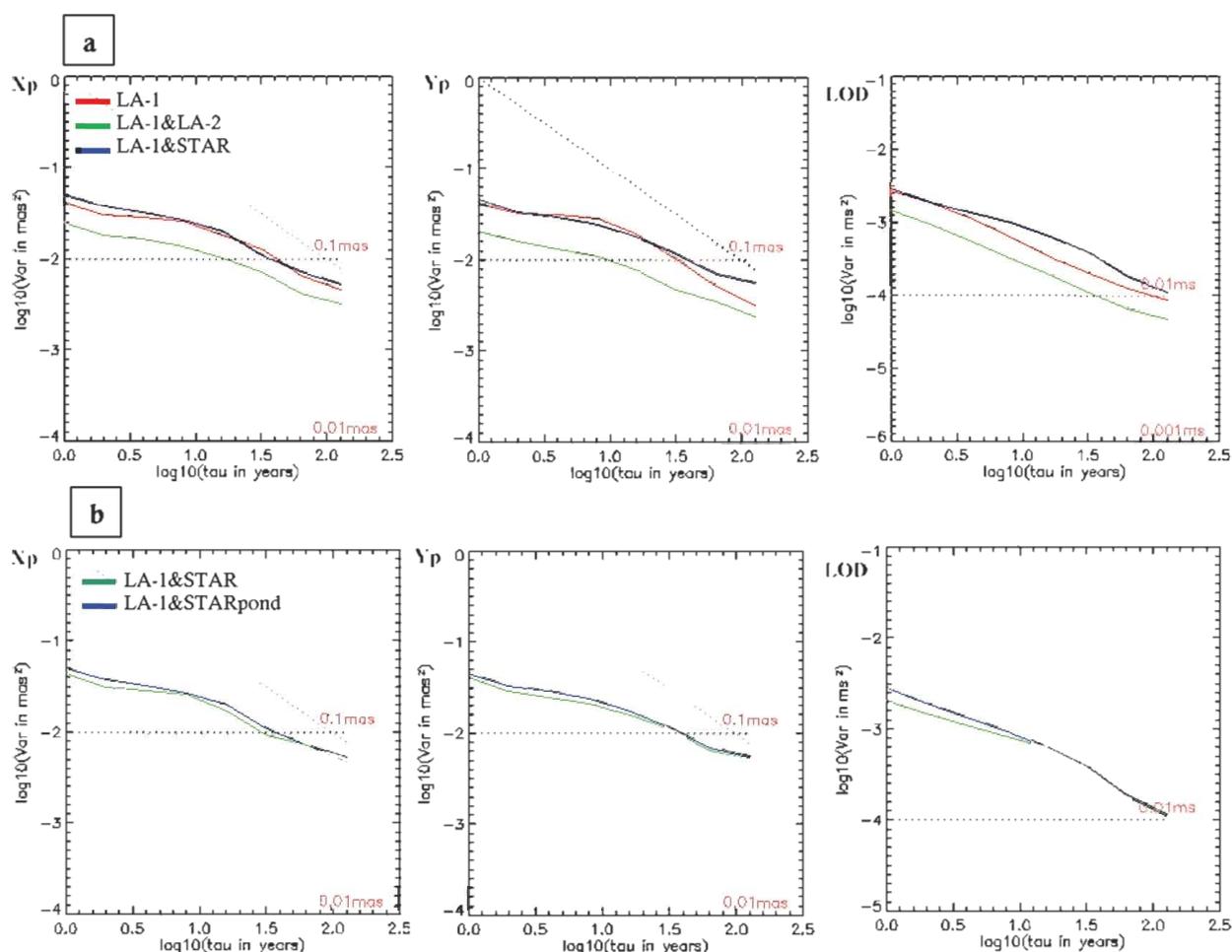


Fig. 10 Variance d'Allan des paramètres du pôle suivant (a) les solutions (LA-1, LA-1&-2 et LA-1&STAR) (b) les solutions (LA-1&STAR et LA-1&STARpond).

Tab 7. Bruit des paramètres du pôle.

Solution	Xp ( $\mu$ as)		Yp ( $\mu$ as)		LOD ( $\mu$ s)	
	Pente	Niveau	Pente	Niveau	Pente	Niveau
LA-1	-0.4	140 $\pm$ 2	-0.5	130 $\pm$ 3	-0.7	26 $\pm$ 0.3
LA-1&LA-2	-0.4	110 $\pm$ 1	-0.4	90 $\pm$ 1	-0.7	19 $\pm$ 0.1
LA-1&STAR	-0.5	140 $\pm$ 3	-0.4	0.14 $\pm$ 2	-0.7	29 $\pm$ 0.2
LA-1 &STARpond	-0.5	140 $\pm$ 3	-0.4	0.13 $\pm$ 2	-0.6	27 $\pm$ 0.1

#### 4. Conclusion

Cette étude a concerné le traitement de 14 années de données laser des satellites LAGEOS-1&-2 et Starlette pour l'étude des produits géodésiques (Géocentre et EOP). Malgré que l'orbite du satellite bas Starlette est sujette à l'influence de nombreuses forces gravitationnelles et non gravitationnelles, les résultats obtenus ont révélé que l'apport des mesures de ce satellite a un niveau acceptable sur la qualité des paramètres estimés. En outre, l'analyse de ces séries temporelles a montré qu'il est intéressant d'utiliser les mesures de Starlette pour l'étude du comportement des variations du géocentre et des paramètres de rotation de la Terre (EOP). Sur la base de ces résultats, nous pouvons conclure que les observations issues des satellites bas (Starlette, Stella, TOPEX/Poseidon (T/P), Jason-1, etc.) peuvent être utilisées dans la détermination précise des produits géodésiques (géocentre et EOP).

#### Remerciements

Les auteurs remercient les chercheurs de GEMINI/OCA – France, plus particulièrement, Prof. Exertier P., Berio Ph., Deleflie F., Coulot D. et Feraudy D., pour leurs soutiens scientifique et technique à ce travail de recherche.

#### Références bibliographiques

- Bouillé, F.: *Etude des systèmes actuels et futurs de positionnement spatial DORIS: Détermination des mouvements du centre de masse de la Terre et interprétations géophysiques*. Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier, Toulouse III, soutenue le 7 Janvier 2000, France.
- Coulot, D.: *Télémétrie laser sur satellites et combinaison de techniques géodésiques*. Thèse de Doctorat, Observatoire de Paris, 2005.
- Frède, V.: *Apport de l'analyse non linéaire à l'étude géophysique de la rotation de la Terre*. Thèse de doctorat, Observatoire de Paris, France 1999.
- Gourine, B., Kahlouche, S., and Belbachir, M.F.: *Determination and analysis of stations coordinates based on Starlette and Lageos-1 & -2 satellites laser ranging data*. Bulletin des sciences géographiques, N°24, 2e semestre 2009, pp 9-15.
- Le Bail, K.: *Etude statistique de la stabilité des stations de géodésie spatiale – Application à DORIS*. Thèse de Doctorat, Observatoire de Paris, 2004.
- McCarthy, D.D. : *IERS Conventions*. IERS technical note 21, Observatoire de Paris, 1996.
- Mignard, F.: *Guide d'utilisation du logiciel FAMOUS*. Rapport interne de l'OCA- France, 2005.

## Analysis of Mediterranean sea level from satellite altimetry and tidal data

M. Haddad<sup>a</sup>, M. F. Belbachir<sup>b</sup>, S. Kahlouche<sup>a</sup>, A. Rami<sup>a</sup>, S. Khelifa<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Centre of Space Techniques, 1 Avenue de Palestine, BP 13 Arzew. Oran, Algeria

<sup>b</sup>University of Science and Technology of Oran, Department of Electronics, Signals, Systems and Data Laboratory, BP 1505, Oran El M'Naouer. Oran, Algeria

**ملخص :** الهدف من هذا المقال هو تقييم التغيرات الفصلية للبحر الأبيض المتوسط واتجاهاته من القيم المسجلة في السلسلة الأحدثية للمستوى المرفاعي للبحر والمستوى المتوسط لمد وجزر البحر. بين تحليل السلسلة الأحدثية المرفاعية ، من سنة 1992 إلى 2009 ، بأن سعة تغيرات المستوى المتوسط للبحر الأبيض المتوسط تقدر تقريبا بـ 15 سم . تنخفض في شهر جانفي و فيفري ، تبلغ الحد الأدنى في شهر مارس و أبريل و يلاحظ الحد الأقصى في شهر أكتوبر و نوفمبر . يحدد أجل إستجابة مستوى البحر لتغيرات الحرارة على سطح البحر في حوالي شهرين يتطابق مع الوقت المتطلب للحرارة المنتشرة من السطح إلى أعماق البحر .

تبيّن النتائج الشهرية لتحليل السلسلة الأحدثية PSMSL RLR بأن التغيرية الفصلية لمستوى البحر الأبيض المتوسط تنخفض في فصل الخريف و ترتفع بين فصلي الصيف و الربيع . تسجل القيم الأكثر إنخفاضاً في شهر فيفري أومارس و القيم الأكثر ارتفاعاً في شهر أكتوبر أو نوفمبر باستثناء بحر إيجه، أين تظهر أكبر قيمة في شهر أوت . معدل إتجاه المستوى المتوسط للبحر الأبيض المتوسط المتحصل عليه من معطيات مد و جزر البحر تقدر بحوالي 1.61 مم / سنة . تعد هذه القيمة أقرب لإتجاه المستوى المتوسط للبحر المتحصل عليه من المعطيات المرفاعية (1.32 مم / سنة) .

**الكلمات الأساسية :** البحر الأبيض المتوسط ، مراقبة مستوى البحر ، شذوذ مستوى البحر (SLA) ، حرارة سطح البحر (SST) ، المستوى المتوسط لمد و جزر البحر .

**Résumé :** L'objectif de cet article est d'évaluer la variabilité saisonnière de la mer Méditerranéenne et ses tendances à partir des enregistrements des séries chronologiques du niveau altimétrique de la mer et le niveau moyen de la marée de mer. L'analyse des séries chronologiques altimétriques, de 1992 à 2009, montre que l'amplitude de changements du niveau moyen de la mer méditerranéenne est environ de 15 cm. Il baisse en janvier-février, atteint le minimum en mars-avril et le maximum est observé en octobre-novembre. Le délai de la réponse du niveau de la mer aux variations de la température de la surface de la mer SST est environ de deux mois qui correspond aux temps exigés pour la température à diffuser de la surface aux profondeurs de la mer.

Les résultats de l'analyse mensuelle des séries chronologiques PSMSL RLR montrent que le comportement de la variabilité saisonnière du niveau de la mer Méditerranéenne baisse en automne et augmente entre les saisons de l'été et du printemps.

Les plus basses valeurs se produisent en février ou en mars et les plus hautes valeurs en octobre ou en novembre à l'exception de la Mer Égée, où la valeur maximale paraît en août. La moyenne de la tendance du niveau moyen de la mer Méditerranéenne obtenue de données de la marée est environ de 1.61 mm / année. Cette valeur est proche de la tendance du niveau moyen de la mer obtenue de données altimétriques (1.32 mm / année).

**Mots-clés :** Mer Méditerranéenne, contrôle du niveau de la mer, anomalie du niveau de la mer (SLA), température de la surface de la mer (SST), Niveau moyen de la marée de mer.

**Abstract :** The purpose of this paper is to estimate the seasonal variability of Mediterranean Sea and its trends from time series of altimetric sea level and tidal mean sea level records. The altimetric time series analysis, from 1992 to 2009, shows that the amplitude of Mediterranean mean sea level changes is around 15 cm. It decreases in January-February, reaches the minimum in March-April and the maximum is observed in October-November. The response delay of sea level to SST variations is about two months which corresponds to the time required for the temperature to diffuse from the surface to sea depths.

The results of the monthly PSMSL RLR time series analysis show that the behavior of the seasonal variability of the Mediterranean Sea level decreases in the autumn and increases between spring and summer seasons. The lowest values occur in February or March and the highest values in October or November with an exception in the Aegean Sea, where the maximum value appears in August. The average of the mean Mediterranean Sea level trend obtained from tidal data is about 1.61 mm/year. This value is close to the average sea level trend obtained from altimetric data (1.32 mm/year).

**Key words :** Mediterranean Sea, Sea level monitoring, Sea level anomaly (SLA), Sea surface temperature (SST), Tidal Mean Sea Level.

## 1. Introduction

Recent analysis of tide gauge records and data from the Topex satellite altimeter indicate that Mediterranean Sea level has been rising by 0.5 to 1mm/yr [5] and it is expected to continue rising in the next century (mainly) due to thermal expansion of the oceans resulting from global warming.

Before the 1960s, the relative sea level of the Mediterranean Sea was increasing by about 1.2 mm/yr, a value within the range of the global trend. Nevertheless, between 1960 and 1994 the Mediterranean Sea level trend had reversed sign [11]. After the mid-1990s, altimetric measurements showed rapid rising of sea level in the Eastern Mediterranean Basin of the order of 20 mm/yr which has been associated with increases of the sea surface temperature [4]. Changes in the hydraulic conditions at the Strait of Gibraltar may also be important in the observed sea level rise during the recent years [10]. Important and rapid changes in the deep water formation in the eastern Mediterranean [8] as well as decadal scale changes in the deep water characteristics [9]; [2]; [3]; [11] may also be linked with the sea level changes.

Furthermore, the AVISO merged products solutions for the Mediterranean Sea based on sea level anomaly measurements from different satellites/instruments, considered for the period from 2002 to 2007, shows that the trends in the Mediterranean mean sea level had a large amplitudes, around 20 cm. The amplitude level decreased in January-February and reached the minimum in March, and the maximum was observed in October-November [1].

In this paper, we estimate the sea level changes using the longer term sea level records available from altimetry (from 1992 to 2009) and tide gauges within the Mediterranean basin. This analysis aims principally to assess the seasonal variability and the mean sea level trends over the Mediterranean Sea along its coasts.

In section 2, we present the several reasons of long term sea level variability and the different measurement means of the sea level variations. Then, we describe the data used in our analysis. In section 4, we present the seasonal variability and the mean sea level trends of Mediterranean sea level derived from altimetry data. Following this section, the delay response of sea level to the sea surface temperature variations is illustrated. The seasonal variability and mean sea level trends at tide gauge stations situated along the Mediterranean coastlines are presented in section 6. Finally, we finished by a conclusion of our analysis.

## 2. Long term sea level variability

The sea level can vary over long periods for several reasons :

- Water mass variations: water can be added to the ocean, either by increased rain over the ocean, or run-off from the rivers ; glaciers melting can also add water. On the other hand, more artificial reservoirs lead to a run-off decrease, and thus to less water being brought to the ocean. Increased evaporation can also decrease the water mass (as well as glaciations, as it happened during last Ice age, when sea level was about 100 m below the nowadays level).

- Temperature variations : water dilates when it warms, which leads to higher sea level. Among other facts, it leads to sea level seasonal variations, and also year-to-year variations related to climate events (e.g. El Niño). Temperature changes over longer time scale (global warming) have also an impact.

- Salinity variations: the saltier the water, the denser it is; thus saltier water will have a lower level. Salinity variations can occur by fresh water addition (increased run-off, rain, or ice melting), which decreases salinity, either by increased evaporation, or by glaciations, which increase salinity.

- Ocean circulation changes: changes in sea level can be due to changes in the ocean circulation. Over periods of ten years or more, the currents can shift position.

The different means of measuring sea level variations do not in fact observe exactly the same things: altimetry for total part (steric and mass), Grace for mass and glacial Isostatic Adjustment (GIA) parts, temperature/salinity profiles for steric, thermosteric (temperature only) or halosteric (salinity only) part and Tide gauges total plus ground movements (including glacial isostatic adjustment) of mean sea level.

In our work, we have been interested in Mediterranean sea level changes (total part) and their trends using altimetry and tidal data.

### 2.1 Sea level variations from altimetry

The Sea Surface Height (SSH), referenced to an ellipsoid, is composed of a variable oceanic part, the Absolute Dynamic Topography (ADT), and a geophysical constant the geoid. Its small scales are not known with enough accuracy to permit the separation of the two components of the SSH.

Consequently, SSH is decomposed into a Mean Sea Surface (MSS) and a Sea Level Anomaly (SLA), which takes into account the variation of height around the MSS due to the variability of the ocean currents (eddies, mean sea level change, tides, ...).

Thanks to the global, continuous and repetitive set of altimetric observations allowed by the successive launches of ERS-2, Topex/Poseidon, Jason-1, Envisat, GFO and Jason-2, the ocean MSS is now computed with a sub-centimetric precision for a spatial resolution less than thirty kilometers. This makes it easy to estimate with an improved quality the variable part of sea level (SLA) as SSH minus the MSS.

The SLA is generally used as precious and main indicator for development of scientific applications which aim to study the ocean variability (mesoscale circulation, seasonal variation, El Niño...).

## 2.2 Sea level variations from PSMSL tide gauges network

Sea level is monitored using tide gauge for different applications: control of the national levelling system, oceanographic studies, climate change, operational purpose, harbor operations, and navigation. Also and from the beginning of the altimetric missions, tide gauges have been used to estimate the reliability and accuracy of the satellite altimeter. The main advantages provided by tide gauges are the high precision of the data and the short sampling rate.

However, the sparseness of tide gauge records, especially with long term series, is until now a global issue. In this context, the Permanent Service of Mean Sea Level (PSMSL) was established in 1933 as the global data bank for long term sea level change information from tide gauges and bottom pressure recorders. The objective of the PSMSL is to collect, publish, analyze and interpret sea level data from the global network of tide gauges.

In our study, we aimed to use all monthly mean sea level (RSL), monthly time series from PSMSL database to extract the seasonal variability and the mean sea level trend in the Mediterranean Sea.

## 3. Used data

The data used in our study was collected from several sources in order to analyse sea level behavior in the Mediterranean Sea :

- Altimetry data: sea level anomaly (SLA) measurements from different satellites/ instruments (ERS-1/2, Topex/Poseidon, Jason-1, Envisat, GFO and Jason-2) are considered through the use of the merged products from AVISO Altimetry. AVISO regional delayed-time solutions for the Mediterranean Sea are used, with 1/8 x 1/8 degrees of latitude and longitude resolutions and spanning the period October 14, 1992 - July 22, 2009 with a sampling rate of seven days (one week). The SLA data is available on the AVISO ftp site : <ftp://ftp.aviso.oceanobs.com>

- Revised Local Reference (RLR): This data is derived from PSMSL results of analysis of the global network of tide gauges. The 80 PSMSL stations situated along the Mediterranean coastline are considered with a monthly spanning. The RLR datum at each station is defined to be approximately 7000 mm below mean sea level [7], this arbitrary choice made many years ago in order to avoid negative numbers in the resulting RLR monthly and annual mean values. The RLR data are available on the PSMSL site: <http://www.psmsl.org/>

- Sea Surface Temperature (SST): from NOAA optimum interpolation dataset version 2, with a spatial resolution of 1x1 degree and weekly spanning the period from 1990 to 2010. The OIv2 SST analysis uses in situ and satellite SST's plus SST's simulated by sea-ice cover. The OI analysis is carried out over all ocean areas and the Great Lakes. There is no analysis over land. The land values are filled by a Cressman interpolation (NOAA Website) to produce a complete grid for possible interpolation to other grids. The ocean and land areas are defined by a land sea mask. The SST data is available on the NOAA web site [6].

## 4. Analysis of the Mediterranean sea level changes revealed by satellite altimetry

### 4.1 SLA Seasonal variability

In order to extract the general patterns of the Mediterranean sea level behaviour, the weekly SLA averaged over the Mediterranean Sea were computed from the multimission weekly maps of delayed-time SLA. We obtained one SLA datum for each week. The obtained averaged SLA are shown in Fig.1.

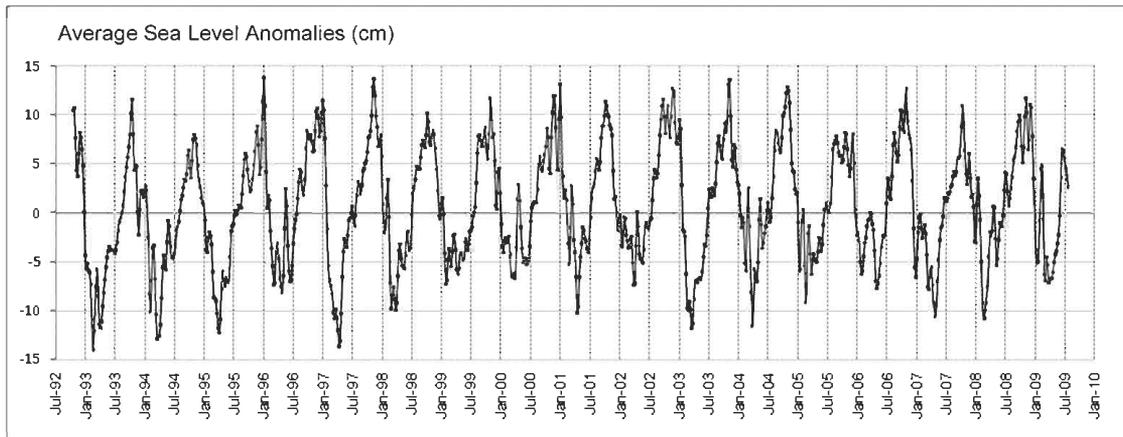


Fig. 1 Sea Level Anomalies averaged over the Mediterranean Sea.

It can be seen from the Fig.1 that the amplitude of Mediterranean mean sea level changes are large, it is around 15 cm, with a maximum in October-November, a decrease in January-February, and a minimum observed in March-April. For the year 2008, the minima and maxima of the Sea Level Anomalies over Mediterranean Sea are observed in February 20, 2008 (averaged SLA of -10.79 cm) and November 05, 2008 (averaged SLA of -11.72 cm), respectively.

The Fig.2 illustrates the observed SLA situation in February 20, 2008 and November 05, 2008. The SLA occurred in February 20, 2008 over the Mediterranean Sea which presents variations range of 40 cm. The averaged SLA value is about -10.79 cm. The lowest values of sea level are observed in the oriental Mediterranean Sea. When the mean sea level reached its maximum in November 05, 2008, the average SLA value becomes 11.71cm.

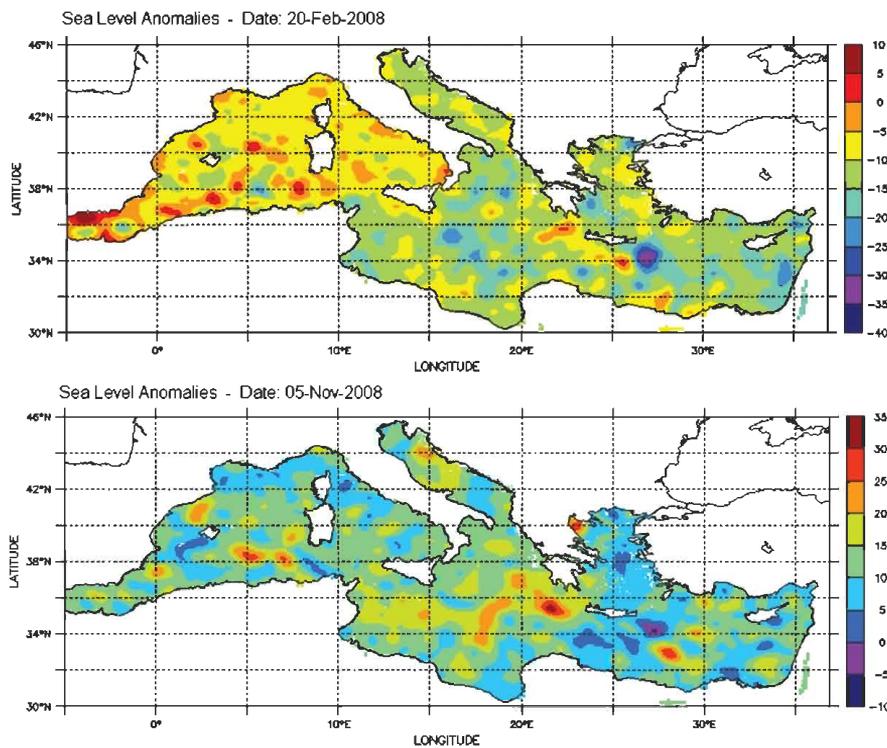


Fig. 2 Minima (20-Feb-2008) and Maxima (05-Nov-2008) of the Sea Level Anomalies.

In order to identify the periodic signals in the SLA, we have used the spectral density analysis (periodogram). The most important peak of the periodogram indicates the existence of a clear

dominant annual signal in the Mediterranean sea level time series variations which is about 48.67 weeks (see Fig.3).

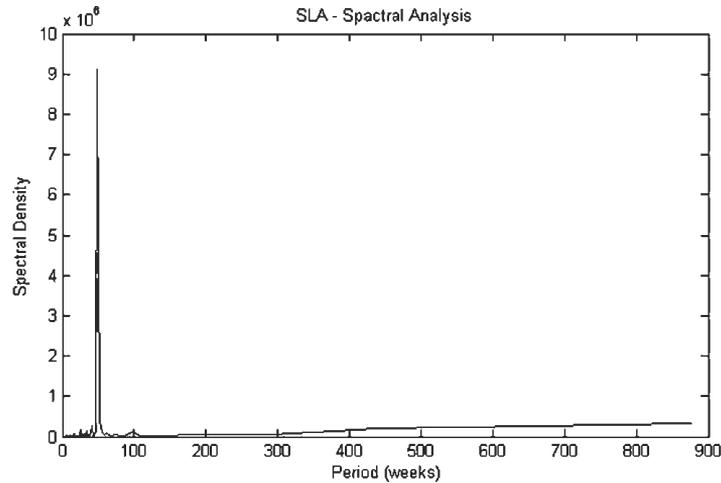


Fig. 3 Periodogram of Mediterranean sea level.

To illustrate the general seasonal variations of the Mediterranean mean sea level, monthly SLA are computed by averaging the weekly maps of delayed-time sea level anomalies over a same month from January 1993 to December 2008. We obtained one averaged data for each month. As mentioned previously (periodogram analysis), the average SLA by month (Fig.4) shows the evident annual variability of the sea level over the Mediter-

ranean Sea, where a minimum sea level occurs in March and maximum in October. Half of this signal is due to steric effects, i.e. contraction and dilation of the surface waters resulting from heat fluxes at the ocean-atmosphere boundary layer. The remaining signal is probably due to an imbalance between the in-flow/out-flows at Gibraltar, evaporation and precipitation [1].

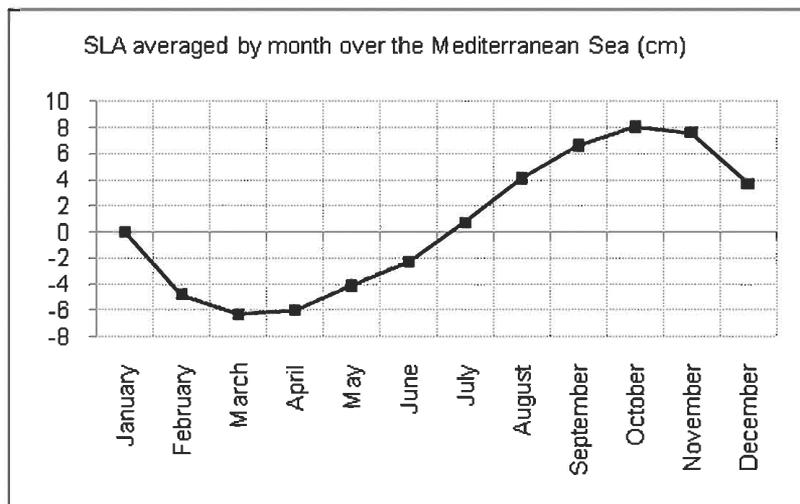


Fig. 4 SLA averaged by month from 1993 to 2008 over the Mediterranean Sea.

#### 4.2 Mean sea level trends

AVISO regional gridded SLA delayed-time solutions for the Mediterranean are used in order to illustrate the sea level variations behavior. Each grid cell corresponds to SLA time series of 876 data (from October 14, 1992 to July 22, 2009).

A trend for each grid cell is computed under the simple linear regression model using DRLINE subroutine of the Microsoft IMSL Libraries. The obtained trends grid, with 1/8 x 1/8 degrees of latitude and longitude resolutions, is shown in Fig.5.

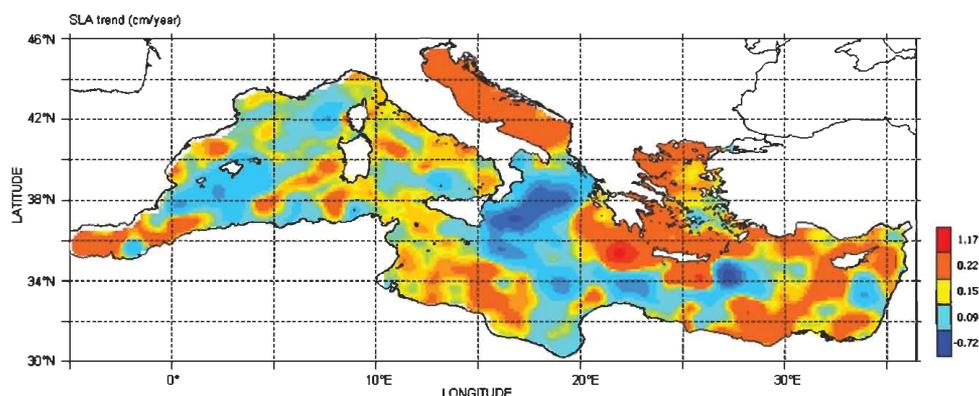


Fig. 5 Sea level trend from October 14, 1992 to July 22, 2009 over the Mediterranean Sea.

Through the Fig.5, the lowest sea level trend values appear in Ionian Sea (lowest value of -5.33 mm/year). Negative values are also observed in the middle of Balearic Sea (lowest value of -1.56 cm/year) and in the West of Levantine Sea (lowest value of -5.33 mm/year). The highest sea level trend appears in South-East of Ionian Sea and exhibits a value of 9.77 mm/year. The averaged variation of sea level trend is about 1.32 mm/year, that means an increase of Mediterranean sea

level about 22.44 mm over the spanning period 1992-2009.

#### 5. Response of sea level to the sea surface temperature

To analyse the sea surface temperature variations, the averaged SST over the Mediterranean Sea are computed. The obtained SST averages are shown in Fig.6.

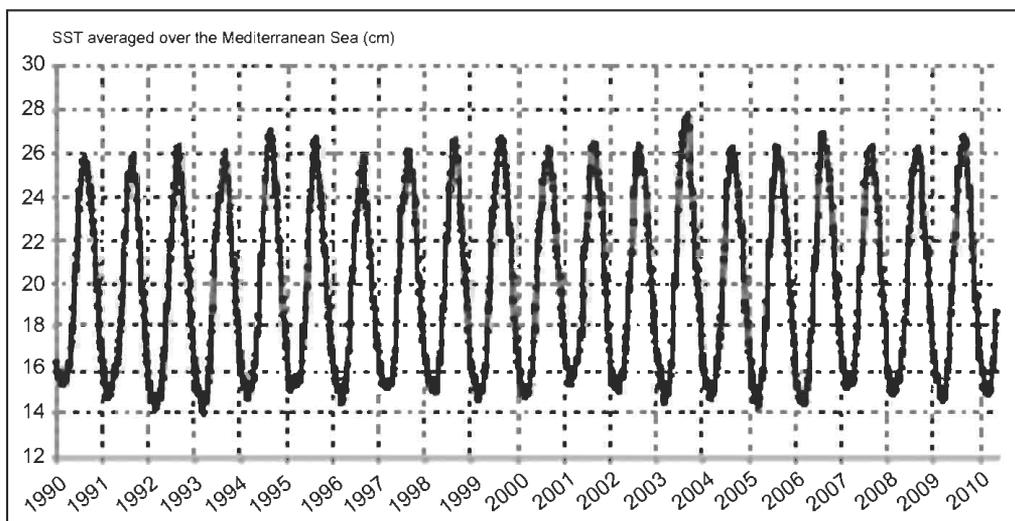
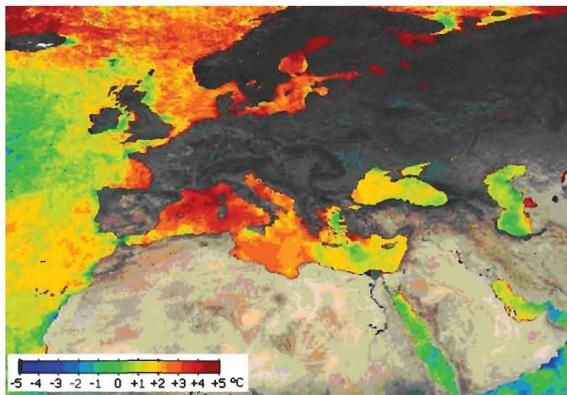


Fig. 6 SST from NOAA averaged over the Mediterranean Sea.

The SST (Fig.6) shows a uniform variations over the considered period (1990 to 2009) with a minimum value in end February (or in beginning March) and a maximum value in August. SST exhibits an average trend of 0.029 °C/yr which means an increase of approximately 0.59° C over the last 20 years. The biased value for the year 2003 (27 august, SST = 27.8° Celsius) corresponds to the exceptional heat wave which affected Europe. This extreme weather condition was caused by an anti-cyclone which stayed in Western Europe for more than 20 days during summertime.

The Fig.7 illustrates the differences in the sea surface temperatures around the Mediterranean Sea between the monthly mean values in August 2003 and the average sea surface temperatures in August from 1971 to 2000 (nominal SST value). It can be seen from Fig.7 that most sea areas have SST above the nominal value. In the Mediterranean Sea across the south of France through the west of Italy, the temperature values were 3 to 4 degrees Celsius higher than the average.



**Fig. 7** Differences in the sea surface temperatures between the monthly mean values in August 2003 and the nominal value.  
Image source: Japan Aerospace Exploration Agency  
(<http://www.eorc.jaxa.jp/>)

It is known that changes in water temperature have an influence on changes in sea level. Water expands when heated, which causes an increase in its volume, and therefore a rise of sea level. However, it can be seen from Figs.1 and 6 a delay of two months between these two variables (a maximum SST value in August and a maximum SLA value in October-November), corresponding to the time required for the temperature to diffuse from the surface to the depths of the sea. So, there is no agreement between SST and temperature in the water sea indicating that the higher peaks in SST does not necessarily corresponds to the mean higher water absorption. Therefore, the oceans are able to respond in a few months to a few years to global warming.

## 6. Analysis of the Mediterranean sea level changes revealed by tide gauges

### 6.1 Seasonal variability

The seasonal variability has a close relation with climatologic conditions, such as wind and atmospheric pressure. To estimate this variability in Mediterranean Sea, the monthly RLR data of 9 PSMSL stations, which have a last reported data in 2008, are used: Tarifa and Ceuta (in Strait of Gibraltar), Malaga (in Alboran sea), Marseille (in Balearic Sea), Monaco-Condamine (in Ligurian Sea), Valletta (in Malta Chanel), Trieste (North in Adriatic Sea), Alexandroupolis and Khios (in Aegean Sea). An averaged value for each month is computed through three years (2006 to 2008).

The behavior of the seasonal variability is shown in Fig.8. The results are grouped by sea region according to their geographic location.

The seasonal variability in the Strait of Gibraltar and in the North Alboran Sea shows a gradual increase in the sea level between March and October. Then it begins to decrease until March. The ranges are about 15.8 cm, 13.7 cm and 19.9 cm for Tarifa, Ceuta and Malaga stations, respectively. In Balearic Sea and Ligurian Sea, the seasonal variability shows a gradual increase in the sea level between February and November. Then it begins to decrease until February. The ranges are about 13.5 cm for Marseille station and 14.1 cm for Monaco-Condamine station. The seasonal variability of sea level in Valletta station at Malta Chanel presents its minimum in February and its maximum in October, while the range of the variability is of 17.9 cm. In the North Adriatic Sea, the Trieste station presents an annual range of sea level variability of 13.7 cm. The lower value of sea level occurs in February and the higher in November.

The seasonal variability in the Aegean Sea presents its minimum in February and its maximum in August instead of October-November. The range of the variability is of 14.3 cm for Alexandroupolis Sea and 16.7 cm for Khios station.

Therefore, the behavior of the seasonal variability of Mediterranean sea level shows a decrease of sea level in the autumn and an increase between spring to summer seasons. The Lowest values occurs in February or March and the highest in October or November. However, Aegean Sea presents an exception in the maximum value of the sea level, which appears in August instead of October or November.

The range of the sea level variability is about 13.5 to 19.9 cm with an average value of 15.5 cm. Although the Mediterranean coastlines are more known for their weakness tides rather than for their intensity,

these results show, against conventional ideas, that the tides exist well and truly along Mediterranean coastlines and engender averaged seasonal variability of 15.5 cm.

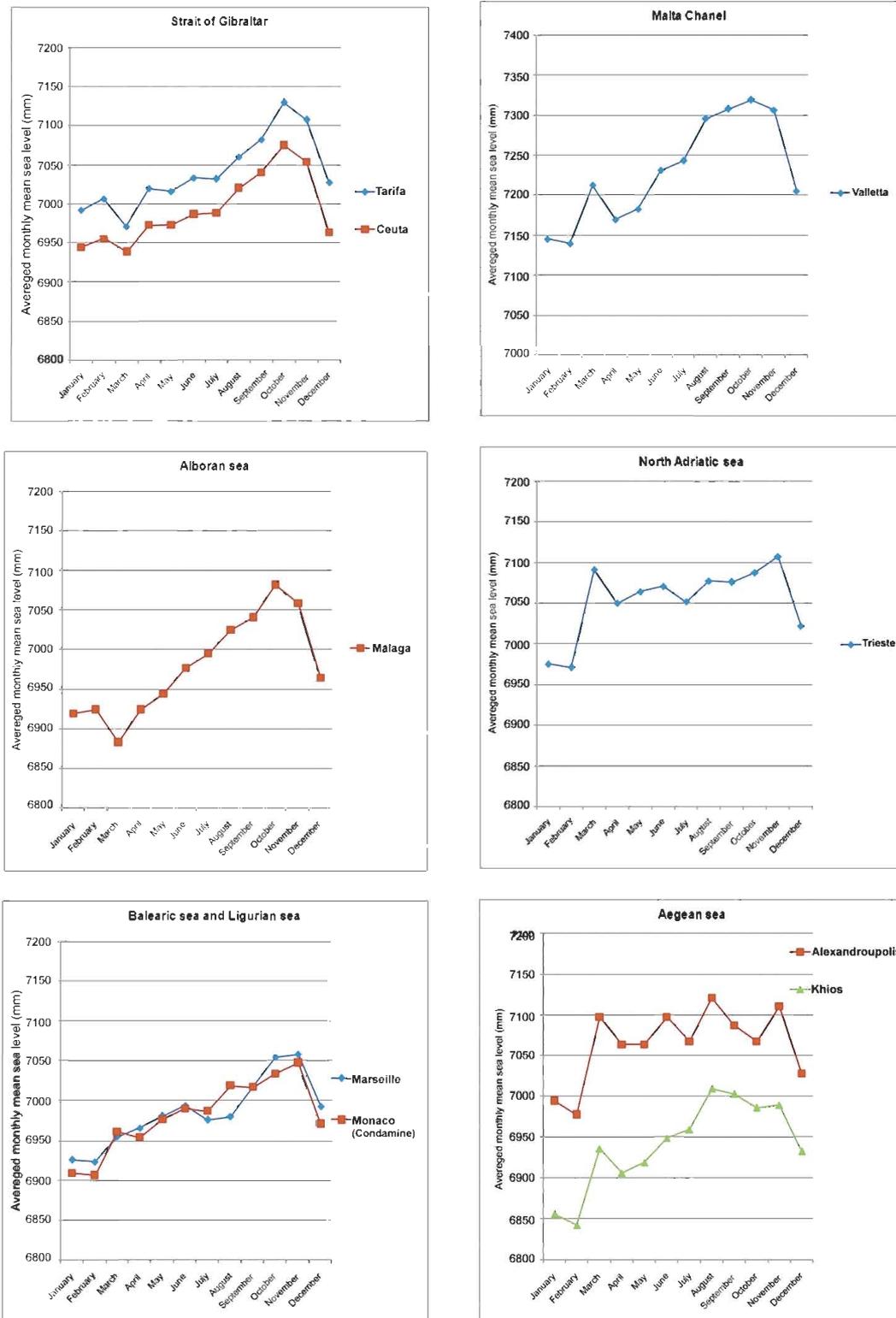


Fig. 8 Mean seasonal variability derived from PSMSL monthly RLR Data (2006 to 2008).

## 6.2 Mean sea level trends

Mean values of sea level in the monthly PSMSL RLR data have been employed to estimate the rate of change of sea level by a simple linear regression model using DRLINE subroutine of the Microsoft IMSL Libraries. Note, the trends were computed without any correction (land movements, unexplained instrumental datum shifts, etc.).

Table 1 gives the obtained trends at 80 stations situated along Mediterranean coasts. The columns of this table indicate: PSMSL country/station code, number of months of data used to compute the trend, range of used period in decimal format, trend slope and their standard error in mm/year, latitude and longitude in degree and station name. The stations are ordered in PSMSL country/station code order. This starts essentially from Strait of Gibraltar and progresses around the Mediterranean coastline in an eastward direction.

Table 1 shows a minimum trend slope value of -44.44 mm/year in Manfredonia/Italy station and a maximum trend slope value of 37.03 mm/year in Girne/Cyprus station. However, these two extreme values are uncertain, relatively to their important standard errors : 11.57 mm/year and 14.16 mm/year, respectively.

The important standard errors observed in the three recent tide gauge stations: Mellieha Bay/Malta (50.31 mm/year), Ploce/Croatia (19.47 mm/year) and Girne/Cyprus (14.16 mm/year), is due probably to the short range of used data : 12 months for Mellieha Bay station, 24 months for Ploce station and 27 un-continuous months for Girne stations.

In the RLR data analysis an averaged mean sea level trend for the Mediterranean sea of 1.61 mm/year is observed. This value is close to the average trend obtained from altimetric data analysis (1.32 mm/year).

**Table 1.** Mean sea level trends derived from PSMSL monthly RLR data.

PSMSL country / station	Number of used data	Range of data used	Trend slope (mm/year)	Std. (mm/year)	Latitude (°)	Longitude (°)	Station name
215/001	369	1961.5416-2008.9584	0.91	0.29	36.133331	-5.350000	Gibraltar
220/011	584	1943.5416-2002.7084	0.37	0.13	36.116669	-5.433333	Algeciras
220/021	734	1943.7084-2008.9584	0.59	0.20	36.000000	-5.600000	Tarifa
220/031	637	1944.0416-2008.9584	0.41	0.15	36.716667	-4.416667	Malaga
220/032	182	1992.5416-2007.9584	4.81	1.05	36.716667	-4.416667	Malaga II
220/041	225	1977.8750-1997.9584	0.32	0.74	36.833332	-2.483333	Almeria
220/046	111	1977.3750-1987.8750	-0.64	1.81	37.599998	-0.966667	Cartagena
220/051	376	1952.0416-1996.9584	-1.13	0.27	38.333332	-0.483333	Alicante I
220/052	442	1960.0416-1997.9584	-0.10	0.30	38.333332	-0.483333	Alicante II
220/056	142	1992.8750-2005.9584	14.16	2.00	39.466667	-0.333333	Valencia
220/061	176	1992.7084-2007.9584	6.05	1.31	41.349998	2.166667	Barcelona
220/081	144	1990.0416-2001.9584	5.58	1.85	42.049999	3.200000	L'Estartit
230/021	132	1996.0416-2008.9584	1.35	2.02	43.400002	3.700000	Sete
230/051	1449	1885.1250-2008.9584	1.20	0.05	43.299999	5.350000	Marseille
230/061	287	1961.0416-2008.9584	0.30	0.24	43.116669	5.916667	Toulon
230/081	321	1978.0416-2008.9584	2.23	0.41	43.700001	7.266667	Nice
232/001	52	2003.0416-2009.9584	10.5	4.92	41.916668	8.766667	Ajaccio
233/011	207	1956.0416-2008.9584	-0.36	0.20	43.733334	7.416667	Monaco (Condamine)
240/001	192	1896.0416-1913.9584	1.29	0.99	41.233334	9.366667	La Maddalena
240/011	433	1896.6250-1934.9584	1.93	0.28	39.200001	9.166667	Cagliari
250/001	309	1896.6250-1922.5416	1.57	0.45	43.866669	8.016667	Porto Maurizio
250/011	1071	1884.0416-1997.9584	1.21	0.06	44.400002	8.900000	Genova
250/031	304	1896.5416-1922.4584	0.71	0.47	42.049999	11.816667	Civitavecchia
250/041	263	1899.0416-1922.4584	2.72	0.52	40.866669	14.266667	Napoli (Arsenale)
250/051	301	1896.4584-1922.4584	2.53	0.47	40.866669	14.266667	Napoli (Mandraccio)
250/061	165	1951.0416-1967.9584	-2.51	1.29	38.099998	15.650000	Reggio Calabria
260/011	294	1896.4584-1922.4584	0.69	0.43	38.133331	13.333333	Palermo
260/028	139	1957.0416-1969.9584	12.32	1.85	36.666668	15.300000	Capo Passero
260/031	144	1960.0416-1971.9584	-2.45	1.59	37.500000	15.133333	Catania
265/001	222	1988.8750-2008.9584	6.12	0.97	35.900002	14.516667	Valletta

265/002	12	2000.2916-2001.2084	10.98	50.31	35.983334	14.350000	Mellieha Bay
270/006	72	1906.0416-1911.9584	-1.01	4.87	40.433334	17.266666	Taranto
270/011	48	1961.0416-1970.9584	-0.18	2.08	40.133331	18.500000	Otranto
270/019	35	1969.0416-1971.9584	-44.44	11.57	41.616669	15.916667	Manfredonia
270/026	75	1960.4584-1972.9584	-0.53	2.2	42.349998	14.400000	Ortona
270/030	62	1966.5416-1972.9584	-9.18	6.62	43.583332	13.483333	Ancona
270/035	45	1969.1250-1972.9584	-6.21	8.30	44.500000	12.283333	Porto Corsini
270/041	287	1889.0416-1913.9584	2.58	0.75	45.416668	12.350000	Venezia (Arsenale)
270/051	576	1872.0416-1920.6250	2.64	0.28	45.416668	12.333333	Venezia (S.Stefano)
270/054	1039	1909.0416-2000.9584	2.44	0.10	45.433334	12.333333	Venezia (Punta Della Salute)
270/061	1188	1905.0416-2009.9584	1.21	0.08	45.650002	13.750000	Trieste
279/002	344	1962.0416-1991.9584	-0.04	0.48	45.566666	13.750000	Koper
279/003	132	1992.0416-2003.9584	-0.20	2.42	45.566666	13.750000	Luka Koper
280/006	628	1955.4584-2007.9584	0.50	0.21	45.083332	13.633333	Rovinj
280/011	804	1930.0416-2007.9584	0.92	0.14	45.299999	14.533333	Bakar
280/013	161	1994.4584-2007.9584	0.72	1.55	44.116669	15.233333	Zadar
280/014	72	1983.0416-1988.9584	-0.64	3.99	44.083332	15.266667	Gazenica
280/017	65	1983.0416-1988.3750	6.98	4.74	43.700001	15.666667	Zlarin
280/021	666	1952.3750-2007.9584	0.62	0.18	43.500000	16.383333	Split Rt Marjana
280/031	646	1954.2084-2007.9584	0.41	0.19	43.500000	16.433332	Split Harbour
280/040	97	1983.0416-1991.4584	-6.33	2.59	43.066666	16.200001	Vis-Ceska Vila
280/046	222	1987.0416-2005.7084	5.55	0.97	43.133331	17.200001	Sucuraj
280/056	56	1987.0416-1991.6250	-18.11	6.34	42.750000	16.833332	Ubli
280/075	24	2006.0416-2007.9584	-2.05	19.47	43.049999	17.416668	Ploce
280/081	619	1956.0416-2007.9584	0.92	0.19	42.666668	18.066668	Dubrovnik
281/011	319	1964.5416-1991.0416	1.36	0.52	42.083332	19.083332	Bar
290/014	392	1969.0416-2006.9584	15.97	0.35	38.233334	21.733334	Patrai
290/017	435	1969.0416-2009.9584	1.68	0.27	37.633331	21.316668	Katakolon
290/030	181	1984.0416-2000.8750	2.71	1.26	37.950001	23.500000	North Salaminos
290/031	311	1969.0416-2002.9584	-5.75	0.54	37.933334	23.616667	Piraievs
290/032	46	1986.0416-1989.9584	-3.52	8.70	38.033333	24.000000	Rafina
290/033	233	1977.7084-2001.7084	-2.59	0.79	38.466667	23.600000	Khalkis South
290/034	433	1969.0416-2009.9584	0.02	0.32	38.466667	23.600000	Khalkis North
290/037	96	1999.7084-2009.9584	-2.16	3.36	39.116669	23.733334	Skopelos
290/051	442	1969.0416-2009.9584	3.62	0.30	40.616669	23.033333	Thessaloniki
290/061	406	1969.0416-2009.9584	-6.84	0.54	40.916668	24.416668	Kavalla
290/065	431	1969.0416-2009.9584	1.52	0.30	40.849998	25.883333	Alexandroupolis
290/071	433	1969.0416-2009.9584	3.37	0.28	38.383331	26.150000	Khios
290/081	282	1969.0416-2009.9584	4.13	0.39	37.433334	24.916668	Siros
290/091	388	1969.2916-2009.9584	0.69	0.27	37.083332	26.883333	Leros
290/097	374	1969.0416-2001.9584	-1.14	0.41	35.500000	24.049999	Soudhas
290/110	343	1969.2916-2008.6250	0.05	0.32	36.433334	28.233334	Rodhos
310/042	103	1995.0416-2004.9584	6.07	2.18	38.433334	26.716667	MENTES/IZMIR
310/046	182	1986.0416-2004.9584	3.02	0.99	37.033333	27.416668	Bodrum II
310/052	202	1986.0416-2004.9584	7.72	1.11	36.833332	30.616667	Antalya II
315/001	27	1938.7916-1940.9584	30.91	18.78	35.116669	33.950001	Famagusta
315/010	28	2000.8750-2003.8750	37.03	14.16	35.349998	33.333332	Girne
330/001	287	1923.0416-1946.9584	5.05	0.71	31.250000	32.299999	Port Said
340/001	750	1944.2084-2008.9584	0.50	0.11	35.900002	-5.316667	Ceuta
340/004	71	1944.0416-1949.8750	5.80	4.73	35.250000	-3.916667	Villa Sanjurjo

## 7. Conclusion

The analysis of AVISO regional delayed-time solutions data allowed us to characterize the trends of the mean sea level change in the Mediterranean Sea. The inter-annual mean sea level anomalies during 1992-2009 show large amplitudes around 15 cm, with a maximum in October-November, a decrease in January-February, and a minimum observed in March-April. The periodogram analysis applied to the sea level anomalies time series (1992 to 2009) indicates the existence of a clear dominant annual signal in the Mediterranean of 48.67 weeks. However, the computed mean sea level trends using AVISO gridded SLA indicates an averaged variation of sea level of 1.32 mm/year. That means an increase of Mediterranean sea level about 22.44 mm over the spanning period 1992-2009.

The NOAA sea surface temperature data analysis during the period 1990-2009 over the Mediterranean Sea exhibits an average trend of 0.029 °C/yr which means an increase of approximately 0.59° C over the last 20 years (1990-2009). Furthermore, this analysis shows a response delay of sea level to SST variations of about two months. Therefore, the oceans are able to respond in a few months to few years to global warming.

Taking into account three years (2006 to 2008), the monthly PSMSL RLR data analysis of 9 stations (Tarifa, Ceuta, Malaga, Marseille, Monaco-Condamine, Valletta, Trieste, Alexandroupolis and Khios) indicate that the behavior of the seasonal variability of Mediterranean sea level shows a decrease of sea level in the autumn and an increase between spring to summer seasons. Lowest values occurs in February or March and highest in October or November. However, Aegean Sea presents an exception in the maximum value of the sea level, which appears in August instead of October or November.

These results show that the seasonal scale, the mass of the Mediterranean Sea is not totally preserved. The regular followed of the average level and consequently the balance in water of the Mediterranean Sea will be a precious indicator of possible climatic changes in the Mediterranean basin.

Sea level in the long-term monthly PSMSL RLR data of 80 stations situated along Mediterranean coasts have been employed to estimate the rate of change of Mediterranean sea level. An average mean sea level trend of 1.61 mm/year is observed. This value is close to the average sea level trend obtained from altimetric data analysis (1.32 mm/year).

Finally, we should hold the necessity to establish a tide gauges network along North African coasts, where we have no data. This network, once established, will be an important tool for sea level studies in this area.

## Bibliographic references

- AVISO altimetry - Ocean Seasons in the Mediterranean Sea <http://www.aviso.oceanobs.com/>
- Béthoux J.P., B. Gentili, J. Raunet, D. Tailliez, Warming trend in the western Mediterranean deep water. *Nature* 347 : 660-662, 1990.
- Béthoux, J.P., B. Gentili, Functioning of the Mediterranean Sea: past and present changes related to freshwater input and climate changes. *Journal of Marine Systems*, 20: 33-47, 1999.
- Cazenave A., C. Cabanes, K. Dominh and S. Mangiarotti, Recent sea level changes in the Mediterranean Sea revealed by TOPEX/POSEIDON satellite altimetry. *Geophys. Res. Lett.*, 28(8), 1607-1610, 2001.
- Church, J. A., N. J. White, R. Coleman, K. Lambeck, and J. X. Mitrovica, Estimates of the regional distribution of sea-level rise over the 1950 to 2000 period, *J. Clim.*, 17, 2609-2625, 2004.
- NOAA - Optimum Interpolation (OI) Sea Surface Temperature (SST) V2 <http://www.esrl.noaa.gov/>
- PSMSL - Revised Local Reference (RLR) Definition <http://www.psmsl.org/>
- Roether, W., B.B. Manca, B. Klein, D. Bregant, D. Georgopoulos, V. Beitzel, V. Kovacevic and A. Luchetta, Recent changes in Eastern Mediterranean deep waters. *Science*, 271, 333-335, 1996.
- Rohling, E. and H. Bryden, Man-induced salinity and temperature increases in the Western Mediterranean Deep Water. *J. Geophys. Res.*, 97, 11191-11198, 1992.
- Ross., T., C. Garrett and P.-Y. Le Traon, Western Mediterranean sea-level rise: changing exchange flow through the Strait of Gibraltar, *Geophys. Res. Lett.*, 27, 2949-2952, 2000.
- Tsimplis M.N. and T.F. Baker, Sea level drop in the Mediterranean Sea: An indicator of deep water salinity and temperature changes? *Geophys. Res. Lett.*, 27(12), 1731-1734, 2000.

## Utilisation des images satellitaires pour l'étude de la fracturation du môle de Tifrit (région de Saïda, Algérie occidentale)

(<sup>1</sup>)M. Zerka, (<sup>2</sup>)C. Mesbah & (<sup>1</sup>)M. Tabeliouna

(1) Laboratoire de Magmatisme et de Synthèse Géodynamique des Bassins Algériens, Faculté des Sciences de la Terre, Université d'Oran, B.P. 1524 Oran

(2) C.T.S. Arzew, B.P.13 31 220 Arzew

**ملخص :** يمثل صدع نفريت البارز نافذة باليوزوية مغطاة بغطاء رسوبي ميزوزوي (الحقب الوسيط) منعدم التوافق. تكون أغلب التشكيلات الباليوزوية من العصر السيلوري حتى الكربوني من الشست الرملي و قد اختزقت بمتدخلات مغماتية. تحتوي الأراضي الميزوزوية من النرياسي حتى الجوراسي على سحن عضارية كربونية و رملية. تعود بنية صدع نفريت البارز إلى الدوريتين التأسيسييتين للجبال الهرسينية و الالبية. تهدف دراستنا إلى تفصيل ظاهرة التكسر في منطقة سعيدة باستخدام معالجات و تفسير معطيات صور القمر الصناعي Landsat 7 ETM+. وصلت النتائج المحصل عليها براءة و تفسير الصور الجوية إلى كشف خمسة إنكسارات تمثل خمسة إتجاهات من ظاهرة التكسر أثرت على الدراسة خلال الدوريتين الهرسينية و الالبية. قد تناقش و تقارن هذه النتائج مع الأعمال الجيولوجية التي تمت في المنطقة.

**الكلمات الأساسية :** الكشف عن بعد، المعالجات، قراءة و تفسير الصور الجوية، ظاهرة التكسر، نفريت.

**Résumé :** Le môle de Tifrit représente une boutonnière de socle paléozoïque recouvert en discordance par une couverture sédimentaire d'âge Mésozoïque. Les formations primaires, d'âge Silurien à Carbonifère, sont essentiellement schisto-gréseuses et sont recoupées par des intrusions magmatiques. Les terrains secondaires, Trias à Jurassique supérieur, correspondent principalement à des faciès argileux, carbonatés ou gréseux. La structure du môle de Tifrit est due à la superposition de deux cycles orogéniques : l'hercynien et l'alpin. L'objectif de notre étude consiste à la mise en évidence détaillée de la fracturation dans le môle de Tifrit (région de Saïda) par l'utilisation, les traitements et l'interprétation des données images du satellite Landsat 7 ETM+. Les résultats obtenus par photo-interprétation ont abouti à la reconnaissance de cinq familles de fractures représentant cinq directions privilégiées moyennes de la fracturation ayant affecté le secteur d'étude au cours des cycles hercynien et alpin. Ces résultats sont discutés et comparés aux travaux géologiques déjà effectués dans la région.

**Mots-clés :** télédétection, traitements, photo-interprétation, fracturation, Tifrit.

**Abstract :** The uplift block of Tifrit represents an occurrence of a Paleozoic basement covered in

discordance by a Mesozoic sedimentary cover. The Paleozoic formations, Silurian to Carboniferous, are mainly schisto-sandy and are intruded by magmatic stocks. The Mesozoic terranes, Trias to Upper Jurassic, correspond to argillaceous, carbonated or sandy facies. The structure of the uplift block of Tifrit is due to the superposition of two orogenic cycles : Hercynian and Alpine.

The objective of our study consists to a detailed description of the fracturing in the uplift block of Tifrit (area of Saïda) by the use, the process and the interpretation of image data from Landsat 7 ETM+ satellite.

The results obtained by photo-interpretation allowed the recognition of five families of fractures representing five average privileged directions of the fracturing having affected the studied sector during hercynian and alpine cycles. These results are discussed and compared to geological work already carried out in this area.

**Key words :** data imageries, treatments, photo-interpretation, fracturing, Tifrit.

### 1. Introduction

L'étude de la fracturation du môle de Tifrit (région de Saïda) s'est basée sur l'analyse et l'interprétation de données images du satellite Landsat 7 ETM+. L'interprétation de ces images satellitaires, en complément de la photo-interprétation traditionnelle, permet d'aboutir à une meilleure caractérisation de la fracturation du môle de Tifrit. Notre objectif a porté principalement sur la mise en évidence des morpho-structures ainsi que sur la cartographie des discontinuités linéamentaires.

### 2. Contexte géographique

Au cours du Mésozoïque, la structure de l'Algérie occidentale montre une évolution spatio-temporelle liée à des contrôles paléo-structuraux responsables de l'individualisation des domaines paléogéographiques suivants (Fig.1) : le domaine tello-rifain, le domaine tlemcénien, le domaine des hautes plaines oranaises, le domaine atlasique et le domaine saharien.

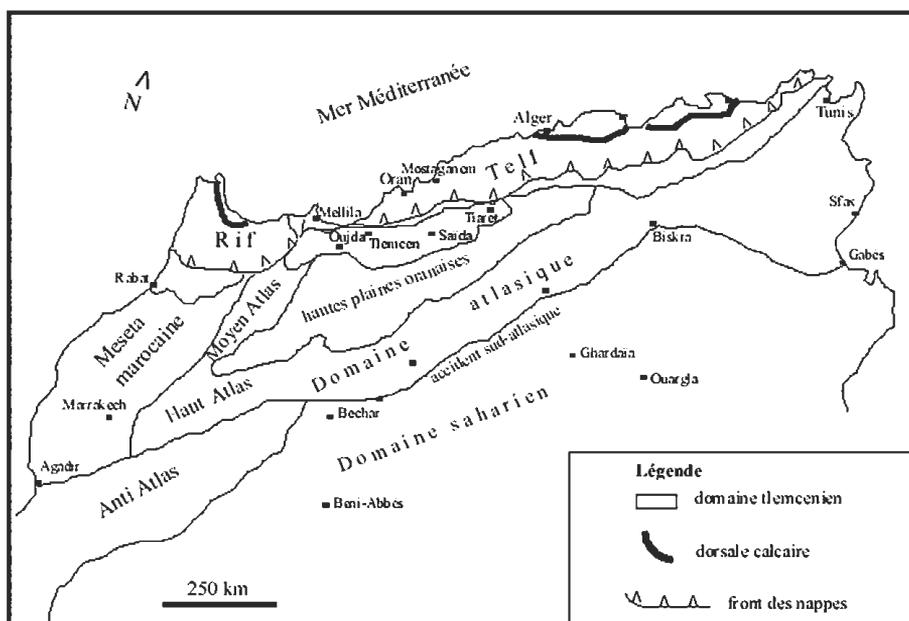


Fig. 1 Situation du domaine tlemcenien dans la chaîne alpine algéro-marocaine (in Benest, 1985).

Le domaine tlemcenien, ou avant-pays tello-rifain, correspond à une large bande de terrains s'étendant de la frontière algéro-marocaine jusqu'au Sud de la ville de Tiaret (Guardia, 1975 ; Ameur, 1978 ; Elmi et al., 1982 ; Benest, 1985). Il est limité au Nord par le Tell et au Sud par les hautes plaines oranaises. Le domaine tlemcenien est constitué par un alignement montagneux représenté d'Ouest en Est par : les monts de Ghar Rouban, les monts de Tlemcen, les monts de Daïa et les monts de Saïda.

Situé à environ 25 km au Nord-Est de la ville de Saïda, le môle de Tifrit constitue une entité géographique des monts de Saïda (Fig.2). Ceux-ci sont limités au Nord par les monts des Béni Chougrane, à l'Est par le Djebel Bechtout et à l'Ouest par les monts de Daïa et les monts de Tlemcen. Au Sud, le môle de Tifrit est bordé par le Chott Chergui.

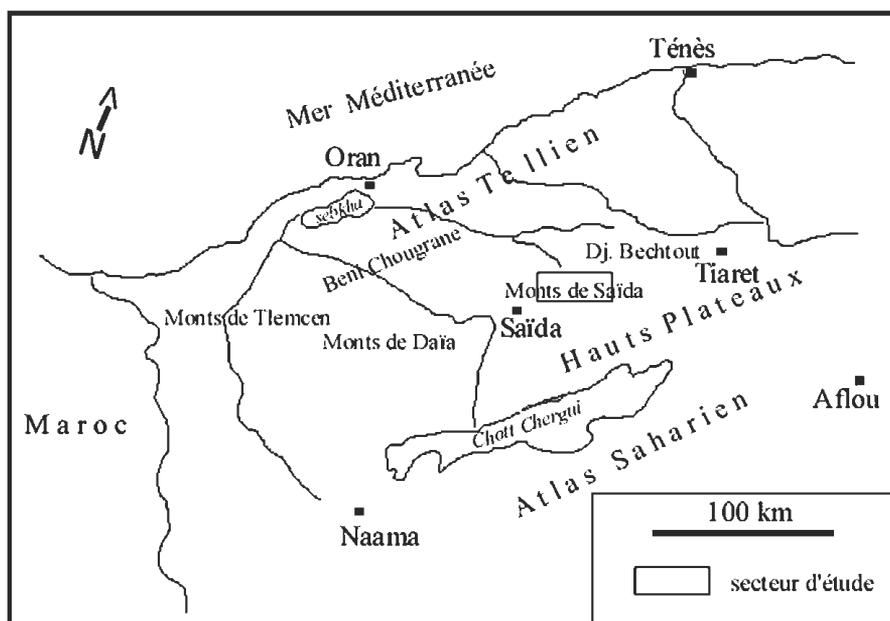


Fig. 2 Situation géographique du secteur d'étude.

### 3. Contexte géologique du môle de Tifrit

Les formations paléozoïques, qui constituent la chaîne hercynienne de l'Algérie nord occidentale, n'apparaissent que sous forme de boutonnières localisées à Ghar Rouban, dans les monts des Traras, dans le môle de Tifrit ainsi qu'à Djebel Bechtout.

Le môle, ou horst, de Tifrit représente ainsi un tronçon d'orogène dont la tectogenèse est assez difficile à reconstituer à cause de la superposition de deux cycles orogéniques : un cycle ancien hercynien et un cycle récent alpin. Il n'est alors possible, actuellement, de reconnaître que les effets du dernier cycle. Les structures héritées de l'hercynien ont été en grande partie oblitérées par la surimposition de celles de l'alpin. Le môle de Tifrit est globalement constitué d'un socle paléozoïque plissé recouvert en discordance par une couverture

mésozoïque sub-tabulaire (Fig.3). Les caractéristiques lithostratigraphiques des formations paléozoïques et mésozoïques du môle de Tifrit sont résumées dans le tableau 1. Par ailleurs, les formations paléozoïques sont recoupées d'intrusions de granitoïdes associées à des filons de roches hypovolcaniques (microdiorites, aplites, rhyodacites et rhyolites) ou même à des coulées rhyolitiques ou andésitiques de faible extension (Lucas, 1952 ; Bougara, 1995 ; Remaci-Benaouda, 2005 ; Mahmoudi, 2009). La mise en place de ces faciès magmatiques, au sein de ce socle paléozoïque, se serait effectuée à 297 +/- 1 Ma selon les datations isotopiques obtenues par Remaci-Benaouda (2005). L'exhaussement du môle de Tifrit, au cours de l'Alpin, est en grande partie dû au jeu de fractures d'importance régionale et dont certaines d'entre elles ont été héritées de l'Hercynien.

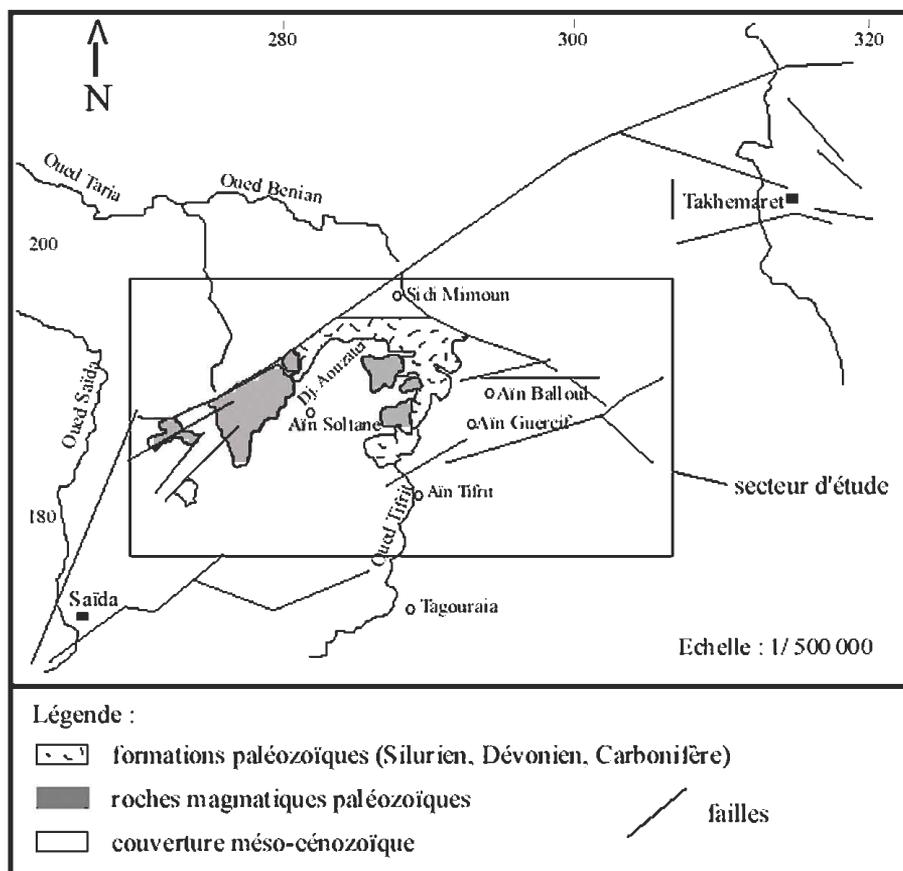


Fig. 3 Schéma structural simplifié du môle de Tifrit (in Mahmoudi, 2009).

**Tableau 1.** Récapitulatif des principaux ensembles lithostratigraphiques constituant le socle et la couverture du môle de Tifrit (in Lucas, 1952 ; Lapiere et al., 1984 et Bougara, 1995).

	<b>Age des formations</b>	<b>Lithologie</b>
<b>C O U V E R T U R E</b>	Jurassique supérieur	“les grès de Sidi Amar ” : formation gréseuse
	Callovo-Oxfordien	“les argiles de Saïda ” : marnes à ammonites et à intercalations de bancs gréseux
	Lias	calcaires dolomitiques bréchiques surmontés par des dolomies à nodules de silex, gastéropodes et lamellibranches
	Trias	complexe volcano-sédimentaire associé à des calcaires dolomitiques, des argiles et des coulées basaltiques
<b>S O C L E</b>	Carbonifère (Viséen)	formation conglomératique à interstratifications de brèches volcaniques
	Dévonien	schistes à intercalations de grès argileux et de grauwackes à fragments de roches éruptives
	Silurien	schistes gréseux, quartzites et phtanites noires à graptolites et radiolaires

#### 4. Méthodologie

La cartographie des unités géologiques ainsi que leurs réseaux linéamentaires constituent l’objectif principal de notre étude sur le môle de Tifrit. L’approche méthodologique ainsi adoptée s’est basée sur l’utilisation d’images spatiales du satellite Landsat 7 ETM+ pour l’analyse des caractéristiques radiométriques, morphostructurales et texturales des formations géologiques. Nous avons fait aussi appel aux études de terrain effectuées dans la région d’étude car elles sont nécessaires et restent fondamentales quant à leur complémentarité par rapport aux données numériques satellitales. Pour notre étude, nous avons disposé d’abord d’un fond topographique de la région de Saïda à 1/200.000 ainsi que d’une carte géologique du môle de Tifrit à 1/500.000.

Les données que nous avons utilisées dans cette étude sont des données issues du satellite Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau 2. Les traitements d’amélioration des images de la région d’étude ont porté principalement sur l’étalement de la dynamique, la composition colorée et la conversion RVB (les canaux rouge, vert et bleu) en ITS (Intensité, Teinte et Saturation). Les traitements spécifiques ont été effectués avec le logiciel ENVI version 3.5 (Fig.4). Dans le cadre de notre étude, la photo interprétation consistait à faire ressortir les différentes unités géologiques ainsi que le réseau de la fracturation qui les accompagne.

**Tableau 2.** Caractéristiques orbitales du satellite Landsat 7 ETM+

Satellite	Date de lancement	Altitude moyenne	Cycle orbital	Fauchée	Capteurs, canaux et résolution spatiale
<b>Landsat 7</b>	Avril 1999	705 km	16 jours	185 km	Radiomètre ETM+, 7 canaux, 30 m

## 5. Interprétation des résultats

L'analyse de l'image satellitale du môle de Tifrit a permis de mettre en évidence l'existence de plus de 630 linéaments encaissés dans le socle et la couverture du môle de Tifrit (Fig.5 et Fig.6). Les linéaments structuraux ont été ainsi interprétés soit directement, lorsqu'il s'agit de failles évidentes, soit indirectement lorsqu'il s'agit de ruptures radiométriques. Les mesures de direction des fractures ont été effectuées manuellement au rapporteur sur un schéma structural simplifié représentant la fracturation dans le môle de Tifrit et déduit de l'analyse de l'image satellitale.

### 5.1 Analyse de la fracturation

La photo interprétation synthétique du secteur d'étude, associant l'analyse de l'image satellitale et les données auxiliaires de terrain, permet de reconnaître cinq réseaux principaux de structures linéamentaires correspondant chacun à une direction privilégiée moyenne de fractures affectant le socle et la couverture du môle de Tifrit. Ce sont les directions : N00, N20, N60, N90 et N120 (Fig.6).

Ces résultats interprétatifs seront comparés aux travaux de terrain notamment de Lucas (1952) et Bougara (1995).

#### *Les fractures de direction moyenne N00*

Plus de 125 mesures de fractures de directions comprises entre N350 et N10 ont été déduites de l'analyse de l'image satellitale. Ces mesures correspondent à la direction moyenne N00 et représentent près de 20 % du nombre total des fractures reconnues sur l'image satellitale. Ce réseau de fractures, peu dense, apparaît le plus souvent dans le socle, aux abords de ses limites septentrionales avec la couverture, notamment le long de la faille bordière de Sidi Mimoun.

#### *Les fractures de direction moyenne N20*

Toutes les mesures de directions comprises entre N10 et N30 font partie de cette direction moyenne. Elles sont au nombre de 110 et représentent environ 18 % du nombre total des mesures relevées. Ce réseau est plus fréquent dans la couverture et pénètre rarement le socle.

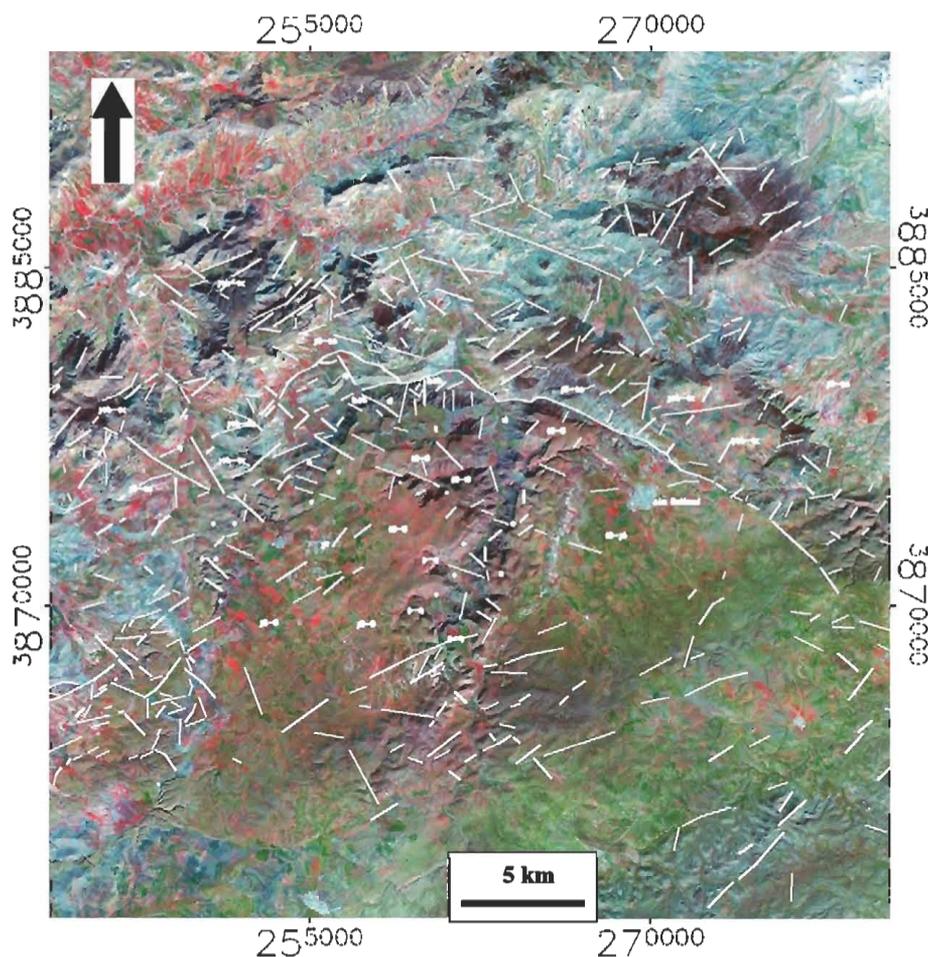


Fig. 5 Réseau linéamentaire du môle de Tifrit caractérisé par les différents traitements d'images.

### Les fractures de direction moyenne N60

Ce réseau est le plus important quantitativement dans le môle de Tifrit. Il regroupe près de 200 mesures dont les directions sont globalement comprises entre N50 et N70. Ces failles sont observables en plusieurs endroits notamment le long du tronçon occidental de la faille de Sidi Mimoun. Elles affectent aussi bien le socle que la couverture. Statistiquement, plus de 60 % de ces failles sont orientées entre N50 et N60 selon une direction moyenne NE-SW correspondant à la direction atlasique définie par de nombreux auteurs comme l'une des directions caractéristiques de la chaîne tellienne (Lucas, 1952 ; Guardia, 1975 ; Bougara, 1995).

de fractures, identifiées sur l'image satellitale, et orientées entre N80 et N110. Elles représentent près de 18 % du nombre total des fractures. Lucas (1952) et Bougara (1995) ont souligné l'importance de ce réseau dans la structuration finale du môle de Tifrit.

### Les fractures de direction moyenne N 120

Plus de 110 mesures ont été relevées pour cette direction privilégiée. Elles oscillent toutes entre N100 et N130 et représentent environ 21 % des fractures du secteur d'étude. Ce réseau de failles semble affecter préférentiellement la couverture mais il recoupe, quelquefois, les structures du socle. Selon Guardia (1975), la famille d'accidents à N120 est caractéristique de la meseta oranaise.

### Les fractures de direction moyenne N90

Cette direction moyenne correspond globalement à la direction E-W. Elle comprend plus d'une centaine

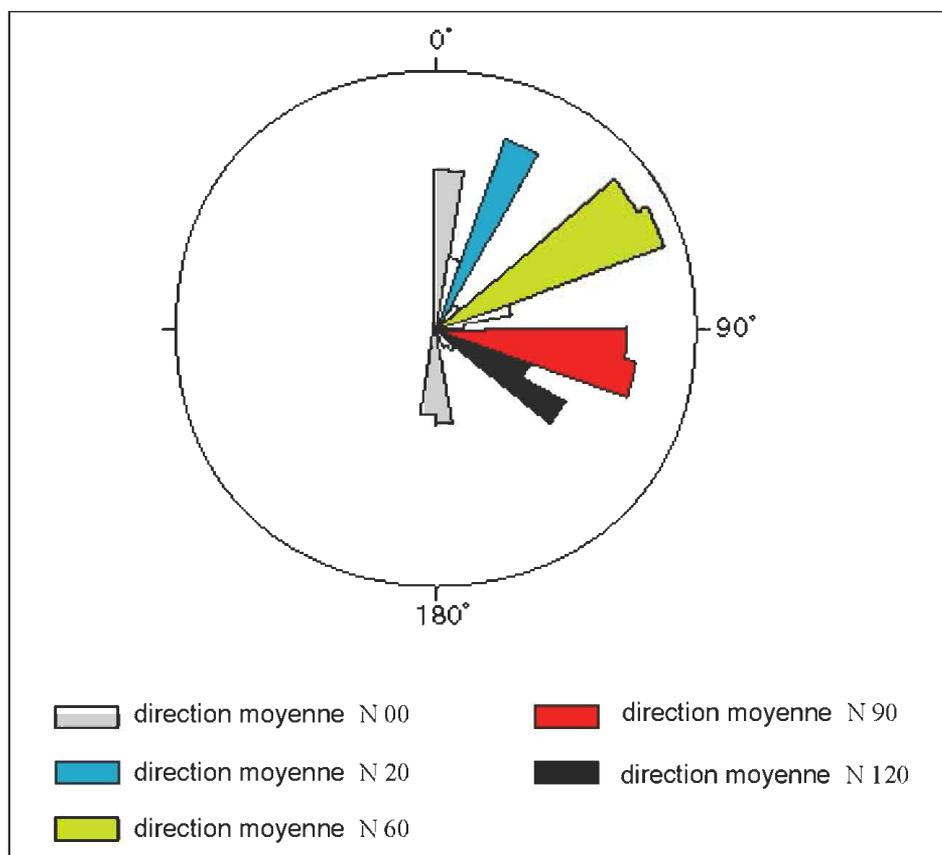


Fig. 6 Rosace de distribution directionnelle des linéaments encaissés dans le socle et la couverture du môle de Tifrit.

## 5.2 Chronologie des fractures

La photo interprétation de la fracturation dans la région de Saïda a permis de reconnaître plusieurs réseaux de fractures correspondant aux directions privilégiées moyennes des failles affectant l'ensemble du môle de Tifrit. L'observation sur l'image satellitale des relations géométriques existantes entre ces fractures permet également d'établir une chronologie entre ces différentes familles de failles et de rattacher chacun de ces réseaux à l'un ou l'autre des deux cycles orogéniques, hercynien ou alpin, qui ont contribué à la configuration finale du môle de Tifrit.

D'après les relations observées entre les principales directions privilégiées moyennes, il apparaît que les failles de direction moyenne N00, ou failles sub-méridiennes, sont les plus anciennes fractures affectant le môle de Tifrit. Elles se situent pratiquement toutes dans le socle et représenteraient donc un héritage hercynien. Lors du cycle alpin, elles ont été reprises très localement pour rejouer dans la couverture.

Les réseaux de failles d'orientation NE-SW et E.W, respectivement de direction moyenne N60 et N90, sont très marqués le long de la bordure septentrionale du môle de Tifrit. Ces deux directions sont également anciennes et résultent vraisemblablement de phases tardi-hercyniennes. L'existence de ces deux directions, conjuguées et obliques l'une par rapport à l'autre, a été déjà signalée dans le môle de Tifrit (Bougara, 1995). Par ailleurs, Guardia (1975) estime que les failles d'orientation moyenne NE-SW (N60 en moyenne) correspondent à la direction atlasique et représentent l'une des caractéristiques structurales de la chaîne tellienne en Oranie. Cette direction privilégiée a été également décrite dans les monts des Traras (Saad et al., 2001). Ce réseau, hérité du cycle hercynien, aurait guidé l'installation des sillons telliens et a souvent rejoué à plusieurs reprises pendant la période méso-cénozoïque.

Les familles d'accidents à N20 et N120 se situent dans leur globalité dans la couverture mésozoïque et sont peu fréquentes dans le socle. Ces failles seraient donc typiquement alpines. Sur l'image satellitale, il apparaît clairement que la direction N120 est la plus récente reconnue dans le secteur. La faille bordière de Sidi Mimoun, responsable de l'exhaussement du môle de Tifrit à l'alpin, correspond à une combinaison du jeu de ce réseau d'orientation moyenne N120 avec les accidents NE – SW pré-existants.

## 6. Conclusion

La photo interprétation de l'imagerie satellitale de la région de Tifrit révèle cinq familles de fractures de direction moyenne N00, N20, N60, N90 et N120.

Cette analyse a également permis de confirmer et de compléter les données de terrain, sur la fracturation de cette région, obtenues notamment par Bougara (1995).

Les cycles hercynien et surtout alpin correspondent aux deux principales orogénèses qui ont conduit à la structuration actuelle de l'Oranie et les structures nées, plis et failles, sont principalement orientées NE-SW ou de direction moyenne N60 qui est aussi considérée comme une direction atlasique. Dans le môle de Tifrit, la surrection du socle avec une partie de la couverture semble surtout liée à des phases alpines.

Cependant, au cours du Paléozoïque, Bougara (1995) reconnaît dans le môle de Tifrit un héritage hercynien correspondant à au moins quatre phases de déformations :

- la première est anté-Dévonien et située probablement à la limite du Silurien - Dévonien. Elle est représentée par les structures d'orientation N00 ayant généré des plis irréguliers ou isoclinaux dans les formations du Silurien. Cette phase serait contemporaine d'un léger métamorphisme épizonal affectant les formations siluriennes ;
- la seconde phase intervient à la limite Dévonien - Carbonifère et correspond à deux épisodes tectoniques induisant des structures d'orientation N100 (pratiquement E-W), et des structures orientées globalement dans une direction NE-SW ;
- une phase distensive viséenne responsable du re-jeu des fractures d'orientation EW ;
- une dernière phase de relâchement tectonique se traduisant par une tectonique cassante tardi-hercynienne et réactivant surtout les jeux de failles d'effondrement NS et EW conduisant au morcellement de la région en bandes rectangulaires. L'évolution structurale hercynienne du môle de Tifrit s'achève avec la mise en place des roches magmatiques.

Par ailleurs, les cinq familles de fractures reconnues dans le môle de Tifrit sont très comparables à celles déduites par imagerie satellitale, par Saad et al. (2001), dans les monts des Traras qui présentent également un contexte géologique et structural très analogue.

## Remerciements

Les auteurs expriment leur reconnaissance aux enseignants-chercheurs du Laboratoire de Cartographie-Téledétection du CTS-Arzew pour leur contribution à l'aboutissement de ce travail. Ils remercient vivement le reviewer anonyme pour ses remarques pertinentes qui ont permis de revoir et d'améliorer la qualité de l'article.

### Références bibliographiques

- Ameur M., 1978 : "Les faciès de plate-forme du Jurassique inférieur et moyen de la partie orientale du Fillaoucène". Thèse Doct.3ème Cycle, Univ. Oran, 192 p.
- Benest M., 1985 : "Evolution de la plate-forme de l'Ouest algérien et du Nord-Est marocain au cours du Jurassique supérieur et du début du Crétacé : stratigraphie, milieux de dépôts et dynamique sédimentaire". Docum. Lab.Géol. Lyon, 95, 1-2, 581 p., 145 fig., 23 pl.
- Bougara M., 1995 : "Contribution à l'étude géologique des formations paléozoïques sédimentaires du Môle de Tifrit, Saïda, Algérie occidentale". Magister, Univ. Oran, 175 p.
- Elmi S., Alméras Y., Benhamou M. et Moulan G., 1982 : "La dislocation des plates formes carbonatées liasiques en Méditerranée occidentale et ses implications sur les échanges faunistiques". Bull. Soc. Géol. Fr. (7), t. XXIV, n°5-6, pp.107-106.
- Guardia P., 1975 : "Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranie nord occidentale. Relations structurales et paléogéographiques entre le Rif externe, le Tell et l'avant- pays atlasique". Thèse. Doc. Etat, Univ. Nice, n° A011417, 289p.
- Mahmoudi M., 2009 : "Etude pétrologique et structurale des roches magmatiques paléozoïques du môle de Tifrit (région de Saïda, Oranie)". Magister, USTHB Alger, 70 p.
- Remaci-Benaouda N., 2005 : "Pétrologie et géochimie des associations « felsiques-mafiques » tardi-hercyniennes de l'Oranie (Algérie nord occidentale) : implications pétrogénétiques et géodynamiques". Thèse Doct. Etat, Univ. d'Oran, 249 p.
- Saad A.Z., Zerka M., Ouasti M. et Bekaddour M., 2001 : "Apport de la télédétection à l'étude de la fracturation des Monts des Traras (Oranie nord occidentale)". Bull. Sci. Géographiques, INCT, octobre 2001, pp.15-21.

# Hydrologie, Barrages et Transferts d'Eau en Algérie orientale

A. Mebarki

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

Université Mentouri, Route d'Ain El Bey, 25000 Constantine, Algérie

E-mail : mebarki\_azzedine@yahoo.fr

**ملخص :** يعتبر الشرق الجزائري أكثر منطقة مطيرة في البلاد غير أنها تتميز بتباين مناخي عالي و معرضة لتأثيرات شبه جافة، و يتشكل النظام الهيدرولوجي من أحواض نهريّة مرتبطة بالبحر الأبيض المتوسط إلى الشمال ومن أحواض مغلقة مرتبطة بالشطوط و السبخ إلى الجنوب. ومن خلال معطيات 33 محطة مسجلة لمنسوب الأنهار، يتضح أن المردود الهيدرولوجي لهذه الأحواض يعرف تغيرات مجالية كبيرة من (0.3 إلى 16 ل/ث/كم<sup>2</sup>)، و هذا ما تبرزه خريطة موارد المياه السطحية.

هذه الموارد هي محل برنامج تعبئة واسعة بواسطة السدود، حيث ستبلغ سعة التخزين الإجمالية للسدود حوالي 4.2 مليار م<sup>3</sup> في أفق 2020. وتكميلاً لذلك، هناك مشاريع تحويلات مائية كبرى بين الأحواض النهريّة للتقليص من التباينات الهيدرولوجية الحادة الموجودة بين الشمال و الجنوب. والهدف المنشود من وراء هذه التهيئة المائية الشاملة، تلبية الحاجيات المتزايدة من الماء للمدن و كذا تحقيق التكثيف الزراعي عن طريق السقي على الأراضي شبه الجافة. ويعتبر مشروع تحويل مياه بني هارون، من ضمن المنظومات المائية الإقليمية الهامة بالمنطقة.

**الكلمات الأساسية :** حوض تجميعي، منسوب هيدرولوجي، سد، تحويل مائي، الشرق الجزائري.

**Résumé :** L'Algérie orientale, région la plus arrosée du pays, se caractérise par un climat très contrasté, à influence semi-aride. Elle juxtapose des bassins hydrographiques tributaires de la mer Méditerranée au Nord, et des bassins fermés reliés à des Chotts et Sebkhass, au Sud. Les données de 33 stations hydrométriques, rendent compte de l'extrême variété du rendement hydrologique des bassins (de 0.3 à 16 L/s/km<sup>2</sup>), illustrée par la carte des ressources en eau superficielle. Ces apports font l'objet de régularisation par une série de barrages-réservoirs, dont la capacité installée devrait atteindre 4.2 km<sup>3</sup> en 2020. Les transferts inter-bassins visent à atténuer les inégalités hydrologiques, pour faire face à la demande accrue en AEP des villes, et développer l'irrigation en zone semi-aride. A l'exemple du système de transfert des eaux du Barrage Béni Haroun, aménagement hydraulique d'envergure régionale.

**Mots-clés :** bassin versant ; apport hydrologique ; barrage ; transfert d'eau ; Algérie orientale.

**Abstract :** Eastern Algeria, the rainiest region of the country, is characterized by major climatic contrasts and a semi-arid influence. It juxtaposes two opposed hydrologic systems: tributary watersheds of the Mediterranean Sea to the North, and closed basins connected to Chotts and Sebkhass, to the South. The significant variety of surface flows of the basins (from 0.3 to 16 L/s/km<sup>2</sup>) is analyzed using data from 33 hydrological stations. This variety is illustrated by the map of surface water resources. These resources are being mobilized by dams, whose installed capacity should reach 4.2 km<sup>3</sup> by 2020. The inter-basins transfers aim to mitigate the hydrological inequalities of the region in order to satisfy the increasing water needs of cities, and develop agricultural irrigation in semi-arid area. The water transfer system of Beni Haroun, is an example of major regional hydraulic project.

**Key Words :** drainage basin, surface flow, dams, regional water transfer, Eastern Algeria.

## 1. Introduction

Face au retard accumulé en matière de disponibilités en eau, l'Algérie mène une politique active pour mobiliser ses ressources de surface et faire face à la forte irrégularité spatio-temporelle des précipitations (Chabaca et al., 2007 ; Mebarki, A. 2007 ; Remini et al., 2009). Dans la région orientale du pays, au climat contrasté et à influence semi-aride, les données sur les apports des oueds rendent bien compte de la disparité spatiale du rendement hydrologique des bassins (Mebarki, 2009). En réponse à la pénurie d'eau (AEP et irrigation), un vaste programme de barrages, complété par de longs transferts inter-bassins, est en cours, avec l'objectif d'une interconnexion poussée des retenues, en vue d'une gestion stratégique des réserves en eau (MRE, 2005 ; Mebarki, 2009).

## 2. Bassins hydrographiques et ressources en eau

### 2.1 Variabilité spatiale des apports

L'Algérie orientale (Sahara non compris), vaste d'environ 90 000 km<sup>2</sup>, a un contexte physique très contrasté, avec un climat Méditerranéen au Nord et continental subdésertique au Sud. Sur moins de 300 km de distance, on passe du piémont Saharien aride au littoral Méditerranéen humide, transitant par l'Atlas Saharien, la vaste « gouttière » semi-aride des Hautes Plaines et les montagnes subhumides du Tell. Deux systèmes hydrographiques s'y juxtaposent : oueds relativement fournis, tributaires de la mer

(Côtiers Constantinois, Kebir-Rhumel, Seybouse, Medjerda et Soummam), et oueds temporaires reliés à des dépressions fermées où l'évaporation est intense (Chott Hodna, Chott Melrhir et Hauts Plateaux Constantinois).

Sur un effectif de 48 stations hydrométriques de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH), les données sélectionnées et traitées sur 33 bassins jaugés, de taille très variable (de 16 à 8 710 km<sup>2</sup>) font ressortir une large gamme de débits spécifiques annuels moyens (Fig. 1). L'irrégularité du climat agit sur la grande variabilité interannuelle des débits, et l'écoulement des oueds se manifeste souvent sous forme de crues.

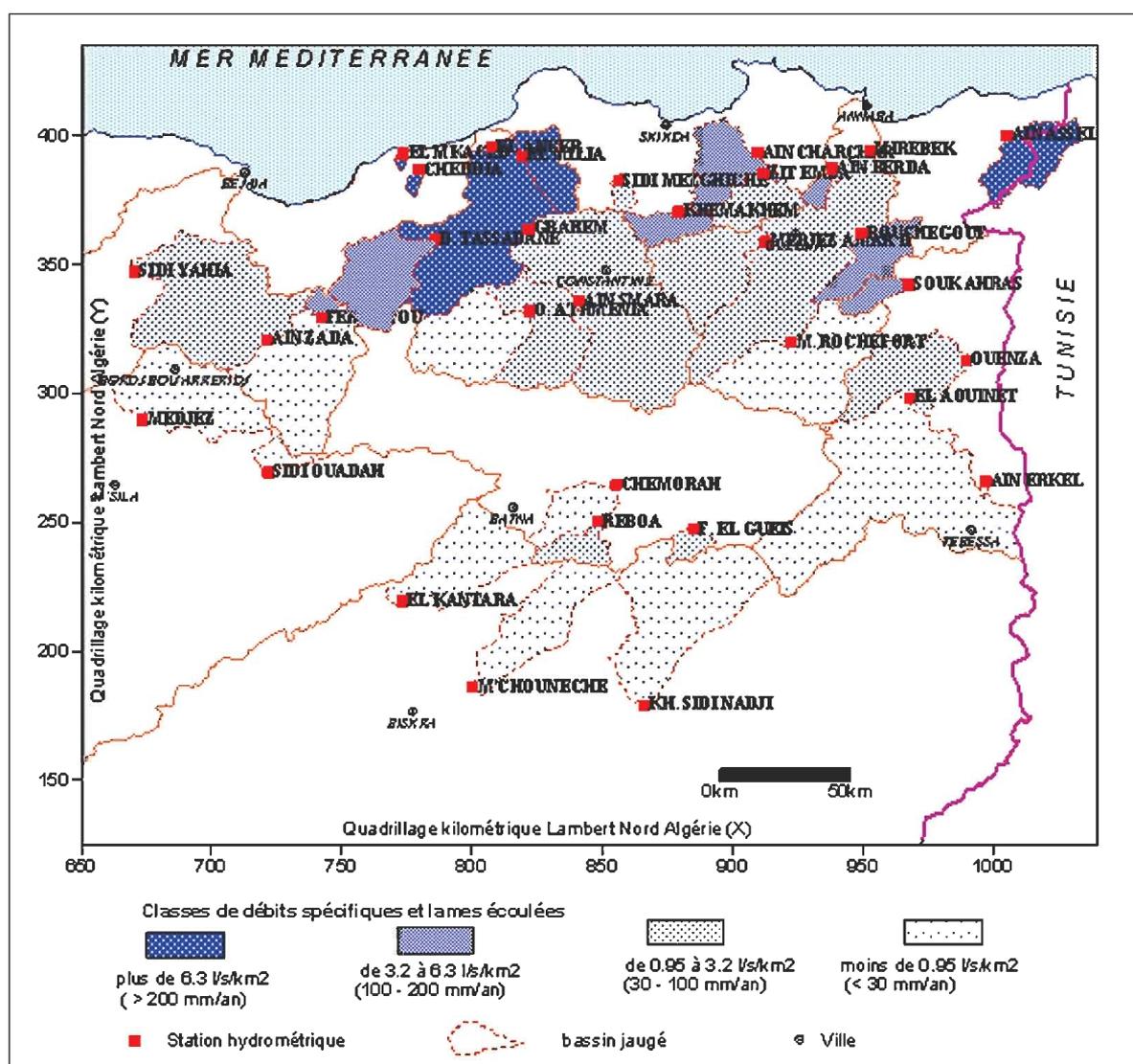


Fig. 1 Bassins jaugés et zones de débits spécifiques annuels moyens (septembre 1972- août 1984).

## 2.2. Bilans hydrologiques et ressources potentielles

La pluie annuelle moyenne (P), ramenée à la surface des bassins jaugés, varie dans un intervalle de 200 à 1 200 mm. La lame écoulee annuelle moyenne (E), observée aux stations, présente une disparité remarquable (10-508 mm). Le déficit d'écoulement annuel ( $D = P - E$ ), spatialement moins variable (178-692 mm), s'accroît dans les régions montagneuses du Tell, en raison des quantités de pluie alimentant la réserve du sol et donc l'ETR. Le coefficient d'écoulement ( $C = E / P$ ) résume l'extrême variabilité géographique du bilan : il passa de 3.8 % à la station de Khangat Sidi Nadji (oued El Arab, bassin du Chott Melhir) à 42.3 % à la station de Cheddia (oued El Agrem, Côtiers de Jijel).

La généralisation spatiale de l'information sur les apports hydrologiques a été obtenue par application,

sur un maillage régulier de 2 x 2 km, du modèle global à réservoirs « LOIEAU » (dérivé de GR2M du CEMAGREF) (Makhlouf & Michel, 1994).

Ce modèle a paru particulièrement pertinent dans le contexte hydrologique algérien pour reconstituer, mois par mois, les écoulements superficiels des bassins, à partir des pluies et des évapotranspirations potentielles (ANRH, 2003 ; Laborde et al., 2003). La carte établie à l'échelle annuelle moyenne (septembre 1965- août 1995), à partir de 30 x 12 grilles mensuelles, relate l'extrême hétérogénéité spatiale de la lame d'eau écoulee : de moins de 5 mm par an sur les Hautes Plaines Sud-Constantinoises et le piémont Saharien à plus de 500 mm (voire 1000 mm) sur les massifs bien arrosés du Tell maritime (Fig. 2). Les ressources en eau de surface, estimées à 5 km<sup>3</sup> par an (40 % du potentiel du pays), sont très inégalement réparties d'un bassin à l'autre (Tableau 1).

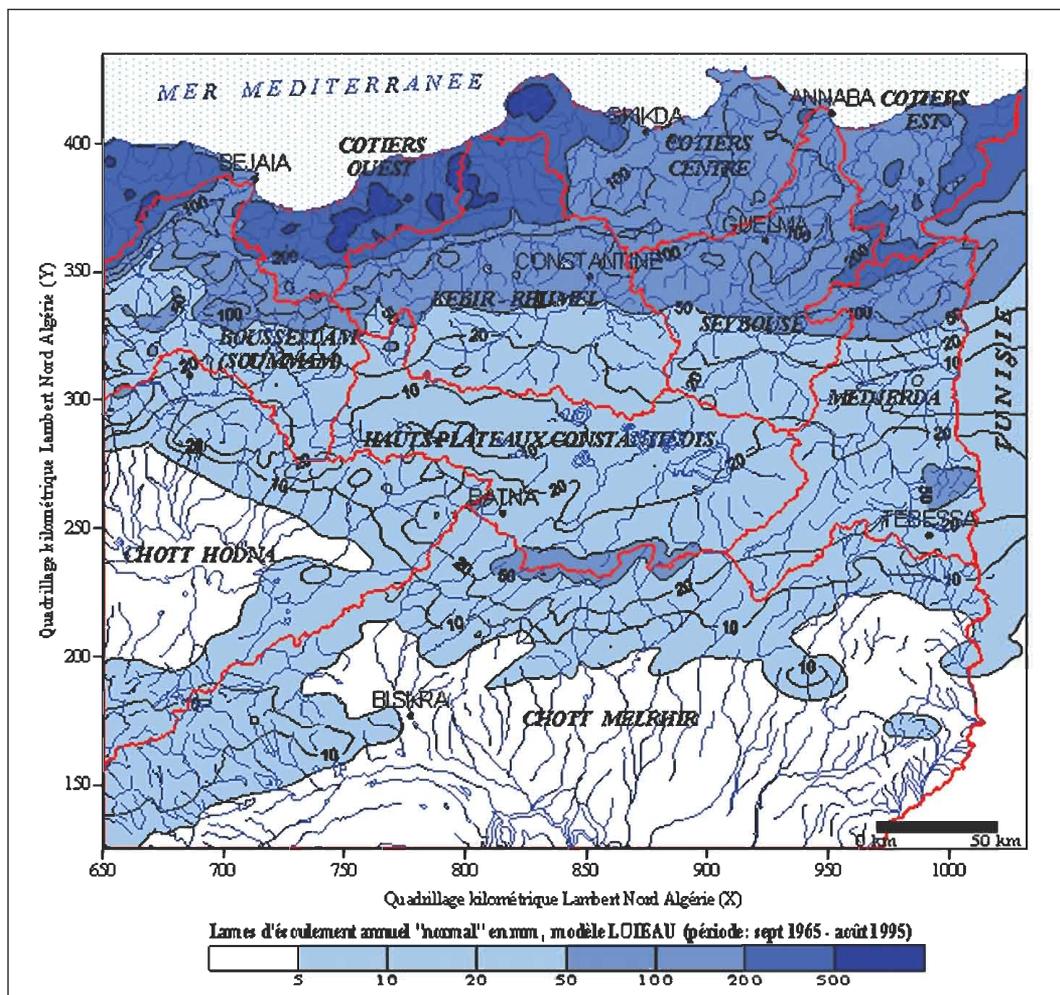


Fig. 2 Ecoulements interannuels moyens des bassins de l'Est algérien (septembre 1965- août 1995).

Tab 1. Ressources en eau de surface des bassins hydrographiques.

Bassin (ou partie de bassin)	Superficie (km <sup>2</sup> )	Pluie moyenne (série 1965-95) (mm/an)	Lame écoulée moyenne (1965-95) (mm/an)	Ressources en eau de surface (hm <sup>3</sup> /an)
Côtiers constantinois Est (à la frontière tunisienne)	2826	710	195	552
Côtiers constantinois Centre	3242 (a)			
Côtiers constantinois Ouest	5551	675	166	919
Chott Hodna (zone Est)	2773	957	365	1012
Chott Melrhir (zone Nord-Est)	13370 (b)	211	9,9	132
Hauts Plateaux Kebir-Rhumel	31843 (b)	152	7,4	236
Medjerda	9578	295	21	199
Seybouse	8815	496	103	911
Soummam (B oussellam à Sidi Yahia)	7785	350	46	360
	6475	469	76	492
	4050 (b)	397	52	210
<b>TOTAL</b>				<b>5023</b>

(a) Superficie intégrant la partie tunisienne du bassin

(b) Superficie du bassin partiel

### 3. Mobilisation des eaux : les barrages-réservoirs

#### 3.1 Les barrages de la période coloniale

Au jour de l'Indépendance (1962), la région de l'Est hérite d'une faible capacité installée (234 hm<sup>3</sup>), répartie entre quatre ouvrages de taille modeste (Foum El Gueiss, Ksob, Zardézas et Foum El Gherza), et un cinquième barrage (Ighil Emda), construit à des fins hydro-électriques. Le Barrage Erraguène (hydro-électrique) ne fût achevé qu'en 1963 ; le Barrage Cheffia fût réceptionné en 1965 (Fig. 3).

Du fait de l'envasement rapide, les retenues ont beaucoup perdu de leur capacité initiale (2 à 3 % par an en moyenne).

Lorsque les conditions techniques le permettent, on procède à la surélévation de la digue pour augmenter la réserve utile de la retenue (F. E. Gueiss en 1969, Zardézas et Ksob en 1977).

Mais du fait de l'intensité de l'érosion des bassins, la sédimentation des barrages n'a cessé d'augmenter et il était nécessaire de faire recours à des techniques de dévasement par dragage, travaux souvent longs et coûteux. A l'exemple du Barrage Zardézas, réalisé en 1945, il a été surélevé en 1977 lorsque son envasement avait atteint le taux de 45 %. L'accumulation de la vase a de nouveau fait perdre à l'ouvrage 42 % de sa capacité (estimation de 1993). D'où le recours, de 1993 à 2002, à une drague refouleuse pour évacuer les sédiments (10 hm<sup>3</sup>) (Guetarni, 1999 ; Remini et al., 2009).

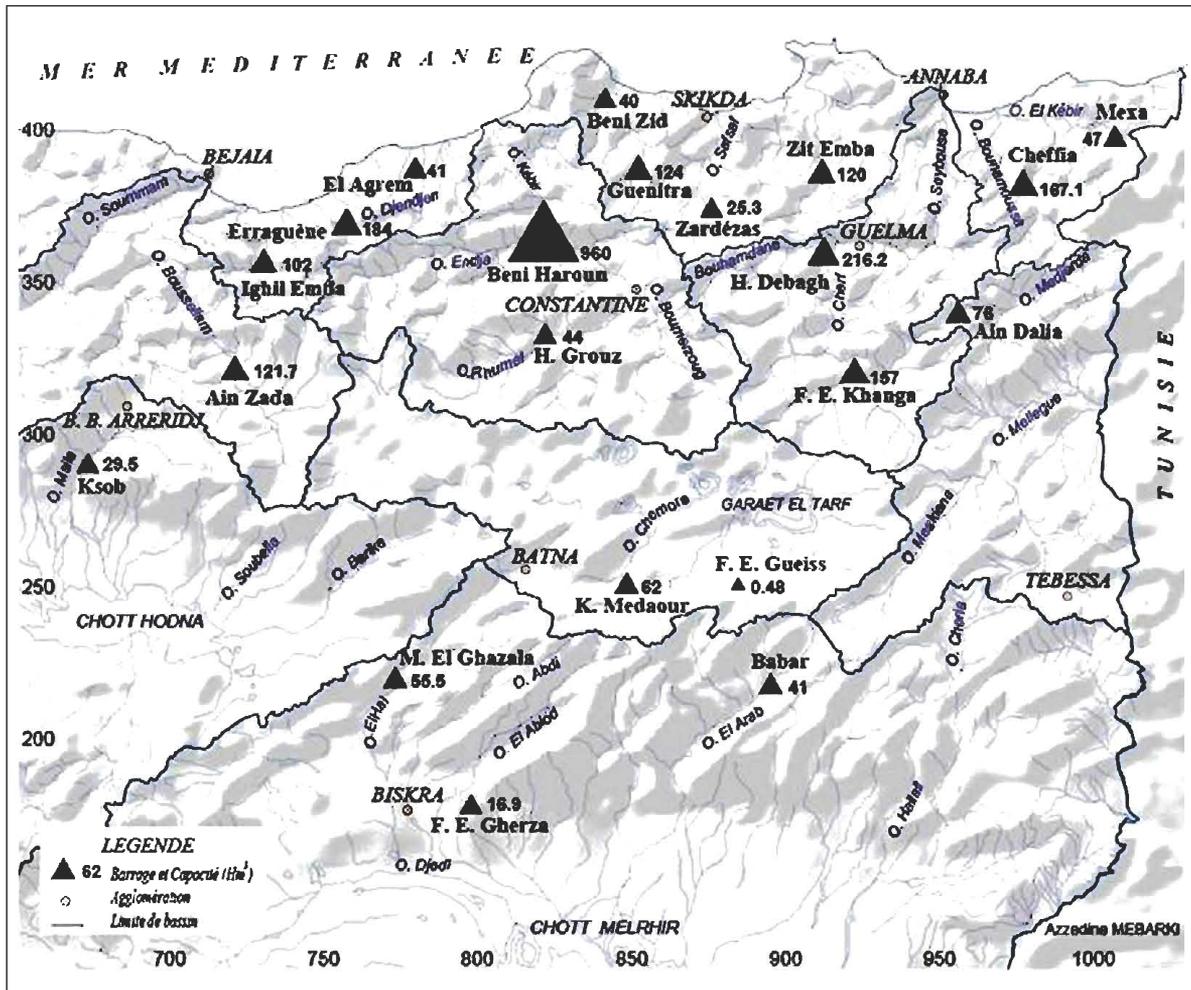


Fig. 3 Barrages en exploitation dans l'Est algérien (situation 2007)  
 (Capacité tenant compte de l'envasement, estimée en 2000 par l'Agence Nationale des Barrages et Transferts, et en 1996 par SONELGAZ concernant les 2 barrages hydro-électriques).

### 3.2 Relance de la grande hydraulique

La construction de barrages a été relancée au début des années 1980, pour faire face aux tensions aiguës sur l'eau (entre la ville, l'industrie et l'agriculture). Depuis, une quinzaine de retenues ont vu le jour, de capacité très variable, en raison de la nature morphologique des sites aménagés et de l'irrégularité des apports hydrologiques (Fig. 3). Les ouvrages en exploitation sont répartis entre 3 barrages de type poids, 2 barrages-voûtes, 5 barrages en enrochement et le reste en terre. Leur hauteur hors-sol varie de 23 (F. E. Gueiss) à 107 m (Béni Haroun). Seuls 9 barrages dépassent la capacité de 100 hm<sup>3</sup>, Béni Haroun (960 hm<sup>3</sup>) contrôlant, à lui seul, 37 % de la réserve totale de la région. Dans le souci d'une grande garantie de fourniture d'eau, la quasi-totalité des retenues assurent une régularisation interannuelle (capacité supérieure au volume régularisé) et sont, au vu des apports solides des oueds, dotées de gardes d'envasement importantes.

### 3.3 Les volumes régularisés escomptés

La capacité installée des barrages de l'Est devrait atteindre en 2020 un total de l'ordre de 4.2 km<sup>3</sup>, contre une capacité actuelle de 2.6 km<sup>3</sup>. Les réservoirs concernés par les projets des grands transferts vont être dotés d'une capacité relativement importante, à l'exemple du Barrage Boussiaba (120 hm<sup>3</sup>) destiné à renforcer le Barrage Béni Haroun, ou le Barrage Tabellout (220 hm<sup>3</sup>) permettant le refoulement des eaux de l'oued Djendjen (Petite Kabylie de Jijel) vers les Hautes Plaines Sétifiennes. Les autres barrages en construction, en projet ou à l'étude (une trentaine) sont, en majorité, de taille modeste. A terme, grâce à un apport régularisé supplémentaire de plus de 1 km<sup>3</sup> par an, le volume global annuel régularisé par les barrages avoisinerait les 2,2 km<sup>3</sup>, soit l'équivalent de 45 % de l'apport naturel des oueds (contre 25 % actuellement). L'évolution prévisible des taux de régularisation est très variable d'un bassin à l'autre (Fig. 4).

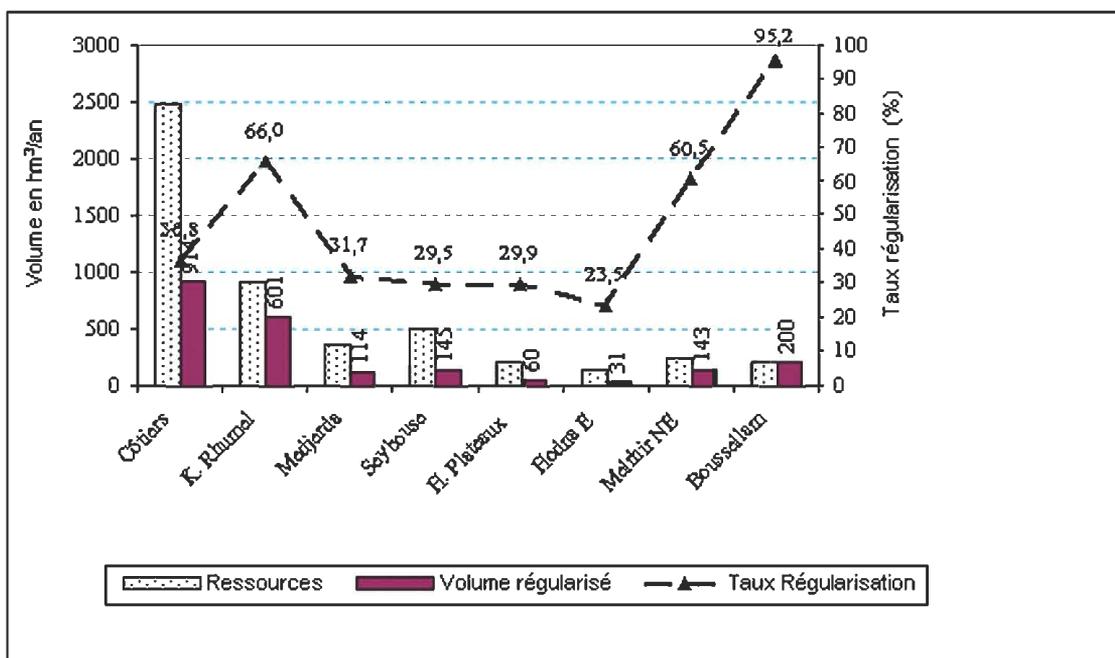


Fig. 4 Répartition par bassin des apports des oueds contrôlés par les barrages (horizon 2020).

#### 4. Interconnexion des barrages et transferts d'eau

##### 4.1 L'interconnexion face aux besoins pressants des villes

Le déploiement successif de longues conduites de transfert et d'adduction d'eau des barrages répond en priorité aux besoins pressants des villes, plus particulièrement à la suite de la sécheresse de 2002 (Fig. 5) :

(a) le Barrage Ain Dalia, après avoir fourni en eau potable la ville de Souk Ahras, a été sollicité pour approvisionner les villes « assoiffées » de l'arrière pays semi-aride (El Aouinet, Ouenza, Sedrata, Ain Beida, Ain Babouche et Oum El Bouaghi). L'interconnexion de ce barrage avec celui de Foum El Khanga est à l'ordre du jour ;

(b) le Barrage Zardézas a été connecté au Barrage Guenitra puis au Barrage Zit Emba, pour faire face aux besoins conjugués de la ville de Skikda, de l'industrie pétrochimique et du périmètre irrigué de la vallée du Safsaf ;

(c) le Barrage Cheffia, ne pouvant répondre à la demande croissante en eau de la région côtière d'Annaba, a été renforcé par le Barrage Mexa, érigé sur l'oued El Kébir-Est, dans la région frontalière algéro-tunisienne.

On songe à un système interconnecté, entre Mexa et le Barrage Bougous (en construction) d'une part, et les Barrages Bounamoussa, Boulatane et Bouhaloufa (en projet), d'autre part ;

(d) Constantine et Sétif, deux villes situées en bordure Nord des Hautes Plaines, font recours aux « Châteaux d'eau » du Tell, moyennant de gros pompages sur de fortes dénivelées altimétriques. La première est alimentée, depuis peu, à partir du Barrage Béni Haroun (oued Kébir-Rhumel) et la seconde fait appel aux 2 barrages hydro-électriques de la Petite Kabylie, appuyés par des réservoirs-relais à construire.

Par ailleurs, le retard de l'irrigation est important dans cette région qui recèle des ressources en sols remarquables. On vise d'atteindre un total irrigué de 200 000 ha, répartis en une série de périmètres. Un programme ambitieux de mise en valeur hydro-agricole des Hautes Plaines Sud-Constantinoises et Sud-Sétifiennes est lancé, à la faveur de l'installation en cours des deux plus grands systèmes de transfert hydraulique à l'échelle de l'Est.

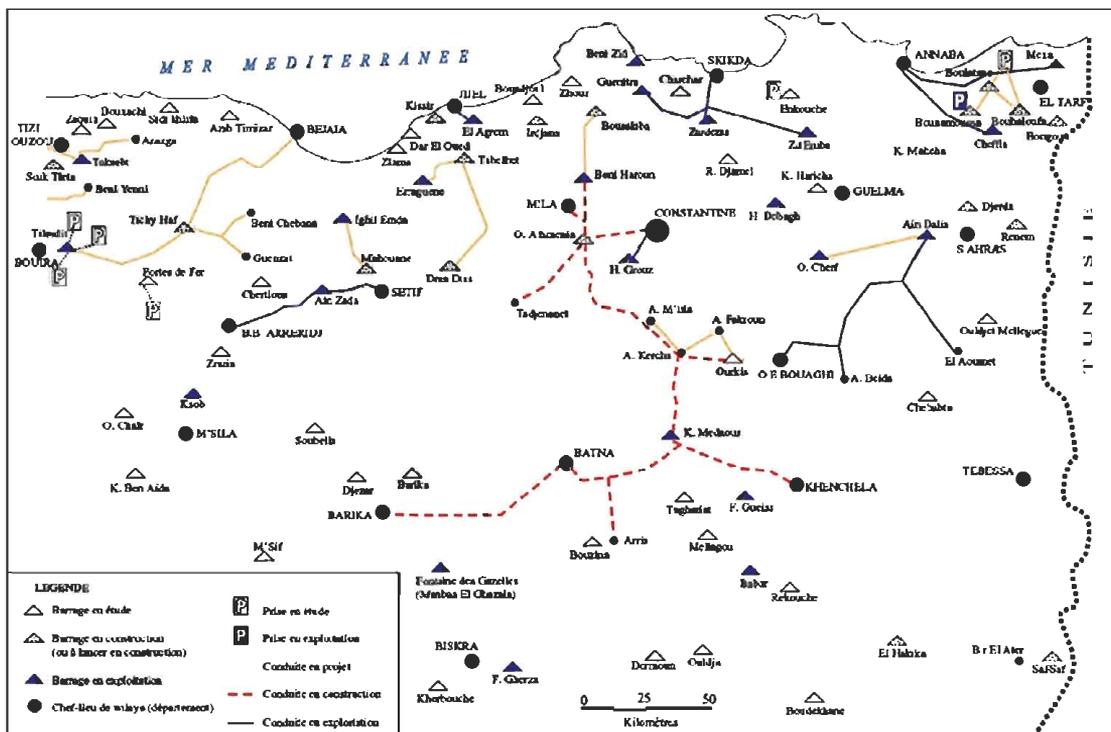


Fig. 5 Barrages et transferts hydrauliques dans l’Est algérien (d’après ANBT in : MRE, 2005).

#### 4.2 Le système de transfert de Béni Haroun

L’exploitation des eaux de l’oued Kébir-Rhumel revêt une envergure particulière à travers le système « Béni Haroun », commandé par le barrage du même nom, érigé à une quarantaine de km au Nord de la ville de Constantine. C’est un barrage de type poids rectiligne, d’une longueur en crête de 710 m, et d’une hauteur totale de 107 m au dessus du lit de l’oued. Il est à l’amont d’un système de transfert complexe qui, à travers une topographie difficile, refoule les volumes d’eau régularisés depuis la région montagneuse du Tell jusqu’aux Hautes Plaines semi-arides et les monts de l’Aurès (Mebarki et al, 2008). La connexion du nouveau Barrage Boussiaba, récoltant les eaux de la région bien arrosée d’El Milia, permet d’ajouter un volume de 69 hm<sup>3</sup>/an, ce qui porte à 504 hm<sup>3</sup> le total

transféré annuellement vers les 5 wilayate de l’intérieur, (Mila, Constantine, Oum El Bouaghi, Batna et Khenchela), en vue de l’Alimentation en Eau Potable d’une trentaine d’agglomérations (3,3 à 4 millions d’habitants à l’horizon 2030) et de l’irrigation de quatre périmètres agricoles (Teleghma, Chemora, Batna-Ain Touta et Touffana-Remila), répartis sur plus de 40 000 ha (fig. 6). Le système de transfert s’appuie sur une gigantesque station de pompage d’une puissance de 180 MW, permettant de relever un débit de 23 m<sup>3</sup>/s, sur une hauteur topographique d’environ 700 m (TRACTEBEL Engineering, 1999). S’y ajoutent 3 barrages de régulation (O. Athménia, Koudiat Medaour et Ourkis), 3 stations de traitement (Ain Tinn, Oued Athménia et Koudiat Medaour), et plus de 600 km de conduites (transfert et adduction).



## 5. Conclusion

Partie prenante de la rive Sud du Bassin Méditerranéen, les bassins hydrographiques de l'Est algérien se caractérisent par une répartition spatiale inégale des ressources en eau, doublée d'une forte irrégularité du régime des oueds. Grâce à la relance de la grande hydraulique, la moitié du débit naturel véhiculé par les oueds sera, à terme, contrôlé par les barrages-réservoirs. L'interconnexion des retenues tend à favoriser l'émergence d'une gestion dynamique des réserves pour faire face aux sécheresses récurrentes, en particulier au profit des hautes terres semi-arides de l'intérieur, confrontées au défi du développement. L'ampleur des investissements consentis implique de fortes exigences vis-à-vis de la maîtrise systémique de l'ensemble (Côte, 1996), la protection des bassins-versants pour augmenter la durée de vie des barrages (Kassoul, 1999 ; Remini et al., 2009), le contrôle des rejets polluants, particulièrement nocifs en étiage (Mebarki, 2000 et 2009). Aussi, les sites favorables aux grands barrages sont-ils en majorité exploités, l'alternative d'avenir est dans l'édification de centaines de petites retenues, en vue de l'exploitation optimale des ressources locales.

## Références Bibliographiques

- ANRH (2003) Etude de synthèse sur les ressources en eaux de surface de l'Algérie du Nord (Rapport d'étude). Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Alger, DZ.
- Bonard et Gardel (2002) Etude du schéma de collecte et de traitement des eaux résiduaires des centres de Mila, Ferdjioua, Grarem-Gouga, Sidi Merouane, Rouached, Oued Endja, Zéraia et Amira Arrès (W. Mila) en vue de la protection du barrage de Béni Haroun, Ministère des Ressources en Eau, Alger.
- Chabaca M. N., Isbérie C. & Messahel M. (2007). La politique de gestion de la ressource en eau d'irrigation face à l'aléa climatique, aux contraintes sociales et économiques : Cas de l'Algérie. *La Houille Blanche*, 4 (2007), 131-136.
- Cote M. (1996) Eau, environnement et développement au Maghreb, *Annuaire de l'Afrique du Nord*, CNRS Editions, 35, 104-114.
- Guetarni A. (1999) Envasement des barrages et méthodologie de dragage. (Journées techniques sur les barrages, Biskra, DZ, 17-18 mars 1999, Agence Nationale des Barrages, Alger, DZ.), *Proceedings*, 162-168.
- Kassah O. (2007) Les rejets d'eaux usées et la protection du barrage de Béni Haroun contre la pollution, Mémoire (en arabe) en Aménagement de milieux physiques, Constantine, Université Mentouri, Faculté des Sciences de la terre, Département d'Aménagement du territoire.
- Kassoul M. (1999) Prédétermination de la durée de vie des barrages en Algérie. *La Houille Blanche*, 3/4(1999), 89-94.
- Laborde J-P., Assaba M. & Belhouli L. (2003) Les chroniques mensuelles de pluies de bassin : un préalable à l'étude des écoulements en Algérie, Journées de la S.H.F. : Gestion du risque eau en pays semi-aride, 21-22 mai 2003, Tunis, TN.
- Makhlouf Z. & Michel C. (1994) A two-parameter monthly water balance model for French watersheds. *J. Hydrol.*, 162, 299-318.
- Mebarki, A. (2000) Etiages, rejets et protection des ressources en eau des bassins « méditerranéens » de l'Algérie orientale. *Géocarrefour (Revue de géographie de Lyon)*, 75(4), 399-416.
- Mebarki A. (2007) L'eau, défi majeur en Algérie. Ressources, mobilisations et gestion durable. *Revue du Laboratoire d'Aménagement du Territoire (Université Mentouri de Constantine, DZ)*, 7, 42-68.
- Mebarki A., Benabbas C. et Grecu F. (2008), Le système « Béni-Haroun » (Oued Kébir-Rhumel, Algérie): aménagements hydrauliques et contraintes morpho-géologiques *Analele Universitatii Bucuresti, Geografie*, LVII, 37-51.
- Mebarki A. (2009) Ressources en eau et aménagement en Algérie. Les bassins hydrographiques de l'Est. Office des Publications Universitaires, Alger, DZ.
- MRE (2005) Le secteur de l'eau en Algérie. Ministère des Ressources en Eau, Alger, DZ.
- TRACTEBEL Engineering (1999) Transfert de Beni Haroun. Rapport de synthèse. Agence Nationale des Barrages, Alger, DZ.
- Remini B., Leduc C. & Hallouche W. (2009) Evolution des grands barrages en régions arides : quelques exemples algériens. *Sécheresse*, 20(1), 96-103

## Du manuel au numérique pour la cartographie aux moyennes échelles. L'exemple des cartes au 1/100 000 en France

F. Lecordix, Chef de projet Nouvelle Carte de Base  
Service des développements,  
Institut géographique national( France)  
2 avenue Pasteur 94160 Saint-Mandé  
Courriel : francois.lecordix@ign.fr

**ملخص :** ينتج المعهد الوطني للفرنسي للجغرافية منذ سنوات عديدة مجموعة من الخرائط بمقياس 1/100 000 على الكامل فرنسا . أنجزت عبر التاريخ بطرق يدوية ، أرجمت هذه المجموعة بطريقة رقمية بفضل الأبحاث التي أقدم عليها IGN ، ابتداء من سنة 1990 لتألية إنتاج هذه الخرائط بإشفاق ، من قواعد المعطيات الجغرافية مثل BD Carto® . بعد مرحلة من البحث دامت 10 سنوات ، حول التعميم ، وضع الكتابات و التحديث الآلي ، إنتقل IGN إلى ، مرحلة تصنيع الأبحاث بواسطة المشروع Carto2001 الذي سمح في سنة 2004 ، بالحصول على سلسلة إنتاج من Top100 الجديدة بمقياس 1/100 000 . بعد المرور بمصلحة الإنتاج ، سمحت هذه السلسلة بإنتاج قاعدة خرائطية لكل فرنسا بمقياس 1/100 000 و إستخراج 76 ورقة من هذه المجموعة الجديدة التي تم إنجازها قبل نهاية سنة 2009 . من الآن فصاعداً ، يتم تحديث هذه القاعدة الخرائطية و أوراقها بألية إنتشار التحديث المنجز في BD Carto® . يسمح هذا النص بمتابعة تطور بدء هذه السلسلة الجديدة من الإنتاج الرقمي التي تحول جذرياً تتابع أطوار الإنتاج الخرائطي المستعمل إلى ذلك الحين .

**الكلمات الأساسية :** الخرائطية ، التعميم ، البحث ، التنمية ، الإنتاج ، مقياس متوسط .

**Résumé :** L'institut géographique national (France) produit depuis de nombreuses années une série de cartes au 1/100 000 sur l'ensemble de la France. Historiquement réalisée par des procédés manuels, cette série a pu basculer en mode numérique grâce aux recherches que l'IGN a lancé, à partir des années 1990, pour automatiser la production de ces cartes par dérivation, des bases de données géographiques, comme la BD Carto® de l'IGN. Après une phase de recherche de 10 ans sur la généralisation, le placement des écritures et la mise à jour automatique, l'IGN est passé à une phase d'industrialisation des recherches par l'intermédiaire du projet Carto2001 qui a permis, en 2004, d'obtenir une chaîne de production de la nouvelle Top100 au 1/100 000. Après un passage de relais au service de production, cette chaîne a permis de produire une base cartographique France entière au 1/100 000 et d'extraire les 76 feuilles de cette nouvelle série qui ont toutes été réalisées avant fin 2009.

Désormais, cette base cartographique et ces feuilles sont mises à jour par un mécanisme de propagation des mises à jour effectuées dans la BD Carto®. Ce texte permet de suivre l'évolution de l'arrivée de cette nouvelle chaîne de production numérique qui transforme radicalement les processus de production cartographique utilisés jusqu'alors.

**Mots-clefs :** cartographie, généralisation, recherche, développement, production, moyenne échelle.

**Abstract :** The French national mapping agency (IGN) has produced for many years maps series at 1/100 000 scale on whole France. Historically produced by manual solution, these series could change to a numeric approach thanks to the research that IGN launched in nineties to automate the production of these maps by derivation of geographic database, as BD Carto® (IGN). After a research period of 10 years on automatic generalisation, label placement and updating, IGN carried on research industrialization with the project Carto2001 which provide, in 2004, a flow line for new Top100 at 1/100 000 scale. After a handover to production service, this flow line allowed to produce a seamless cartographic database on France at 1/100 000 scale and to extract 76 sheets of these new series. All maps had been produced before the end of 2009. This cartographic database and these maps are updated henceforth by a solution to propagate updating done in BD Carto®. This text allows examining the process to introduce this new numerical flow line which changes radically the processes used before for mapping production.

**Key words :** cartography, generalisation, research, development, production, medium scale.

## 1. Historique du 1/100 000 de l'Institut géographique national (France)

À la sortie de la seconde guerre mondiale, dans le cadre des accords interalliés de 1952, l'IGN doit produire rapidement des cartes militaires OTAN au 1/100 000 sur tout le territoire national. Or, à cette date, l'IGN ne dispose, comme source de référence récente, que d'une faible partie (environ un quart) du territoire national cartographié au 1/20 000 ou 1/50 000, levé à partir de 1922. L'IGN doit donc principalement utiliser la carte d'Etat-Major, à l'échelle du 1/80 000, levée au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle avec les techniques de l'époque. Entre 1953 et 1968, les 293 feuilles petit format de la série militaire OTAN au 1/100 000 sur la France, appelée M662, sont produites par procédé manuel en redessinant avec généralisation ces fonds créés antérieurement. Le travail demande plus de 1 000 heures par carte petit format 5 (Chappart, 2007). À partir de cette version militaire, l'IGN va produire, entre 1969 et 1975, une première version civile de cette carte au 1/100 000, appelée Série Verte, dont l'intitulation découle de la couleur des couvertures des cartes. Cette série est constituée de 74 cartes, issues de l'assemblage, pour chacune, de 4 cartes du 1/100 000 petit format. Entre 1976 et 1997, chaque feuille de la série connaît plusieurs mises à jour par procédé cartographique traditionnel, à base de reproduction photographique et de dessin, pouvant conduire à des déformations géométriques locales au cours du temps. Une version militaire, appelée M663 remplaçant la M662, est déduite de cette version civile. Une série au 1/250 000, appelée Série Rouge, est aussi produite par généralisation du 1/100 000. Entre 1997 et 1999, l'IGN effectue un nouvel aménagement de cette Série Verte en effectuant un ajout du thème touristique et un aménagement des teintes, sans qu'il n'y ait cependant une quelconque réfection complète du fonds. La nouvelle série est appelée Top100 Série Verte et sa mise à jour passe en processus numérique par scannage initiale des planches d'édition et retouche à l'écran en environ 300 heures par feuille pour intégrer les mises à jour avec le logiciel DRY de la société Lorient. Ce passage au numérique permet de stopper alors les effets de déformations géométriques dues aux jeux des planches support au cours du temps. La même migration au numérique est effectuée pour la carte au 1/250 000, appelée alors Top250. À la fin du XX<sup>e</sup> siècle, force est de constater que l'IGN dispose sur la France de deux séries de cartes au 1/100 000 et au 1/250 000 dont les géométries des éléments reposent sur des levés initiaux datant au mieux de 50 ans, au pire de 150 ans et ont du supporter 50 ans de déformations locales des planches mères. Alors que les nouvelles technologies permettent de superposer ces fonds au 1/100 000 ou au 1/250 000 à des levés photogrammétriques récents et donc d'observer les

défauts locaux de ces fonds cartographiques, la Top100 Série Verte et la Top250 apparaissent à la fin du XX<sup>e</sup> siècle comme des produits obsolètes qu'il est nécessaire de remplacer par des produits issus d'une réfection complète, mais sans oublier que la charge initiale de réfection au 1/100 000, autour des années 1960, a été de 4 500 heures par carte du format actuel. À cette même période, au milieu des années 90, l'IGN dispose désormais d'une base de données géographiques numériques, la BD Carto®. Couvrant l'ensemble du territoire français, issue en grande partie de la numérisation à partir de 1987 des axes des objets présents sur les cartes au 1/50 000 et mise à jour depuis 1995, la BD Carto® est une base de données géographiques, constituée de différentes couches séparées : réseaux routiers et ferrés, hydrographie, administratif, touristique, occupation du sol, toponymie... Chaque couche est structurée topologiquement et chaque objet de la base dispose de nombreux attributs sémantiques. Conçue en priorité pour les gestionnaires de réseau, elle doit permettre aussi de réfectionner la cartographie aux moyennes échelles du 1/100 000 et du 1/250 000 de l'IGN, sous réserve de résoudre les difficultés techniques pour passer d'une base de données géographiques, avec une géométrie respectant celle du terrain, à une base de données cartographiques, avec une géométrie respectant les contraintes de lisibilité graphique imposées par la légende et l'échelle.

## 2. Les recherches des années 90 du laboratoire COGIT de l'IGN

En 1992, l'IGN décide de lancer un effort de recherche soutenu pour pouvoir exploiter les bases de données numériques géographiques à des buts cartographiques, en visant à automatiser de plus en plus les processus. Une équipe de recherche est constituée au sein du laboratoire COGIT du Service de la Recherche qui va progressivement compter une douzaine de chercheurs et thésards et qui doit aborder les différents problèmes de la rédaction cartographique la plus automatique possible d'une carte ou d'une base de données cartographiques avec réduction d'échelle. Ces recherches en automatisation se focalisent sur trois domaines représentant un temps encore significatif de réalisation d'une carte numérique : la généralisation, le placement des écritures et la mise à jour. Ces recherches vont aboutir à la fin des années 90 à des progrès significatifs et à des prototypes de logiciels permettant de présenter des résultats concrets sur des données réelles.

### 2.1 Généralisation automatique

La généralisation est une opération cartographique très délicate, mais indispensable et souvent inconnue. Pour avoir un aperçu de cette problématique, il

suffit de prendre un exemple caractéristique : l'emprise d'un symbole de route. Lorsqu'on représente une route de viabilité moyenne (10 m environ sur le terrain) au 1/25 000, on utilise un symbole linéaire d'une largeur voisine de 0,8 mm sur la carte, soit une emprise sur le terrain de 20 m, c'est-à-dire deux fois plus importante que la réalité terrain. A l'échelle du 1/50 000, pour que l'utilisateur de la carte puisse percevoir correctement le symbole de cette même route, la même largeur de symbole de 0,8 mm va être utilisée mais la route aura alors sur le terrain une emprise de 40 m. Toute l'information située à 20 m de part et d'autre de l'axe de la route (maisons, rivières...) va être cachée par le symbole de la route. Pour rendre ces éléments à nouveau visibles, il faut les décaler par rapport à la route ce qui constitue une action de généralisation. Plus l'échelle diminue, plus cette problématique augmente : avec la même largeur de symbole précédente, au 1/100 000, toute l'information située à 40 m de part et d'autre de l'axe de la route va être cachée par le symbole de la route. D'autre part, au 1/100 000 ou aux échelles plus petites encore comme le 1/250 000, les virages serrés et les routes de montagne vont devenir illisibles du fait de ces largeurs du symbole qui se superposent et des opérations spécifiques vont être nécessaires pour pouvoir rendre lisibles ces virages. Enfin, pour respecter les seuils de lisibilité de l'œil humain, certains objets trop petits, (les maisons individuelles par exemple), doivent être grossis pour être lisibles, conduisant à nouveau à des superpositions d'objets et donc des déplacements ou d'autres opérations pour pouvoir conserver une information pertinente et lisible. Le passage au numérique ne change rien à la problématique de fond de la généralisation cartographique. Dans une base de données cartographiques, les objets doivent respecter un certain nombre de contraintes cartographiques liées à leur représentation. Une contrainte cartographique peut concerner un objet isolément : par exemple pour qu'un bâtiment représenté par une surface soit lisible, sa taille doit être suffisamment grande et son tracé ne doit pas être trop détaillé. Au contraire, certaines contraintes concernant plusieurs objets : par exemple, le symbole d'une route ne doit pas se superposer une maison. Lorsqu'une contrainte cartographique n'est pas respectée, on est en présence d'un conflit cartographique. Les contraintes cartographiques guident le processus de généralisation : le cartographe s'attache à résoudre les conflits cartographiques présentés par les données d'origine avec leur symbolisation, sans en faire apparaître de nouveaux. Toutes les tâches de généralisation ont été effectuées une fois par des dessinateurs cartographes, en procédé traditionnel, sur toutes les cartes au 1/25 000, 1/50 000, 1/100 000 et 1/250 000

lors de leur première création, ce qui représente des centaines de milliers d'heures de travail. En voulant réaliser à partir de la BD Carto® - géométrie initiale voisine du 1/50 000 - une réfection complète des cartes aux moyennes échelles du 1/100 000 et du 1/250 000, et à partir de la BD Topo® - géométrie initiale voisine du 1/10 000 - une réfection complète des cartes aux grandes échelles du 1/25 000 et du 1/50 000, ces problèmes de généralisation resurgissent de façon flagrante. Il est indispensable de les résoudre le plus automatiquement possible pour pouvoir exploiter au mieux les bases de données géographiques pour la cartographie. Pour résoudre ces problèmes de généralisation, le laboratoire COGIT et différentes universités européennes ont entrepris un important travail de recherche, avec réalisation aussi au COGIT de deux prototypes de plateforme de recherche : PlaGe pour expérimenter notamment les algorithmes de généralisation des routes de montagne aux moyennes échelles (Lecordix, 1997) et Stratège pour expérimenter les stratégies de généralisation, en particulier dans le cas des bâtiments et des routes aux grandes échelles (Ruas, 1999). Les premiers résultats significatifs obtenus en recherche ont permis de réaliser le projet européen de recherche AGENT (1997 - 2000) avec l'industriel anglais Laser-Scan - renommé depuis lSpatial - pour aboutir à un prototype préindustriel de généralisation, le prototype AGENT (Lamy, 1999). Les solutions mises en oeuvre, utilisent une technique du domaine de l'intelligence artificielle, appelée système multi-agents. Un agent peut être défini de façon simple comme un objet qui poursuit un but et qui, pour ce faire, a une certaine autonomie d'action et est capable d'interagir avec les autres agents du système. L'approche globale de la généralisation retenue consiste à faire des objets géographiques contenus dans la base de données (routes, rivières, bâtiments, etc.) les entités décisionnelles du système de généralisation. Ainsi, chaque objet géographique devient un agent, dont le but est de satisfaire au mieux l'ensemble de ses contraintes cartographiques. Pour cela chaque agent dispose de capacités :

- d'introspection, pour analyser son état interne et détecter ses conflits cartographiques,
- d'action, pour choisir et s'appliquer des algorithmes de transformation adaptés à ses conflits,
- d'évaluation, pour contrôler l'évolution de son état en fonction des actions réalisées, et revenir en arrière pour essayer autre chose si besoin est,
- de perception de son environnement,
- de communication avec les autres agents.

Grâce à l'ensemble de ses capacités, l'agent va pouvoir trouver une solution de généralisation. Cette stratégie d'agents peut être utilisée pour tous les

objets cartographiques, des bâtiments aux routes, en particulier pour la généralisation des routes de montagne.

## 2.2 Placement automatique des écritures

Chaque objet de la base de données géographiques dispose d'un attribut indiquant son nom : la désignation de la fonction du bâtiment, le toponyme du hameau ou de la ville, le numéro de la route, le nom de la rivière ou du bois... A partir de cet attribut et de la légende typographique, l'opérateur doit positionner sur la carte l'écriture en respectant de nombreuses règles cartographiques : les écritures ne se chevauchent pas, elles écrasent le moins possible d'informations importantes de la carte, celles des noms de rivières épousent au mieux le tracé du cours d'eau et celles des noms d'habitation sont placées horizontalement, elles se répètent le long des routes ou se placent une seule fois pour les petits objets... Toutes ces règles ont pu être modélisées dans un logiciel de recherche développé par le COGIT sous VMS en ADA, appelé PAT : Placement Automatique des Toponymes (Lecordix, 1994). Il repose sur un processus algorithmique en trois étapes consistant à déterminer d'abord l'objet à nommer avec les caractéristiques de l'écriture associée, puis à trouver sur la carte des positions possibles pour chaque écriture en quantifiant leur qualité intrinsèque et enfin à sélectionner la meilleure position possible en fonction des positions des autres écritures, de telle sorte qu'aucune d'entre elles ne se chevauche (Barrault, 1998).

## 2.3 Mise à jour automatique

Si la mise à jour d'une carte nécessite moins de temps que sa réalisation initiale, elle est par contre réalisée plusieurs fois au cours de l'existence du produit. Basculant au cours des années 90 des techniques traditionnelles (tracés sur couche et reproductions photographiques) aux techniques numériques en mode raster, la mise à jour des cartes demeure un processus entièrement interactif. Elle constitue un enjeu important de recherche d'automatisation. Ces recherches visent à propager dans la base de données cartographiques issues d'une base de données géographiques, le plus automatiquement possible, les mises à jour qui ont été saisies dans la base géographique, à défaut de pouvoir automatiser complètement le processus de dérivation des bases de données cartographiques à partir d'une base de données géographiques.

A partir de la base de données géographiques à deux dates différentes, les recherches du COGIT se

sont efforcés d'extraire automatiquement des lots d'évolution, soit par des techniques de gestion d'historique, soit par des techniques d'appariement. Ces lots d'évolution permettent d'avoir de façon exhaustive toutes les modifications qui sont intervenues dans la base de données géographiques entre ces deux dates sans se préoccuper de tous les éléments qui n'ont pas changé et qui sont évidemment très majoritaires (Badard, 2000).

Grâce à un système d'identification de tous les éléments de la base, il va alors être possible de propager toutes ces évolutions, de façon fortement automatique, dans la base cartographique, et au final sur la carte. Bien évidemment ces propagations doivent se réaliser en tenant compte de la généralisation cartographique et du placement des écritures. Les recherches des années 90 du laboratoire COGIT permettent de mettre en place des techniques de propagation de ces mises à jour et doivent permettre ainsi de diminuer encore le laps de temps entre deux éditions d'une carte, objectif prioritaire souhaité par tous les utilisateurs cartographiques.

## 3. De la recherche à l'industrialisation : le projet Carto2001

En 1996, l'IGN décide de lancer un premier projet pour créer des cartes au 1/100 000 à partir de la BD Carto®. En fonction de l'avancée des recherches de l'époque et de leur maturité insuffisante pour une utilisation en production, une approche très interactive est retenue pour réaliser la généralisation et le placement des écritures. Mais les premières estimations pour réaliser une carte complète d'emprise 1,2 m<sup>2</sup> sont de plus de 2 000 heures par feuille, en travail interactif. Cela représente au moins 2 fois moins de temps qu'en travail manuel d'autrefois, mais nécessite un investissement financier trop important, d'autant plus qu'aucune solution nettement moins onéreuse n'apparaît pour mettre à jour les éditions suivantes de cette carte.

En 1999, les recherches sont désormais suffisamment mûres pour pouvoir expérimenter les processus sur de véritables jeux de données de production. L'IGN souhaitant réaliser la Top250 au 1/250 000 à partir de la BD Carto®, les données routières de cette base sont chargées dans la plateforme de recherche PlaGe. Une généralisation complète des routes de montagne est réalisée par le COGIT, en 2 jours de calcul, sur station VMS, pour résoudre tous les problèmes d'empâtement des virages, en utilisant l'algorithme GALBE (Généralisation Adaptative du Linéaire Basée sur l'Empâtement) (Mustière, 2002).

Cet algorithme (fig. 1) permet de couper les tronçons de route en fonction des conflits d'empatement des virages et d'appliquer localement, à chaque portion, des algorithmes de généralisation différents : filtrage (algorithme de Douglas-Peucker), lissage (gaussien),

exagération de formes (algorithmes de l'accordéon, de Faille Min, de Faille Max) et suppression de virages (algorithme de Schématisation de virages) (Plazanet, 1996).

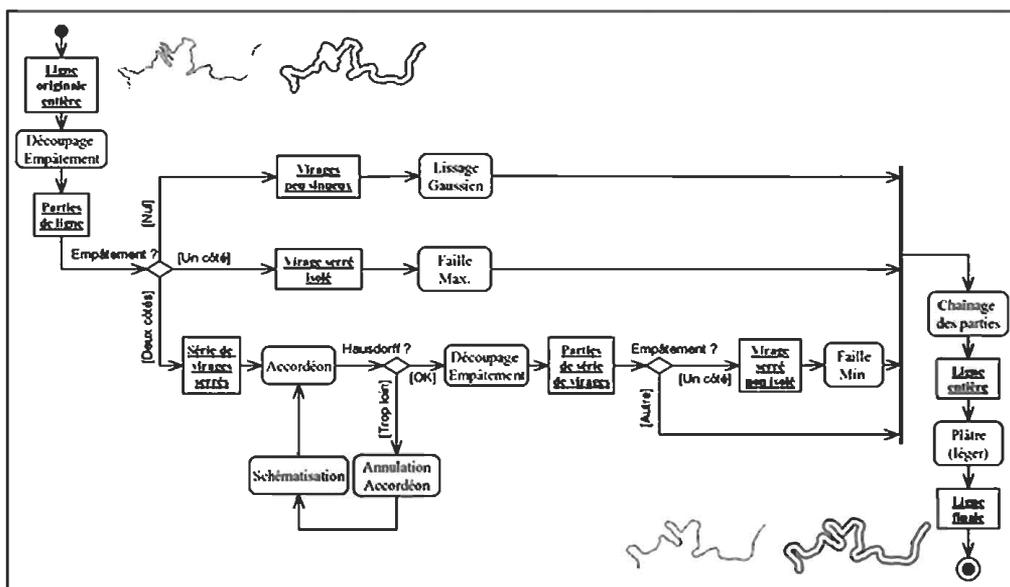


Fig. 1 Principe de l'algorithme GALBE pour généraliser des routes (Mustière, 2002).

La dernière étape de l'algorithme GALBE permet de rabouter les différentes portions de la route, puis d'appliquer une légère simplification (algorithme Plâtre) (Fristch, 1997) pour obtenir la route généralisée (Mustière, 2001) (fig. 2c). La géométrie résultante de toutes les routes de la France entière est

livrée par la COGIT à la production pour réaliser interactivement l'autre opération importante de généralisation du routier, le décalage des objets pour résoudre les problèmes de superposition des symboles des routes.

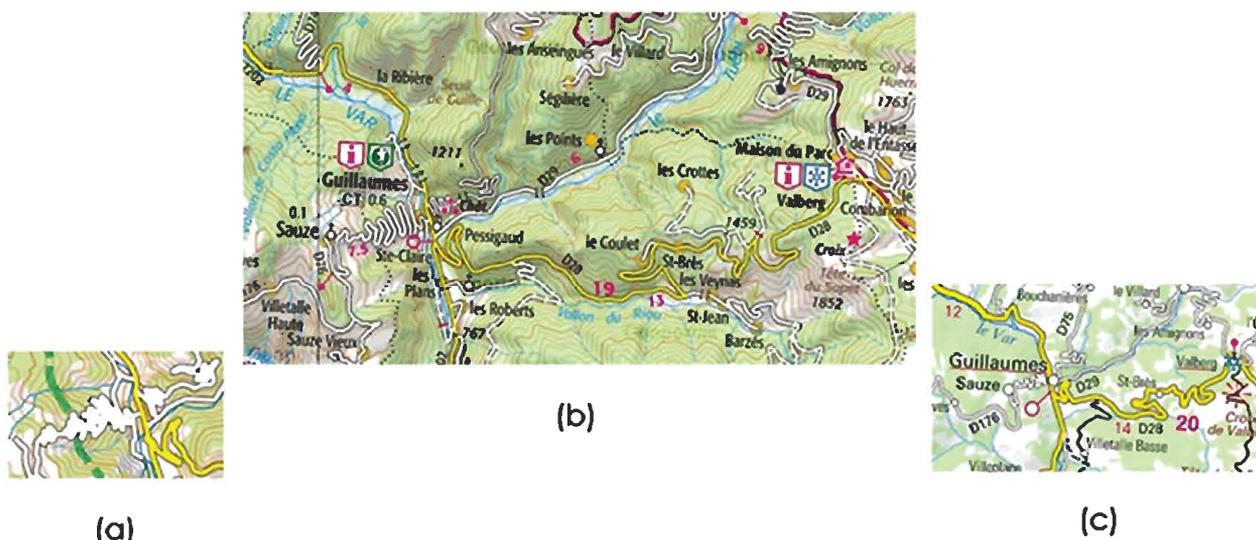


Fig. 2 Résultat de généralisation automatique des routes de montagne de la BD Carto® au 1:100 000 et au 1:250 000  
 A gauche : les données initiales BD Carto® avec une symbolisation au 1:100 000 présentant des empâtements de virages  
 Au centre : la généralisation de ces routes de montagne sur la Top100, au 1:100 000, avec les techniques AGENT  
 A droite : la généralisation de ces mêmes routes de montagne sur la Top250, au 1:250 000, avec l'algorithme GALBE.

L'expérience concluante précédente et les perspectives d'arrivée d'une solution industrielle pour la généralisation avec le projet européen AGENT incitent l'IGN à lancer, en juin 1999, le projet "Carto2001, Odyssée de l'espace cartographique" qui a pour but de mettre en place une chaîne de production et de mise à jour à coût minimum d'une nouvelle Top100 entièrement dérivée de la BD Carto®. L'équipe projet est constituée de 4 personnes et va chercher à industrialiser les différentes recherches effectuées au COGIT pour mettre en place une chaîne de production d'une nouvelle Top100. Les résultats du projet européen AGENT sur la généralisation étant fournis dans le SIG LAMPS2 qui s'appuie sur le Système de Gestion de Base de Données Gothic, le projet retient ce SGBD et ce SIG pour pouvoir effectuer le travail cartographique. Ces logiciels permettent de travailler sur une BD France entière, au lieu du feuille à feuille comme autrefois, de ne traiter qu'une fois les zones en recouvrement de plusieurs feuilles des éditions papier et de travailler en multi-utilisateurs sur cette base de données unique. Outre ces nouveaux principes de fabrication pour la cartographie, le projet va apporter plusieurs nouveautés dans le produit : nouvelle facture graphique avec conception d'une nouvelle légende, nouvelle projection (Lambert 93 au lieu du Lambert II étendu), nouveau format des feuilles (96 cm par 121 ou 131 cm) et nouveau découpage avec 76 feuilles au lieu de 74 préalablement. Le projet va surtout apporter trois nouvelles techniques de production, qui correspondent aux thèmes majeurs de recherche du COGIT, à savoir la généralisation et le placement des écritures pour réaliser les premières éditions de la nouvelle carte et la propagation des mises à jour pour réaliser les éditions suivantes.

### 3.1 Généralisation

Les solutions de généralisation mises en oeuvre en recherche au COGIT sont développées dans le SIG LAMPS2. Les problèmes de généralisation traités par le projet Carto2001 concernent essentiellement les réseaux (routiers, hydrographiques, ferrés) et la conservation de la cohérence entre les différents thèmes de la carte. Les problèmes de généralisation de l'occupation du sol, du relief et des bâtiments ne sont pas abordés. Les solutions utilisées pour la TOP100 s'appuient sur de très nombreux outils développés depuis 10 ans par le COGIT, puis par le projet européen AGENT et enfin par le projet Carto2001. Ces outils peuvent être regroupés en trois domaines :

1. des mesures pour détecter les conflits de généralisation : empâtement de virages, superposition de symboles, carrefours en sifflet ;
2. des algorithmes de généralisation permettant la simplification des formes, la caricature des virages (exagération ou suppression), le déplacement des éléments (les routes ou les églises), le maintien de la cohérence entre thèmes (par exemple, les limites administratives suivent le déplacement des routes lors de la généralisation) ;
3. des stratégies de résolution des conflits : technique Agent du projet européen (fig. 2b) et notion de graphe de flexibilité mise en oeuvre par le projet pour associer des conflits de superposition d'objets afin de les traiter simultanément avec un algorithme spécifique, les Beams (Bader, 2001) (fig. 3). Ces stratégies sont le coeur de l'automatisation de la généralisation (Jahard, 2003), (Lecordix, 2007). Pour terminer la généralisation et obtenir un produit fini, des reprises interactives sont à faire avec les outils du SIG LAMPS2.

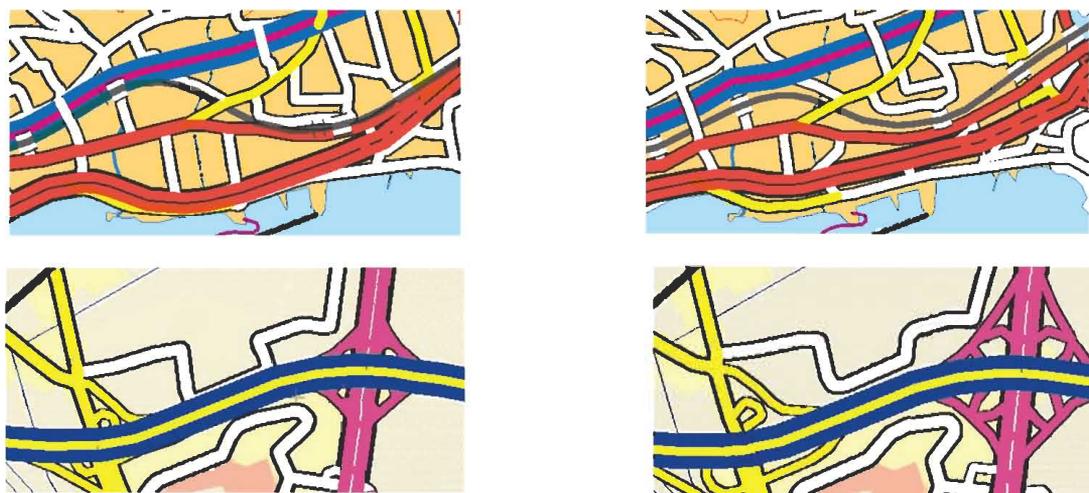


Fig. 3 Généralisation automatique des réseaux de la BD Carto au 1:100 000

A gauche : les données initiales BD Carto® avec une symbolisation au 1:100 000 présentant des chevauchements  
A droite : la généralisation de ces routes sur la Top100, au 1:100 000, avec la stratégie des graphes de flexibilité et l'algorithme des Beams.

### 3.2 Placement des écritures

Repartant du logiciel de recherche PAT du COGIT, le projet Carto2001 développe le logiciel WinPAT en ADA sous Windows. Il est utilisable sur n'importe quel PC sous Windows et, à partir des informations issues d'une BD sous forme de fichiers texte, il permet de placer :

1. des écritures horizontales : noms de lieux habités, points cotés, points du relief, noms de petits lacs, blasons et chiffres de population associés à des écritures ;
2. des écritures droites orientées : numéros de routes et de GR, cotes de courbes de niveau, kilométrages ;
3. des écritures sur courbes : noms de cours d'eau et de routes.

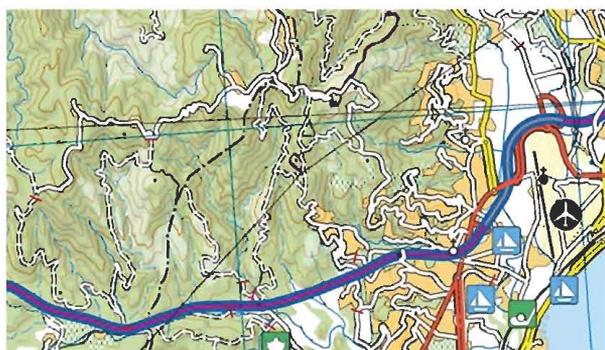


Fig. 4 Généralisation et placement des écritures A gauche : La BDCarto® représentée au 1:100 000 avec des problèmes d'empatement de virages, de superpositions de routes et de toponymes à placer A droite : La Top100 après généralisation et le placement automatique des écritures.

### 3.3 Mise à jour automatique

La mise à jour automatique est un autre domaine très novateur pour la production cartographique. Elle nécessite la mise en place préalable de deux mécanismes spécifiques dès la constitution de la base initiale :

- Les empreintes numériques des objets. Cette technique vise à associer un identifiant unique à chaque objet de la base géographique, cet identifiant ayant la caractéristique d'être calculée à partir des attributs et de la géométrie de l'objet. Les empreintes numériques sont appliquées aux données BD Carto® archivées.
- Le calcul de données différentielles. Industrialisée à partir des recherches du laboratoire COGIT, cette

technique permet de ne récupérer que les données modifiées de la BD archivée entre deux dates, en utilisant des algorithmes d'appariement. Cette solution permet de s'affranchir des multiples modifications intermédiaires sur les objets et de ne conserver que les modifications réelles entre les deux dates considérées.

Avec ces empreintes numériques et ces données différentielles issues de la BD Carto®, le projet Carto2001 a développé la technique pour mettre à jour la base carte dans LAMPS2 en conservant une cohérence topologique complète de la base résultante et en prenant en compte les règles cartographiques de la TOP100 et les résultats cartographiques de généralisation obtenus lors de la première édition de la carte (fig. 5).

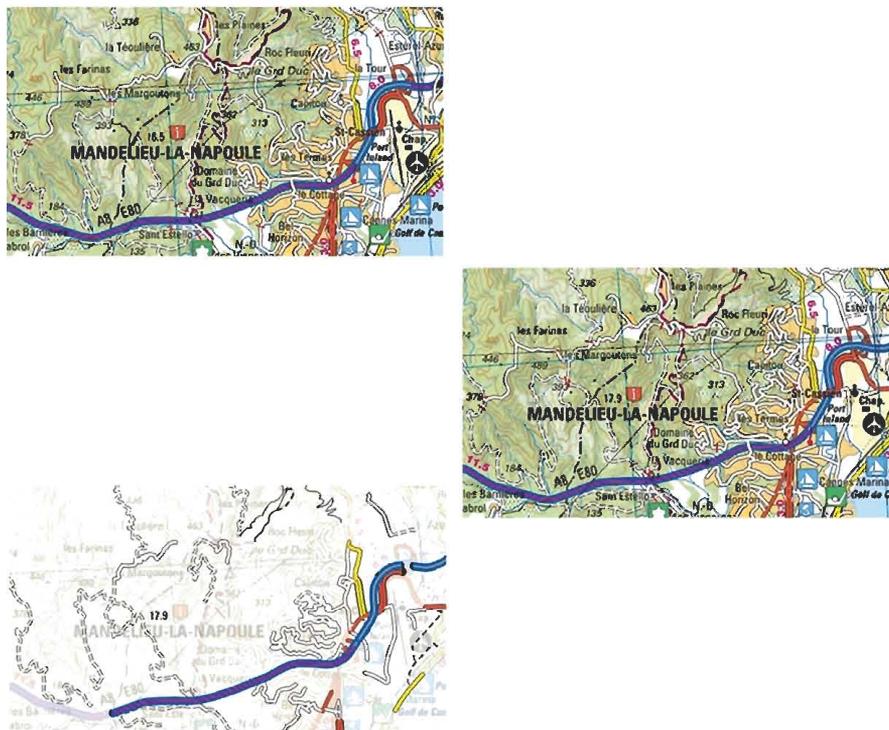


Fig. 5 Propagation automatique des mises à jour

A gauche en haut: la Top100 au 1:100 000 obtenue par généralisation et placement des écritures  
 A gauche en bas: les données différentielles issues de la BDCarto® à propager dans l'édition initiale (en fond, les données initiales en raster)  
 A droite: la Top100 après propagation automatique des mises à jour.

Lorsque l'automatisation atteint ses limites, le processus confie le travail à l'opérateur cartographe en désignant de façon spécifique les objets sur

lesquels celui-ci aura des reprises interactives éventuelles à faire (Lemarié, 2001). Le schéma de dérivation initiale et de mise à jour est fourni en Figure 6.

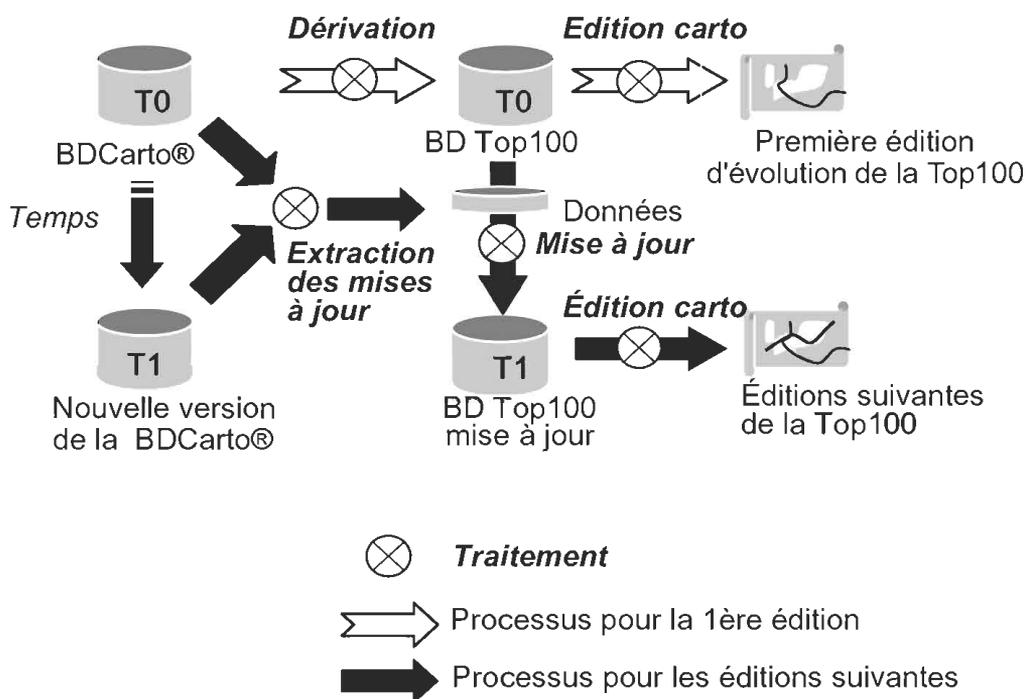


Fig. 6 Schéma de dérivation initiale et de mise à jour de la BDTop100 à partir de la BD Carto®.

#### 4. De l'industrialisation à la production

A l'issue du projet Carto2001, en 2004, un premier prototype de carte complète Top100 est réalisé à partir des données BD Carto® sur la feuille de Nice, permettant d'avoir une estimation des charges de réalisation de la série complète. La généralisation automatique est faite sur la feuille complète en 50 heures de calcul et les reprises interactives nécessaires pour finaliser le travail sont effectuées sur toute la carte en 100 heures. La charge estimée pour le même travail uniquement en interactif est de 1200 heures. De même, le placement automatique est fait sur la feuille complète en 12 heures de calcul. Les compléments de placement (écritures absentes de la BD Carto® et écritures non placées ou mal placées par le logiciel) sont estimés à 160 heures. La charge pour le même travail de placement de toutes les écritures, uniquement en interactif, est estimée à 800 heures. La réalisation de la première édition de chaque carte, avec la généralisation, le placement des écritures et les autres tâches de rédaction cartographique, en tenant compte des recouvrements entre feuilles permettant de diminuer la charge totale, est estimée à 6 mois (entre 600 et 700 heures), résultat à comparer aux plus de 2 000 heures prévues pour réaliser le même travail de réfection complète des cartes en tout interactif.

Pour la mise à jour, sans pouvoir réaliser une mise à jour réelle, le projet estime que chaque feuille pourra être mise à jour en moins de 100 heures par feuille en exploitant les différentiels issus de tous les thèmes mis à jour dans la BD Carto®, à comparer avec les 300 heures nécessaires pour mettre à jour l'ancienne Top100 Série Verte en utilisant un processus raster. A la fin de l'année 2004, le projet Carto2001 transmet le processus de production et sa maintenance au service de production qui, après une phase de prise en main de ces nouveaux outils qui changent radicalement les techniques de production utilisées jusqu'alors, va progressivement maîtriser le système et produire, avec une dizaine d'opérateurs travaillant en parallèle sur la base de données cartographiques France entière, les 76 feuilles de la série. A fin novembre 2009, la base cartographique France entière au 1/100 000, dérivée de la BD Carto®, et les 76 feuilles papier sont terminées en première édition avec une charge moyenne de production d'environ 660 heures par carte. Une version militaire de cette carte, appelée M664, est aussi proposée. En 2010, le processus de propagation automatique des mises à jour à partir des lots différentiels BD Carto® est en phase d'expérimentation réelle et conduit au résultat, sur les premières feuille, à une mise à jour en

120 heures de travail par feuille, ce qui laisse augurer que l'objectif des moins de 100 heures par feuille pour la mise à jour est atteignable pour les prochaines éditions. La mise en vente, à partir de 2008, de ce nouveau 1/100 000 avec une facture rajeunie, obtient un franc succès auprès du grand public et permet de remonter significativement les chiffres de vente de cette série qui étaient en diminution constante depuis des années.

#### 5. Conclusion

Après d'importants efforts de recherche et développement en cartographie automatique sur la généralisation, le placement des écritures et la mise à jour, l'IGN dispose désormais d'un processus de production automatisé pour produire et mettre à jour les bases de données cartographiques à moyenne échelle de la Top100 au 1/100 000. Ce processus permet de diminuer significativement les coûts de production de la première édition et des éditions suivantes. Il s'appuie sur de nouveaux systèmes permettant de travailler dans une base cartographique France entière qui est déduite d'une base géographique initiale. Grâce à la propagation automatique des mises à jour d'une base géographique à une base cartographique, l'IGN limite les mises à jour à une seule collecte effectuée dans la base géographique. Fort de cette expérience, l'IGN a décidé de poursuivre l'évolution de ses processus de production pour la cartographie au 1/25 000, et éventuellement au 1/50 000, à partir de son Référentiel Grande Echelle (RGE). Une approche très similaire à celle mise en oeuvre par le projet Carto2001, avec constitution d'une base cartographique France entière dérivée du Référentiel Grande Echelle, est en cours de finalisation de mise en place par le projet Nouvelle Carte de Base qui a testé en 2010 les 2 premiers prototypes de carte au 1/25 000 et au 1/50 000. Le passage en production de cette nouvelle chaîne de réfection et de révision pour les cartes topographiques au 1/25 000 constituera le défi des prochains mois.

#### Références Bibliographiques

- Bader, M., (2001) "Energy minimization methods for feature displacement in map generalisation", PhD Thesis, Department of Geography, University of Zurich.
- Badard, M., (2000) "Propagation des mises à jour dans les bases de données géographiques multi-représentations par analyse des changements géographiques", Thèse de doctorat en Sciences de l'Information Géographique, université de Marne la Vallée, France.

- Barrault, M., (1998) "Le placement cartographique des écritures : résolution d'un problème à forte combinatoire et présentant un grand nombre de contraintes variés", Thèse de doctorat en Sciences de l'Information Géographique, université de Marne la Vallée, France.
- Chappart, G. et Reynard, N., (2007) "La carte topographique française de 1887 à nos jours", *Le Monde des Cartes*, Bulletin 191 du Comité Français de Cartographie, Mars, p. 53-67.
- Fritsch, E., (1997) "Représentation de la géométrie et des contraintes cartographiques pour la généralisation du linéaire routier", Thèse de doctorat en Sciences de l'Information Géographique, université de Marne la Vallée, France.
- Jahard, Y., Lemarié, C., and Lecordix, F., (2003) "The Implementation of New Technology to Automate Map Generalisation and Incremental Updating Processes", in : Keller, C. P., (ed), proceedings of the 21st International Conference Cartographic, Durban, South Africa, August 10-16, pp 1449-1459.
- Lecordix, F. and Lemarié, C., (2007) "Managing Generalisation Updates in IGN Map Production", in Mackanness, W., A, Ruas, A., Sarjakoski, T., (eds): *Generalisation of geographic information: Cartographic modelling and applications* - 285-300.
- Lecordix, F., Plazanet, C. and Lagrange, J.P., (1997) "A Platform for research in Generalization: Application to Caricature", *Geoinformatica*, 1(2), 161-182.
- Lecordix, F., Plazanet, C., Chirié, F., Lagrange, J. P., Banel, T. et Cras, Y., (1994) "Placement automatique des écritures d'une carte avec une qualité cartographique" in: Harts, J. J., (eds), *EGIS/MARI '94: Fifth European Conference and Exhibition on Geographical Information Systems*, Paris, France March 29 - April 1, 1, 22-32.
- Lemarié, C., and Badard, T., (1999) "Cartographic Database Updating", proceedings, *Mapping the 21<sup>st</sup> Century : the 20<sup>th</sup> International Cartographic Conference*, Beijing, China, August 6-10, 2, 1376-1385.
- Lamy, S., Ruas, A., Demazeau, Y., Jackson, M., Mackanness, W. A. and Weibel, R., (1999) "The Application of Agents in Automated Map generalisation", in : Keller, C. P., (ed), proceedings, *19<sup>th</sup> International Conference Cartographic and 11<sup>th</sup> General Assembly of ICA*, Ottawa, Canada, August 14-2, 2, 1225-1234.
- Mustière, S. et Lecordix, F., (2002) "La généralisation du linéaire routier: des algorithmes et leur enchaînement", dans : Ruas A. (ed), *Généralisation et représentation multiple*, Paris, Hermès Sciences Publications, 241- 255.
- Mustière, S., (2001), "Apprentissage supervisé pour la généralisation cartographique", Thèse de doctorat, université Pierre et Marie Curie, Paris.
- Ruas, A., (1999), "Modèle de généralisation de données géographiques à base de contraintes et d'autonomie", Thèse de doctorat, Université de marne la Vallée, Paris.
- Plazanet, C., (1996) "Enrichissement des bases de données géographiques : analyse de la géométrie des objets linéaires pour la généralisation cartographique (application aux routes)", Thèse de doctorat en Sciences de l'Information Géographique, université de Marne la Vallée, France.

# nouveaux 2011

**CARTE DU MONDE ( FRANÇAIS )**



**CARTE ROUTIERE D'ALGER ET SES ENVIRONS ( ARABE )**



**CARTE DU MONDE ( ANGLAIS )**



**CARTE ROUTIERE D'ALGER ET SES ENVIRONS ( FRANÇAIS )**



**CARTE DU MONDE ( ARABE )**



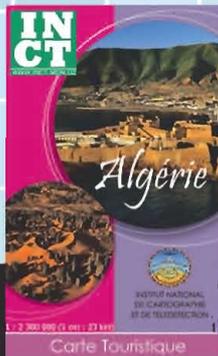
**CARTE DU MONDE POLITIQUE ( ARABE )**



**CARTE DU MONDE POLITIQUE ( FRANÇAIS )**



**CARTE TOURISTIQUE D'ALGERIE**



**CARTE ROUTIERE D'ALGER ET SES ENVIRONS ( FRANÇAIS )**



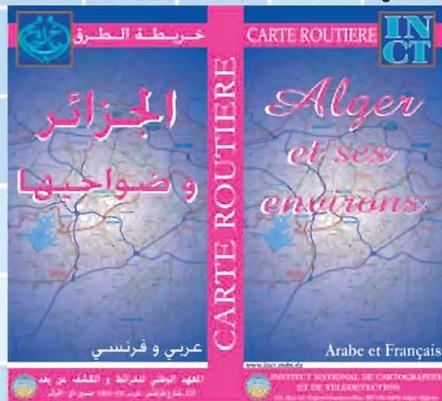
**CARTE ROUTIERE D'ALGER ET SES ENVIRONS ( FRANÇAIS )**



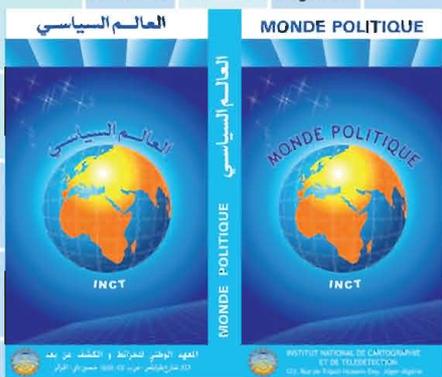
Plus d'infos sur :  
[www.inct.mdn.dz](http://www.inct.mdn.dz)

# nouveaux 2011

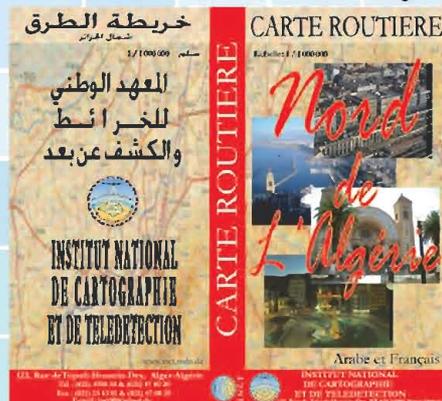
## COFFRET DOUBLE CARTES ALGER ET SES ENVIRONS ( ARABE ) ET ( FRANÇAIS )



## COFFRET DOUBLE CARTES DU MONDE ( ARABE ) ET ( FRANÇAIS )



## COFFRET DOUBLE CARTES NORD DE L'ALGERIE ( ARABE ) ET ( FRANÇAIS )



## NORD DE L'ALGERIE ( FRANÇAIS )



## NORD DE L'ALGERIE ( ARABE )



## NORD DE L'ALGERIE ( FRANÇAIS )



## NORD DE L'ALGERIE ( ARABE )



## PLANS DE VILLES



Plus d'infos sur :  
[www.inct.mdn.dz](http://www.inct.mdn.dz)

# Une Nouvelle Perception du Monde



**GPCDZ Distributeur Officiel du  
Logiciel **MapInfo****



# Le Système d'Information Géographique qui offre gain de temps, économies de ressources et productivité

**MapInfo Professional** est une application d'analyse géographique et de cartographie basée sur Microsoft Windows mise au point par les experts du SIG et du Géomarketing. Conçue spécialement pour offrir un meilleur aperçu des relations entre les données et la géographie, MapInfo Professional offre la possibilité de gérer, visualiser et analyser ces informations afin de les exploiter au mieux et de permettre des prises de décisions plus pertinentes.

**MapInfo Professional v10.0**, la nouvelle version de l'application, ouvre de nouveaux horizons en termes de solutions de SIG et de Géomarketing. MapInfo Professional v10.0 offre un panel de nouvelles fonctionnalités dynamiques et interactives, notamment un contrôle des couches optimisé, une interface utilisateurs restylée, un accès aux données renforcé notamment pour les standards PostGIS et SQL Server et des capacités de distribution et de partage des cartes:

## Interface Utilisateur Restylée

- Accroît l'efficacité, les capacités d'organisation ainsi que la productivité de ses utilisateurs.
- Permet par exemple de positionner les barres de menus et d'outils sur tous les bords de l'écran pour optimiser son espace de travail et le rendre plus convivial.

## Contrôle des Couches Optimisé

- Fonctionnalité entièrement repensée.
- Se présente comme une fenêtre flottante ou ancrée demeurant visible tout au long de la conception des cartes pour un accès simple, rapide et interactif à tout moment.
- Style des couches et paramétrage des étiquettes très facilement accessibles.
- Pavés de styles affichés à côté de chaque couche, permettant de voir le style et de directement le modifier.
- Permet d'organiser sa carte en plaçant les couches dans une arborescence de groupes offrant un gain de temps significatif en rendant le document plus facilement utilisable, maintenable et diffusable vers d'autres utilisateurs.
- Possibilité, d'un simple clic, de paramétrer l'affichage d'une seule couche ou d'un ensemble de couches de façon simultanée.
- Nouvelle fonction d'aperçu permettant de valider la pertinence des modifications.
- Accroît la qualité des documents tout en réduisant de façon considérable le temps nécessaire pour la définition de l'affichage des couches et des étiquettes.
- Prend en compte la capacité de MapInfo Professional à gérer plusieurs fenêtres cartes en listant toutes les couches des différentes fenêtres, et d'un simple mouvement de souris copier plusieurs couches d'une fenêtre carte vers une autre.

## Accès aux bases de données renforcé

- Support des derniers standards de données du marché.
- Microsoft® Office 2007 – support des nouveaux formats de fichiers Microsoft Excel et Microsoft Access.
- PostGIS – accès natif en lecture, en écriture et en création à la base de données spatiale open source Postgre SQL/PostGIS et sans middleware.
- Microsoft® SQL Server 2008 Spatial - accès natif en lecture, en écriture et en création à la base de données spatiale SQL Server 2008 de Microsoft et ceci sans middleware.
- Oracle 11G et annotations.
- Support des transactions OGC WFS.

## Distribution et partage des cartes dynamiques

- Intégration d'éléments d'habillage cartographique comme une barre d'échelle.
- Possibilité de diffuser les cartes au format PDF multi-couches.
- Permet à l'utilisateur de sélectionner dans Adobe Reader les couches d'informations qu'il souhaite visualiser.
- Reprise du nouveau contrôle des couches dans le fichier PDF multi-couches.

Nous vous invitons à nous contacter au **021-36-19-00** ou à l'adresse [info@gpcdz.com](mailto:info@gpcdz.com) pour en savoir plus sur la version 10 de **MapInfo Professional**.

# 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 le volume annuel **n° 114, 2009**, ainsi que dans la **base de données FRANCIS-Géographie du CNRS** interrogeable sur les serveurs internationaux Questel.Orbit, OCLC/PICA, RLG et sur CD-ROM (Service payants), et dans la **BGI** publié par l'UMR PRODIG qui paraît tout les ans :

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

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

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

# Pour soumettre un article...

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

**Pour faciliter votre démarche, nous vous adressons quelques recommandations :**

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

**LES ARTICLES DE RECHERCHE - DÉVELOPPEMENT :** portent soit sur des travaux ayant une originalité et une contribution novatrice aidant au développement des sciences géographiques, soit sur des réalisations et études concrètes qui 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 l'adresse suivante: [inct99@wissal.dz](mailto:inct99@wissal.dz)



**INSTITUT NATIONAL DE CARTOGRAPHIE ET DE TELEDETECTION**

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

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

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

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

## Bulletin d'abonnement

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

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

**Prévoir en sus pour les frais d'expédition:**

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

**Mode de règlement :**

**Pour l'Algérie :**

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

**Pour l'étranger :**

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

Nom et prénom / raison sociale : .....

Fonction : .....

Adresse complète : .....

N°Tél : ..... N°Fax : ..... Email : .....

Date

Signature

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

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



**Bulletin des Sciences Géographiques**  
**Institut National de Cartographie et Télédétection**  
123, Rue de Tripoli, BP 430, Hussein Dey - 16040 Alger.  
**Tél:** (213) 021 47 09 20 & 021 47 00 30  
**Fax:** (213) 021 47 00 29 & 021 23 43 81  
**E-mail:** [inct99@wissal.dz](mailto:inct99@wissal.dz)