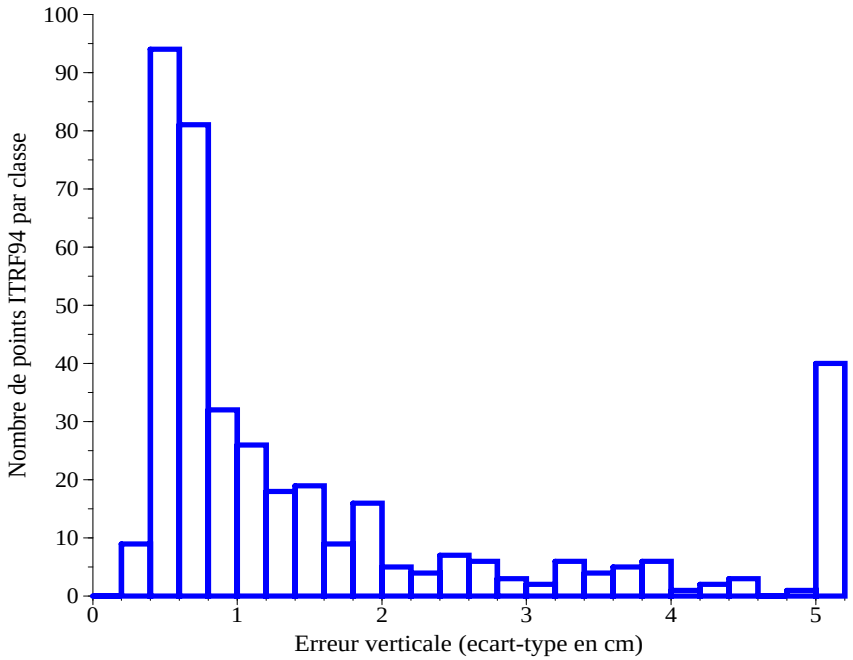
Annexe E: Quelques éléments sur la qualité de la solution préliminaire de l'ITRF96

Cette annexe est rédigée dans le but de donner quelques éléments sur la qualité de la dernière solution de l'ITRF qui, à l'heure où le mémoire de thèse était présenté, n'était pas disponible. Cette solution a été préparée, puis calculée en août 1997, et des résultats préliminaires ont été présentés à l'Assemblée Scientifique de l'Association Internationale de Géodésie qui s'est tenue à Rio de Janeiro fin août 1997 [Boucher et al, 1997].

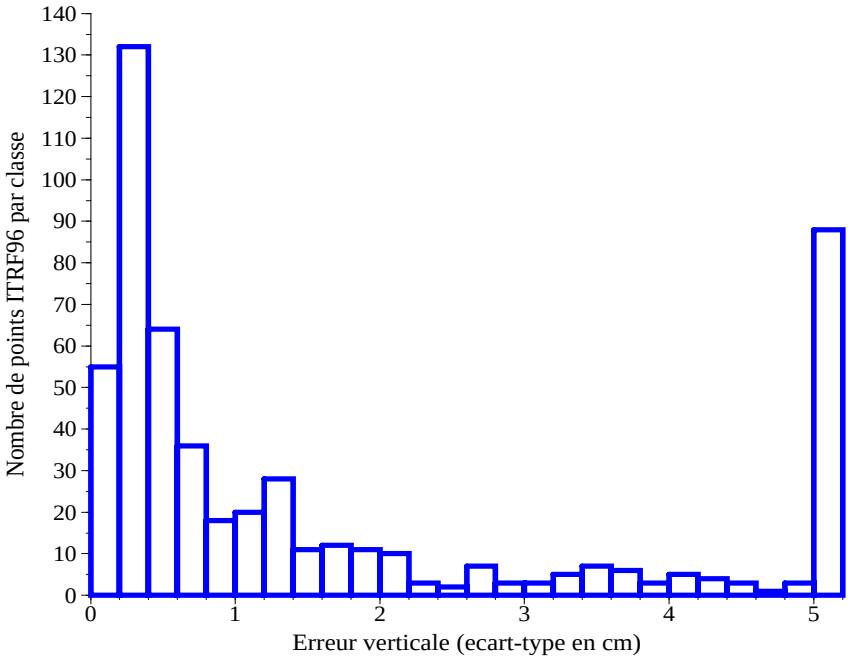
Des analyses de qualité des résultats de la solution préliminaire de l'ITRF ont été entreprises par les membres du LAREG impliqués dans l'activité systèmes terrestres de référence. En particulier, lors de la journée sur la détermination d'orbite précise, organisée à Toulouse le 17 novembre 1997, Sillard [1997-b] a exposé une analyse statistique assez détaillée de la nouvelle solution. La figure E.1 rappelle sous une forme synthétique le niveau de précision atteint pour les déterminations en hauteur des points dans le calcul de l'ITRF94. Cette précision est estimée à partir des erreurs formelles issues du calcul de combinaison des jeux de coordonnées fournis par les divers centres d'analyse associés à l'IERS. La figure E.2 fait de même pour la solution récente de l'ITRF.

Figure E.1 : Niveau de précision de l'estimation de la composante verticale des 399 points de l'ITRF94. Histogramme établi suivant les écart-types issus du calcul.



On constate sur ces histogrammes que le mode principal des écart-types en hauteur se situe autour de 0.6 cm pour la solution ITRF94, alors qu'il est de 0.3 cm pour la nouvelle solution. Le pourcentage de points dont la position verticale est déterminée à mieux que le centimètre en terme d'écart-type est comparable dans les deux cas, de l'ordre de 55%. Il convient toutefois de remarquer que nous sommes passés de 399 points répartis sur 201 sites dans l'ITRF94 (cf. figure 73) à 540 points répartis sur 290 sites dans la dernière solution. Dans le premier cas, seulement 2% des points ont une précision inférieure à 0.4 cm en terme d'écart-type sur la hauteur, contre 35% des points dans la solution préliminaire de l'ITRF96.

Figure E.2 : Niveau de précision de l'estimation de la composante verticale des 540 points de la solution préliminaire de l'ITRF96. Histogramme établi suivant les écart-types issus du calcul.



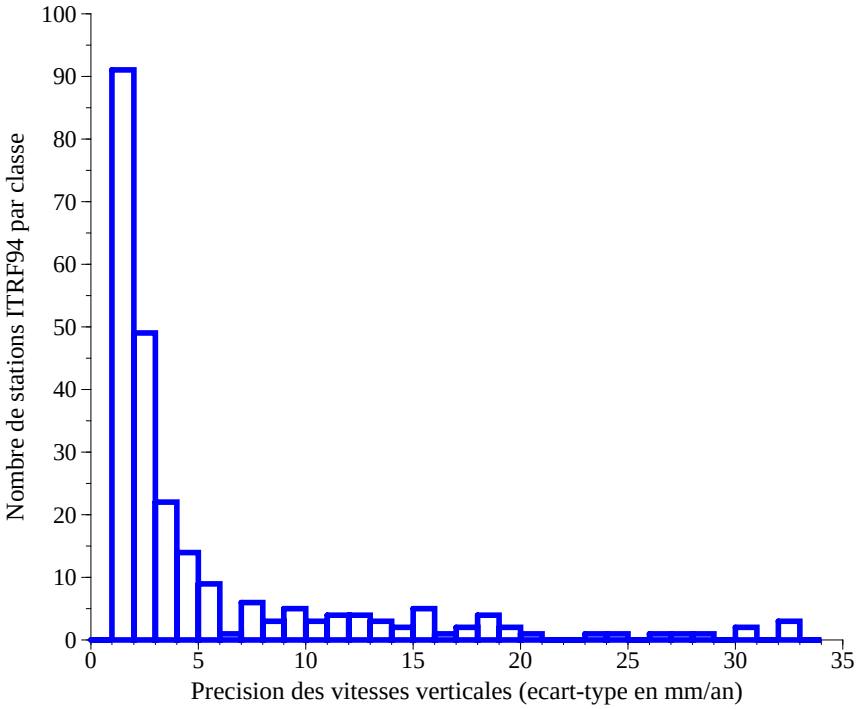
Les deux graphiques précédents traduisent une amélioration qui, de fait, est générale. Elle apparaît aussi bien dans l'estimation des autres composantes du positionnement que dans les indicateurs de qualité fondés sur l'étude des résidus [Sillard, 1997-b]. Nous encourageons le lecteur intéressé de se rapporter à cette présentation en attendant la publication prochaine des résultats de la solution définitive de l'ITRF96. Selon Sillard [1997-b], l'ITRF96 présente une amélioration significative en matière d'exactitude et de précision sur la détermination des coordonnées qui serait de l'ordre de 0.5 cm par rapport à l'ITRF94. Les progrès sensibles qui sont observés en trois ans dans la réalisation du système terrestre s'expliquent par:

• d'une part, la qualité des données fournies en entrée du processus de combinaison, à savoir les solutions individuelles fournies par les divers centres d'analyse associés à l'IERS et issues du traitement des mesures de géodésie spatiale;

• d'autre part, la mise en oeuvre de nouveaux modèles développés dans le processus de combinaison lui-même, à savoir, le modèle physique qui intègre de manière cohérente les coordonnées et les vitesses de stations terrestres (cf. E.VI.3) et le modèle stochastique qui désormais prend en compte les matrices de covariance complètes des jeux fournis. La calibration des variances de chaque jeu s'effectue en faisant correspondre ces variances à la distribution observée lors de l'ajustement: l'estimation des composantes de la variance s'effectue par une méthode dite de Helmert.

Sillard [1997-b] met en évidence la cohérence du champ de vitesse de l'ITRF96 en propageant la solution obtenue à la date 1993.0 vers une date 1999.8. Le résultat est très satisfaisant surtout lorsqu'on le compare à celui qui est obtenu avec l'ITRF94 et son champ de vitesse associé. Notre intérêt se portant sur l'estimation des vitesses verticales de points, nous avons regardé d'un peu plus près ce nouveau champ de vitesse. L'histogramme de la figure 79 qui avait été présenté dans le chapitre VI rappelle l'ordre de grandeur de la précision des vitesses verticales de l'ITRF94. Cette précision est estimée par l'écart-type associé, obtenu du calcul de combinaison des jeux de coordonnées. L'histogramme figure E.3 fait de même pour l a nouvelle solution.

Figure 79 (rappel) : Niveau de précision de l'estimation de la vitesse verticale des points de la solution ITRF94. Histogramme établi suivant les écart-types issus du calcul.



On avait remarqué dans la figure 79 un mode principal situé autour de 1 à 2 mm/ an, avec 38% des vitesses verticales déterminées avec un écart-type inférieur à 2 mm/an. Aucune vitesse n'était cependant estimée à mieux que le millimètre par an. Aujourd'hui, on constate que 21% des sites de la nouvelle solution présentent une vitesse verticale estimée à mieux que le millimètre par an, et 10% à mieux que 0.5 mm/an (cf. figure E.4) !

Figure E.3 : Niveau de précision de l'estimation de la vitesse verticale des sites de la solution préliminaire de l'ITRF96. Histogramme établi suivant les écart-types issus du calcul.

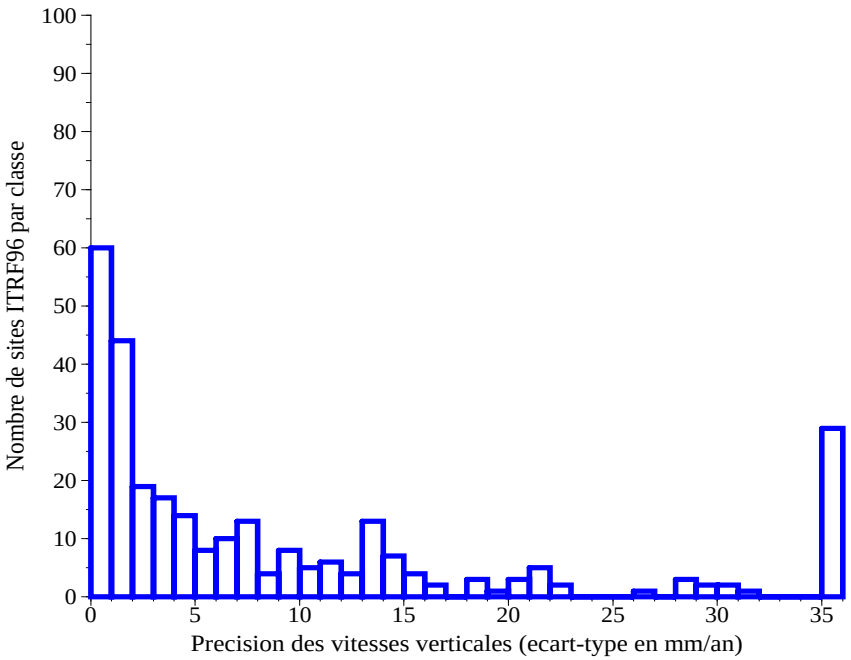
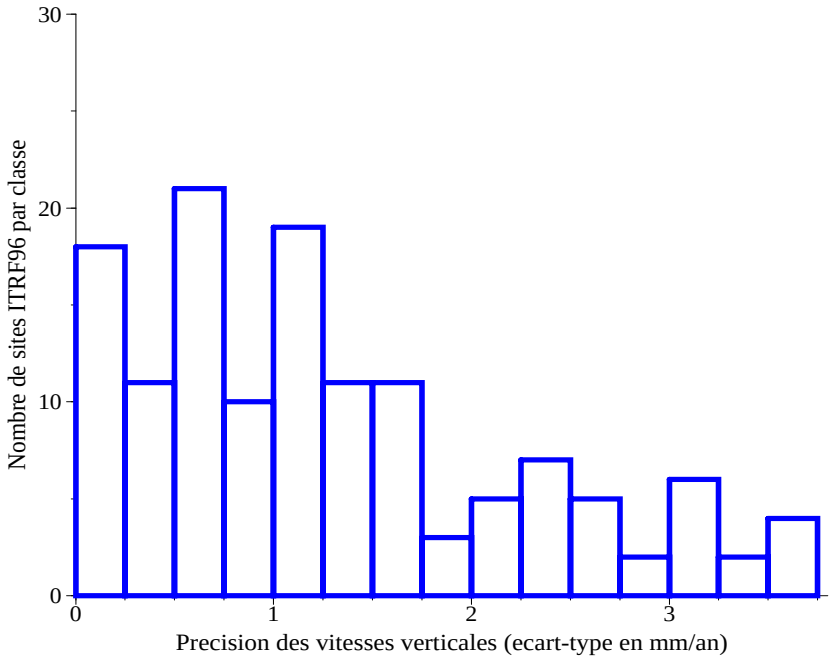


Figure E.4 : Détail de la répartition des vitesses verticales de l'ITRF96 estimées avec une erreur formelle (écart-type) inférieur à 2-3 mm/an.



Par ailleurs, nous avions étudié la précision relative de l'estimation des vitesses ITRF94 à partir de l'analyse du coefficient de variation, défini comme le rapport de l'écart-type à la valeur absolue de la variable aléatoire considérée (cf. relation E.II.9). Nous avions vu que plus ce coefficient est faible et meilleure était la qualité de l'estimation. La figure 82 montrait que, dans le cas d'une variable aléatoire gaussienne, un coefficient de variation de 1/5 permet de déterminer de manière certaine le signe de la variable. Un coefficient de 1/2 permet de connaître le signe avec une probabilité encore importante d'environ 98%, en revanche pour un coefficient de 1, la probabilité se réduit à environ 83,5%.

Si l'on considère que la variable suit une loi de probabilité quelconque, nous avions vu qu'un coefficient de variation supérieur à 1/2 ne permet pas a priori de discriminer, avec un niveau de confiance statistique d'au moins 75% [Bougeard, 1990], si la grandeur vraie que l'on cherche à estimer est positive ou négative.

L'histogramme de la figure 83 indiquait que seulement 16% des vitesses verticales estimées dans l'ITRF94 sont associées à un coefficient de variation inférieur à 1/2, et 35% à un coefficient inférieur à l'unité. Dans la solution préliminaire de l'ITRF96, on constate dans l'histogramme de la figure E.5 que 37% des sites ont coefficient de variation inférieur à 1/2, et 59% un coefficient inférieur à l'unité. De plus, 22% des sites ont un coefficient inférieur à 1/5 alors que seulement 3% des points de la solution ITRF94 ne présentaient un tel résultat.

Figure 83 (rappel) : Histogramme du coefficient de variation calculé pour les vitesses verticales estimées dans l'ITRF94.

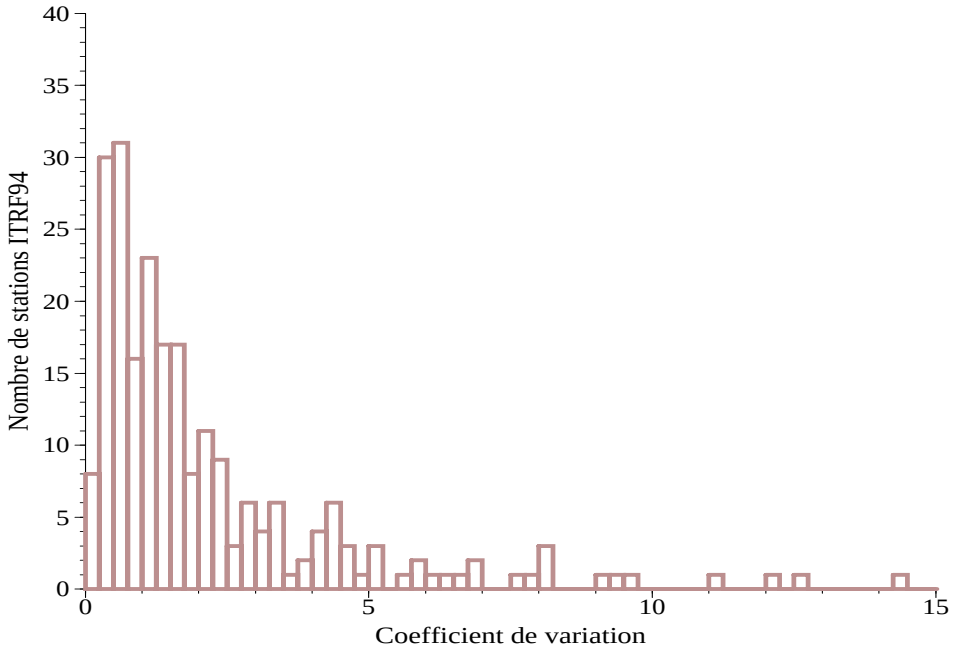
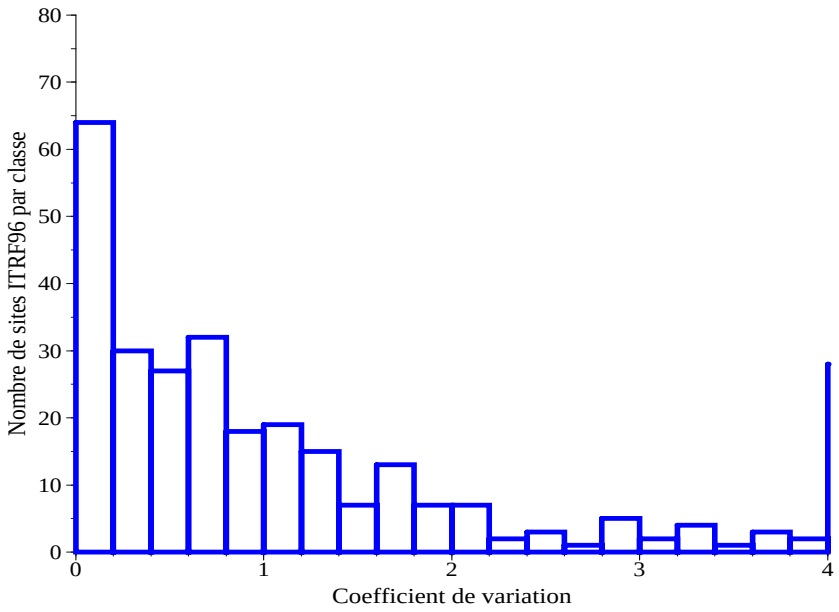


Figure E.5 : Histogramme du coefficient de variation calculé pour les vitesses verticales des sites de l'ITRF96.



La principale conclusion de cette annexe est que, de toute évidence, le développement considérable des recherches dans le domaine de la géodésie spatiale rend certaines conclusions provisoires et rapidement périmées. Alors qu'aucune vitesse n'était estimée à mieux que le millimètre par an dans l'ITRF94, 21% des sites présentent une vitesse verticale à mieux que cette précision dans la nouvelle solution, et 10% à mieux que 0.5 mm/an. Par ailleurs, dans au moins 35% des sites de l'ITRF96, nous sommes en mesure de dire si le point subit un mouvement d'affaissement ou de soulèvement avec un niveau de confiance statistique d'au moins 75%.

Nous avons vu les principales raisons qui expliquent les progrès observés dans la qualité des nouveaux résultats. Mais nous avons omis de citer explicitement un argument qui concerne l'estimation des vitesses, celle que nous invoquions justement pour expliquer le manque de résultats intéressants pour nous dans l'ITRF94 : « les mesures précises sont récentes, et par conséquent trop brèves pour fournir des résultats clairs et significatifs » (cf. chapitre VI). Trois ans séparent l'ITRF94 de l'ITRF96, et le cumul des observations permet déjà un gain considérable de précision dans l'estimation des vitesses verticales. Notons à cet égard que les histogrammes F7 et E3 suggèrent un transfert de la précision des points des classes 1-2 mm/an et 2-3 mm/an vers la gauche alors que les nouveaux sites apparaissent dans les classes mal déterminées à droite du graphique, notamment la classe de plus de 35 mm/an.

Il s'agit à présent de faire les efforts nécessaires pour généraliser ce niveau de précision de quelques dixièmes de millimètres par an, notamment vers les points qui intéressent les chercheurs concernés par l'étude de l'évolution du niveau de la mer à partir des marégraphes.

Je tiens enfin à remercier P. Sillard et Z. Altamimi de m'avoir fourni les éléments qui m'ont permis d'écrire cette annexe afin d'actualiser quelque peu les résultats de cette thèse.

Bibliographie

1. **Barnett T.P. (1984)**
The estimation of "global" sea level change: a problem of uniqueness. Journal of Geophysical Research, Vol. 89, Nr. C5, pp. 7980-7988.

2. **Boucher C., M. Lefebvre, C. Le Provost, P. Mazzega et B. Simon (1988)**
Le rattachement de marégraphes à un système géodésique mondial par techniques spatiales Groupe de Recherches de Géodésie Spatiale, Note Technique n°7, mars 1988, 34 pp.

3. **Carter W.E., D.G. Aubrey, T.F. Baker, C. Boucher, C. Le Provost, D.T. Pugh, W.R. Peltier, M. Zumberge, R.H. Rapp, R.E. Schutz, K.O. Emery and D.B. Enfield (1989)**
Geodetic fixing of tide gauge bench marks. Woods Hole Oceanographic Institution Technical Report, WHOI-89-31, CRC-89-5, 44 pp.

4. **Carter W.E. (ed.) (1994)**
Report of the Surrey Workshop of the IAPSO Tide Gauge Bench Mark Fixing Committee. December 13-15, 1993. Institute of Oceanographic Sciences Deacon Laboratory, Wormley, U.K. NOAA Technical Report NOSOES0006, 81 pp.

5. **Douglas B.C. (1991)**
Global sea level rise. Journal of Geophysical Research, Vol. 96, C4, pp. 6981-6992.

6. **Emery K.O. & D.G. Aubrey (1991)**
Sea levels, land levels, and tide gauges. Springer Verlag, 237 pp.

7. **Gornitz V., S. Lebedeff and J. Hansen (1982)**
Global sea level trend in the past century. Science, vol. 215, pp. 1611-1614.

8. **IPCC (1995)**
Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press 1996, 572 pp.

9. **Lisitzin E. (1974)**
Sea level changes. Elsevier Oceanography Series, 8, 286 pp.

10. **Mitrovica J.X. & J.L. Davis (1995)**
Present-day post-glacial sea level change far from the Late Pleistocene ice sheets: Implications for recent analyses of tide gauge records. Geophysical Research Letters, vol. 22, n° 18, pp. 2529-2532.

11. **Peltier W.R. & A.M. Tushingham (1991)**
Influence of glacial isostatic adjustment on tide gauge measurements of secular sea level change. Journal of Geophysical Research, vol. 96, pp. 6779-6796.

12. **Pirazzoli P.A. (1986)**
Secular trends of relative sea-level (RSL) changes indicated by tide-gauge records. Journal of Coastal Research, SI(1), pp. 1-26.

13. **Pugh D. (1987)**
Tides, surges and mean sea-level. John Wiley & Sons, 472 pp.

14. **Trupin A. and J. Wahr (1990)**
Spectroscopic analysis of global tide gauge sea level data. Geophysical Journal International, Vol. 100, pp. 441-453.

15. **Vignal J. (1935)**
Les changements du niveau moyen des mers le long des côtes en Méditerranée et dans le monde. Extrait des Annales des Ponts et Chaussées. Mémoires et Documents. Numéro d'octobre, 52 pp.

16. **Willis P. & Boucher C. (1987)**
Tide gauge connection using GPS. XIXth Symposium, Vancouver, Canada, CC/G 525, 12 pp.

Références bibliographiques

17. **Alley R.B. (1995)**
Large ice sheets and sea-level change. NASA/NOAA/NSF, Workshop on Global Sea-Level Change, November 15-17, 1995, RSMAS, University of Miami, Florida.

18. **Altamimi Z. (1990)**
Combinaison de techniques spatiales pour la détermination et la maintenance d'un système de référence terrestre centimétrique. Thèse de doctorat de l'Observatoire de Paris, 173 pp.

19. **Altamimi Z., C. Boucher et P. Sillard (1996)**
Terrestrial reference frame: simultaneous combination of station positions and velocities of various space geodetic networks. AGU Fall Meeting, San Francisco, 15-19 december, 1996. Publications du LAREG, Série Communication CM 36.

20. **Altamimi Z. (1997)**
Analyse d'un logiciel de combinaison de positions et de vitesses tridimensionnelles. Publications du LAREG, Série Memorandum MM 17, mai 1997.

21. **Amato A. & C. Chiarabba (1995)**
Recent uplift of the Alban Hills Volcano (Italy): evidence for magmatic inflation ? Geophysical Research Letters, vol. 22, n° 15, pp. 1985-1988.

22. **Arbour B. (1994)**
Etude des effets des multitrajets sur le positionnement GPS avec les mesures de phase des ondes porteuses. Mémoire de la Faculté de Foresterie et de Géomatique, Département des sciences géodésiques et de télédtection, 108 pp.

23. **Argus D.F. & R.G. Gordon (1991)**
No-Net-Rotation Model of Current Plate Velocities Incorporating Plate Motion Model NUVEL-1. Geophysical Research Letters, 18, pp. 2039-2042.

24. **Ashkenazi V., R.M. Bingley, G.M. Whitemore and T.F. Baker (1993)**
Monitoring changes in mean-sea-level to millimeters using GPS. Geophysical Research Letters, vol. 20, n° 18, pp. 1951-1954.

25. **Ashkenazi V., R.M. Bingley and H. Dodson (1994-a)**
The determination of tide gauge heights in the United Kingdom by GPS. In Report of the Surrey Workshop of the IAPSO Tide Gauge Bench Mark Fixing Commitee held at the Deacon Laboratory, Godalming, UK, december 13-15, 1993. Carter (Ed.), pp. 71-75.

26. **Ashkenazi V., R.M. Bingley, C.C. Chang, A.H. Dodson, J.A. Torres, C. Boucher, H. Fagard, J.L. Cartula, R. Quiros, J. Capdevlla, C. Calvert, T.F. Baker, A. Rius and P.A. Cross (1994-b)**
Eurogauge: a west European tide gauge monitoring project. In INSMAP'94: International Symposium on Marine Positioning, Hanover, Germany, 19-23 september 1994, pp. 224-233.

27. **Baker T.F., P.L. Woodworth, G. Blewitt, C. Boucher and G. Wöppelmann (in press)**
A european network for sea level and coastal land level monitoring. Journal of Marine Systems.

28. **Balzas E.I & Douglas B.C. (1979)**
Geodetic levelling and the sea slope along the california coast. Journal of Geophysical Research, Vol. 84, B11, pp. 6195-6206.

29. **Baker T., C. Koblinsky, L. Pezzoli, H.P. Plag, C. Romagnoli, P. Vincent, S. Zerbini and J. Zielinski (1992)**
WEGENER panel on Height variations and secular changes in sea level. Draft. London, December 1992.

30. **Barron E.J. (1995)**
Climate models: how reliable are their predictions? In CONSEQUENCES - The nature & implications of environmental changes, Vol. 1, N° 3, autumn 1995.

31. **Berger A. & P. Pestiaux (1986)**
Modelling the astronomical theory of paleoclimates in the time and frequency domain. An example of the relationship between ong term and short term climate changes. Reidel Publishing Company. Current Issues in Climate Research, pp. 77-96

32. **Berry W. (1987)**
Growth of a prehistoric time scale: based on organic evolution. Revised edition, Blackwell Scientific Publications, Palo Alto, 202 pp.

33. **Bilham R. (1991)**
Earthquakes and sea level: space and terrestrial metrology on a changing planet. Reviews of Geophysics, 29, pp. 1-30, february 1991.

34. **Biju-Duval B. (1994)**
Océanologie. Dunod, Collection Géosciences, 247 pp.

35. **BIPM (1991)**
Le Système International d'Unités. Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres, France.

36. **Blanchon P. (1995)**
Catastrophic sea-level rise and reef drowning 7.6 ka ago: an omen? NASA/NOAA/NSF, Workshop on Global Sea-Level Change, November 15-17, 1995, RSMAS, University of Miami, Florida.

37. **Blewitt G. (1994)**
The Global Positioning System. In Carter W.E. (ed.): *Report of the Surrey Workshop of the IAPSO Tide Gauge Bench Mark Fixing Committee*. NOAA Technical Report NOSOES0006, pp. 17-26.

38. **Bonnetain P. (1987)**
Instruction à l'usage des techniciens du nivellement IGN, Instructions Techniques IT/G 100, SGN n° 27624, 126 pp.

39. **Bonnetain P. (1993)**
Les techniques de nivellements Actes du séminaire "Élévation du niveau de la mer le long des côtes de France : mesures - impacts - réponses", Paris, 6-7 déc. 1993, publiés par le Ministère de l'Environnement, mai 1994, pp. 77-91.

40. **Botton S., F. Duquenne, Y. Egels, M. Even et P. Willis (1997)**
GPS localisation et navigation. Conseil National de l'Information Géographique, Groupe de Positionnement Statique et Dynamique. Editions Hermès, 159 pp.

41. **Boucher C. (1979)**
Les transformations géométriques entre systèmes géodésiques. Rapport Technique de l'IGN, RT/G 3.

42. **Boucher C. (1985)**
Relativistic effects in geodynamics. IAU Symposium, Leningrad, Archives IGN/SGN 27387, CC/G 509.

43. **Boucher C. (1986)**
Global geometric vertical monitoring of tide gauges. Methods and applications. Presented at Symposium on "Height determination and crustal movements in Western Europe, Hannover, CC/G 515, 8 pp.

44. **Boucher C., M. Lefebvre, C. Le Provost, P. Mazzega et B. Simon (1988)**
Le rattachement de marégraphes à un système géodésique mondial par techniques spatiales. Groupe de Recherches de Géodésie Spatiale, Note Technique n° 7, mars 1988, 34 pp.

45. **Boucher C. & Z. Altamimi (1989)**
The initial IERS Terrestrial Reference Frame. IERS Technical Note 1, Observatoire de Paris.

46. **Boucher C. (1990-a)**
Reference systems related to GPS. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Volume 2, pp. 207-216.

47. **Boucher C. (1990-b)**
Definition and realization of terrestrial reference systems for monitoring earth rotation. Geophysical Monograph, 59, pp. 197-201. Copyright 1990 by IUGG and AGU.

48. **Boucher C. (1991)**
Marégraphes localisés en absolu. Présentation au Programme National de Télédétection spatiale de l'INSU.

49. **Boucher C. & Z. Altamimi (1991-a)**
ITRF89 and other realizations of the IERS Terrestrial Reference System for 1989. IERS Technical Note 6, Observatoire de Paris, april 1991.

50. **Boucher C. & Z. Altamimi (1991-b)**
ITRF90 and other realizations of the IERS Terrestrial Reference System for 1990. IERS Technical Note 9, Observatoire de Paris, december 1991.

51. **Boucher C., Z. Altamimi and L. Duhem (1992)**
ITRF91 and its associated velocity field. IERS Technical Note 12, Observatoire de Paris.

52. **Boucher C., Z. Altamimi and L. Duhem (1993)**
ITRF92 and its associated velocity field. IERS Technical Note 15, Observatoire de Paris.

53. **Boucher C. & Z. Altamimi (1993)**
Development of a Conventional Terrestrial Reference Frame. Contributions of Space Geodesy to Geodynamics: Earth Dynamics Geodynamics, vol. 24, pp. 89-96. Copyright 1993 by American Geophysical Union.

54. **Boucher C. & G. Wöppelmann (1993)**
Combinaison de la marégraphie et de la géodésie pour l'estimation de la variation à long terme du niveau des mers. Poster présenté au séminaire de travail "Elévation du niveau de la mer", Paris, 6-7 décembre 1993. Notice interne IGN-SGN 27.750, CC/G 590, 28 pp.

55. **Boucher C., Z. Altamimi and L. Duhem (1994)**
Results and analysis of the ITRF93. IERS Technical Note 18, Observatoire de Paris.

56. **Boucher C. & G. Wöppelmann (1994-a)**
Apport de la géodésie à la surveillance du niveau des mers. Notice interne IGN-SGN 27.807, RT/G 39, 15 pp.

57. **Boucher C. & G. Wöppelmann (1994-b)**
Proposal for a European Primary Tide Gauge Network. Paper presented at the EUREF TWG Meeting, Francfort, dec. 15-16, 1994. Notice interne IGN-SGN 27.829, CC/G 613, 12 pp.

58. **Boucher C. (1995)**
Unification des références verticales. Module de formation continue de l'ENSG « Notions fondamentales en géodésie, Saint-Mandé, 13-15 mars 1995.

59. **Boucher C., Z. Altamimi, M. Feissel and P. Sillard (1996)**
Results and analysis of the ITRF94. IERS Technical Note 20, Observatoire de Paris.

60. **Boucher C. & Z. Altamimi (1996)**
International Terrestrial Reference Frame. GPS World, September 1996, vol. 7, n° 9, pp. 71-74.

61. **Boucher C., Z. Altamimi and P. Sillard (1997)**
The ITRF96 realization of the International Terrestrial Reference System. Paper presented at the Scientific Assembly of the International Association of Geodesy, IAG97, September 1997, Rio de Janeiro, Brazil.

62. **Bougeard M.L. (1990)**
Méthodes d'analyse statistique multivariée. Rapport technique de l'Observatoire de Paris.

63. **Bourroche J.M. & G. Saporta (1987)**
L'analyse de données. Presses Universitaires de France, collection "Que sais-je?" n° 1854, 127 pp.

64. **Bouteloup J. (1979)**
Vagues, marées, courants marins. Presses Universitaires de France, collection "Que sais-je?" n° 438, 128 pp.

65. **Castle R.O. & Elliott M.R. (1982)**
The sea slope problem revisited. Journal of Geophysical Research, Vol. 87, B8, pp. 6989-7024.

66. **Chao B.F. (1995)**
Anthropogenic impact on global geodynamics due to reservoir water impoundment. Geophysical Research Letters, Vol. 22, N° 24, pp. 3529-3532.

67. **Commission Territoriale de Toponymie (1973)**
Toponymie des Terres Australes. Presses de l'Avenir Graphique, Dépôt légal N° 1037, 433 pp.

68. **Couesnon P. (1997)**
Amiral Yves Joseph de Kerguelen. Acta Geographica, n° 109, pp. 62-67

69. **Coutrot B. & F. Droesbeke (1984)**
Les méthodes de prévision. Presses Universitaires de France, collection "Que sais-je?" n° 2157, 127 pp.

70. **Cox S.J., W.C. Wang and S.E. Schwartz (1995)**
Climate response to radiative forcings by sulfate aerosols and greenhouse gases. Geophysical Research Letters, Vol. 22, N° 18, pp. 2509-2512, september 1995.

71. **Crowley T.J. (1996)**
Remembrance of things past: greenhouse lessons from the geologic record. In CONSEQUENCES - The nature & implications of environmental changes, Vol. 2, N° 1, winter 1996.

72. **Daly R.A. (1934)**
The changing world of the ice age. New Have: Yale University Press.

73. **Daniel L. (1996)**
L'IGS, un service scientifique international de support pour l'utilisation du GPS. Hermès, Revue internationale de géomatique, Volume 6 - n° 2-3/1996, pp. 281-288.

74. **Dars M. (1971)**
Les marées. Ecole Nationale Supérieure de Techniques Avancées. Département Océanologie Hydrographie, édition 1971 (2 tomes).

75. **DeMets C., R.G. Gordon, D.F. Argus, and S. Stein (1994)**
Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions. Geophysical Research Letters, 21, pp. 2191-2194.

76. **DeMets C., T. Dixon, F. Farina, E. Calais, P. Jansma and P. Mann (1996)**
GPS-derived velocities in the Northeastern Caribbean: implications for Caribbean-North America motion and the NUVEL-1A model. Invited presentation at the AGU Fall Meeting, San Francisco, 15-19 december, 1996.

77. **Dickey J.O., C. Boucher, B.C. Douglas, B.H. Hager, T.A. Herring, H.G. Kahle, J.B. Minster, W.R. Peltier and C.R. Wilson (1992)**
The International Association of Geodesy's role in Global Change. Position paper presented to the IAG executive commitee meeting, 16 pp.

78. **Douglas B.C. (1992)**
Global sea level acceleration. Journal of Geophysical Research, Vol. 96, C8, pp. 12699-12706.

79. **Douglas M.M., J.L. Chapin and G.A. Maul (1996)**
State-of-the-art sea level and meteorological monitoring systems in the Intra-Americas Sea. Marine Geodesy, Volume 19, Number 2, April-June 1996, pp. 105-114.

80. **Ducher G. (1964)**
Les médimarémètres. Bulletin d'Information de l'Association des Ingénieurs Géographes n°30, novembre 1964, pp. 65-95.

81. **Dupuy P.Y. (1993)**
The SHOM ultrasonic tide gauge. Joint IAPSO-IOC Workshop on "Sea level measurements and quality control", Paris, 12-13 october 1992. Workshop Report 81, pp. 8-12.

82. **Ekman M. (1992)**
Postglacial rebound and sea level phenomena, with special reference to Fennoscandia and the Baltic Sea. Geodesy and Geophysics No. 115. Lecture notes, NKG Autumn school in Helsinki, September 7-13, 1992, pp. 7-70.

83. **Elosegui P. J.L. Davis, R.T.K. Jaldehag, J.M. Johansson, A.E. Niell and I.I. Shapiro (1995)**
Geodesy using the Global Positioning System: The effects of signal scattering on estimates of site position. Journal of Geophysical research, Vol. 100, N° B7, pp. 9921-9934.

84. **Erickson III D.J., R.J. Oglesby and S. Marsall (1995)**
Climate response to indirect anthropogenic sulfate forcing. Geophysical Research Letters, vol. 22, n° 15, pp. 2017-2020.

85. **Fagard H. (1995)**
Kerguelen : calcul combiné des rattachements IGN 1992 et 1994. IGN/SGN n° 27837, CR/G 61.

86. **Fischer I. (1976)**
On the mystery of mean sea level slopes. International Hydrographic Review, Monaco, LIII (2), july 1976.

87. **Flemming N.C. (1971)**
Cities in the sea. Doubleday & C., Garden City, New York, 222 pp.

88. **Flemming N.C. (1995)**
Dans le dossier: Les cités englouties de Méditerranée. Revue GEO, 198, août 1995, pp. 152-154.

89. **Fu L.L., C.J. Koblinsky, J.F. Minster and J. Picaut (1996)**
Reflecting on the first three years of TOPEX/POSEIDON. EOS (American Geophysical Union), vol. 77, n° 12, March 19, 1996, pp. 109, 111, and 117.

90. **Ghil M. (1995)**
Théorie de la dynamique du climat. Cours donnés à l'ENS, Ecole Doctorale "Physique des milieux naturels".

91. **Gill S. K., T.N. Mero and B.B. Parker (1993)**
NOAA operational experience with acoustic sea level measurement. Joint IAPSO-IOC Workshop on "Sea level measurements and quality control", Paris, 12-13 october 1992. Workshop Report 81, pp. 13-25.

92. **Greenland Ice-core Project (GRIP) Members (1993)**
Climate instability during the last interglacial period recorded in the GRIP ice core. Nature, 364, pp. 203-207.

93. **Guichard H. (1964)**
Les travaux géographiques exécutés par l'IGN aux îles Kerguelen (Campagne 1961 - 1963). Bulletin géodésique n° 28 de Mars 1964.

94. **Gutenberg (1941)**
Changes in sea level, postglacial uplift, and mobility of the earth's interior. Geological Society of America, Bulletin, V. 52, pp. 721-772.

95. **Haq B.U., J. Hardenbol and P.R. Vail (1987)**
Chronology of fluctuating sea-levels since the Triassic. Science, 235, pp. 1156-1167.

96. **Hancock III D.W. & G.S. Hayne (1996)**
Error in TOPEX oscillator drift correction. NASA GSFC Wallops Flight Facility Observational Science Branch. 10 July 1996. Document distributed on the WWW at the following address http://osb3.wff..nasa.gov/topex/

97. **Harrison W.D., K.A. Echelmeyer, J. DeMallie, B. Rabus and J. Sapiano (1995)**
Determination of changes in the volume of mountain glaciers using airborne laser altimetry. NASA/NOAA/NSF, Workshop on Global Sea-Level Change, November 15-17, 1995, RSMAS, University of Miami, Florida.

98. **Heck B. & R. Rummel (1989)**
Strategies for solving the vertical datum problem using terrestrial and satellite geodetic data. International Association of Geodesy Symposia. Sea Surface Topography and the Geoid, Symposium n° 104, Edinburgh, Scotland, August 10-11, 1989, pp. 116-128.

99. **Heflin M.B., D. Jefferson, Y. Vigue, M. Watkins, F. Webb, J. Zumberge and G. Blewitt (1994)**
GPS time series: January 22, 1991 - April 1, 1994. Inter Office Memo 335.4-94-008, Revised November 23, 1994.

100. **Heflin M., W. Bertiger, G. Blewitt, A. Freedman, K. Hurst, S. Lichten, U. Lindqwister, Y. Vigue, F. Webb, T. Yunck and J. Zumberge (1992)**
Global geodesy using GPS without fiducial sites. Jet Propulsion Laboratory, draft version.

101. **Homes G.M. (1992)**
Changing technology - Monitoring sea level change. The Australian Surveyor, march 1992, vol. 37, n° 1, pp. 13-22.

102. **Hopfield H.S. (1969)**
Two-quadratic tropospheric refractivity profile for correcting satellite data. Journal of Geophysical Research, 74, pp. 4487-4499.

103. **Hottier P. (1983)**
Théorie des Erreurs - Estimation de r grandeurs inconnues à partir de n grandeurs observées par la méthode des moindres carrés. IGN, diffusion restreinte, 81 pp.

104. **Houghton H.G. (1985)**
Physical Meteorology. MIT, Cambridge, MA, 442 pp.

105. **Hurault L. (1955)**
Note sur l'utilisation des marégraphes pour la détermination du niveau moyen de la mer. Institut Géographique National, réf. 2893 IGN/C, Paris, le 15 juin 1955.

106. **IGN**
Le sondeur pour marégraphe. Institut Géographique National, Note Technique de la 5ème Division, Section des Instruments de Mesure, Laboratoire de Géophysique, 10 pp.

107. **IGN (1963)**
Le marégraphe fondamental. Institut Géographique National, Notice Technique de la 2ème Division, Géodésie, Section de Nivellement de Précision. Edition provisoire, avril 1963, 8 pp.

108. **IOC (1983)**
Stations marégraphiques opérationnelles. Commission Océanographique Intergouvernementale de l'UNESCO, Série Technique 23, 40 pp.

109.**IOC (1985)**
Manual on sea-level measurement and interpretation: basic procedures. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, IOC Manuals and Guides 14, Volume I, 83 pp.

110.**IOC (1990)**
Global Sea Level Observing System (GLOSS): implementation plan. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Technical Series 35, 90 pp.

111.**IOC (1994)**
Manual on sea-level measurement and interpretation: emerging technologies. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, IOC Manuals and Guides 14, Volume II, 72 pp.

112.**IPCC (1990)**
Climate Change: the IPCC Scientific Assessment. The 1990 report of the IPCC Scientific Assessment Working Group. Cambridge University Press, 364 pp.

113.**ISO (1993)**
Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie. Vocabulaire préparé par un groupe mixte d'experts désignés par les organisations suivantes: BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, et présidé par G. Giacomo (BIPM). Document publié par l'Organisation internationale de normalisation (ISO). 59 pp.

114.**Jouzel J., N.I. Barkov, J.M. Barnola, M. Bender, J. Chapellaz, C. Genthon, V.M. Kotlyakov, V. Lipenkov, C. Lorius, J.R. Petit, D. Raynaud, G. Raisbeck, C. Ritz, T. Sowers, M. Stievenard, F. Yiou and P. Yiou (1993)**
Vostock ice core: extending the climatic records over the penultimate glacial period. Nature, 364, pp. 407-412

115.**Kahle H.G., H. Billiris, G. Corrado, H. Drewes, K. Kaniuth, D. Paradissis, S. Mueller, M.V. Müller, K. Stuber, H. Tremel, G. Veis, G. Verrone and S. Zerbini (1993)**
Monitoring West Hellenic Arc Tectonics and Calabrian Arc Tectonics (« WHAT A CAT ») using the Global Positioning System. Contributions of space geodesy to geodynamics: Crustal Dynamics Geodynamics, Volume 23, pp. 417-428.

116.**Kakkuri J. (Ed.) (1994)**
Final results of the Baltic sea level 1990 GPS campaign. Report of the Finnish Geodetic Institute 94:2, 57 pp.

117.**Kakkuri J. (Ed.) (1995)**
Final results of the Baltic sea level 1993 GPS campaign. Report of the Finnish Geodetic Institute 95:2, 123 pp.

118.**Kasser M. (1983)**
Travaux publiés uniquement quelques années plus tard (cf. Kasser 1989), présentés à l'Académie des Sciences par J.J. Levallois.

119.**Kasser M. (1989)**
Un nivellement de très haute précision : la traversée Marseille-Dunkerque 1983. Compte Rendus de l'Académie des Sciences Paris, t. 309, Série II, pp. 695-700.

120.**La Documentation Française (1950)**
Les terres australes et l'Antarctide française. Recueils et monographies de La Documentation Française.

121.**Laborel J., C. Morhange, R. Lafont, J. Le Campion, F. Laborel-Derguen and S. Sartoretto (1994-a)**
Biological evidence of sea-level rise during the last 4500 years on the rocky coasts of continental southwestern France and Corsica. Marine Geology, 120, pp. 203-223.

122.**Laborel J. & F. Laborel-Derguen (1994-b)**
Biological indicators of relative sea-level variations and of co-seismic displacements in the Mediterranean region. Journal of Coastal Research, 10, 2, pp. 395-415, spring 1994.

123.**Lachenaud M. (1970)**
La précision instrumentale d'ordre scientifique. Masson et Cie, éditeurs, 194 pp.

124.**Lambeck K. (1995)**
Late Pleistocene and Holocene sea-level change in Greece and south-western Turkey: a separation of eustatic, isostatic and tectonic contributions. Geophysical Journal International (1995) 122, pp. 1022-1044.

125.**Lean J. & D. Rind (1996)**
The sun and climate. In CONSEQUENCES - The nature & implications of environmental changes, Vol. 2, N° 1, winter 1996.

126.**Lenon G.W., M.J. Woodland and A.A. Suskin (1993)**
Acoustic sea level measurements in Australia. Joint IAPSO-IOC Workshop on "Sea level measurements and quality control", Paris, 12-13 october 1992. Workshop Report 81, pp. 26-39.

127.**Lenon G.W. & W.McL. Mitchell (1993)**
The stilling well - A help or a hindrance ? Joint IAPSO-IOC Workshop on "Sea level measurements and quality control", Paris, 12-13 october 1992. Workshop Report 81, pp. 52-64.

128.**Le Provost C. (1990)**
Géoïde et niveau moyen de la mer. Revue hydrographique internationale, Monaco, LXVII(1), 40, pp. 175-179, janvier 1990.

129.**Le Provost C. (1991)**
Le niveau de la mer, un index fondamental pour l'océanographie et la climatologie. La Météorologie, 40, pp. 3-12, 1991.

130.**Le Provost C. (1993)**
Les mécanismes des variations du niveau des mers. Actes du séminaire "Élévation du niveau de la mer le long des côtes de France : mesures - impacts - réponses", Paris, 6-7 déc. 1993, publiés par le Ministère de l'Environnement, mai 1994, pp. 19-30.

131.**Le Provost C. & G. Wöppelmann (1994)**
Rapport de mission: Campagne NIVMER94, à bord du Marion Dufresne. Rapport de mission des manipulations effectuées dans les sites de : Crozet-Kerguelen-Amsterdam-Saint Paul, OP 94/4-4, octobre 1994, 65 pp.

132.**Le Provost C., J.M. Molines, F. Lyard and G. Wöppelmann (1995)**
Long term sea level observation programme in the South Indian ocean. A french contribution to WOCE, GLOSS and GOOS. Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) Workshop Report 115, pp. 31-33, Bordeaux, France, 31 january 1995.

133.**Levallois J.J. (1988)**
Mesurer la Terre. 300 ans de géodésie française. Association Française de Topographie. Presses de l'école nationale des ponts et chaussées. 389 pp.

134.**Levitus S. (1982)**
Climatological Atlas of the World Ocean. NOAA Professional Paper n° 13, U.S. Government Printing Office, Washington D.C., 163 pp.

135.**McCarthy D.D. (ed.) (1989)**
IERS Standards (1989). IERS Technical Note 3, Observatoire de Paris, 76 pp.

136.**McCarthy D.D. (ed.) (1992)**
IERS Standards (1992). IERS Technical Note 13, Observatoire de Paris, 150 pp.

137.**McCarthy D.D. (ed.) (1996)**
IERS Conventions (1996). IERS Technical Note 21, Observatoire de Paris, 95 pp.

138.**Menard Y., P. Vincent et N. Picot (1995)**
Altimétrie et circulation océanique. Informations éducatives du CNES diffusées par internet à l'adresse web « http://www-aviso.cls.cnes.fr/Francais/Education/ », 20 pp.

139.**Milankovitch M. (1941)**
Canon of insolation and ice-age problem. Royal Serbian Academy Special Publication, Vol. 132.

140.**Minster J.B. & T.H. Jordan (1978)**
Present-day plate motions. Journal of Geophysical Research, 83, pp. 5331-5354.

141.**Minster J.F. (1994)**
Les océans. Flammarion, Collection DOMINOS n° 33, 126 pp.

142.**Minster J.F., C. Brossier and P. Rogel (1995)**
Variation of the mean sea level from TOPEX/POSEIDON data. Journal of Geophysical Research, Vol. 100, N° C12, pp. 25153-25161, december 15, 1995.

143.**Mireault Y. & F. Lahaye (1993)**
Evaluation of inter-receiver biases between Ashtech, Leica, Rogue, and Trimble GPS receivers. EOS Transactions, AGU 1993 Fall Meeting, Vol. 74, N° 43, p.197.

144.**Mitchum G.T. (1997)**
Mesure de la dérive de l'altimètre avec des marégraphes. CNES, AVISO Newsletter 5, p.8-11.

145.**Neilan R.E., J.F. Zumberge, G. Beutler, and J. Kouba (1995)**
The International GPS Service for Geodynamics (IGS) and A Cooperative Partnership with the Global Sea Level Observing System (GLOSS). Preliminary Report: IOC/G-GLOSS-IV/27, 17 pp.

146.**Nerem R.S. (1995)**
Measuring global mean sea level variations using TOPEX/POSEIDON altimeter data. Journal of Geophysical Research, Vol. 100, N° C12, pp. 25135-25151, december 15, 1995.

147.**Nougier (1971)**
Carte géologique des Kerguelen.

148.**Oberhuber (1995)**
Coupled ocean-atmosphere models and sea level change. NASA/NOAA/NSF, Workshop on Global Sea-Level Change, November 15-17, 1995, RSMAS, University of Miami, Florida.

149.**Odamaki M. & K. Oka (1992)**
Progress of the sea-level observation at Syowa station, Antarctica. Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) Workshop Report 115, pp. 34-38, Bordeaux, France, 31 january 1995.

150.**OMM (1995)**
Plan for the Global Climate Observing System (GCOS), Version 1.0. Organisation Météorologique Mondiale (OMM/WMO), GCOS-14, WMO/TD No. 681, may 1995.

151.**Peixoto J.P. & A.H. Oort (1992)**
Physics of climate. Publisher: American Institute of Physics, New York, 520 pp.

152.**Peltier W.R., W.E. Farrell and J.A. Clark (1978)**
Glacial isostasy and relative sea level: A global finite element model. Tectonophysics, 50, pp. 81-110.

153.**Peltier W.R. (1994)**
Ice age paleotopography. Science, 265, pp. 195-201.

154.**Peltier W.R. (1995)**
VLBI baseline variations from the ICE-4G model of postglacial rebound. Geophysical Research Letters, vol. 22, n° 4, pp. 465-468.

155.**Pirazzoli P. (1976)**
Les variations du niveau marin depuis 2000 ans. Mémoire du Laboratoire de Géomorphologie de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, n°30, 421 pp.

156.**Pirazzoli P. (1995)**
Tectonic shorelines. In *Coastal Evolution: Late Quaternary shoreline morphodynamics.* Cambridge University Press 1995, pp. 451-475.

157.**Poutanen M. (1994)**
Accuracy, repeatability and reliability of the First Baltic Sea Level GPS campaign results. In *Final Results of the Baltic Sea Level 1990 GPS campaign.* Edited by J. Kakkuri. Reports of the Finnish Geodetic Institute,94:2, pp. 49-57.

158.**Poutanen M. (1995)**
A combined solution of the Second Baltic Sea Level GPS campaign. In *Final Results of the Baltic Sea Level 1993 GPS campaign.* Edited by J. Kakkuri. Reports of the Finnish Geodetic Institute,95:2, pp. 115-123.

159.**Pradel A. (1995)**
La réponse continentale à la charge atmosphérique. Rapport de stage du DEA « Astronomie fondamentale, mécanique céleste et géodésie » de l'Observatoire de Paris, 50 pp.

160.**Rapp R.H., Y.M. Wang and N.K. Pavlis (1991)**
The Ohio State 1991 geopotentiel and sea surface topography harmonic coefficent models. Report n° 410, Department of Geodetic Science and Surveying, Ohio State University, Columbus, August 1991.

161.**Rapp R.H. (1994)**
Separation between reference surfaces of selected vertical datums. Bulletin Géodésique, Volume 69, Number 1, pp. 26-31.

162.**Rial J.A. (1995)**
On the origin of the long period sawtooth shape of the late Pleistocene paleoclimate records: the first derivative of the earth's orbital eccentricity. Geophysical Research Letters, Vol. 22, N° 15, pp. 1997-2000.

163.**Rocken C. and C Meertens C. (1991)**
Monitoring selective availability dither frequencies and their effect on GPS data. Bulletin Géodésique (1991) 65, pp. 162-169.

164.**Rotacher M., S. Schaer, L. Mervart and G. Beutler (1995)**
Determination of antenna phase center variations using GPS data. Paper presented at the 1995 IGS Workshop, Potsdam, Germany, May 15-17, 1995. 16 pp.

165.**Rotacher M. and L. Mervart (Ed.) (1996)**
Bernese GPS Software Version 4.0. Astronomical Institute University of Berne, September 1996, 418 pp.

166.**Rossiter J.R. (1967)**
Mean sea level research. Conference of Commonwealth Survey Officers, chapter 4 - Levelling and Mean Sea Level Problems, Cambridge, England, August 1967.

167.**Royer J.R. (1993)**
L'océan Indien. La Recherche 251, volume 24, février 1993, pp. 161-167.

168.**Rummel R. & P. Teunissen (1988)**
Height datum definition, height datum connection and the role of the geodetic boundary value problem. Bulletin Géodésique, 62 (1988), pp. 477-498.

169.**Sadourny R. (1994)**
Le climat de la Terre. Flammarion, Collection DOMINOS n° 28, 126 pp.

170.**Saastamoinen J.J. (1973)**
Contributions to the theory of atmospheric refraction. Bulletin Géodésique 107 (1), pp. 13-34.

171.**Scherer W.D. (1986)**
National Ocean Service's New Genereation Water Level Measurement System. International Congress of Surveyors, June 1-11, 1986. XVIII International Conference, Toronto, Canada, pp. 232- 243.

172.**Schlüter W., J. Ihde, W. Gurtner, G. Wöppelmann, B. Harsson and J. Adam (1996)**
Proposal for the European vertical GPS reference network (EUVN). Paper presented at the EUREF TWG Meeting, Francfort, february 8-9, 1996.

173.**Schutz B.E. (1995)**
Measurement of polar ice sheet contributions to sea level by the Earth Observing System. NASA/NOAA/NSF, Workshop on Global Sea-Level Change, November 15-17, 1995, RSMAS, University of Miami, Florida.

174.**SHOM (1979)**
Répertoire des zones de marée et des zéros hydrographiques sur les côtes métropolitaines. Annales Hydrographiques, 5ème Série - Vol. 7, fasc. 1, N° 751, 67 pp.

175.**SHOM (1994)**
Changement du zéro des cartes à Brest et à Saint-Nazaire La lettre du S.H.O.M. aux navigateurs, n° 11, décembre 1994, pp. 6-8.

176.**Sigmundsson F., M.M. Alves, J.L. Alves, K. Palsson, H. Olafsson and E. Tryggvason (1995)**
Slow inflation of the Furnas volcano, São Miguel, Azores, suggested from initial leveling and Global Positioning System measurements. Geophysical Research Letters, vol. 22, n° 13, pp. 1681-1684.

177.**Sillard P. (1997-a)**
Combinaisons de jeux de coordonnées de Géodésie Spatiale : un exemple type d'estimation des composantes de la variance. Bulletin d'Information de l'IGN, Recherche 96, à paraître.

178.**Sillard P. (1997-b)**
L'ITRF96 : méthode de calcul et résultats. Présentation à la Journée sur la détermination d'orbite précise, Toulouse, le 17 novembre 1997. Publications du LAREG, Série Communication CM 45, 24pp.

179.**Simon B. (1986)**
Les marégraphes. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, Rapport d'Etude 009/86, Référence 368 EPSHOM/E/OC/NP, 27 pp.

180.**Simon B. (1993)**
La marégraphie. Actes du séminaire "Élévation du niveau de la mer le long des côtes de France : mesures - impacts - réponses", Paris, 6-7 déc. 1993, publiés par le Ministère de l'Environnement, mai 1994, pp. 67-75.

181.**Simon B. (1994)**
Statistique des niveaux marins extrêmes le long des côtes de France. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine. Rapport d'étude 001/94, avril 1994, 78 pp.

182.**Sotin C. (1996)**
La couche KT et la disparition des dinosaures. Ecole doctorale en Planétologie Comparée, organisée par l'Observatoire de Bordeaux, à Hendaye, 7-14 septembre 1996.

183.**Spencer N.E. & P.L. Woodworth (1991)**
Data holdings of the Permanent Service for Mean Sea Level. Technical report Permanent Service for Mean Sea Level, Bidston, UK, January 1991, 136 pp.

184.**Spencer N.E. & P.L. Woodworth (1993-a)**
Data holdings of the Permanent Service for Mean Sea Level. Technical report Permanent Service for Mean Sea Level, Bidston, UK, November 1993, 81 pp.

185.**Spencer N.E. & P.L. Woodworth (1993-b)**
Checks on data received by the Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL). Workshop Report 81. Joint IAPSO-IOC Workshop on "Sea level measurements and quality control", Paris, 12-13 October, pp. 120-121.

186.**Stemmelin I. (1995)**
Elévation du niveau de la mer (Nivellement et Marégraphie). Mémoire présenté en vue d'obtenir le diplôme d'Ingénieur de l'Ecole supérieure des Géomètres et Topographes, 76 pp.

187.**Straub C. & H.G. Kahle (1995)**
Active crustal deformations in the Marmara Sea region, NW Anatolia, inferred from GPS measurements. Geophysical Research Letters, vol. 22, n° 18, pp. 2533-2536.

188.**Sun H.P., B. Ducarme and V. Dehant (1995)**
Effect of the atmospheric pressure on surface displacements. Journal of Geodesy, 70, pp. 131-139.

189.**Tassi P. (1992)**
Méthodes statistiques. Éditions Economica. Collection "Économie et Statistiques Avancées". 3 pp.

190.**Thompson K.R. (1980)**
An analysis of British monthly mean sea level. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 63, pp. 57-73.

191.**Tisza L. (1966)**
Generalized Thermodynamics. MIT, Cambridge, MA, 384 pp.

192.**Tolkatchev A. (1996)**
Global Sea Level Observing System (GLOSS). Marine Geodesy, Volume 19, Number 1, January-March 1996, pp. 21-62.

193.**Tranquilla J.M. & H.M. Al-Rizzo (1993)**
Theoretical and experimental evaluation of precise relative positioning during periods of snowfall precipitation using the global positioning system. Manuscripta Geodaetica (1993) 18, pp. 362-379.

194.**Trupin A.S., M.F. Meier and J.M. Wahr (1992)**
Effect of melting glaciers on the Earth's rotation and gravitational field: 1965-1984. Geophysical Journal International, 108, pp. 1-15.

195.**Tushingham A.M. & W.R. Peltier (1991)**
ICE-3G: A new global model of late pleistocene deglaciation based upon geophysical predictions of post-glacial relative sea level change. Journal of Geophysical Research, Vol. 96, B3, pp. 4497-4523.

196.**Valette J.J. (1987)**
Etude et modélisation des phénomènes géophysiques affectant le réseau de balises du système de positionnement précis DORIS. Rapport de stage du DEA d'Astrophysique, Géophysique et Techniques Spatiales.

197.**Vassie J.M. (1993)**
Comparison of NGWLMS, bubbler and float gauges at Holyhead. Joint IAPSO-IOC Workshop on "Sea level measurements and quality control", Paris, 12-13 october 1992. Workshop Report 81, pp. 40-51.

198.**Van Dam T.M. & J.M. Wahr (1987)**
Displacements of the earth's surface due to atmospheric loading: effects on gravity and baseline measurements. Journal of Geophysical Research, Vol. 92, B2, pp. 1281-1286.

199.**Van de Casteele C. (1962)**
Au sujet du contrôle du fonctionnement des marégraphes enregistreurs. Communication sur l'activité de son Service (à l'IGN) présentée au cours de la Section d'Océanographie Physique du Comité National Français de Géodésie et Géophysique, le 26 Juin 1962.

200.**Vincent R. (1996)**
Paul-Adrien Bourdaloue. Association Française de Topographie. Revue XYZ n° 68.

201.**Wahr J.M. (1981)**
The forced nutations of an elliptical, rotating, elastic, and oceanless earth. Geophysical Journal Royal astronomy Society (1981) 64, pp. 677-703.

202.**Warnant R. (1996)**
Etude du comportement du Contenu Electronique Total et de ses irrégularités dans une région de latitude moyenne. Application aux calculs de positions relatives par le GPS. Observatoire Royal de Belgique. Série Géophysique N° Hors-Série, 134 pp.

203.**Wells et al (1986)**
Guide to GPS positioning. Canadian GPS associates, University of New Brunswick.

204.**Wigley T.M.L. (1995)**
Global-mean temperature and sea level consequences of greenhouse gas concentration stabilization. Geophysical Research Letters, vol. 22, n° 1, pp. 45-48.

205.**Wigley T.M.L. & S.C.B. Raper (1995)**
An heuristic model for sea level rise due to the melting of small glaciers. Geophysical Research Letters, vol. 22, n° 20, pp. 2749-2752.

206.**Willis P., R.F. Bordley, C. Boucher, C.E. Calvert, R. Christi and G. Petit (1989)**
Connection of the two levelling system datum IGN69 and ODN through the Channel by using GPS and other techniques. CC/G 540. First international workshop on geodesy for the Europe-Africa fixed link feasibility studies in the strait of Gibraltar, Madrid, 8-10 Mars 1989.

207.**Woodworth P.L. (1990)**
A search for accelerations in records of European mean sea level. Int. J. Climatol., 10, pp. 129-143.

208.**Woodworth P.L., J.M. Vassie, R. Spencer and D.E. Smith (1996)**
Precise datum control for pressure tide gauges. Marine Geodesy, Volume 19, Number 1, January-March 1996, pp. 1-20.

209.**Wöppelmann G. (1993)**
Compte rendu de l'étalonnage du marégraphe de Marseille (07/07/1993). Dans le rapport d'activités de thèse de septembre 1993 (Diffusion restreinte). 21 pp.

210.**Wöppelmann G. (1995-a)**
Le cas particulier de l'étalonnage du marégraphe de Marseille. Présentation à la réunion du Groupe de Travail CNFGG "Géodésie et Niveau des Mers", Saint-Mandé, 24 mars 1995. Publications du LAREG, Série Communication CM 16, 22 pp.

211.**Wöppelmann G. (1995-b)**
Compte rendu de réunion du 10 avril 1995. Objet: "Le prototype de l'Observatoire Royal de Bruxelles: bilan et perspectives". Archives du LAREG N° 95153, 5 pp.

212.**Wöppelmann G., C. Boucher et L. Daniel (1996-a)**
Étude d'un Système d'Observation du Niveau des Eaux Littorales (SONEL). Rapport d'étude de l'Institut Géographique National, effectué dans le cadre du programme "Élévation du niveau de la mer" du Ministère de l'Environnement. Publications du LAREG, Série Rapport R 1, mai 1996, 25 pp.

213.**Wöppelmann G., P. Bonnetain et M. Rondet (1996-b)**
Compte rendu de l'étalonnage du marégraphe de Marseille. Visite du 6 au 8 novembre 1996. Publications du LAREG, Série Compte-rendu CR 11, novembre 1996, 14 pp.

214.**Zerbini S., H-P. Plag, T.F. Baker, M. Becker, H. Billiris, B. Bürki, H-G. Kahle, I. Marson, L. Pezzoli, B. Richter, C. Romagnoli, M. Sztobryn, P. Tomasi, M. Tsimplis, G. Veis and G. Verrone (1996)**
Sea level in the Mediterranean: a first step towards separating crustal movements and absolute sea-level variations. Global and Planetary Change, 14, pp. 1-48.

215.**Zielinski J.B. & Zdunek (1995)**
Data analysis of the 2nd BSL'93 GPS campaign. In *Final Results of the Baltic Sea Level 1993 GPS campaign.* Edited by J. Kakkuri. Reports of the Finnish Geodetic Institute,95:2, pp. 105-115

Sigles et abréviations

AIG	*Association Internationale de Géodésie.*
AIPSO	*Association Internationale des Sciences Physiques de l'Océan.*
BDL	*Bureau des Longitudes.*
BHI	*Bureau Hydrographique International.*
BIH	*Bureau International de l'Heure.*
BIPM	*Bureau International des Poids et Mesures.*
BRGM	*Bureau de Recherches Géologiques et Minières.*
CERGA	*Centre d'Etudes et de Recherches en Géodynamique et Astrométrie.*
CIUS	*Conseil International des Unions Scientifiques.*
CLIVAR	*Climate Variability and Predictability.*
CNES	*Centre National d'Études Spatiales.*
CNFGG	*Comité National Français de Géodésie et de Géophysique.*
CNRS	*Centre National de la Recherche Scientifique.*
CO_2	*Gaz carbonique.*
CODE	*Center for Orbit Determination in Europe.*
COI	*Commission Océanographique Intergouvernementale.*
DDE	*Direction Départementale de l'Équipement.*
DEA	*Diplôme d'Etudes Approfondies.*
DGFI	*Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut Münich*
DOM-TOM	*Département (Territoire) français d'Outre-Mer.*
DORIS	*Détermination d'Orbite et Radiopositionnement Intégrés par Satellite.*
EDF	*Electricité De France.*
ENSO	*El Niño-Southern Oscillation.*
EMR	*Energy, Mines and Ressources, Canada.*
EOF	*Empirical Orthogonal Function analysis.*
EOS	*Earth Observing System.*
EOSS	*European Sea-Level Observing System.*
e.p.k.	*erreur probable kilométrique.*
EPTN	*European Primary Tide Gauge Network.*
ESA	*European Space Agency.*
ETHZ	*Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich*
EUVN	*EUropean Vertical Network.*
FAGS	*Federation of Astronomical and Geophysical Data Analysis Services.*
FLOSS	*French Sea Level Observing System.*
ftp	*file transfer protocol.*
GCOS	*Global Climate Observing System.*
GFZ	*GeoForchungsZentrum, Postdam.*
GLAS	*Geoscience Laser Altimeter System.*
GLOSS	*Global Sea Level Observing System*, à l'origine l'acronyme vient de: ***G**lobal **L**evel **O**f the **S**ea **S**urface.*
GOOS	*Global Ocean Observing System.*
GPS	*Global Positioning System.*
GRGS	*Groupe de Recherches de Géodésie Spatiale.*
GRIP	*Greenland Ice-core Project.*
IAGE	*Instituto de Astronomia y Geodesia, España*
IERS	*International Earth Rotation Service.*
IESSG	*Institute of Engineering Surveying and Space Geodesy*
IfAG	*Institute for Applied Geodesy*

IFREMER	*Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER.*
IFRTP	*Institut Français pour la Recherche et la Technologie Polaires.*
IGCP	*Instituto Geográfico e Cadastral, Portugal*
IGN	*Institut Géographique National.*
IGNE	*Instituto Geográfico Nacional, España*
IGS	*International GPS Service for Geodynamics.*
IMG	*Institut de Mécanique de Grenoble.*
INSU	*Institut National des Sciences de l'Univers.*
IOC	*Intergovernmental Oceanographic Commission.*
IPCC	*Intergovernmental Panel on Climate Change.*
IPGP	*Institut de Physique du Globe de Paris.*
ISO	*International Organization for Standardization.*
ITRF	*International Terrestrial Reference Frame.*
ITRS	*International Terrestrial Reference System.*
JPL	*Jet Propulsion Laboratory.*
LAREG	*Laboratoire de Recherche en Géodésie.*
LEGI	*Laboratoire des Écoulements Géophysiques et Industriels.*
LLR	*Lunar Laser Ranging.*
Ma	*Millions d'années.*
MCN	*Marégraphe Côtier Numérique.*
MEOM	*Modélisation des Écoulements Océaniques et des Marées.*
MIT	*Massachusetts Institute of Technology.*
NCL	*University of Newcastle upon Tyne, England.*
NGF	*Nivellement Général de la France.*
NGWLMS	*Next Generation Water Level Measurement System.*
NOAA	*National Oceanic and Atmospheric Administration.*
NOS	*National Ocean Service.*
NTF	*National Tidal Facility.*
NTUA	*National Technical University, Athens*
ODN	*Ordnance Datum Newlyn.*
OMM	*Organisation Météorologique Mondiale.*
ORSTOM	*Office de Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer.*
OSGB	*Ordonance Survey of Great Britain*
PMRC	*Programme Mondial de Recherche sur le Climat.*
PNUE	*Programme des Nations Unies pour l'Environnement.*
POL	*Proudman Oceanographic Laboratory.*
POSEIDON	*Positioning Ocean Solid Earth Ice Dynamics Orbiting Navigator.*
PRARE	*Precise Range And Range-rate Equipment.*
PSMSL	*Permanent Service for Mean Sea Level.*
RLR	*Revised Local Reference.*
ROSAME	*Réseau d'Observation Sub-antarctique et Antarctique du niveau de la MEr.*
SEAFRAME	*Sea level Fine Resolution Acoustic Monitoring Equipment.*
SELF	*Sea Level Fluctuations in the Mediterranean.*
SGN	*Service de la Géodésie et du Nivellement de l'IGN.*
SHOM	*Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.*
SIO	*Scripps Institution of Oceanography.*
SLR	*Satellite Laser Ranging.*
SMOC	*Système Mondial d'Observation du Climat.*
SONEL	*Système d'Observation du Niveau des Eaux Littorales.*
TAAF	*Terres Australes et Antarctiques Françaises.*
TGBM	*Tide Gauge Bench Mark.*
TOGA	*Tropical Ocean and Global Atmosphere.*
TOPEX	*TOPography Experiment for ocean circulation.*

T/P	*TOPEX/POSEIDON.*
UGGI	*Union Géodésique et Géophysique Internationale.*
UNESCO	*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.*
UNEP	*United Nations Environment Programme.*
UNT	*University of Newcastle-upon-Tyne*
VLBI	*Very Long Baseline Interferometry.*
WHAT-A-CAT	*West Hellenic Arc Tectonics and Calabrian Arc Tectonics*
WOCE	*World Ocean Circulation Experiment.*
WMO	*World Meteorological Organization.*
WCRP	*World Climate Research Programme.*

Table des illustrations

Figure 1 : Vue de l'observatoire du niveau de la mer de Marseille dans l'anse Calvo. (Image numérisée à partir d'une photo trouvée dans les archives de l'IGN). ..... **Erreur! Signet non défini.**
Figure 2 : Le système climatique et ses différentes composantes. Vue schématique inspirée de Peixoto & Oort [1992]. 14
Figure 3 : Bilan énergétique de la Terre. Valeurs issues de Peixoto & Oort [1992], cohérentes avec celles de Sadourny [1994]. 19
Figure 4.a : Influence de paramètres orbitaux sur le bilan énergétique terrestre. Le schéma montre deux orbites d'excentricités différentes. La configuration en pointillés présente une inclinaison de l'axe de rotation plus faible par rapport au plan de l'écliptique, et la position de la Terre correspond à une équinoxe prochaine, due à la précession. 21
Figure 4.b : Flux d'énergie solaire reçu en fonction de la latitude. La même quantité de photons réchauffe une surface plus petite à l'équateur qu'aux pôles. 21
Figure 5 : Quelques albédos (%) associés au spectre visible, d'après Houghton [1985]. 22
Figure 6 : Exemple de processus de rétroaction positive. 23
Figure 7 : Principales divisions de l'échelle des temps géologiques. Le commencement d'un temps géologique est indiqué en millions d'années par rapport à nos jours (Ma). 29
Figure 8 : Estimations des différentes contributions à l'élévation séculaire du niveau des mers sur le dernier siècle, d'après l'IPCC [1995]. 36
Figure 9 : Vue d'artiste d'une échelle de marée (A. Pasquier). 40
Figure 10 : Principe de mesure du marégraphe à flotteur. La figure reprend une vue schématique du marégraphe de Marseille, d'après un document resté sous une version provisoire [IGN, 1963]. 41
Figure 11 : Exemple de marégramme. 41
Figure 12 : Vue schématique d'un observatoire de niveau de la mer équipé d'un marégraphe acoustique ou à ultrasons. 43
Figure 13 : Schéma de la mesure élémentaire d'un marégraphe. 44
Figure 14 : Exemples de formes de puits de tranquilisation avec leur caractéristique de filtrage. 45
Figure 15 : Séries temporelles de moyennes annuelles du niveau de la mer en France métropolitaine, classées dans la catégorie RLR du PSMSL. 52
Figure 16 : Situation géographique des marégraphes de France métropolitaine de la figure 15. Dunkerque: 1. Calais: 2. Boulogne: 3. Dieppe: 4. Antifer: 5. Le Havre: 6. Cherbourg: 7. Roscoff: 8. Le Conquet: 9. Brest: 10. Port Tudy: 11. Saint Nazaire: 12. Pointe Saint Gildas: 13. La Pallice: 14. Le Verdon: 15. Boucau: 16. Saint Jean de Luz: 17. Marseille: 18. Toulon: 19. Nice: 20. Monaco: 21. 53
Figure 17.a : Filtrage des composantes cycliques de période inférieure à 10 ans par calcul de moyennes mobiles symétriques simples d'ordre 10. Technique appliquée aux données des marégraphes de Brest, Marseille, San Francisco, Buenos Aires et Sydney. 54
Figure 17.b : Filtrage des composantes cycliques de période inférieure à 30 ans par calcul de moyennes mobiles symétriques simples d'ordre 30. 55
Figure 17.c : Filtrage des composantes cycliques de période inférieure à 50 ans par calcul de moyennes mobiles symétriques simples d'ordre 50. 55
Figure 18 : Longueur d'une série temporelle et nombre de données annuelles présentes. Exemples des enregistrements de Port Blair, îles Andaman, et de Bluff, Nouvelle Zélande. 56
Figure 19 : Répartitions géographiques des marégraphes, pour différentes longueurs de leur série temporelle de moyennes annuelles du niveau de la mer. Les triangles pleins représentent les marégraphes du réseau GLOSS. 57
Figure 20 : Histogramme des vitesses estimées par calcul de régression linéaire appliqué à chacune des 714 séries temporelles du PSMSL de plus de dix données annuelles (146 séries sont GLOSS). 63

Figure 21 : Répartition géographique des tendances du niveau de la mer que nous avons estimées par régression linéaire sur les 714 séries temporelles marégraphiques de plus de dix données moyennes annuelles. La longueur du symbole est proportionnelle à la valeur estimée, la couleur rouge indique une élévation du niveau moyen de la mer et la couleur bleu une baisse..64
Figure 22 : Idem que la figure 21, mais seules les données des marégraphes GLOSS sont représentées, soit 146 tendances du niveau de la mer. ..65
Figure 21.a : Aggrandissement de la figure 21 pour l'Amérique du Nord..66
Figure 21.b : Aggrandissement de la figure 21 pour l'Europe..66
Figure 21.c : Aggrandissement de la figure 21 pour l'Asie..67
Figure 23 : Tendances du niveau de la mer et écart-types, estimés par ajustement linéaire appliqué aux 714 séries temporelles du PSMSL de plus de dix moyennes annuelles marégraphiques. ..67
Figure 24 : Histogramme des écart-types des paramètres de tendance, estimés par régressions linéaires sur les 714 séries temporelles du PSMSL de plus de dix données annuelles marégraphiques (146 sont GLOSS). ..68
Figure 25 : Situation géographique des marégraphes numérotés de 41 à 90 dans l'annexe B. ..68
Figure 26 : Précision du paramètre de tendance et bruit dans l'enregistrement marégraphique, estimés respectivement par l'écart-type et par le facteur de variance que nous avons déterminés lors de la régression linéaire sur chacune des 714 séries temporelles ayant plus de dix moyennes annuelles. ..69
Figure 27 : Vitesses ou tendances du niveau de la mer, estimées par régression linéaire, en fonction du nombre de moyennes annuelles présentes dans les séries temporelles marégraphiques. ..70
Figure 28 : Précision des paramètres de tendance du niveau de la mer en fonction de la longueur des séries temporelles marégraphiques associées. La précision est évaluée ici par l'écart-type du paramètre de tendance, issu de la régression linéaire..70
Figure 29 : Tendances du niveau de la mer estimées par régression linéaire en fonction de la latitude géographique du marégraphe. La barre d'erreur représente la précision suivant plus ou moins un écart-type du paramètre de tendance..71
Figure 30 : Tendances du niveau de la mer et écart-types, estimés par régression linéaire appliquée aux 292 séries temporelles marégraphiques du PSMSL de plus de trente données annuelles. ..72
Figure 31 : Estimations de la tendance du niveau des mers à partir de différents ensembles de données marégraphiques..73
Figure 32 : Résultats de l'analyse des séries chronologiques de Brest (B), Marseille (M), San Francisco (SF), Buenos Aires (BA), et Sydney (S), par régression linéaire (R.L.), appliquée sur des intervalles de temps mobiles de T années. ..76
Figure 33 : Représentation graphique des tendances du niveau de la mer estimées par régression linéaire sur des intervalles de temps mobiles de trente ans et de cinquante ans, pour les séries temporelles des marégraphes de Brest, Marseille, San Francisco, Buenos Aires et Sydney. ..77
Figure 34 : Résumé des résultats de l'analyse des séries chronologiques de Brest (B), Marseille (M), San Francisco (SF), Buenos Aires (BA), et Sydney (S), par régression linéaire (R.L.), appliquée sur des intervalles de temps mobiles de T années. ..78
Figure 35 : Histogramme des facteurs de variance unitaire obtenus par régression linéaire appliquée aux 714 séries temporelles marégraphiques de plus de dix données annuelles (dont 146 GLOSS)...79
Figure 36 : Données annuelles du marégraphe de Hamina, Finlande. ..80
Figure 37 : Facteur de variance unitaire et nombre d'années d'observation dans la série temporelle..80
Figure 38 : Coefficient de variation et écart-type issus de l'ajustement linéaire des séries temporelles de plus de dix données annuelles (714). ..81
Figure 39 : Résultats de l'étude statistique du coefficient de corrélation linéaire. Test de Student et validité du modèle linéaire ajusté aux séries temporelles marégraphiques de plus de dix données annuelles (714)..82
Figure 40 : Coefficient de corrélation linéaire et écart-type des séries temporelles marégraphiques pour lesquelles l'ajustement par un modèle linéaire semble correct au regard du test de Student. ..83
Figure 41 : Quelques longues séries temporelles de marégraphes situés en Scandinavie, ordonnées par latitude décroissante, entre 65° N et 58° N. ..86

Figure 42 : Situation géographique des marégraphes sélectionnés par Emery & Aubrey [1991], Douglas [1991] et Peltier & Tushingham [1991], selon leur critère propre de manque d'évidences de mouvements épirogéniques. 88
Figure 43 : Comportements suspects de quelques séries temporelles sélectionnées par Peltier & Tushingham [1991]. 89
Figure 44 : Estimations de la tendance contemporaine du niveau des mers selon différents auteurs, à partir de données marégraphiques. 90
Figure 45 : Représentation conceptuelle du mesurande d'un marégraphe 92
Figure 46 : Données annuelles du niveau de la mer enregistrées à l'observatoire de Sheerness, Royaume Uni 94
Figure 47 : Exemples de l'effet des séismes sur les enregistrements marégraphiques 95
Figure 48 : Enregistrements atypiques des marégraphes de Manille, Philippines, et de Tribeni, Inde 96
Figure 49 : Allures caractéristiques de quelques défauts typiques du marégraphe à flotteur 99
Figure 50 : Principe de l'étalonnage du marégraphe de Marseille 100
Figure 51 : Valeurs des différentes quantités intervenant dans les étalonnages du marégraphe totalisateur de Marseille effectués entre 1993 et 1996. 102
Figure 52 : Résultats des étalonnages du marégraphe totalisateur de Marseille effectués entre 1993 et 1996. 104
Figure 53 : Diagrammes de Van de Casteele des étalonnages du marégraphe totalisateur de Marseille effectués entre 1993 et 1996 104
Figure 54 : Mise en évidence d'un défaut d'échelle du marégraphe de Marseille à l'aide du test de Van de Casteele appliqué aux données de l'étalonnage de déc. 1996. 107
Figure 55 : Stabilité du zéro de la réglette du marégraphe de Marseille 109
Figure 56 : Dérive de la référence interne du marégraphe de Marseille estimée par régression linéaire sur les données de la grandeur de calage {h} issues des étalonnages disponibles 110
Figure 57 : Dispositif d'étalonnage du marégraphe côtier de Kerguelen. Schéma extrait du rapport de la campagne NIVMER-94 [Le Provost & Wöppelmann, 1994] 112
Figure 58 : Frontières des plaques tectoniques suivant le modèle NNR-NUVEL1A établi par DeMets et al [1994]. 115
Figure 59 : Description schématique des effets de charge produit par la formation et la fusion d'une grande calotte de glace, d'après Daly [1934] tel que le rapporte Pirazzoli [1976] 116
Figure 60 : Tableau récapitulatif des mouvements verticaux de l'écorce terrestre qui peuvent affecter la stabilité du support du marégraphe. 119
Figure 61 : Amplitude des marées observée dans différents ports, d'après Dars [1971] 121
Figure 62 : Description schématique des processus de « downwelling » et « upwelling ». Nous considérons ici le cas de l'hémisphére nord. 123
Figure 63 : Description du mécanisme d'équilibre géostrophique. Cas de l'hémisphère nord. 125
Figure 64 : Description schématique du phénomène ENSO, d'après Peixoto & Oort [1992]. 128
Figure 65 : Tableau récapitulatif des signaux océaniques qui sont susceptibles de figurer dans la composante océanique de l'enregistrement d'un marégraphe. Les ordres de grandeur sont cohérents avec Pirazzoli [1976], Pugh [1987], Emery & Aubrey [1991], et Le Provost [1993]. 128
Figure 66 : Prévisions de l'élévation du niveau des mers, estimées par les modèles climatiques suivant divers scénarios d'émission en gaz à effet de serre, d'après l'IPCC [1995]. Les vitesses correspondent à la variation par rapport à 1990. 133
Figure 67 : Réseau mondial des marégraphes GLOSS (308). Les symboles en rouge (de grande taille) représentent les marégraphes opérationnels en juillet 1996. « Opérationnels » dans le sens où ils apparaissent dans le catalogue du PSMSL, qui inventorie les données reçues. 135
Figure 68 : Topographie dynamique de la mer obtenue à partir des observations du satellite TOPEX/POSEIDON entre octobre 1992 et juillet 1993 (en cm). Données extraites d'une image du serveur internet de CLS, Groupe d'Océanographie Spatiale du CNES, Toulouse, France 143
Figure 69 : Incidence de l'espacement des surfaces équipotentielles sur les résultats des mesures de dénivelées 144

Figure 70 : Niveaux moyens de la mer estimés dans le système IGN83, d'après Kasser [1989]. L'auteur ne spécifie pas sur quelles périodes sont calculés les moyennes....146
Figure 71 : Liste de quelques ellipsoïdes géodésiques....147
Figure 72 : Approche conceptuelle de l'unification des références verticales. Schéma inspiré du cours de Boucher [1995], il illustre les grandeurs et les techniques mises à contribution....149
Figure 73 : Répartition des 201 sites de la solution ITRF94 du repère conventionnel de l'IERS....154
Figure 74 : Moyenne et intervalle d'amplitude par technique spatiale des résidus pondérés des combinaisons de coordonnées ITRF, regroupés par solutions individuelles, sans distinction des composantes de l'espace, fournis dans les rapports techniques de l'IERS. (Valeurs exprimées en centimètres. L'astérisque indique qu'il s'agit de résultats obtenus pour une combinaison à la date de référence 1993.0 au lieu de 1988.0). 156
Figure 75 : Moyenne et intervalle d'amplitude par technique spatiale des résidus pondérés des combinaisons de coordonnées ITRF, regroupés par solutions individuelles, en distinguant les composantes horizontales et verticales, fournis dans les rapports techniques de l'IERS. (Valeurs en cm. L'astérisque indique qu'il s'agit de résultats obtenus pour une combinaison à la date de référence 1993.0 au lieu de 1988.0). 157
Figure 76 : Evolution des paramètres de translation et d'échelle entre la solution ITRF94 du repère conventionnel de l'IERS, à la date 1988.0, et les solutions précédentes, à la même date de référence, d'après Boucher et Altamimi [1996]. 158
Figure 77 : Variations de la position de trois points à la surface de la Terre (a≈6378137 m) suivant qu'ils sont exprimés dans un repère ITRF ou dans un autre. Les écarts sont dus à l'effet cumulé de la variation de l'échelle et du géocentre. (Les points sont situés sur chaque axe du repère. L'ITRF94 est considéré parfait). 159
Figure 78 : Moyenne et intervalle d'amplitude par technique spatiale des résidus pondérés des combinaisons de vitesses ITRF, regroupés par solutions individuelles, en distinguant les composantes horizontales et verticales lorsque cette distinction est disponible dans les rapports techniques de l'IERS. (Valeurs en mm/an)....159
Figure 79 : Histogramme de la précision des vitesses verticales de l'ITRF94. 160
Figure 80 : Histogrammes de la précision des vitesses verticales de l'ITRF94 regroupées par technique de géodésie spatiale....161
Figure 81 : Histogrammes de la précision des vitesses verticales de l'ITRF94 regroupées par classes de qualité (A,B ou C)....161
Figure 82 : Evaluation de la précision relative de l'estimation d'une variable aléatoire à partir de l'étude du coefficient de variation. (Nous considérons ici une distribution gaussienne)....162
Figure 83 : Histogramme du coefficient de variation calculé pour les vitesses verticales estimées dans l'ITRF94. 163
Figure 84 : Histogrammes du coefficient de variation calculé pour les vitesses verticales estimées dans l'ITRF94 et regroupées par technique de géodésie spatiale. 164
Figure 85 : Histogrammes du coefficient de variation calculé pour les vitesses verticales estimées dans l'ITRF94 et regroupées par classes de qualité (A,B ou C). 164
Figure 86 : Principaux éléments du rattachement géodésique des marégraphes dans un système de référence terrestre mondial par techniques de géodésie spatiale (dessin A. Pasquier)....167
Figure 87 : Schéma des grandeurs intervenant dans le processus de rattachement des marégraphes dans un système géodésique mondial par techniques spatiales....168
Figure 88 : Origine de quelques systèmes d'altitude en Europe, d'après un inventaire effectué dans les archives de l'IGN [Boucher & Wöppelmann, 1994]. Le sigle NM désigne un niveau moyen de la mer, NT désigne le niveau moyen de la marée. Entre parenthèses nous ndiquons la période sur laquelle est calculée la moyenne. 172
Figure 89 : Influence de la variation de température sur la détermination de hauteur d'eau à partir d'un marégraphe acoustique dont on suppose que l'onde se propage à vitesse constante dans l'air (S=344m/s) sur des trajets de 10, 4, et 2 mètres....177
Figure 90 : Opération élémentaire du nivellement géométrique de précision....179

Figure 91 : Liste de projets d'observation du niveau de la mer par réseaux de stations de marégraphie et de géodésie spatiale. 182
Figure 92 : Erreur d'orbite maximale en fonction de la ligne de base si l'on souhaite obtenir une précision de un centimètre, d'après la relation empirique (E.VII.3). 183
Figure 93 : Marégraphes situés à proximité de points de l'ITRF94 (extrait de l'annexe D). 187
Figure 94 : Extrait de la carte géologique de reconnaissance des îles Kerguelen [Nougier, 1970], à proximité de la base de Ports-aux-Français....191
Figure 95.a et 95.b : Hauteurs ellipsoïdales $\{h_G^i\}$ calculées par les divers centres d'analyse GPS de l'IGS et mises à disposition des utilisateurs sur le centre de données global situé à l'IGN. 193
Figure 96 : Composante verticale des séries temporelles de positions fournies par les centres d'analyse GPS de l'IGS....194
Figure A.1 : Vue du marégraphe totalisateur de Marseille. (Image numérisée à partir d'une photo trouvée dans les archives de l'IGN)....201
Figure 10 (rappel) : Principe de mesure du marégraphe totalisateur de Marseille....202
Figure A.2 : Principe du marégraphe totalisateur....203
Figure A.3 : Série temporelle des moyennes annuelles du niveau de la mer à Marseille par rapport à l'origine NGF-IGN69 du système d'altitude français. Données obtenues du totalisateur....205
Figure A.4 : Tableau des moyennes annuelles du niveau de la mer à Marseille issues des calculs du totalisateur, et exprimées par rapport à deux références locales différentes, NGF et RLR. 206
Figure A.5 : Histogramme des écarts entre les données annuelles du niveau de la mer diffusées par l'IGN, d'une part, et par la banque mondiale du PSMSL, d'autre part....207
Figure E.1 : Niveau de précision de l'estimation de la composante verticale des 399 points de l'ITRF94. Histogramme établi suivant les écart-types issus du calcul....237
Figure E.2 : Niveau de précision de l'estimation de la composante verticale des 540 points de la solution préliminaire de l'ITRF96. Histogramme établi suivant les écart-types issus du calcul....238
Figure 79 (rappel) : Niveau de précision de l'estimation de la vitesse verticale des points de la solution ITRF94. Histogramme établi suivant les écart-types issus du calcul....239
Figure E.3 : Niveau de précision de l'estimation de la vitesse verticale des sites de la solution préliminaire de l'ITRF96. Histogramme établi suivant les écart-types issus du calcul....240
Figure E.4 : Détail de la répartition des vitesses verticales de l'ITRF96 estimées avec une erreur formelle (écart-type) inférieur à 2-3 mm/an....240
Figure 83 (rappel) : Histogramme du coefficient de variation calculé pour les vitesses verticales estimées dans l'ITRF94....241
Figure E.5 : Histogramme du coefficient de variation calculé pour les vitesses verticales des sites de l'ITRF96. 242