

Michel Brabant

avec le concours de Béatrice Patizel, Armelle Piègle et Hélène Müller

Topographie opérationnelle

Mesures - Calculs - Dessins - Implantations

© Groupe Eyrolles, 2012, ISBN : 978-2-212-12847-5

EYROLLES



Table des matières

Chapitre 1. Connaissances de base	1
1.1 Travaux topographiques	1
1.1.1 Le levé topographique	1
1.1.2 Les calculs topométriques	2
1.1.3 Les dessins topographiques	2
1.1.4 Projets d'aménagement	2
1.1.5 Implantations	3
1.1.6 Suivi et contrôle des ouvrages	3
1.2 Les systèmes de coordonnées	3
1.2.1 Coordonnées cartésiennes géocentriques X, Y, Z	3
1.2.2 Coordonnées géographiques λ, ϕ, h	4
1.2.3 Coordonnées planes E, N	5
1.2.3.1 <i>Systèmes de projection</i>	5
1.2.3.2 <i>Lambert Zone</i>	6
1.2.3.3 <i>Lambert 93</i>	8
1.2.3.4 <i>Conique conforme 9 zones (CC 9 zones)</i>	8
1.2.3.5 <i>Projection UTM (Universal Transverse Mercator)</i>	9
1.2.3.6 <i>Paramètres des différents systèmes</i>	10
1.2.4 Transformation de coordonnées	10
1.2.4.1 <i>Coordonnées géographiques $\lambda, \phi \Leftrightarrow$ planes E, N</i>	10
1.2.4.2 <i>Changement de système géodésique</i>	11
1.3 Systèmes géodésiques	12
1.3.1 Les systèmes terrestres	12
1.3.1.1 <i>La Nouvelle Triangulation de la France</i>	12
1.3.1.2 <i>ED50 (European Datum 1950)</i>	13
1.3.2 Les systèmes spatiaux	13
1.3.2.1 <i>RGF93 (Réseau Géodésique Français 1993)</i>	13
1.3.2.2 <i>Autres réseaux</i>	15

1.4 Les systèmes d'altitudes	17
1.4.1 Altitudes	17
1.4.2 Réseaux de nivellement	17
1.4.3 Repères de nivellement	18
1.4.4 Hauteur et altitude	21
1.5 Observations topographiques	22
1.5.1 Angles (§ 2)	22
1.5.2 Distances (§ 3)	23
1.5.3 Dénivelées (§ 4)	23
1.5.4 Positionnement satellitaire (§ 6)	24
1.6 Précision des observations	24
1.6.1 Lexique	24
1.6.2 Erreurs parasites ou fautes	24
1.6.3 Erreurs systématiques	25
1.6.3.1 <i>Erreur de justesse</i>	25
1.6.3.2 <i>Évaluation sommaire de l'erreur de justesse</i>	25
1.6.3.3 <i>Droite moyenne</i>	26
1.6.4 Erreurs accidentelles des mesures directes	27
1.6.4.1 <i>Erreur absolue</i>	27
1.6.4.2 <i>Répartition expérimentale</i>	29
1.6.4.3 <i>Probabilité - Espérance mathématique</i>	31
1.6.4.4 <i>Loi normale ou loi de Laplace-Gauss</i>	31
1.6.4.5 <i>Indices de dispersion</i>	34
1.6.4.6 <i>Estimation de la moyenne</i>	35
1.6.4.7 <i>Tolérances</i>	38
1.6.5 Erreurs accidentelles des mesures indirectes	38
1.6.5.1 <i>Principe de l'indépendance des erreurs</i>	38
1.6.5.2 <i>Composition des écarts-types d'une mesure indirecte</i>	39
1.6.5.3 <i>Observations d'inégales précisions - Moyenne pondérée</i>	40
1.6.6 Classes de précision	42
1.6.6.1 <i>Précision</i>	42
1.6.6.2 <i>Classes</i>	42
1.7 La carte de base	45
1.7.1 Série bleue et TOP 25	45
1.7.2 Exactitude	46
1.7.3 Mesures planimétriques	47
1.7.3.1 <i>Coordonnées géographiques dans le système géodésique français</i>	47
1.7.3.2 <i>Système géodésique mondial WGS84 ou RGF93</i>	48
1.7.3.3 <i>Coordonnées Lambert</i>	48
1.7.3.4 <i>Coordonnées UTM</i>	49
1.7.3.5 <i>Distances</i>	49
1.7.3.6 <i>Gisement</i>	50

1.7.3.7	<i>Azimut géographique</i>	50
1.7.3.8	<i>Azimut magnétique</i>	50
1.7.3.9	<i>Orientation de la carte</i>	51
1.7.3.10	<i>Angle horizontal de deux directions</i>	51
1.7.4	Orographie	51
1.7.5	Exploitation de l'orographie	52
1.7.5.1	<i>Pente en un point</i>	52
1.7.5.2	<i>Altitude d'un point</i>	53
1.7.5.3	<i>Lignes et formes caractéristiques</i>	53
1.7.5.4	<i>Coupes et profils</i>	53
1.7.5.5	<i>Chevelu</i>	54
1.7.5.6	<i>Bassin versant</i>	54
1.7.6	La cartographie numérique	55
1.7.6.1	<i>Le Référentiel à grande échelle (RGE)</i>	55
1.7.6.2	<i>La Banque de données topographiques (BD Topo)</i>	55
1.7.6.3	<i>Le SCAN 25</i>	55
1.7.6.4	<i>Le Géoportail</i>	55
Chapitre 2.	Mesures des angles	57
2.1	Le théodolite	57
2.1.1	Conception	57
2.1.2	Pivot.....	59
2.1.2.1	<i>Embase</i>	59
2.1.2.2	<i>Calage du pivot</i>	60
2.1.3	Cercle horizontal	62
2.1.3.1	<i>Goniomètre</i>	62
2.1.3.2	<i>Lectures</i>	62
2.1.3.3	<i>Mouvements</i>	63
2.1.4	Cercle vertical.....	63
2.1.5	Axe optique	64
2.1.5.1	<i>Lunette</i>	64
2.1.5.2	<i>Mise au point</i>	65
2.1.5.3	<i>Qualités d'une lunette</i>	66
2.2	Précision des mesures d'angles	66
2.2.1	Erreurs parasites	66
2.2.2	Erreurs systématiques	67
2.2.2.1	<i>Défaut de verticalité du pivot</i>	67
2.2.2.2	<i>Inégalité des échelons du limbe</i>	67
2.2.2.3	<i>Excentricité des cercles</i>	67
2.2.2.4	<i>Défaut d'horizontalité de l'axe de basculement</i>	67
2.2.2.5	<i>Excentricité du viseur</i>	68
2.2.2.6	<i>Collimation horizontale</i>	68
2.2.2.7	<i>Dérive</i>	68

2.2.2.8	Correction d'index ou collimation verticale	68
2.2.2.9	Erreur de réfraction	68
2.2.3	Erreurs accidentelles	68
2.2.3.1	Erreur de centrage	68
2.2.3.2	Erreur de pointé	68
2.2.3.3	Erreur de lecture.....	69
2.2.3.4	Flamboisement de l'air	69
2.2.4	Écarts-types	69
2.3	Mesurage d'un angle horizontal	69
2.3.1	Mises en station	69
2.3.2	Séquence	70
2.3.3	Paires de séquences	71
2.3.4	Tour d'horizon	73
2.4	Mesurage d'un angle zénithal.....	75
2.4.1	Observations	75
2.4.2	Correction d'index	75
2.4.3	Application.....	76
2.5	Orientation.....	77
2.5.1	Orientation dans le système de projection	77
2.5.2	Orientation magnétique	77
2.5.3	Orientation gyroscopique.....	78
2.5.4	Orientation astronomique.....	78
Chapitre 3.	Mesures des distances.....	81
3.1	Mesurage au ruban	81
3.1.1	Jalonnement	81
3.1.1.1	Jalonnement sans obstacle	82
3.1.1.2	Franchissement d'une butte	83
3.1.1.3	Obstacle de faible largeur.....	84
3.1.1.4	Prolongement.....	84
3.1.2	Méthodes de mesurage	85
3.1.2.1	À plat	85
3.1.2.2	Étalonnage et dilatation.....	85
3.1.2.3	Ruban suspendu horizontal	86
3.1.3	Précision	87
3.1.3.1	Erreurs parasites	87
3.1.3.2	Erreurs systématiques	87
3.1.3.3	Erreurs accidentelles.....	88
3.1.3.4	Écarts-types.....	88
3.1.4	Réductions des mesures à plat.....	88

3.2 Mesurage électronique	89
3.2.1 Principe	89
3.2.2 Onde modulée	90
3.2.3 Synoptique	91
3.2.3.1 <i>Schéma</i>	91
3.2.3.2 <i>Réflecteur</i>	92
3.2.4 Distancemètres de topographie	93
3.2.4.1 <i>Modulaires</i>	93
3.2.4.2 <i>Intégrés</i>	93
3.2.4.3 <i>Lasers pulsés sans réflecteur</i>	94
3.2.5 Précision	95
3.2.5.1 <i>Erreurs parasites</i>	95
3.2.5.2 <i>Erreurs systématiques</i>	95
3.2.5.3 <i>Erreurs accidentelles</i>	97
3.2.5.4 <i>Écarts-types</i>	97
3.2.6 Réductions des mesures électroniques des distances	97
 Chapitre 4. Nivellement	 101
4.1 Nivellement direct ordinaire	101
4.1.1 Observations	101
4.1.2 Niveaux et mires	102
4.1.2.1 <i>Niveaux-blocs à nivelle torique</i>	102
4.1.2.2 <i>Niveaux automatiques</i>	103
4.1.2.3 <i>Lecture sur mire ordinaire</i>	104
4.1.2.4 <i>Niveaux numériques, mires code-barres</i>	105
4.1.3 Dénivelée élémentaire	106
4.1.3.1 <i>Points en dessous du plan de visée</i>	106
4.1.3.2 <i>Points au-dessus du plan de visée</i>	107
4.1.4 Cheminement encadré	108
4.1.4.1 <i>Observations</i>	108
4.1.4.2 <i>Calcul des altitudes</i>	110
4.1.4.3 <i>Algorithme</i>	111
4.1.4.4 <i>Application</i>	112
4.1.5 Point nodal et cheminements nodaux altimétriques	112
4.1.6 Cheminement fermé	113
4.1.7 Nivellement simultané d'un cheminement et de points de détail	115
4.1.8 Précision	116
4.1.8.1 <i>Erreurs parasites</i>	116
4.1.8.2 <i>Erreurs systématiques</i>	117
4.1.8.3 <i>Erreurs accidentelles</i>	118
4.1.8.4 <i>Écart-type</i>	118
4.1.8.5 <i>Vérification et réglage de la collimation</i>	118

- 4.2 Nivellement géométrique de précision** 119
 - 4.2.1 Matériels 119
 - 4.2.1.1 *Niveaux à nivelle* 119
 - 4.2.1.2 *Mire invar à double échelle* 121
 - 4.2.1.3 *Niveaux automatiques* 121
 - 4.2.2 Cheminement aller et retour 122
 - 4.2.3 Cheminement double à doubles stations 123
 - 4.2.4 Cheminement double à doubles points de mire 125
 - 4.2.5 Précision..... 126
 - 4.2.6 Nivellement géométrique motorisé 127
- 4.3 Nivellement géodésique**..... 128
 - 4.3.1 Dénivelée instrumentale 128
 - 4.3.2 Niveau apparent 129
 - 4.3.2.1 *Correction de sphéricité* 129
 - 4.3.2.2 *Correction de réfraction* 130
 - 4.3.2.3 *Correction de niveau apparent* 130
 - 4.3.3 Visée unilatérale 130
 - 4.3.4 Visées réciproques non simultanées 130
 - 4.3.5 Visées réciproques simultanées 131
- 4.4 Nivellement trigonométrique**..... 131
 - 4.4.1 Visée unilatérale 131
 - 4.4.2 Visées réciproques 132
 - 4.4.3 Cheminements..... 133
- 4.5 Canevas de nivellement** 134
 - 4.5.1 Avant-projet et reconnaissance 134
 - 4.5.2 Projet et matérialisation 135
 - 4.5.3 Observations et calculs 135
 - 4.5.4 Dossier et vérification 136

Chapitre 5. Localisation terrestre 137

- 5.1 Points de canevas** 137
 - 5.1.1 Intersection 137
 - 5.1.2 Relèvement 137
 - 5.1.3 Recoupement 138
 - 5.1.4 Insertion 138
 - 5.1.5 Station libre 138
- 5.2 Traitement des données** 138
 - 5.2.1 Compensation par la méthode des moindres carrés..... 138
 - 5.2.1.1 Linéarisation des relations d’observation 139

5.2.1.2	Normalisation des relations d'observation	139
5.2.1.3	Résolution du système d'équations normalisées	141
5.2.2	Transformation d'Helmert	141
5.2.3	Calcul en bloc	142
5.3	Canevas polygonal	142
5.3.1	Cheminements planimétriques	142
5.3.2	Cheminement ouvert	143
5.3.2.1	<i>Observations</i>	143
5.3.2.2	<i>Calculs</i>	144
5.3.3	Cheminement encadré	148
5.3.3.1	<i>Observations</i>	148
5.3.3.2	<i>Calculs</i>	148
5.3.4	Localisation des erreurs parasites.....	154
5.3.4.1	<i>Erreur parasite d'observation sur un angle</i>	154
5.3.4.2	<i>Erreur parasite d'observation sur une distance</i>	156
5.3.4.3	<i>Erreurs simultanées d'angles ou de distances</i>	156
5.3.5	Point nodal et cheminements nodaux planimétriques.....	157
5.3.5.1	<i>Observations</i>	157
5.3.5.2	<i>Calculs</i>	158
5.3.5.3	<i>Points nodaux multiples</i>	160
5.3.6	Cheminement fermé	161
5.3.6.1	<i>L'orientation et les coordonnées à l'origine sont connues</i>	161
5.3.6.2	<i>Orientation sommaire, origine inconnue</i>	162
5.3.6.3	<i>Origine inconnue, orientation du premier côté strictement imposée</i>	163
5.3.7	Canevas de polygonation.....	163
5.3.7.1	<i>Cheminements principaux et cheminements secondaires</i>	163
5.3.7.2	<i>Désignation et matérialisation</i>	164
5.3.8	Observations et calculs	165
5.3.9	Centrage forcé	165
Chapitre 6.	Positionnement satellitaire	167
6.1	Introduction	167
6.2	Rappel sur les réseaux géodésiques	168
6.3	Composition du système	168
6.3.1	Le secteur Espace	168
6.3.1.1	<i>NAVSTAR GPS</i>	168
6.3.1.2	<i>GLONASS</i>	169
6.3.1.3	<i>GALILEO</i>	169

6.3.2	Le secteur Contrôle	170
6.3.3	Le secteur Utilisateur	170
6.4	Mesures GNSS	172
6.4.1	Principe théorique	172
6.4.2	Principe de la mesure de distance	172
6.4.3	Le signal émis par un satellite GNSS	172
6.4.4	La mesure de distance par le code (pseudo-distance)	173
6.4.5	La mesure de distance par la phase	174
6.5	Erreurs	175
6.5.1	Erreurs dues aux satellites	175
6.5.2	Erreurs dues à la propagation du signal	175
6.5.3	Erreurs dues au récepteur	177
6.6	Le mode différentiel	178
6.6.1	Simple différence	178
6.6.2	Double différence	179
6.6.3	Triple différence	179
6.7	Positionnement GNSS absolu	180
6.8	Positionnement GNSS différentiel post-traité	181
6.8.1	Positionnement différentiel statique post-traité	181
6.8.1.1	<i>Le statique</i>	182
6.8.1.2	<i>Le statique rapide</i>	182
6.8.2	Positionnement différentiel cinématique post-traité (PPK)	182
6.9	Positionnement GNSS différentiel temps réel	184
6.9.1	Principe du temps réel	184
6.9.2	Positionnement différentiel cinématique par la phase (RTK)	184
6.9.3	Positionnement différentiel cinématique par le code (DGPS)	185
6.10	Les réseaux permanents	187
6.10.1	Intérêt	187
6.10.2	Le réseau GNSS permanent	187
6.10.3	Les réseaux temps réel	188
6.11	Missions pour la création de canevas GNSS	189
6.11.1	Procédure de création d'un canevas GNSS : le pivot central	189
6.11.1.1	<i>Principe</i>	189
6.11.1.2	<i>Mise en place des points de canevas</i>	190
6.11.1.3	<i>Choix du pivot central</i>	190
6.11.2	Rattachement altimétrique	191
6.11.3	Rattachement GNSS à un système local	191
6.11.4	Planification et organisation	192

6.12 Qualité des mesures	193
6.12.1 DOP	193
6.12.2 Redondance	194
6.12.3 Temps d'observation	195
6.13 Post-traitement des observations	195
6.13.1 Transfert des données	195
6.13.2 Calcul et validation des lignes de base	196
6.13.2.1 <i>Choix du point fondamental</i>	196
6.13.2.2 <i>Choix et calcul des vecteurs</i>	196
6.13.3 Ajustement	197
6.13.4 Adaptation	197
 Chapitre 7. Levé des détails et implantations	 199
7.1 Levé des détails planimétriques	199
7.1.1 Points à lever	199
7.1.2 Reconnaissance	200
7.1.3 Techniques de levé	201
7.1.3.1 <i>Limites et points</i>	201
7.1.3.2 <i>Abscisses et ordonnées</i>	202
7.1.3.3 <i>Multilatération des détails</i>	206
7.1.3.4 <i>Rayonnement</i>	206
7.1.4 Saisie des données	207
7.1.5 Nuage de points 3D par scanner	210
7.2 Levé du relief	211
7.2.1 Lignes caractéristiques et semis de points	211
7.2.2 Balayage et quadrillage	213
7.2.3 Profils	213
7.3 Tachéométrie	214
7.3.1 Instruments	214
7.3.2 Méthodologie	218
7.3.3 Observations	219
7.3.4 Enregistrement	222
7.3.5 Géocodification	223
7.4 Implantations	224
7.4.1 Caractères généraux	224
7.4.2 Alignements	224
7.4.2.1 <i>Points alignés</i>	224
7.4.2.2 <i>Parallèle à un mur</i>	225

7.4.3	Arcs de cercle tangents à des alignements droits	226
7.4.3.1	<i>Points de tangence</i>	226
7.4.3.2	<i>Abscisses et ordonnées</i>	227
7.4.3.3	<i>Implantation polaire</i>	229
7.4.3.4	<i>Intersection</i>	230
7.4.3.5	<i>Raccordement circulaire double</i>	231
7.4.4	Clothoïde	232
7.4.4.1	<i>Caractéristiques géométriques et formules</i>	232
7.4.4.2	<i>Calculs des éléments d'implantation</i>	233
7.4.5	Piquetage planimétrique	235
7.4.6	Repères altimétriques	236
7.4.7	Chronologie des travaux d'implantation	237

Chapitre 8. Travaux topographiques spécifiques..... 241

8.1	Bâtiment	241
8.1.1	Levé d'intérieur	241
8.1.1.1	<i>Saisie manuelle</i>	241
8.1.1.2	<i>Chaîne numérique</i>	243
8.1.2	Levé des façades	243
8.1.3	Contrôles de verticalité	244
8.1.3.1	<i>Piliers et poteaux</i>	244
8.1.3.2	<i>Façades planes</i>	245
8.1.4	Chaises	245
8.1.5	Le GPS dans le monde de la construction	245
8.2	Travaux publics	246
8.2.1	Entrées en terre et gabarits de talutage	246
8.2.2	Localisation et guidage des engins de chantier	248
8.3	Topographie souterraine	249
8.3.1	Transfert au fond des canevas du jour	249
8.3.2	Creusement d'une galerie	251
8.3.3	Contrôle des profils en travers	252
8.4	Métopologie	252
8.4.1	Métopologie géodésique	252
8.4.1.1	<i>Autocollimation</i>	253
8.4.1.2	<i>Rayonnement spatial</i>	254
8.4.1.3	<i>Intersection spatiale</i>	254
8.4.1.4	<i>Nivellement géométrique de très haute précision</i>	255
8.4.2	Métopologie photogrammétrique	255
8.4.3	Auscultation d'ouvrage	256

8.5 Photogrammétrie	256
8.5.1 Prise de vue et clichés	256
8.5.2 Photo-interprétation	258
8.5.3 Stéréophotogrammétrie	258
8.6 Bathymétrie	261
8.7 SIG	262
8.7.1 Les données d'un SIG	262
8.7.2 Les utilisations d'un SIG	263
8.7.3 Architecture et fonctionnalités	263
8.7.4 Modélisation et articulation des données	265
8.7.5 Les sources de données	265
Chapitre 9. Calculs topométriques	267
9.1 Modes de calcul	267
9.1.1 Rappels mathématiques	267
9.1.1.1 <i>Trigonométrie circulaire</i>	267
9.1.1.2 <i>Équation du second degré</i>	271
9.1.1.3 <i>Développements limités</i>	271
9.1.1.4 <i>Dérivées et différentielles</i>	271
9.1.1.5 <i>Géométrie</i>	273
9.1.2 Calcul séquentiel	275
9.1.3 Traitement informatique	278
9.2 Coordonnées	278
9.2.1 Conversions	278
9.2.1.1 <i>Conversion des coordonnées polaires en coordonnées rectangulaires ($P \rightarrow R$)</i>	278
9.2.1.2 <i>Conversion des coordonnées rectangulaires en coordonnées polaires ($R \rightarrow P$)</i>	279
9.2.1.3 <i>Application</i>	280
9.2.1.4 <i>Distance d'un point à une droite</i>	282
9.2.2 <i>G0 de station</i>	282
9.2.3 Stations excentrées	284
9.2.4 Rattachement – rabattement	286
9.2.5 Changement de repère orthonormé	287
9.2.5.1 <i>Angle des repères</i>	287
9.2.5.2 <i>Formules</i>	288
9.2.5.3 <i>Algorithme</i>	289
9.2.5.4 <i>Application</i>	291

- 9.3 Intersections de droites et de cercles** 293
 - 9.3.1 Intersection de deux visées..... 293
 - 9.3.2 Intersection de deux droites 294
 - 9.3.3 Intersection de deux cercles 296
 - 9.3.4 Centre et rayon d'un cercle défini par les coordonnées de trois de ses points 297
 - 9.3.5 Relèvement sur trois points 297
 - 9.3.5.1 *Intersection des arcs capables* 298
 - 9.3.5.2 *Relèvement italien* 301
 - 9.3.5.3 *Formule de Delambre*..... 302
 - 9.3.6 Relèvement double 303
 - 9.3.7 Intersection d'une droite et d'un cercle 304
 - 9.3.8 Intersection d'une visée et d'un arc capable 305

- 9.4 Superficies** 305
 - 9.4.1 Superficies graphiques 305
 - 9.4.1.1 *Décomposition d'un polygone en triangles et en trapèzes* 305
 - 9.4.1.2 *Surfaces à limites sinueuses* 306
 - 9.4.1.3 *Planimètres* 306
 - 9.4.1.4 *Surfaces digitalisées* 309
 - 9.4.1.5 *Jeu du papier* 310
 - 9.4.2 Superficies numériques élémentaires 312
 - 9.4.2.1 *Triangles*..... 312
 - 9.4.2.2 *Trapèzes* 314
 - 9.4.2.3 *Quadrilatères*..... 316
 - 9.4.2.4 *Secteur et segment circulaires*..... 317
 - 9.4.3 Superficie d'un polygone défini en coordonnées polaires 317
 - 9.4.4 Superficie d'un polygone défini en coordonnées rectangulaires 319
 - 9.4.4.1 *Superficie positive* 319
 - 9.4.4.2 *Superficie négative* 320
 - 9.4.4.3 *Polygone quelconque*..... 320
 - 9.4.5 Formule polygonale ou formule de Sarron 322
 - 9.4.5.1 Notations 322
 - 9.4.5.2 Formule 322
 - 9.4.5.3 Calcul direct du côté inconnu 325
 - 9.4.5.4 Calcul des angles inconnus 326
 - 9.4.5.5 Arrondis et troncatures 327
 - 9.4.6 Redressement des limites 327
 - 9.4.6.1 Segment de redressement 327
 - 9.4.6.2 Ligne brisée 328

- 9.5 Divisions des surfaces** 330
 - 9.5.1 Triangles 330

9.5.2	Trapèzes	335
9.5.3	Quadrilatères	337
9.6	Calculs itératifs	344
9.6.1	Racines d'une équation à une inconnue	344
9.6.1.1	<i>Approximations successives</i>	344
9.6.1.2	<i>Linéarisation ou méthode de Newton</i>	345
9.6.1.3	<i>Dichotomie</i>	346
9.6.1.4	<i>Incrémentation</i>	347
9.6.2	Algorithmes itératifs	348
Chapitre 10.	Dessins et plans	353
10.1	Dessins	353
10.1.1	Minutes et calques	353
10.1.2	Reports par multilatération	354
10.1.3	Quadrillage et points connus en coordonnées ; échelles 1/100 à 1/5 000	357
10.1.4	Dessin des courbes de niveau	359
10.1.5	Profils	360
10.1.5.1	<i>Tracé en plan</i>	360
10.1.5.2	<i>Profil en long</i>	364
10.1.5.3	<i>Profils en travers</i>	369
10.1.6	Cubature des terrassements	374
10.1.6.1	<i>Principe</i>	374
10.1.6.2	<i>Moyenne des aires</i>	375
10.1.6.3	<i>Distances des profils encadrants à la ligne de passage</i>	377
10.1.6.4	<i>Moyenne des entre-profils</i>	378
10.1.6.5	<i>Cubature simplifiée</i>	382
10.2	Plans numériques	383
10.2.1	Infographie	383
10.2.1.1	<i>Levé et saisie des données</i>	384
10.2.1.2	<i>Constitution du fichier-points</i>	384
10.2.1.3	<i>Établissement du fichier-dessin</i>	384
10.2.1.4	<i>Dessins</i>	385
10.2.1.5	<i>Incorporation des résultats dans un SIG</i>	385
10.2.2	Les logiciels	385
10.2.2.1	<i>La modélisation</i>	385
10.2.2.2	<i>Les entités</i>	386
10.2.2.3	<i>Les commandes utiles</i>	387
10.2.3	Interactivité	387

8.6 Bathymétrie

La bathymétrie est le domaine des études hydrographiques qui s'attache à la mesure des profondeurs des rivières, canaux, lacs, etc. pour déterminer leur topographie ; elle associe un *positionnement en surface avec la mesure d'une profondeur par sondeur électro-acoustique* monofaisceau ou multifaisceaux à partir d'une embarcation qui peut être télécommandée. La profondeur est calculée à partir du temps de trajet d'un signal acoustique réfléchi au fond (figure 8.25).



Figure 8.25. Embarcation bathymétrique avec GPS embarqué.

Document INGENEO

Le positionnement peut être acquis par un tachéomètre électronique vidéo-asservi, ou mieux par un GPS temps réel embarqué, lequel est moins gêné par la végétation des rives et offre la liberté de déplacement sur l'eau.

L'ensemble des données GPS et sondeur alimentent un logiciel de bathymétrie : Hypack/ Hysweep, OLEX, etc. chargé sur un ordinateur embarqué, qui permet la planification des travaux, notamment des profils, avant intervention sur le site, ainsi que la navigation.

Les données du sondeur ne pouvant être contrôlées en temps réel, les acquisitions sont toujours des valeurs brutes traitées en temps différé au bureau ; elles fournissent les coordonnées du fond et de la surface, sous réserve de référer les profondeurs en mer au zéro hydrographique donné par le SHOM (Service hydrographique et océanographique de la marine) et de les dater.

Après filtrage des données et tests de plausibilité des mesures du sondeur, on obtient une modélisation numérique du fond sous forme de MNT, base des traitements ultérieurs (figure 8.26).

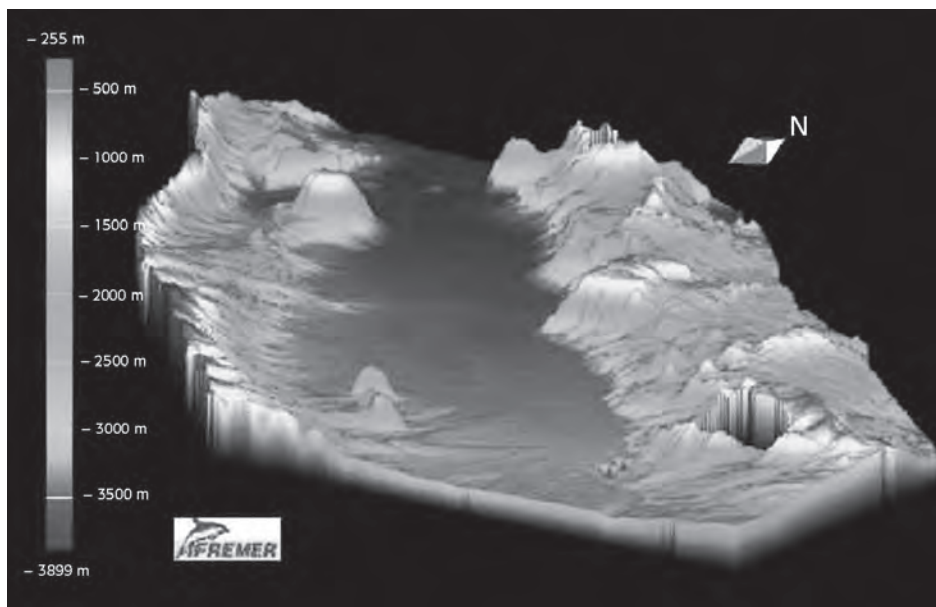


Figure 8.26. Vue 3D de la bathymétrie de l'EM12D.

Document IFREMER

8.7 SIG

L'information géographique désigne toute information portant sur des objets ou des phénomènes localisables géographiquement. La *géomatique* (*géographie* + *informatique*) est l'intégration sur un support informatique de l'information géographique.

Un système d'information géographique est un ensemble de fonctions, de composants matériels (hardware) et logiciels (software) gérant des données géographiques et sémantiques.

8.7.1 Les données d'un SIG

C'est la partie la plus importante d'un SIG.

- les données *géographiques* ou *géométriques* peuvent être de trois types : les symboles ou ponctuels (un arbre par exemple), les linéaires (une route) et les polygones ou surfaciques (une parcelle cadastrale) ; les métadonnées sont des données sur les données, par exemple le fournisseur des données, le système de coordonnées, la date et la méthode d'acquisition...
- les données *attributaires* ou *sémantiques*, rattachées aux précédentes, peuvent prendre divers formats : caractère, nombre, date, image, lien hypertexte, etc. Elles servent à décrire l'objet géographique.

8.7.2 Les utilisations d'un SIG

Les domaines d'application d'un SIG sont très variés : réseaux, aménagement du territoire, urbanisme, agriculture, environnement, risques naturels et anthropiques, géologie ;

Les principales utilisations sont :

- la planification urbaine (PLU, gestion du cadastre, de la voirie, des réseaux, transports urbains, etc.) ;
- l'édition de plans et graphiques ;
- l'inventaire des biens et des installations : gestion des eaux, déchets, espaces naturels, etc. ;
- l'allocation des ressources, analyses démographiques, cartes de votes politiques, etc. ;
- l'optimisation des flux de circulation ;
- le géomarketing : localisation des clients, tourisme, etc. ;
- l'évaluation des ressources du sol et du sous sol : gisements, nappes souterraines, etc. ;
- la surveillance et les contrôles d'événements : accidents de la route, glissements de terrain, risques incendies, inondations, etc.

Pour tous ces usages, les SIG offrent des avantages certains : croisement et continuité de l'information, archivage des plans, gain de temps.

Le SIG est donc un outil qui permet de rassembler des informations d'origines et de supports divers, de les superposer, de les croiser, de les sélectionner, pour étayer et optimiser les décisions ou améliorer le projet et enfin pour les afficher sous une forme homogène facile à actualiser.

8.7.3 Architecture et fonctionnalités

Les différentes fonctionnalités d'un SIG peuvent être résumées par les 6 A :

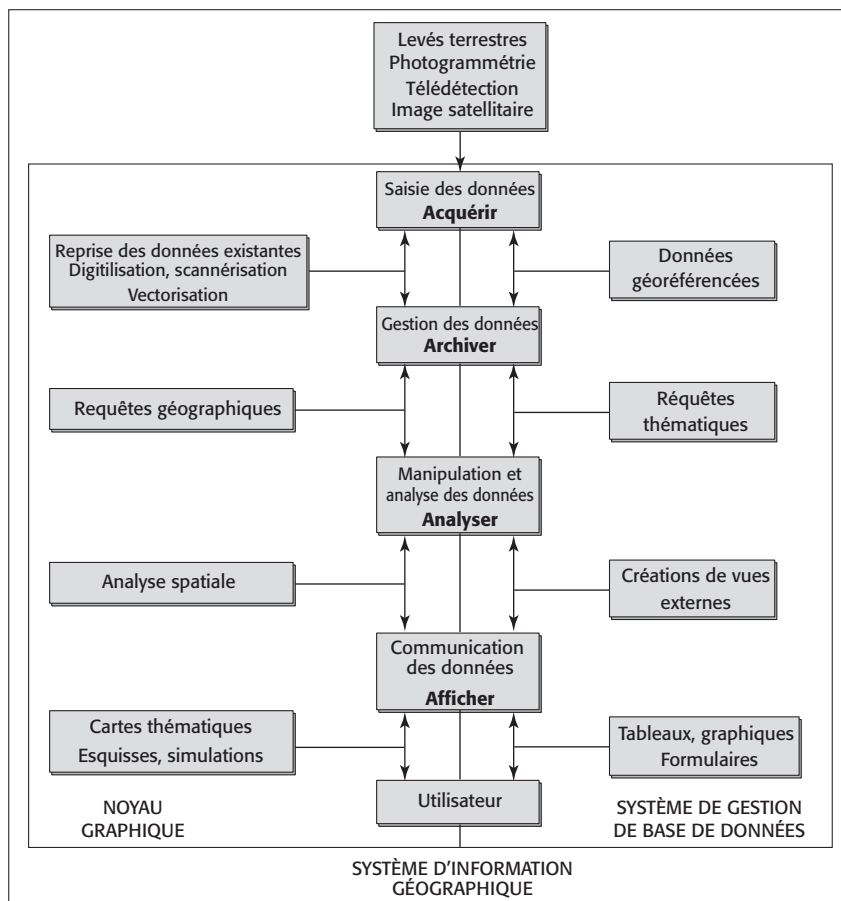
- **acquisition** : divers outils de saisie des données sont possibles : levés terrestres, GPS, photogrammétrie, télédétection pour des données nouvelles ; l'utilisation des récepteurs GPS dédiés SIG (figure 8.27) , avec saisie des informations sémantiques sur le terrain, permet un gain de temps considérable ; digitalisation, scannérisation, vectorisation pour des données existantes sur support papier ;



Figure 8.27. Récepteur GPS dédié SIG.

Document Trimble

- **archivage** : la plupart des logiciels du marché fonctionnent sur le principe de couches d'objets géographiques superposables ;
- **analyse** : c'est la fonction la plus importante : elle permet des manipulations, croisements et transformations de données spatiales ainsi que des requêtes et analyses de données thématiques. Le système doit pouvoir répondre aux questions : où ? (localiser un objet ou un phénomène), quoi ? (mettre en évidence un objet ou un phénomène), quand ? (évolution d'un objet ou d'un phénomène), comment ? (relations entre objets et phénomènes), si ? (conséquences d'un objet ou phénomène) ;
- **affichage** : l'expression d'une analyse ou d'une requête se traduit généralement par des cartes, graphiques ou tableaux ;
- **abstraction** : un SIG suppose une modélisation de la réalité et par conséquent comprend des outils qui permettent d'en rendre compte ;
- **anticipation** : c'est la prospective, le SIG étant avant tout un outil d'aide à la décision.



Les SIG du marché sont essentiellement classés par leurs fonctions d'analyse. Citons par exemple ArcGis, Mapinfo, Geoconcept. Il est à noter depuis quelques années le fort développement des logiciels libres, potentiellement gratuits sous licence publique générale, tels que Quantum Gis ou Grass dont l'avantage, outre un coût de licence nul, réside dans une conception modulaire : on ne prend que les fonctions dont l'utilisateur a besoin.

8.7.4 Modélisation et articulation des données

La *modélisation des données géographiques* est faite sous deux formes :

- le *mode raster*, ou tramé, ou matriciel, qui divise le plan en une série de points ayant chacun une densité de gris ou de couleur qui, une fois juxtaposés, donne l'apparence visuelle d'un plan. Les exemples les plus courants dans le domaine des SIG sont les *ortho-photos* (images aériennes ou satellites traitées géométriquement de sorte que chaque point soit superposable à un plan) ou les cartes scannées type *scan25*, issues de la numérisation de la carte IGN à l'échelle 1/25000 ;
- le *mode vecteur*, utilisé pour identifier et localiser les éléments du territoire dont il est nécessaire de connaître les caractéristiques géométriques. La représentation des données se fait sous les 3 formes : ponctuel, linéaire ou polygone.

Les logiciels sont capables de gérer les modes raster et vecteur dans une même base.

La *modélisation des données thématiques* est assurée par un SGBD (Système de gestion de base de données), très souvent relationnel, où les données sont organisées sous forme de tables à deux dimensions. Les lignes correspondent aux enregistrements et les colonnes aux champs attributaires.

Les systèmes peuvent gérer les données graphiques et sémantiques simultanément, la géométrie et les attributs étant stockés dans une même base ou séparément, solution qui offre plus de sécurité en cas de perte de données. Lorsque les utilisateurs sont nombreux et les données importantes, elles sont partagées entre plusieurs ordinateurs. Il s'agit alors d'une architecture *client-serveur*.

8.7.5 Les sources de données

Pour qu'une donnée puisse être introduite dans un SIG elle doit être utile, de fiabilité connue et pouvoir être mise à jour, triple condition qui conditionne les sources :

- l'IGN, principal fournisseur de données : BD Ortho, BD Topo, BD Parcellaire et BD Adresse faisant partie du RGE, BD Alti, BD Carto, Scan25, etc. ;
- la DGI-Cadastre avec le PCI ;
- l'INSEE par la diffusion du recensement général de la population ;
- les photographies aériennes ;
- les orthophotoplans ;
- les images satellitaires de télédétection spatiale, laquelle enregistre directement à l'aide d'un capteur approprié le rayonnement électromagnétique réfléchi et émis par la surface terrestre (Landsat - SPOT).

10.3 Plans numérisés 387

10.4 Présentation 388

 10.4.1 Formats 388

 10.4.2 Habillage 389

 10.4.3 Indications 389

 10.4.4 Exemples 390

Index 393

Index

A

- abscisse 202
- algorithme itératif 348
- altimétrie 1
- altitude 17
- angle 22
 - azimutal 22
 - de deux visées 22
 - horizontal 22
 - vertical d'une visée 23
- arc de cercle tangent à des alignements droits 226
- auscultation d'ouvrage 256
- axe optique 64
- azimut
 - géographique 50
 - magnétique 50

B

- balayage 213
- bassin versant 54
- bathymétrie 261
- BD Topo 55

C

- calage 69
- calcul
 - en bloc 142
 - itératif 344
 - séquentiel 275
 - topométrique 2, 267

- canevas
 - de nivellement 134
 - de polygonation 163
 - GNSS 189
 - polygonal 142
- carnet 208
- carte de base 45
- CC 9 zones 8
- centrage 69
 - forcé 165
- cercle 57
 - directeur 64
- changement de repère orthonormé 287
- cheminement
 - aller et retour 122
 - double à doubles points de mire 125
 - double à doubles stations 123
 - encadré 108, 148
 - fermé 113
 - nodal altimétrique 112
 - nodal planimétrique 157
 - planimétrique 142
- chevelu 54
- clothoïde 232
- compensation par la méthode des moindres carrés 138
- contrôle 24
 - de verticalité 244
- convergence des méridiens 6
- coordonnée 278
 - géographique 4, 5
 - plane 5
- correction 24
 - d'index 75
- cote géopotentielle 17

coupe et profil 53
 courbe de niveau 51
 croquis 207
 cubature des terrassements 374

D

dénivelée
 élémentaire 106
 instrumentale 128
 dessin topographique 2
 dilatation 85
 distance 23
 distancemètre 93
 division des surfaces 330
 donnée
 attributaire 262
 géographique 262
 DOP 193

E

échelle 2
 échelon 61
 éclimètre 75
 ED50 (European Datum 1950) 13
 ellipsoïde 4
 enregistrement 222
 entrée en terre 246
 erreur
 accidentelle des mesures directes 27
 accidentelle des mesures indirectes 38
 GNSS 175
 parasite ou faute 24
 systématique 25
 étalonnage 85

F

format 388
 formule
 de Sarron 322
 polygonale 322

G

G₀ de station 282
 gabarit de talutage 246
 GALILEO 169
 géocodification 223
 géoïde 17
 Géoportail 55
 gisement 50
 GLONASS 169
 GNSS 24, 167
 goniomètre 57, 62
 GPS 24, 168

H

hauteur ellipsoïdale 5

I

implantation 3, 224
 GNSS 185
 infographie 383
 insertion 138
 intersection 137
 de cercles 296
 de droites 294
 de visées 293

J

jalonnement 81
 jeu du papier 310

L

Lambert
 93 8
 Zone 6
 latitude géodésique 5
 lecture
 électronique 63
 optique 62
 sur mire ordinaire 104
 levé
 des détails par GNSS 185
 des façades 243
 d'intérieur 241
 topographique 1
 ligne
 caractéristique 211
 et forme caractéristiques 53
 limite et point 201
 localisation des erreurs parasites 154
 logiciel 385
 longitude géodésique 5

M

méridien 4
 mesurage
 direct 24
 électronique 89
 indirect 24
 mesure GNSS
 cinématique 182
 mode absolu 180
 mode différentiel 178, 181, 184
 par la phase 174
 par le code 173
 pivot central 189

- statique 181
- temps réel 184
- méthode des trois trépieds 165
- métrologie
 - géodésique 252
 - photogrammétrique 255
- mire 102
- mouvement 63
- multilatération des détails 206

N

- niveau 102
- nivellement
 - électronique 61
 - sphérique 59
 - torique 60
- nivellement
 - direct ordinaire 101
 - géodésique 128
 - géométrique de précision 119
 - géométrique motorisé 127
 - trigonométrique 131
- normale 17
- NTF 12
- nuage de points 3D par scanner 210

O

- observation 1
 - topographique 22
- ordonnée 202
- orientation 77
- orographie 51
- orthométrique 17

P

- paire de séquences 71
- parallèle 5
- pente 52
- photogrammétrique 256
- piquetage planimétrique 235
- plan
 - de récolement 239
 - graphique 2
 - numérique 2, 383
 - numérisé 2, 387
 - topographique 2
- planimètre 306
- planimétrie 1
- point
 - à lever 199
 - coté 51
 - de canevas 137

- nodal 112
 - Voir* cheminement nodal
- positionnement satellitaire 24, 167
- précision 87, 95, 116, 126
 - des mesures d'angles 66
- profil 213, 360
 - en long 364
 - en travers 369
- progiciel 3
- projection
 - aphylactique 6
 - UTM 9
- prolongement 84

Q

- quadrillage 213

R

- rabattement 286
- raster 265
- rattachement 286
- rayonnement 206
- RBF 15
- RDF 15
- reconnaissance 200
- recoupement 138
 - élémentaire 305
- redressement des limites 327
- relèvement 137
 - double 303
 - sur trois points 297
- repère
 - altimétrique 236
 - de nivellement 18
- réseau
 - de nivellement 17
 - permanent 187
- RGE 55
- RGF93 (Réseau géodésique français 1993) 13
- RGP 187
- RRF 13

S

- SCAN 25 55
- secteur
 - contrôle 170
 - utilisateur 170
- semis de points 211
- sensibilité d'une nivelle 60
- séquence 70
- SGBD 265
- SIG 262

- signal GNSS 172
- station
 - excentrée 284
 - libre 138
- suivi et contrôle des ouvrages 3
- superficie
 - d'un polygone défini en coordonnées polaires 317
 - graphique 305
- surface
 - digitalisée 309
 - topographique 4
- système
 - conforme 6
 - d'altitudes 17
 - de projection 5
 - équivalent 6
 - géodésique 12

T

- tachéométrie 214
- théodolite 22, 57
- tolérance 38
- topographie 1
 - souterraine 249
- topométrie 1
- tour d'horizon 73
- traitement des observations GNSS 195
- transformation
 - de coordonnées 10
 - d'Helmert 141
- travaux topographiques 1

V

- vecteur 265