

Topographie opérationnelle

Mesures - Calculs - Dessins - Implantations



Michel **Brabant**

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

EYROLLES

Éditions Eyrolles, 2012, ISBN : 978-2-212-12847-5

Méthodes

Michel Brabant

avec MATHIEU & Jean-LACOFUN, *Topographie et topométrie modernes*

avec le concours de Béatrice Patzel, Amélie Piège et Hélène Müller

2. Calcul, 344 p. avec un CD-ROM

Pierre MARTIN, *Géométrie appliquée au BTP*, 384 p.

- *Géométrie appliquée au BTP*, 2^e éd., 293 p.

Jean-Pierre GOUSSEL, *Technique des dessins de bâtiment*

- *Dessin technique et lecture de plan. Principes et exercices*, 192 pages

- *Plans topographiques, plans d'architecture et permis de construire* (à paraître au second semestre 2012)

- *Plans de bureaux d'études (béton armé, charpente, électricité, fluides)* (à paraître en 2013)

Avec le concours de Jean-Claude CARDEBELLE & René PRAJAT, *Le métier CAO-DAO avec AutoCAD, étude de projet*

2^e éd., 312 p.

avec Bernard BADAUT, *Méthodes pratiques de levé de terre dans le bâtiment* (à paraître en 2012)

Topographie opérationnelle

Gérard KARSENTY, *La fabrication de béton*

1. *Le gros œuvre*, 552 p.

2. *Le second œuvre - Dessins - Calculs - Mesures - Implantations*

- *Guide pratique des VRD et aménagements extérieurs*, 632 p.

Généralités

Jean-Paul ROY & Jean-Luc BLIN-Lacroix, *Dictionnaire professionnel du BTP*, 3^e éd., 848 p.

Normes et mesures

Yves CHAIX, *Maîtriser l'Eurocode 2. Guide d'application*, 338 p. (coédition Afnor)

Pratique de l'Eurocode 2. Guide d'application, 626 p. (coédition Afnor)

Yves CHAIX & Jean-PAULLE, *Calcul des structures en béton. Guide d'application de l'Eurocode 2*, 620 p. (coédition Afnor)

Yves CHAIX & Jean-PAULLE, *Béton armé : théorie et applications selon l'Eurocode 2*, 496 p.

Yves CHAIX & Jean-PAULLE, *Calcul des structures en bois. Guide d'application de l'Eurocode 5*, 2^e éd., 512 p. (coédition Afnor)

Yves CHAIX & Jean-PAULLE, Nicolas JURASZEK & Marc PELCE, *Dimensionner les ouvrages en maçonnerie*

Guide d'application de l'Eurocode 6, 328 p. (coédition Afnor)

Yves CHAIX & Jean-PAULLE, Jean-Luc GODREAU, *Quivrage d'art en zone sismique. Guide d'application de l'Eurocode 8*, 128 p.

Photos de couverture © Arnaud Rostand & Sébastien Paulin, ESGT. *Guide d'application de l'Eurocode 8*

En première page de couverture à gauche et à droite : station totale Trimble 5600 robotisée ; au centre : récepteur fixe GPS GNSS Trimble R6, liaison par radio UHF au mobile (mode de levé en temps réel).

En quatrième page de couverture de haut en bas : récepteur mobile GPS/GNSS Trimble R6 couplé au carnet de terrain Trimble TSC2 (levé de détails) ; extraits d'un nuage de points réalisé avec un laser scanner 3D (détails, Château d'Allinges Haute-Savoie) ; laser scanner 3D Leica HDS 6100 à mesure de phase. www.esgt.com



Le code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée notamment dans les établissements d'enseignement provoquant une baisse brutale des achats de livres, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage, sur quelque support que ce soit, sans l'autorisation de l'Éditeur ou du Centre Français d'exploitation du droit de copie, 20, rue des Grands Augustins, 75006 Paris.

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 λ, ϕ \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 Schéma	91
3.2.3.2 Réflecteur	92
3.2.4 Distancemètres de topographie	93
3.2.4.1 Modulaires	93
3.2.4.2 Intégrés	93
3.2.4.3 Lasers pulsés sans réflecteur	94
3.2.5 Précision	95
3.2.5.1 Erreurs parasites	95
3.2.5.2 Erreurs systématiques	95
3.2.5.3 Erreurs accidentelles	97
3.2.5.4 Écart-types	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 Niveaux-blocs à nivelle torique	102
4.1.2.2 Niveaux automatiques	103
4.1.2.3 Lecture sur mire ordinaire	104
4.1.2.4 Niveaux numériques, mires code-barres	105
4.1.3 Dénivelée élémentaire	106
4.1.3.1 Points en dessous du plan de visée	106
4.1.3.2 Points au-dessus du plan de visée	107
4.1.4 Cheminement encadré	108
4.1.4.1 Observations	108
4.1.4.2 Calcul des altitudes	110
4.1.4.3 Algorithme	111
4.1.4.4 Application	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 Erreurs parasites	116
4.1.8.2 Erreurs systématiques	117
4.1.8.3 Erreurs accidentelles	118
4.1.8.4 Écart-type	118
4.1.8.5 Vérification et réglage de la collimation	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	Chemins 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 chemins 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 polygonaion	163
5.3.7.1	<i>Chemins principaux et chemins 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
8.2.5	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 → R)</i>	278
9.2.1.2	<i>Conversion des coordonnées rectangulaires en coordonnées polaires (R → 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	G0 de station	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	<i>Intersection des arcs capables</i>	298
9.3.5.2	<i>Relèvement italien</i>	301
9.3.5.3	<i>Formule de Delambre</i>	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	<i>Décomposition d'un polygone en triangles et en trapèzes</i>	305
9.4.1.2	<i>Surfaces à limites sinueuses</i>	306
9.4.1.3	<i>Planimètres</i>	306
9.4.1.4	<i>Surfaces digitalisées</i>	309
9.4.1.5	<i>Jeu du papier</i>	310
9.4.2	Superficies numériques élémentaires	312
9.4.2.1	<i>Triangles</i>	312
9.4.2.2	<i>Trapèzes</i>	314
9.4.2.3	<i>Quadrilatères</i>	316
9.4.2.4	<i>Secteur et segment circulaires</i>	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	<i>Superficie positive</i>	319
9.4.4.2	<i>Superficie négative</i>	320
9.4.4.3	<i>Polygone quelconque</i>	320
9.4.5	Formule polygonale ou formule de Sarron	322
9.4.5.1	<i>Notations</i>	322
9.4.5.2	<i>Formule</i>	322
9.4.5.3	<i>Calcul direct du côté inconnu</i>	325
9.4.5.4	<i>Calcul des angles inconnus</i>	326
9.4.5.5	<i>Arrondis et troncatures</i>	327
9.4.6	Redressement des limites	327
9.4.6.1	<i>Segment de redressement</i>	327
9.4.6.2	<i>Ligne brisée</i>	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 a 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

