

Table des matières:

1	Aspects généraux	1
1.1	Introduction	1
1.1.1	Situation	1
1.1.2	Buts	1
1.1.3	Méthodes	1
1.2	Hypothèses de travail	2
1.3	Exigences relatives aux points fixes	2
1.3.1	Exigences de précision	2
1.3.2	Exigences de fiabilité	3
1.4	Justification des travaux et préparation	3
1.5	Déroulement général des travaux	4
2	Etablissement, détermination et entretien des réseaux de points fixes	7
2.1	Considérations générales	7
2.2	Projet de bureau	7
2.2.1	Renouvellement combiné PFP2/3	7
2.2.2	Numérotation des points	7
2.2.3	Particularités lors du renouvellement et de la mise à jour	8
2.3	Reconnaissance (mise en œuvre sur le terrain)	9
2.3.1	Reconnaissance des points de rattachement sur le terrain	9
2.3.2	Critères applicables aux points nouveaux	10
2.4	Projet de canevas (disposition des mesures)	11
2.5	Mesures	11
2.5.1	Signalisation et stationnement	12
2.5.2	Tenue du protocole	12
2.6	Calculs	12
2.6.1	Considérations générales	12
2.6.2	Modèle stochastique	13
2.6.3	Préanalyse / Calcul a priori	14
2.6.4	Calculs préparatoires	14
2.6.5	Compensation pour analyser les mesures et les points de rattachement	14
2.6.6	Analyse des résultats	15
2.6.7	Calcul définitif dans le cadre de référence MN03/NF02	16
2.6.8	Cas spéciaux	17
2.6.9	Documentation des calculs	17
2.7	Maintenance et mise à jour périodique	18
3	Systemes de référence et transformations	19
3.1	Vue d'ensemble	19
3.1.1	Systemes altimétriques utilisés en Suisse	20
3.1.2	Cadre de référence officiel futur de la Suisse	20
3.2	Paramètres de transformation CHTRS95/ETRS89 ↔ CH1903+	21
3.2.1	Paramètres MN95	21
3.2.2	Paramètres Granit87	21
3.3	Transformations planimétriques entre le cadre de référence local MN03 et MN95	21

3.4	Transformation altimétrique entre NF02 et RAN95	21
4	Méthodes	23
4.1	Global Navigation Satellite System (GNSS)	23
4.1.1	Entrée en matière	23
4.1.2	Vue d'ensemble des méthodes de mesure GNSS	23
4.1.3	Projet de bureau	27
4.1.4	Reconnaissance	27
4.1.5	Disposition définitive des mesures	27
4.1.6	Mesures	27
4.1.7	Définition de sessions	28
4.1.8	Calculs	29
4.1.9	Cas spéciaux	32
4.1.10	Documentation	32
4.2	Détermination trigonométrique des points	33
4.2.1	Projet de canevas	33
4.2.2	Mesures	34
4.2.3	Calculs	36
4.2.4	Documentation	37
4.3	Nivellement géométrique	37
4.3.1	Projet de canevas	37
4.3.2	Reconnaissance / Visite	37
4.3.3	Mesures	38
4.3.4	Calculs	41
4.3.5	Documentation	41
5	Matérialisation des points fixes	42
5.1	Considérations générales	42
5.2	Compétences	42
5.3	Types de repères	43
5.3.1	Matérialisation des PFP2	43
5.3.2	Matérialisation des PFP3	43
5.3.3	Matérialisation des PFA2/3	44
5.4	Pose des repères des points fixes planimétriques et altimétriques	44
5.4.1	PFP2	44
5.4.2	PFP3	45
5.4.3	PFA2/3	45
5.5	Documentation des PFP2, des PFP3 et des PFA2/3	46
5.6	Protection des points fixes planimétriques et altimétriques	46
5.6.1	PFP2/3	46
5.6.2	PFA2/3	46
6	Travaux finaux / Documentation	47
6.1	Fiches signalétiques des points	47
6.2	Carte des points	48
6.3	Calcul définitif	49
6.4	Canevas	49
6.5	Plans des vecteurs	49
6.5.1	Plan des vecteurs réseau libre ajusté - Coordonnées "actuelles"	49
6.5.2	Plan des vecteurs réseau libre ajusté - Coordonnées définitives	49
6.5.3	Plan des vecteurs des modifications des coordonnées et altitudes	49
6.6	Registre des coordonnées et altitudes	50
6.7	Fichier de points	50

6.8	Rapport technique	50
6.9	Décompte	50
6.10	Intégration des résultats dans les systèmes d'information de la mensuration	50
7	Vérification	51
7.1	Projet de canevas	51
7.2	Vérification sur le terrain	51
7.3	Documents à livrer	51
7.4	Rapport de vérification	52
7.5	Suppressions des défauts	52
8	Reconnaissance	52

1 Aspects généraux

1.1 Introduction

1.1.1 Situation

Les présentes directives remplacent les directives de 1996. Elles se fondent sur l'ordonnance sur la mensuration officielle (OMO) du 18 novembre 1992 (état le 25 mars 2003) et sur l'ordonnance technique sur la mensuration officielle (OTEMO) du 10 juin 1994 (état le 25 mars 2003). Sous divers angles, elles sont plus actuelles que l'OTEMO car cette dernière n'a pas encore pu intégrer toutes les nouveautés techniques des dernières années. Avec l'entrée en vigueur de la nouvelle loi sur la géoinformation (LGéo), certaines adaptations devront être apportées à l'OTEMO. Les directives sont à considérer comme des recommandations qui pourront cependant être déclarées contraignantes dans le cadre d'accords contractuels.

La couche d'information des points fixes (PF) constitue la base aussi bien des autres couches d'information de la MO que des informations géographiques destinées aux nombreux utilisateurs de la MO. Les points fixes garantissent la relation spatiale à long terme. Pour cette raison, une grande importance doit être accordée à leur mise à jour.

Depuis la fin de l'année 1995, la nouvelle mensuration nationale 95 (MN95) met à disposition un nouveau cadre de référence dénué de contraintes, riche de quelque 240 points de référence (points MN95 et stations AGNES) répartis sur l'ensemble du territoire suisse. La forme de la relation entre la MO et MN95 a fait l'objet de discussions dans différents groupes de travail. La stratégie de la MO annonce clairement le passage du cadre de référence MN03 à MN95 et l'obligation, pendant une phase transitoire, de mettre à disposition les données de la MO disponibles dans ces deux cadres de référence. Pour l'instant, c'est toutefois MN03 qui demeure le cadre de référence officiel. Nous devons donc vivre avec des solutions transitoires jusqu'au passage définitif dans MN95. Cela veut dire que certains réseaux de points fixes resteront hétérogènes, hiérarchisés et empreints de contraintes (petites et grandes) entre points voisins et points de rattachement. Il s'agira d'amener ces réseaux aux standards voulus dans le cadre des mises à jour ou de renouvellements.

1.1.2 Buts

Le but et l'utilité principaux des présentes directives consistent à épauler les instances de vérification cantonales et les géomètres adjudicataires dans leurs travaux relatifs aux points fixes de la mensuration officielle. Ces directives peuvent, par exemple, s'avérer précieuses en cas d'établissement ou d'évaluation de cahiers des charges, d'avant-projets ou d'offres, pour des tâches de vérification et de coordination et dans le cadre de l'exécution. Les directives sont valables pour le premier relevé, le renouvellement et la mise à jour (permanente et périodique) de réseaux de points fixes des catégories 2 et 3. Le défi est de tendre vers un réseau de points fixes homogène et libre de contraintes pour l'ensemble du pays.

1.1.3 Méthodes

La mensuration officielle respecte en principe la liberté des méthodes, pour autant que les exigences de précision et de fiabilité soient remplies. Dans la pratique actuelle, les méthodes de mesure suivantes sont appliquées pour la détermination des réseaux de points fixes:

GNSS (Global Navigation Satellite System)

détermination trigonométrique des points

nivellement géométrique

combinaison de ces méthodes

Vu sa grande précision et sa rentabilité, le GNSS surtout s'est imposé comme méthode de détermination des points fixes. Les autres méthodes jouent le plus souvent un rôle complémentaire. L'association de plusieurs procédés s'avère souvent plus efficace; les points en terrain dégagé sont déterminés par GNSS tandis que dans les régions construites ou topographiquement difficiles, la méthode trigonométrique reste la meilleure. Le nivellement géométrique entre en ligne de compte lorsque des exigences plus élevées s'appliquent à la détermination altimétrique. La photogrammétrie, qui pourrait également être utilisée pour la détermination des points par le biais de l'aérotriangulation, a toutefois perdu de son importance puisque, en général, le GNSS est utilisé simultanément avec la signalisation de points fixes et que la détermination des points s'effectue ainsi de manière plus rationnelle et plus précise. Si la méthode photogramétrique était encore appliquée, les recommandations des anciennes directives de 1996 restent applicables.

On recourt de plus en plus à des programmes de compensation tridimensionnelle. Le système de projection de la mensuration nationale (tant MN03 que MN95) et des cartes nationales repose sur des coordonnées planimétriques cylindriques à deux dimensions et des altitudes usuelles autonomes. Les coordonnées géocentriques tridimensionnelles doivent être transformées dans le cadre de référence de la mensuration nationale.

1.2 Hypothèses de travail

Le périmètre des projets concernant les points fixes dépend en principe des travaux ultérieurs relatifs aux autres couches d'information. Les présentes directives partent de l'idée que, pour les premiers levés et les renouvellements, on élabore des projets sur d'importants périmètres en vue d'une intégration optimale des réseaux de points fixes d'une part, et d'autre part, pour la rentabilité de tels projets (article premier de l'OTEMO).

Les principes de voisinage (art. 51 OTEMO) et des points de rattachement considérés comme invariables (art. 54 OTEMO) s'appliquent à tous les travaux concernant les points fixes. Les points fixes existants (PFP et PFA) de la même hiérarchie ou d'un échelon supérieur valent comme points de rattachement mais on notera qu'il s'agit d'utiliser surtout des points de la MN95 et des points d'appui des triangles de transformation (PAT).

Dès que la MN95 sera devenue le cadre de référence officiel, le principe de voisinage pourra être respecté automatiquement grâce au gain de précision absolue plus élevé. Cela s'applique aux premiers levés et aux renouvellements. Il faut garantir d'abord pour les entreprises existantes transformées, ou encore provisoires, que la précision originelle de voisinage a été correctement prise en compte lors des transformations ou des travaux d'adaptation.

1.3 Exigences relatives aux points fixes

Les exigences de précision et de fiabilité relatives aux points fixes planimétriques de la mensuration officielle sont indépendantes des méthodes utilisées.

1.3.1 Exigences de précision

Les exigences de précision (art. 28 OTEMO) sont définies comme écarts type (erreur moyenne) en fonction de la densité des points (PFP2) et de la distance aux points de rattachement (PFP3) et représentent des erreurs moyennes par rapport à ces derniers (PR).

Dans un cadre de référence "absolu", c'est-à-dire sans contraintes, comme MN95 et avec le GNSS, la distance aux points voisins ou aux points de rattachement ne joue qu'un rôle mineur pour la précision. On parvient aujourd'hui sans difficultés particulières aussi bien pour les PFP2 que pour les PFP3 à des précisions (écart-type / erreur moyenne par rapport à un point quelconque de la Suisse, dans le cadre de référence MN95, resp. RAN95) de 1 - 2 cm pour la planimétrie et de 2 - 4 cm pour l'altimétrie.

Pour l'utilisation pratique, on a récapitulé ci-après les exigences de précision indépendamment de la densité des points ou de la distance aux points de rattachement, pour autant qu'ils se situent dans le cadre de référence sans contraintes MN95.

Précision planimétrique					
[demi grand axe de l'ellipse de confiance (erreur moyenne) EMA en cm / niveau de signification 1σ]					
Catégorie de point	NT1	NT2	NT3	NT4	NT5
PFP2	*	4	4	10	10
PFP3	*	4	4	10	10
**PFA 2/3	*	10	20	50	100

Tab. 1-1: Précision planimétrique

Précision altimétrique					
[écart type (erreur moyenne) altimétrique EMH en cm / niveau de signification 1σ]					
Catégorie de point	NT1	NT2	NT3	NT4	NT5
PFP2	*	6	6	15	15
PFP3	*	6	6	15	15
PFA2 (niv.)	*	0.5	0.5	-	-
PFA2 (GNSS)	*	4	4	5	-
PFA3	*	0.5	-	-	-

* conformément aux dispositions cantonales mais au moins comme NT2

** conformément aux exigences de précision pour la couche d'information 'couverture du sol' et 'objets isolés'

Tab. 1-2: Précision altimétrique

1.3.2 Exigences de fiabilité

Il faut justifier la fiabilité externe de chaque point. Les déformations des résultats par des erreurs grossières non identifiables ne doivent pas dépasser trois fois la valeur des erreurs moyennes planimétriques et altimétriques indiquées ci-dessus.

Les valeurs NA, NB et NH dérivées de la théorie de Baarda servent d'indicateurs pour la fiabilité externe (rectangles orientés de fiabilité des coordonnées et domaine de fiabilité des altitudes usuelles). Les valeurs relatives à la fiabilité sont calculées a priori. Le poids des indicateurs de fiabilité dépend de la justesse du modèle stochastique, et en particulier du choix d'écarts-type (erreurs moyennes) réalistes a priori concernant les mesures.

Les tableaux suivants donnent une vue d'ensemble des exigences de fiabilité indépendamment de la densité des points ou de la distance aux points de rattachement servant dans la pratique (comme au chapitre 1.3.1):

Fiabilité planimétrique externe [tolérance pour NA en cm]					
Catégorie de point	NT1	NT2	NT3	NT4	NT5
PFP2	*	12	12	30	30
PFP3	*	12	12	30	30

Tab. 1-3: Fiabilité planimétrique

Fiabilité planimétrique externe [tolérance pour NH en cm]					
Catégorie de point	NT1	NT2	NT3	NT4	NT5
PFP2	13.5	18	18	45	45
PFP3	*	18	18	45	45
PFA2 (niv.)	*	1.5	1.5	-	-
PFA2 (GNSS)	*	12	12	15	-
PFA3	*	1.5	-	-	-

* conformément aux dispositions cantonales mais au moins comme NT2

Tab. 1-4: Fiabilité altimétrique

1.4 Justification des travaux et préparation

Il faut planifier les travaux relatifs aux réseaux de points fixes de la mensuration officielle. Une analyse de la situation initiale est donc nécessaire (éventuellement dans le cadre d'un avant-projet). Cette analyse fournit notamment des informations sur:

la justification et le but du projet;

le périmètre;

l'état d'avancement de la mensuration officielle;

les points de rattachement existants (PFP 1 à 3 et PFA 1 à 3 dans le périmètre ou à sa périphérie) et leur qualité;

les exigences en vertu des niveaux de tolérance.

L'évaluation de la situation initiale permet de prendre des décisions sur les dispositions à mettre en oeuvre. Les résultats doivent en règle générale être consignés par écrit, en particulier pour les premiers levés et les renouvellements.

Il y a par ailleurs lieu de prendre les dispositions suivantes pour des projets de premier levé et de renouvellement:

l'instance de vérification compétente doit approuver les dispositions à prendre;

les mesures doivent entrer dans un plan de réalisation (art. 3 OMO);

le financement doit être garanti;

il faut veiller à la coordination avec d'éventuels projets voisins;

on définira, si nécessaire, la répartition des tâches entre l'instance de vérification et le géomètre;

il faut procéder à l'adjudication des travaux conformément aux dispositions cantonales en matière de soumission;

Les accords seront fixés dans un contrat, un mandat ou des règlements de service.

Avant de se lancer dans d'importants travaux, il est conseillé d'informer la commune concernée par le biais d'un avis officiel.

1.5 Déroulement général des travaux

L'établissement et la détermination des réseaux de points fixes se déroulent de la même manière, quelle que soit la méthode de mesure choisie. Le schéma suivant s'applique aux PFP2 et PFA2:

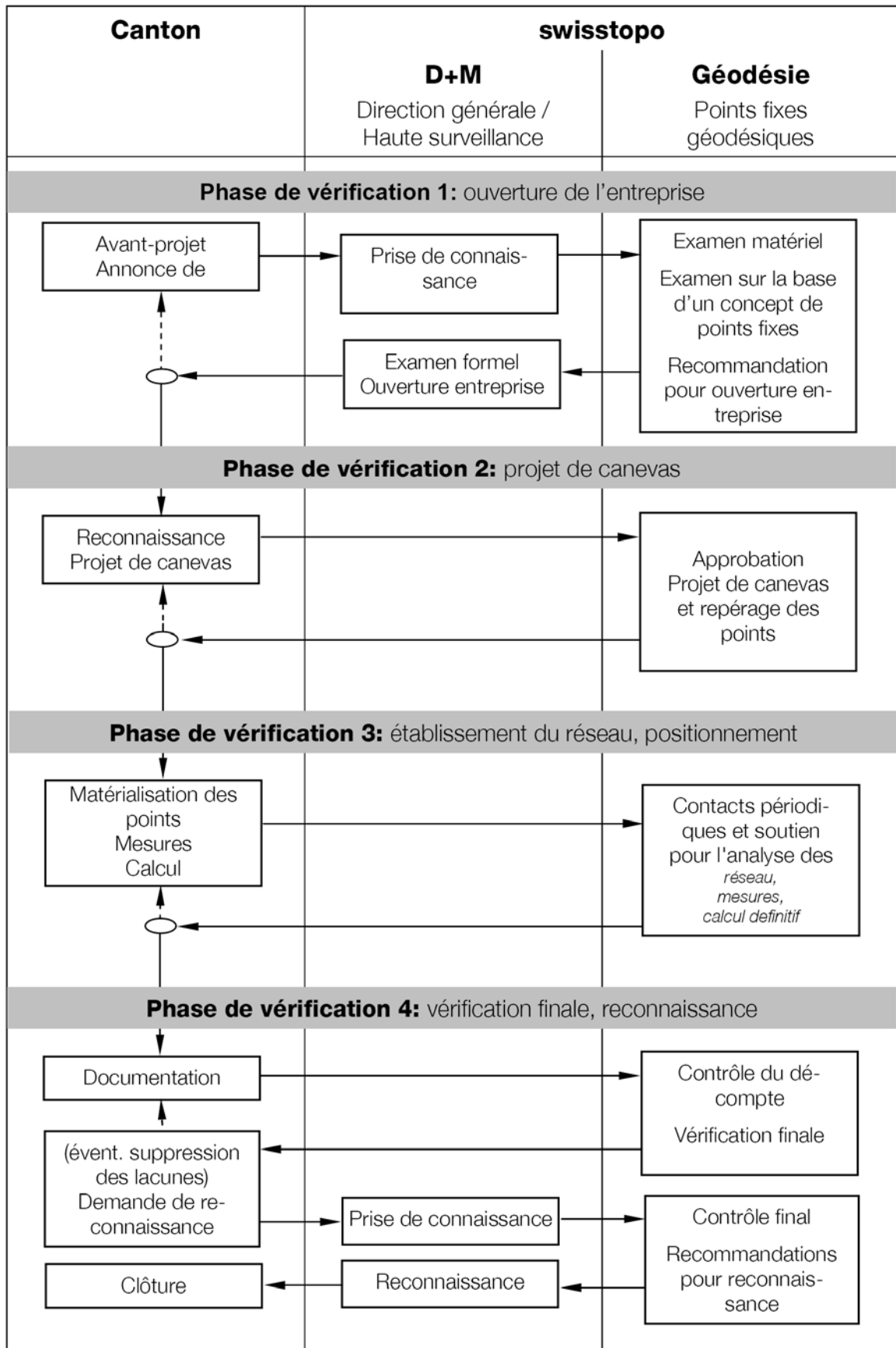


Fig.1-1: Déroulement des travaux pour les réseaux de points fixes

Dans la pratique, les phases de vérification 1 et 2 ainsi que 3 et 4 sont souvent réunies. La mise à jour permanente (ne donnant pas droit à des indemnités fédérales) est uniquement subordonnée à la phase de vérification 4. La mise à jour périodique (donnant droit à des indemnités fédérales) constitue une entreprise PF2 propre (avec feuille d'entreprise et feuille de secteur) et doit faire l'objet des phases de vérification 1 et 4.

Pour de petites mutations simples dans le cadre de la mise à jour, le processus doit être simplifié. La vérification se fait par le canton, généralement une fois par année.

Les cantons sont responsables des PFP3 et PFA3 et ils règlent la surveillance des travaux directement avec les géomètres privés. La Direction des mensurations exécute la haute surveillance. Le déroulement des travaux peut, de ce fait, varier d'un canton à l'autre. Les étapes de vérifications, telles que décrites dans le tableau ci-dessus, peuvent de cas en cas être caduques. Il est important que les entreprises ou les lots de mensuration soient justifiés et mandatés par le canton (phase de vérification 1) et qu'ils soient finalement vérifiés (phase de vérification 4).

2 Etablissement, détermination et entretien des réseaux de points fixes

2.1 Considérations générales

Les directives ci-après donnent des informations générales sur les points fixes planimétriques et altimétriques PFP2/PFP3 et PFA2/PFA3. Les particularités auxquelles il faut veiller selon la hiérarchie des points à traiter figureront, pour chaque chapitre abordé, après les considérations générales.

Les informations spécifiques relatives aux points fixes des catégories 3 (PFP3 et PFA3) sont imprimées en petits caractères.

2.2 Projet de bureau

Un réseau idéal est esquissé au bureau sur la base du périmètre défini et des critères applicables à la structure du réseau. Celui-ci doit être structuré de telle sorte que les exigences de qualité de l'OTEMO et des présentes directives soient satisfaites. On cherche en général à ce que chaque mesure soit contrôlée par une surdétermination suffisante.

Les exigences de précision voisine et de fiabilité peuvent être respectées en suivant les recommandations pratiques, classées par méthode, du chapitre 4.

Des contraintes peuvent se produire dans MN03/NF02 suivant la qualité des points fixes existants utilisés pour le rattachement. Il est donc conseillé de structurer ce dernier de façon à ce que les grands tiraillements puissent y être décelés. On évalue la qualité des points de rattachement et la précision atteinte à l'aide de la compensation du réseau libre ajusté. Suivant le contexte, des tiraillements inacceptables contraignent à redéterminer certains «points de rattachement».

2.2.1 Renouvellement combiné PFP2/3

En cas de disposition correcte du réseau et des mesures, le renouvellement des PFP2 peut intervenir - d'entente avec l'instance de vérification compétente - également en combinaison avec le nouvel établissement des réseaux de PFP3.

2.2.2 Numérotation des points

Il s'avère avantageux de fixer la numérotation des points également dans cette phase déjà. Le modèle de données de la mensuration officielle (MD.01-MOVersion24) permet l'attribution de numéros de point alpha-numériques de 12 chiffres au maximum pour les points fixes. La numérotation des PFP1 et PFA1 est du ressort de swisstopo, celle des PFP2 de celui de la Confédération et des cantons et celle des PFP3, des PFA2 et des PFA3 incombe aux seuls cantons.

PFP1 et PFP2

Les numéros officiels des points (8 chiffres) de swisstopo sont composés de la manière suivante:

numéro de la carte nationale au 1:25'000 (4 chiffres);

numéro du point (3 chiffres);

indice servant à définir le type de point (1 chiffre).

Le point fondamental de Zimmerwald a par exemple le numéro de point: 11868000.

Les indices sont attribués de la façon suivante:

0	– Désignation normale d'un point de triangulation (p.ex. point principal, point central, premier point lors de points doubles) – Points topo dans la mesure où ils sont stationnables
1	– Point dépendant (p.ex. point azimutal, point excentrique matérialisé (Exc), deuxième point lors de points doubles, autre rabattement)
2	– Rabattement de points élevés stationnables ou non
3	– Premier point auxiliaire (p.ex. point excentrique non matérialisé) – Autre point dépendant comme 1
4	– Autre point auxiliaire
5	– Autre point auxiliaire – Ancien point supprimé (p.ex. ancienne dalle souterraine) – Autre point élevé stationnable comme 6
6	– Point élevé stationnable
7	– Point visé: p.ex. pylône, antenne, jalon, croix, pyramide, point topo (pignon) – Autre point inaccessible comme 8 ou 9
8	– Point inaccessible comme une tour – Point topo, dans le cas d'une tour – Autre point visé
9	– Point inaccessible pour les églises et les chapelles – Point topo, dans le cas d'un clocher d'église – Autre point visé ou point inaccessible comme 7 ou 8

En général, les points avec un indice de 0 à 6 sont stationnables alors que ceux avec des indices de 7 à 9 ne le sont pas.

PFP3

La numérotation des PFP3 doit être univoque au sein du domaine de numérotation (en règle générale la commune politique). Par exemple, la numérotation par commune utilisant des numéros à 8 chiffres, avec les numéros de commune à 4 chiffres de l'OFS (Office fédéral de la statistique) et un numéro particulier à quatre chiffres a prouvé son bien-fondé.

PFA1

L'identificateur (NBIdent) assure l'unicité du point. Ce numéro correspond au périmètre défini par swisstopo pour le nivellement fédéral, par exemple CH020000VDE.

Le numéro de point (Identificateur) est attribué par swisstopo, par exemple 123a. Ce numéro ne doit pas contenir plus de 12 signes alphanumériques.

PFA2

La numérotation des PFA2 doit être univoque au niveau du canton concerné et ne doit pas comprendre plus de 12 signes alphanumériques.

PFA3

La numérotation des PFA3 doit être univoque au sein du domaine de numérotation (en règle générale la commune politique).

2.2.3 Particularités lors du renouvellement et de la mise à jour

En plus de la nouvelle détermination, le renouvellement et la mise à jour comprennent également le déplacement et le contrôle des points.

Le but d'un *déplacement* est de déterminer les coordonnées du point déplacé à partir de celles de l'ancien point; à cet égard, l'écart résiduel latéral et longitudinal du vecteur de déplacement doit être inférieure à

5mm. Le contrôle indépendant du vecteur de déplacement peut s'opérer directement par une disposition des mesures en triangle fermé ou, indirectement, par le biais des points de rattachement.

Une *nouvelle détermination* s'applique au remplacement de points détruits et à la détermination de nouvelles valeurs de points existants présentant des tiraillements. Les réseaux issus d'une telle détermination comprennent un ou plusieurs points.

Le but du *contrôle de points* est d'obtenir, à moindres frais, des informations sur la qualité des coordonnées. Les réseaux de contrôle ne suffisent généralement pas à une nouvelle détermination de point, le nombre restreint des mesures ne permettant pas de remplir les exigences de précision et de fiabilité. Il y a lieu si possible d'associer les contrôles en question à des déplacements ou à des nouvelles déterminations.

2.3 Reconnaissance (mise en œuvre sur le terrain)

Le but de la reconnaissance consiste, à partir du projet de bureau, à:

reconnaître sur le terrain les points de rattachement prévus;

améliorer la matérialisation de ces points de rattachement;

choisir les emplacements des points nouveaux en tenant compte du projet de bureau;

organiser la matérialisation des points nouveaux;

noter les visées possibles et la visibilité pour les mesures GNSS.

Le nombre et la répartition des points à matérialiser doivent être adaptés aux méthodes de mesure modernes. Il n'est par conséquent pas nécessaire de matérialiser durablement chaque station pour les levés de détail (remplacement par une station libre). La densité des points fixes planimétriques matérialisés qui en résulte doit cependant garantir une mise à jour peu onéreuse de l'oeuvre cadastrale.

2.3.1 Reconnaissance des points de rattachement sur le terrain

Pour les points de rattachement existants, on déterminera si un point doit être repris et, le cas échéant, si sa matérialisation doit être améliorée, s'il doit être déplacé, voire supprimé (cf chap. 2.7).

Un point fixe *peut rester là où il se trouve* si:

sa matérialisation ainsi que son utilisation pour des travaux de mensuration ultérieure sont garanties à long terme et si la densité de points est adaptée.

Il s'agit de recentrer les **bornes PFP2** lorsque:

- la déclivité de la tête de la borne excède 2%,

l'on craint que le centrage de la borne ne soit plus garanti à 2 cm près (p.ex. suite à la pression de racines, à des glissements ou du fait d'autres incidences mécaniques),

l'on prévoit une modification des coordonnées, et que le dernier centrage remonte à plus de 10 à 15 ans.

Un point fixe doit être *déplacé* si:

- la densité de points adaptée le demande encore,

la sécurité de son emplacement n'est plus garantie,

il ne peut plus être utilisé à son ancien emplacement pour des travaux futurs de mensuration ou s'il est inutilisable.

Un point fixe doit être *supprimé* si:

son emplacement est inadapté et si la densité des points est de toute manière élevée,

il n'est plus utile aux prochains travaux de mensuration.

Il s'agit de considérer les exigences posées à la mise à jour de mensurations cadastrales existantes en cas de suppression de PFP2. Dans certains cas, d'entente avec l'instance de vérification, on peut utiliser un PFP2 comme PFP3.

2.3.2 Critères applicables aux points nouveaux

Les points fixes doivent pouvoir être matérialisés de façon durable; ils seront situés si possible sur le domaine public. Il faut également tenir compte de la présence de conduites souterraines.

Ils doivent pouvoir être utilisés sans problème pour les mensurations ultérieures. Dans ce contexte, on choisira un emplacement permettant le libre choix de la méthode de mesure (p.ex. aptitude à procéder à des mesures GNSS, rattachement pour station libre):

l'horizon doit être dégagé au-dessus du point (en général au-dessus de 25°); on peut accepter de petits secteurs couverts si la résolution des ambiguïtés n'est pas hypothéquée dans le calcul. Les secteurs cachés par des obstacles à partir de 20 - 25° doivent être notés dans le protocole de reconnaissance.

La distance par rapport à des objets actifs gênants, comme des émetteurs, doit être d'au moins 200 à 300 mètres. Le cas échéant, il faut effectuer des mesures pour évaluer les perturbations. Il faut également respecter une distance maximale par rapport à des objets perturbateurs passifs comme des surfaces métalliques réfléchissantes (p.ex. sur des maisons, panneaux de signalisation).

Pour la mesure trigonométrique, il faudrait disposer d'une possibilité d'orientation sur des PFP bien intégrés. Cela signifie pour les:

PFP2

Si possible deux visées vers des PFP2 voisins ou des PFP3 déterminés simultanément.

La **densité** doit être maintenue en dessous de 0.5 PFP1/2 par km². À ce propos, il faut aujourd'hui déjà tenir compte du fait qu'avec la nouvelle mensuration nationale (MN95) et le réseau GNSS automatique de la Suisse (AGNES), la densité des points peut être une fois encore sensiblement réduite.

Le nombre de points auxiliaires dans les réseaux de PFP2 doit être réduit au minimum. Il y a lieu, pour chaque PFP2, de consigner dans un protocole la date du levé, un croquis de la situation, toutes les visées possibles et l'aptitude à une mesure GNSS. Des informations sur la matérialisation future, le propriétaire, les travaux à effectuer dans le voisinage (p.ex. déboisement), les possibilités d'accès, etc., doivent également y figurer. On renseignera les propriétaires concernés, et le cas échéant les fermiers, sur la présence de points nouveaux.

PFP3

Si possible 2 visées vers des PFP3 ou PFP2 voisins matérialisés de façon durable.

La **densité** sera nettement réduite dans le cadre des mesures d'homogénéisation des PFP3 et après le passage au cadre de référence MN95. D'ici là, les valeurs dépendant des niveaux de tolérance conformément à l'article 49 OTEMO font figure de valeurs indicatives. Il est possible de renoncer aux repères secondaires (conformément aux dispositions de l'art. 53 OTEMO). Les points fixes dans les réseaux PFP3 sont classés en PFP3 matérialisés de façon durable et univoque, ou comme autres points auxiliaires non matérialisés durablement mais servant au levé de détail, au piquetage ou à une consolidation du réseau (art. 47 OTEMO).

Comme la préparation au bureau pour des réseaux de PFP3 est moins poussée que pour des réseaux de PFP2, il faut accorder toute l'attention voulue à leur reconnaissance. Le choix de l'emplacement des quelques PFP3 matérialisés de façon durable doit se faire avec le plus grand soin. On veillera à cet égard aux critères suivants:

Les PFP3 doivent permettre une mise à jour à moindres frais de la mensuration officielle. Il s'agit de les placer de telle sorte qu'ils permettent des rattachements optimaux pour la détermination de points à l'aide de stations libres.

L'exigence absolue de pouvoir stationner sur les PFP3 et effectuer des visées directes vers d'autres PFP revêt moins d'importance (p.ex. comme points de rattachement pour les stations libres).

2.4 Projet de canevas (disposition des mesures)

Sur la base des résultats de la reconnaissance effectuée et des critères applicables à la conception du réseau, on fixe la disposition définitive des mesures et on la représente graphiquement pour le réseau planimétrique et altimétrique ou, le cas échéant, sous la forme de tableaux pour le GNSS. Il faut représenter graphiquement tous les éléments à mesurer ainsi que le rattachement prévu du réseau dans le projet de canevas. Le dessin du canevas simplifié doit correspondre aux règles ad hoc.

Pour l'approbation du projet de nouvelle détermination ou de renouvellement de grande ampleur de réseaux de PF, les documents suivants doivent être remis à l'instance de vérification:

Projet de canevas (canevas pour méthodes de mesure classiques
ou liste des mesures projetées pour GNSS);

Rapport provisoire sur la préparation et les travaux de reconnaissance;

Protocoles de reconnaissance (pour PFP2).

Après l'approbation du canevas, on établit le programme de mesures, lequel dresse la liste des éléments à mesurer pour chaque station avec la désignation définitive des points.

Il y a en principe lieu de rattacher les premiers levés et les réseaux de renouvellement à la MN95. A cet égard, on doit utiliser comme points de rattachement au moins 3 à 4 points MN95, stations permanentes GNSS, PAT ou PFP intégrés de manière fiable dans MN95. Les autres règles concernant l'élaboration du canevas sont résumées dans le chapitre 4 pour chaque méthode de mesure.

Les aspects suivants s'appliquent particulièrement au rattachement altimétrique dans NF02:

Les points du réseau MN95 nivelés sont des points de rattachement adéquats. Près de la moitié des points du réseau de base MN95 est directement rattachée au réseau altimétrique national.

Des points PFP2 le long du réseau altimétrique national ou le long de lignes cantonales doivent être directement rattachés aux PFA1 et PFA2 proches. En cas de nouvelles mesures de tronçons de lignes, swisstopo s'efforce d'intégrer, d'entente avec les cantons, les PFP2 directement dans les mesures.

Dans les secteurs étendus marqués par de grandes différences d'altitude, il faut par ailleurs veiller à ce que le nombre de ces points de rattachement altimétriques soit bien réparti entre les différents niveaux altimétriques.

S'il manque des points de rattachement adéquats avec des altitudes dans NF02, il faut viser au rattachement direct par GNSS au réseau altimétrique national (PFA1 et PFA2).

Les points de rattachement dans le périmètre et à la périphérie de celui-ci doivent être intégrés dans le réseau. Dans le cadre de petits travaux de mise à jour, on établit en général un rattachement vers 3 à 4 points de rattachement voisins bien répartis.

2.5 Mesures

Les mesures ne peuvent se faire qu'une fois la matérialisation des points réalisée. Elles doivent être effectuées en respectant strictement le canevas du réseau approuvé définitivement, car c'est la seule manière de garantir la qualité exigée.

On peut en principe recourir à toutes les méthodes et à tous les instruments de mesure permettant de satisfaire aux exigences de précision et de fiabilité de la présente directive.

Les **instruments et tous les appareils de centrage** utilisés doivent être **régulièrement contrôlés** conformément à l'art. 33 de l'OTEMO et, au besoin, étalonnés. On les entretiendra avec soin et les fera réviser si des défauts sont constatés.

La méthode de mesure dicte le déroulement des travaux. Des indications concrètes relatives aux méthodes sont indiquées au chapitre 4.

2.5.1 Signalisation et stationnement

Le centrage ainsi que la stabilité de la station et de la signalisation ont une grande importance. La précision du centrage doit être < 3 mm.

Les trépieds doivent être stables; on les contrôlera régulièrement. L'emplacement du trépied doit être choisi avec un soin particulier. Des mesures spéciales sont à prendre lorsque le sol est meuble (p.ex. trépieds sur piquets, éventuelles planches sous les pieds de l'opérateur dans un terrain marécageux).

Des centrages indépendants sont souhaitables (centrage forcé uniquement pour des polygonales de précision, pour autant que le centrage optique ou laser puisse être contrôlé dans les 2 positions). La mesure des hauteurs d'appareils et de signaux doit être indépendante, avec un écart-type de 3 mm; on la contrôlera à la fin de la série de mesures.

En cas de déplacement et de rétablissement, on se référera si possible à l'état initial du centre. Les déplacements se font à partir de la dalle ou des repères excentriques (s'il y a lieu). Les excentricités constatées doivent être relevées et consignées, avec la date.

2.5.2 Tenue du protocole

Chaque mesure ou lecture doit être consignée dans un protocole (voir chap. 2.6.4, 4.1.6, 4.1.8.2). En plus des mesures, le protocole comprendra la date des observations, le nom de l'observateur ainsi que des indications sur les instruments utilisés, les facteurs de correction et les conditions particulières lors des mesures. En cas de mesures classiques, les valeurs sont notées manuellement dans un protocole de mesures.

L'enregistrement automatique et le carnet de terrain électronique constituent aujourd'hui la règle. On doit cependant pouvoir consulter les valeurs et les écarts-type sur le terrain. Il faut chercher à utiliser pleinement les avantages du carnet de terrain électronique. La transmission des données dans le programme de compensation doit être garantie.

Pour éviter les erreurs de transcriptions manuelles, on dressera des protocoles séparés pour chaque station (hauteurs d'appareils, météo, réglage des appareils, etc.) et pour la signalisation des points (hauteurs de signal et excentricités).

2.6 Calculs

2.6.1 Considérations générales

Des différences considérables peuvent apparaître en fonction du cadre de référence dans lequel on travaille (MN03/NF02 ou MN95/RAN95). L'état de la mensuration officielle est également important.

Le but des calculs est d'obtenir les coordonnées et les altitudes des points et d'apporter la preuve que les exigences de précision et de fiabilité formulées par l'OTEMO sont remplies.

Les réseaux sont calculés d'un seul jet, selon la méthode des moindres carrés, à l'aide de programmes de compensation satisfaisant aux exigences de l'OTEMO. On définira comme paramètres inconnus les coordonnées et altitudes des points nouveaux et, éventuellement, des points de rattachement. Comme mesures, on introduit les éléments de mesure relevés, en fonction de la méthode.

La compensation globale se fait généralement dans un modèle mathématique simplifié dans lequel les coordonnées sont séparées en fonction de la planimétrie et de l'altimétrie, dans lequel les déviations de la verticale et les réductions azimutales sont négligées. Pour les réseaux classiques de PFP2 dans les régions de montagne, on recommande en revanche de tenir compte des déviations de la verticale, puisque ainsi la qualité des coordonnées et des altitudes peut être améliorée.

Les mesures sont examinées et contrôlées au moyen d'algorithmes de calcul appropriés et sont transformées en coordonnées et/ou altitudes définitives avec leurs indicateurs de qualité statistiques.

La méthode de mesure détermine tout le déroulement du travail, mais elle conditionne avant tout les calculs préparatoires, les transformations de coordonnées, les traitements des mesures GNSS brutes, les compen-

sations de séries, les réductions de distance et le calcul des différences d'altitude. Des considérations concrètes à ce sujet figurent dans les méthodes de mesure du chapitre 4.

Dans ce chapitre on décrit le déroulement général des calculs pour la détermination de coordonnées et d'altitudes dans le cadre de référence officiel. Ce déroulement vaut en principe pour toutes les méthodes de mesure ainsi que pour les procédures combinées.

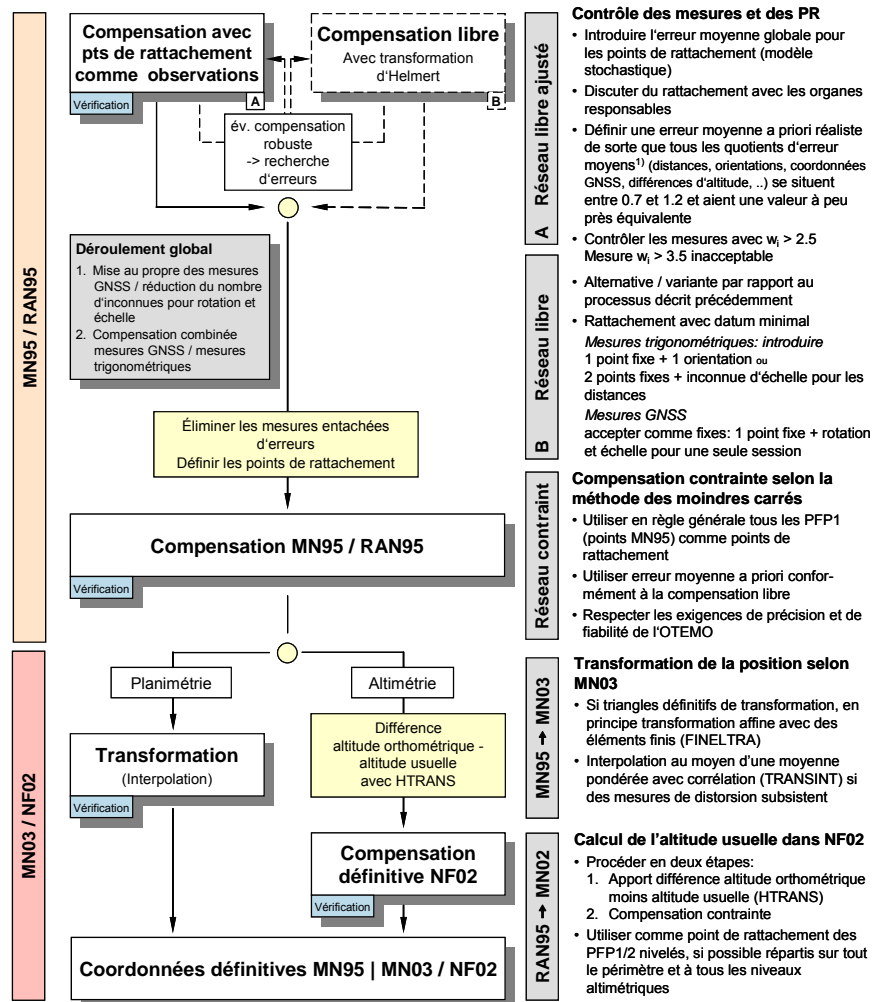


Fig. 2-1: Déroulement du calcul de compensation / transformation

2.6.2 Modèle stochastique

Le modèle stochastique est constitué des écarts-type théoriques (a priori) sur les mesures, d'un algorithme pour l'identification des erreurs grossières locales ainsi que des corrélations entre les mesures. Les corrélations ne sont considérées que partiellement pour des réseaux de PFP2 et PFP3. Il est toutefois important de prendre aussi en compte les écarts-type des mesures en vertu de la précision que les appareils de mesures peuvent atteindre. Lorsque le choix est approprié, le quotient¹ composé par les erreurs moyennes a priori et erreurs moyennes a posteriori (écarts-type théoriques et empiriques) des différents groupes de calculs donne une valeur située entre 0.7 et 1.2. Il faut aussi veiller à ce que l'homogénéité des différents groupes d'observations soit évaluée correctement. Ce n'est qu'ainsi que les indicateurs statistiques donnent des valeurs pertinentes.

Pour le calcul définitif, on part de l'hypothèse que les coordonnées et les altitudes des points de rattachement sont sans erreur.

¹ LTOP donne le quotient linéaire, qui correspond au carré du quotient entre 0.5 et 1.5 selon le test Chi carré

2.6.3 Préanalyse / Calcul a priori

Il est recommandé, pour les réseaux de PFP2 assez étendus ou complexes, de procéder à un calcul a priori afin d'optimiser le réseau. Pour ce faire, il faut choisir des écarts-type réalistes. Un projet de canevas doit être déjà disponible. Il est recommandé de n'introduire qu'un minimum de mesures dans un premier temps, d'augmenter ou d'adapter leur nombre en fonction des indicateurs de fiabilité. Il s'avère plus facile d'ajouter des mesures en cas de faiblesse que d'en éliminer en cas de surdétermination. Il faut toutefois savoir que s'il manque des mesures directes entre points voisins, les faiblesses dans les relations de voisinage ne sont pas décelées. Dès lors, un sérieux contrôle visuel du canevas reste nécessaire.

2.6.4 Calculs préparatoires

Les mesures sont consignées dans un carnet de terrain électronique ou enregistrées automatiquement suivant un protocole, et contrôlées. Elles sont ensuite mises au net (p.ex. interversion de points) et imprimées par station. Il faut contrôler dans ce document si les tolérances de mesures ont été respectées et si les données ont été correctement et intégralement transmises.

En cas de traitement manuel des mesures, tous les protocoles de mesures sont préalablement contrôlés et mis au net. Toutes les moyennes, les réductions de séries et les calculs d'erreurs doivent être recalculés. Toutes les données et valeurs transmises dans le calcul doivent être mises en évidence de façon appropriée. Les mesures faites sur des points excentriques doivent être introduites sans centrage préalable (avec une adaptation adéquate des écarts-type).

Les coordonnées et les altitudes approchées sont calculées de façon conventionnelle ou automatique. Pour faciliter la recherche des erreurs grossières de mesure et d'identification, il est recommandé de déterminer ces coordonnées et ces altitudes provisoires avec une précision de quelques centimètres.

Une fois tous les préparatifs terminés, des orientations provisoires à la station (abris) peuvent être calculées avec tous les points concernés comme points fixes. Ces orientations à la station aident à découvrir des erreurs grossières avant la compensation proprement dite. L'interaction de plusieurs erreurs peut fausser à tel point la compensation qu'il devient impossible de détecter les erreurs effectives, même avec une compensation robuste. On contrôlera également si l'intégralité des données a été transmise durant cette phase.

2.6.5 Compensation pour analyser les mesures et les points de rattachement

L'analyse de la qualité des mesures et des points de rattachement se fait au moyen d'une compensation du réseau libre ajusté dans le cadre de référence MN95/RAN95, avec les coordonnées des points de rattachement introduites comme observations (variante A) ou une compensation du réseau libre suivie d'une transformation d'Helmert (variante B). On cherche ainsi à démontrer que les mesures ne sont pas entachées d'erreurs grossières et à analyser les contraintes qui se manifestent entre les points de rattachement. Ce calcul fait partie intégrante de la documentation finale.

2.6.5.1 Variante A: Réseau libre ajusté

Compensation robuste du réseau libre ajusté: Ce calcul sert à localiser des erreurs de mesure et des erreurs éventuelles sur les points de rattachement. Une mesure avec un important écart résiduel se verra attribuer un grand écart-type pour l'itération suivante afin que l'étape de compensation suivante ne soit plus biaisée. Comme **les coordonnées des points de rattachement sont également considérées comme des mesures**, cela correspond à une compensation du réseau libre, pour autant que l'écart-type des points de rattachement soient choisis de manière adéquate (5 à 10 cm dans MN03 et 2 à 5 cm max. dans MN95). Il est ainsi possible de localiser les erreurs éventuelles sans l'influence des tiraillements entre les points de rattachement.

Il faut analyser les mesures signalées. Ensuite, on prendra une ou plusieurs des mesures suivantes:

Suppressions des erreurs de mesures;

Élimination des mesures manifestement fausses et, au besoin, répétition de certaines mesures;

La réduction du poids d'une mesure particulière en introduisant une erreur moyenne (écart-type) a priori plus élevé n'est autorisée que dans les cas fondés. L'explication à ce sujet doit être consignée dans le rapport.

Compensation non robuste du réseau libre ajusté: Le calcul devrait être dénué d'erreurs grossières et donner un aperçu de la qualité des mesures. On peut choisir définitivement le rattachement du réseau dans la mesure où il est possible de représenter graphiquement et d'analyser les résidus attribués aux coordonnées et altitudes des points de rattachement.

2.6.5.2 Variante B: Réseau libre avec transformation

Réseau libre: On parle de réseau libre lorsqu'on n'introduit que le rattachement minimal pour calculer un point à partir des points de rattachement connus (p.ex. 1 point avec une orientation sans inconnue d'échelle, 2 points fixes dans un réseau de directions ou 1 point altimétrique fixe dans un réseau altimétrique).

Dans un réseau libre, comme dans la variante A, on examine d'abord la qualité des mesures car celles-ci sont encore largement libres des contraintes externes sur les points de rattachement. On recommande également de compenser de façon robuste dans un premier temps jusqu'à ce qu'on ait trouvé les causes d'éventuelles erreurs de mesure. Les résultats de la compensation du réseau libre servent dès lors de base pour la transformation ultérieure d'Helmert sur les points de rattachement existants.

Transformation d'Helmert: On y recourt pour comparer le nouveau réseau au réseau en place; il s'agit donc d'un outil permettant d'examiner la qualité des points de rattachement. On veillera à la meilleure répartition possible des points d'ajustage qui ne devraient pas provoquer de contraintes trop grandes entre eux. Le choix définitif des points fixes se fait alors sur la base de la représentation graphique des écarts sur les points d'ajustage.

2.6.6 Analyse des résultats

Les deux indicateurs statistiques w_i et g_i aident très efficacement à analyser les résultats. *Le résidu normé* w_i indique la contradiction liée à chaque mesure en tenant compte de la fiabilité. Aussi ne faut-il pas, dans les orientations à la station, examiner les mesures avec les plus grands v_i mais celle avec les plus grands w_i . Dans l'hypothèse que le risque d'erreur de 1^{ère} et de 2^e catégories est respectivement de 1% et 5% environ, et qu'il n'y ait localement qu'une erreur grossière de mesure, on peut évaluer les w_i de la manière suivante:

$w_i > 2.5$ → Chercher l'erreur liée à la mesure

$w_i > 3.5$ → La mesure ne peut plus être acceptée

L'indicateur g_i résulte de la division du résidu normé w_i par la valeur de fiabilité locale z_i . Il indique l'ampleur de l'erreur présumée pour la mesure i . Il est donné en millimètres pour les distances, les différences d'altitude, les coordonnées et les altitudes, et en $^{\circ}$ pour les directions. Comme on l'a déjà mentionné pour le modèle stochastique, les erreurs moyennes (écarts-type) a priori doivent être choisis de façon réaliste sinon les w_i et g_i conduiraient à des interprétations erronées.

La corrélation des observations a pour effet qu'une erreur de mesure grossière engendre des grands w_i sur plusieurs mesures. Il faut par conséquent d'abord examiner la mesure dont le w_i est le plus grand. Pour des $w_i > 3.5$, l'origine de la faute doit être supprimée. Il y a lieu, le cas échéant, de procéder à des mesures complémentaires. Dans le cas d'une compensation robuste, cet effet de propagation d'une erreur grossière n'apparaît plus et les erreurs grossières sont directement localisées.

En plus de l'analyse des indicateurs statistiques, il est indispensable de représenter graphiquement les résidus issus de la compensation du réseau libre ajusté, ou de la transformation, ou encore les *différences de coordonnées* par rapport à des points fixes existants afin de pouvoir évaluer correctement les points de rattachement. À cet égard, il ne faut pas seulement interpréter correctement les vecteurs absolus; les différences entre les vecteurs sont en fait significatives pour les contraintes entre points voisins.

On choisit les points fixes pour le calcul définitif sur la base de cette analyse. S'il est impossible d'introduire un point de rattachement comme point fixe, on le traitera comme un point nouveau s'il est déterminé de façon suffisamment fiable du point de vue géométrique. Après la compensation définitive, les coordonnées ne peuvent cependant être reprises que si elles remplissent les critères requis de précision locale et de fiabilité. Si la détermination est insuffisante, de tels points sont insérés comme points fixes et les erreurs moyennes (écarts-type) a priori des mesures concernées sont augmentées comme il convient. Mais il faut si possible corriger les points de rattachement à l'origine de telles contraintes.

2.6.7 Calcul définitif dans le cadre de référence MN03/NF02

En principe, il est recommandé de mesurer et de procéder à la compensation dans le cadre de référence MN95/RAN95.

Tous les PAT2 ont des coordonnées MN95 mesurées, contrairement aux PFP2, dont les coordonnées peuvent être transformées. En principe, le rattachement se fait sur les PAT1/2. Dans le cas d'un rattachement sur un ancien PFP2 ou à un PC, ce sont les coordonnées MN95 transformées qui doivent être utilisées.

Ce n'est qu'après que les coordonnées planimétriques auront été transformées dans le cadre de référence MN03, et que la distorsion NF02 (HTRANS) aura été prise en compte, que les altitudes usuelles définitives NF02 seront déterminées dans une compensation contrainte (voir chapitre 4.1.8.5). Le choix des points fixes peut être différent suivant le cadre de référence (p.ex. NF02: positionnement seulement sur des altitudes déterminées géométriquement). En aucun cas, les altitudes orthométriques (cadre de référence RAN95) ne doivent être introduites dans les registres de coordonnées officiels.

On passe au calcul final après avoir analysé les résultats des mesures et le rattachement du réseau. Ce calcul livre les résultats repris dans les documents officiels (pour le moment encore dans le cadre de référence MN03/NF02, à l'avenir dans MN95/NF02) et constitue le justificatif à conserver dans les dossiers. Il doit aussi remplir les exigences de précision et de fiabilité précisées sous 1.3 pour les coordonnées des points et pour les altitudes (EMA, EMB, EMH respectivement NA, NB, NH).

2.6.7.1 Compensation contrainte

En général, pour les réseaux PFP2/PFP3 en MN95/NF02 le calcul s'effectue avec une compensation contrainte. Les coordonnées dans le cadre de référence MN03 sont ensuite déterminées par le biais d'une transformation affine avec des éléments finis.

Dans le cadre de référence NF02 (altitudes usuelles), il faut tenir compte des contraintes entre les points de rattachement. Ces contraintes sont prises en compte dans les calculs, ce qui fausse naturellement les statistiques (les points fixes sont admis comme étant dénués d'erreurs). Les valeurs des indicateurs v_i et w_i sont de ce fait augmentées légèrement et elles doivent être acceptées, ce qui n'était pas le cas lors de la compensation contrainte dans le cadre de référence MN95/RAN95 ainsi que lors de la compensation du réseau libre ou du réseau libre ajusté décrits ci-dessus, étant donné que ces contrôles y ont déjà été effectués. Si ces valeurs dépassent le double de l'erreur moyenne (écart-type) a priori, il y a lieu de procéder à des revoirs.

2.6.7.2 Transformation de MN95 vers MN03

Comme il existe un fichier définitif des triangles de transformation à l'échelon de la MO, la transformation des coordonnées planimétriques MN95 <--> MN03 s'effectue en principe au moyen d'une **transformation affine avec des éléments finis (FINELTRA)**.

La **variante de l'interpolation** ci-après n'est admise, dans le cadre de référence de la MN03, que dans les cas suivants:

1. La base de transformation définitive pour FINELTRA (fichier des triangles de transformation à l'échelon de la MO) n'existe pas encore;
2. Les mesures doivent être ajustées dans une entreprise existante avec des contraintes locales, entreprise pour laquelle un renouvellement et une adaptation par rapport aux PAT sont imminents.

En cas de contraintes importantes entre les points de rattachement, la méthode de l'interpolation est recommandée comme alternative à la compensation contrainte afin de mieux ancrer le réseau de points fixes nouvellement calculé dans les réseaux d'ordre supérieur. Un processus clair et une analyse aussi réaliste que possible de la précision des points après l'interpolation revêtent une importance déterminante à cet égard. Par ailleurs, il ne faut pas modifier les valeurs des coordonnées des points de rattachement mais montrer les contraintes constatées sur les points de rattachement avant et après l'interpolation.

Les points de rattachement forment, avec les coordonnées officielles, le système local (ou système cible). Les coordonnées globales (système de départ) proviennent du réseau libre ajusté (variante A) ou de la transformation d'Helmert (variante B).

Pour la transformation ultérieure, swisstopo recommande actuellement le programme TRANSINT qui interpole les nouveaux points par une moyenne pondérée corrélée. Le recours à d'autres méthodes d'interpolation est admis si la preuve est apportée que le programme répond aux exigences et que toute extrapolation est exclue. De plus, le programme devrait permettre le calcul d'un écart-type pour les coordonnées à interpoler et, partant, des écarts sur les points de rattachement.

Pour une bonne interpolation, il est très important de disposer d'une surdétermination suffisante et d'une bonne couverture du champ de points à transformer. Toute extrapolation est à bannir.

Pour plus de clarté, on recommande de calculer et de représenter graphiquement les vecteurs de déplacement (local-global) par une grille-test.

Après l'interpolation de réseaux déterminés par la méthode trigonométrique ou GNSS, il est nécessaire de calculer les abriss (résumés de station) avec les points définitivement interpolés, pour une représentation des écarts résiduels sur les observations. Les abriss, avec le plan des vecteurs y relatif, permettent une analyse finale des résultats et illustrent le calcul. Le calcul des abriss est obtenu à l'aide d'un programme de compensation (p.ex. LTOP), dans lequel tous les points interpolés sont introduits comme points fixes.

Comme pour les programmes de compensation, on ne peut utiliser pour l'interpolation que des programmes acceptés par l'instance de vérification.

2.6.8 Cas spéciaux

2.6.8.1 Déplacements dans le cadre de référence MN03/NF02

Pour ce qui est des déplacements, afin de respecter au mieux le principe de voisinage, on calcule dans le cadre de référence MN03/NF02 les coordonnées et l'altitude du point déplacé à partir de celles de l'ancien repère (dalle). On tiendra compte de cette condition si on calcule des déplacements à l'aide d'un programme de compensation. L'écart résiduel latéral et longitudinal du vecteur de déplacement doit être inférieur à 5 mm.

2.6.8.2 Utilisation d'anciennes mesures

Il est possible d'inclure d'anciennes mesures dans les réseaux renouvelés. Les mesures effectuées conformément à l'ancien canevas sont tirées des carnets de terrain. La clarification de l'identification et de la désignation des points revêt un rôle crucial à cet égard. Aussi est-il particulièrement indiqué, à des fins de contrôle, de compenser d'abord les anciens réseaux avant de les associer aux nouvelles mesures.

2.6.9 Documentation des calculs

Un calcul est pleinement documenté lorsque les justificatifs suivants sont disponibles:

page de couverture avec données générales;

coordonnées et altitudes de tous les points fixes avec indication des éléments des ellipses de confiance et des rectangles de fiabilité pour les points nouveaux ainsi que du nombre des éléments de détermination;

éléments de la réduction des distances et des dénivelées mesurées pour les mesures trigonométriques;

ellipses de confiance relatives pour une sélection de paires de points;

résumés de station planimétriques et altimétriques avec toutes les mesures, leurs erreurs moyennes (écarts-type) a priori, les résidus, indicateurs statistiques et valeurs compensées ainsi que les renvois aux protocoles de mesures;

canevas;

plan des vecteurs (cf. chapitre 7.3)

évaluation des points de rattachement;

différences de coordonnées du réseau libre / coordonnées définitives pour les réseaux GNSS et du calcul définitif moyennant une interpolation;

représentation de la correction apportée aux coordonnées (différence coord. anciennes, coord. nouvelles);

matrice des sessions GNSS (cf. chapitre 4.1.6)

Le **rapport technique** contiendra, en plus, et pour l'ensemble du travail, des indications particulières relatives au choix des points fixes, à une éventuelle élimination de mesures, au choix des erreurs moyennes, etc.

2.7 Maintenance et mise à jour périodique

Les points fixes de la mensuration officielle doivent être visités périodiquement. Cette visite doit se faire sur des secteurs suffisamment grands. L'intervalle des visites dépend du niveau de tolérance (NT). Dans NT1, le cycle peut être de 3 ans, pouvant aller à 15 ans en NT5.

La tâche consiste essentiellement à l'entretien des réseaux de points fixes (voir aussi chap. 2.3), tenant compte des critères suivants:

Choix du site: *Stabilité*
Accès
Propriétaire du bien-fonds (public, privé)
etc.

Utilisation *Stationnement*
Réception GNSS
Visées d'orientation
etc.

Qualité du réseau *Densité*
Relations aux points voisins

Matérialisation Recentrage (pour PFP1/2) si, après examen, le point continue d'être utile et si:

- la borne penche de plus de 2%;
- un doute par rapport au centrage existe (exc. > 2 cm due p.ex. aux racines d'arbres, glissement de terrain ou autre influence mécanique);
- lors d'une modification prévue des coordonnées, le dernier recentrage remonte à plus de 10 à 15 ans.

Lors de ce recentrage, l'excentricité et la cote de l'ancienne borne doivent être relevées. Si lors de la visite on constate que le repérage excentrique peut être abandonné, il y a lieu de radier celui-ci dans les documents.

Repérage excentrique provisoire:

Lors d'un repérage provisoire d'un point fixe, dû p.ex. à un chantier, au moins 2 points doivent être déterminés de manière précise et fiable à partir du centre. Ces 2 points serviront ensuite au rétablissement ou à la détermination d'un nouveau point.

Documentation *Description du point*
Croquis
Numéro de parcelle
év. annotation au registre foncier
etc.

3 Systèmes de référence et transformations

3.1 Vue d'ensemble

Pour faire un peu d'ordre dans la diversité déconcertante des désignations actuelles des systèmes de référence, il est nécessaire de faire la distinction entre les termes (étroitement corrélés) de "système de référence" et de "cadre de référence". Le terme de **système de référence** (Reference System) désigne la définition théorique d'un système de coordonnées dans l'espace. Par la notion y relative de **cadre de référence** (Reference Frame), on entend la concrétisation de ce système sous la forme de lots de coordonnées (et éventuellement de vitesses de déplacement) de points réels. Ces lots de coordonnées résultent de la compensation d'observations géodésiques; il faut rappeler à ce propos qu'un nouveau cadre de référence est réalisé à chaque nouvelle détermination de lots de coordonnées.

Donner une vue d'ensemble des différents cadres et systèmes de référence et de leurs interactions sortirait cependant du cadre des présentes directives. On renverra donc ici aux publications suivantes:

swisstopo TB 99-20: Systèmes de référence en pratique [Urs Marti / Dieter Egger 1999]

Rapports du S+T, n° 8: Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz LV95
Teil 3: Terrestrische Bezugssystem und Bezugsrahmen [swisstopo 2001]

Guide pour les transformations géométriques à l'usage de l'ingénieur géomètre [V+D 2003]

Notice pour les déterminations altimétriques avec GPS dans la mensuration officielle [swisstopo 2004]

On a résumé ci-après les systèmes et cadres de référence nécessaires en Suisse pour le traitement des mesures GNSS:

Système	Cadre	Ellipsoïde	Projection cartographique
ETRS89	ETRF93	GRS80	(UTM)
CHTRS95	CHTRF95 98 04	GRS80	(UTM, Zone 32)
CH1903	MN03/NF02	Bessel 1841	projection cylindrique conforme à axe oblique
CH1903+	MN95/RAN95	Bessel 1841	projection cylindrique conforme à axe oblique

Exemple du point **Glarus** (1153.700):

CHTRF95	X= 4'299'912.42571m L= 9° 3' 20.050970"	Y= 685'314.87312m B= 47° 02' 52.320343"	Z= 4'645'809.04834m Hell. = 569.311m
MN95/RAN95	N= 2'722'860.46m	E= 1'212'025.05m	Horth. = 520.773m (niv.) (Hell. = 521.513m)
MN03/NF02	Y= 722'859.69m	X= 212'025.34m	H(LN02) = 520.814m (niv.)
MN95/NF02 (MO)	N= 2'722'860.46m	E= 1'212'025.05m	H(LN02) = 520.814m (niv.)

Le système de référence 3D **CHTRS95** (Swiss Terrestrial Reference System 1995) est directement dérivé du système de référence européen **ETRS89** et identique à celui-ci au moment 1993.0. Les cadres de référence réalisés jusqu'ici que sont CHTRF95, CHTRF98 et CHTRF2004 se basent sur les coordonnées géocentriques de la station fondamentale de Zimmerwald dans ETRF93, et ce à l'époque 1993.0.

Le système de référence local **CH1903+** comprenant le cadre de référence **MN95** (mensuration nationale 1995) dérive du système CHTRS95. A cet égard, on a veillé à ce que CH1903+ concorde le mieux possible avec le système de référence actuel **CH1903**. Les paramètres qui définissent le système ont toutefois été transférés depuis le point fondamental (ancien observatoire de Berne, désormais plus utilisable) vers le nouveau point fondamental de Zimmerwald.

Les cadres de référence **MN03** et **MN95** font état d'une différence maximale de 1.5 m pour les coordonnées planimétriques du fait des distorsions qui existent dans MN03. Ces distorsions locales sont modélisées par des transformations locales affines au moyen du programme FINELTRA.

3.1.1 Systèmes altimétriques utilisés en Suisse

Le système altimétrique **NF02** en vigueur jusqu'à ce jour a été défini en 1902 par la détermination de la hauteur du Repère de la Pierre du Niton, $H(\text{RPN}) = 373.60$ m au-dessus du niveau de la mer, repère qui provient d'une mesure de rattachement au niveau de la mer à Marseille. Le cadre de référence altimétrique du même nom, donc NF02, avec les altitudes des différents points fixes altimétriques (PFA1) a été déterminé par de pures mesures de nivellement, sans prise en compte du champ de gravité et par insertion forcée dans les altitudes des noeuds du Nivellement de Précision (1864–1891). C'est la raison pour laquelle on parle également d'altitudes usuelles. Les réseaux cantonaux et communaux de points fixes altimétriques (PFA2 et PFA3) ainsi que la triangulation de quatrième ordre qui s'y rattache et les mensurations parcellaires de la MO composent depuis le début du XXe siècle la densification du cadre des altitudes usuelles NF02.

Le nouveau système altimétrique **RAN95** (réseau altimétrique national 1995) de la mensuration nationale fait partie intégrante de CH1903+. La valeur potentielle du point fondamental de Zimmerwald a été fixée comme point originel (datum altimétrique). Cette valeur a été déterminée de sorte que l'altitude orthométrique du Repère de la Pierre du Niton (RPN) retrouve l'ancienne valeur du NF02 de 373.60 m. Les altitudes du nouveau cadre de référence altimétrique RAN95 sont déterminées à partir d'une compensation cinématique du réseau des mesures du nivellement fédéral, compte tenu des mesures de la gravité, ainsi que par intégration de différences d'hauteurs ellipsoïdales observées (GNSS) en conformité avec le nouveau modèle du géoïde (CHGeo2004). Les points fixes (PFA1) des deux cadres altimétriques NF02 et RAN95 sont identiques. Les utilisateurs obtiennent des altitudes orthométriques calculées à partir des valeurs potentielles.

La mensuration officielle n'utilise pas les altitudes orthométriques rigoureuses du système altimétrique RAN95. **On utilise toujours les altitudes usuelles du cadre de référence NF02**, issues de manière correcte des altitudes orthométriques.

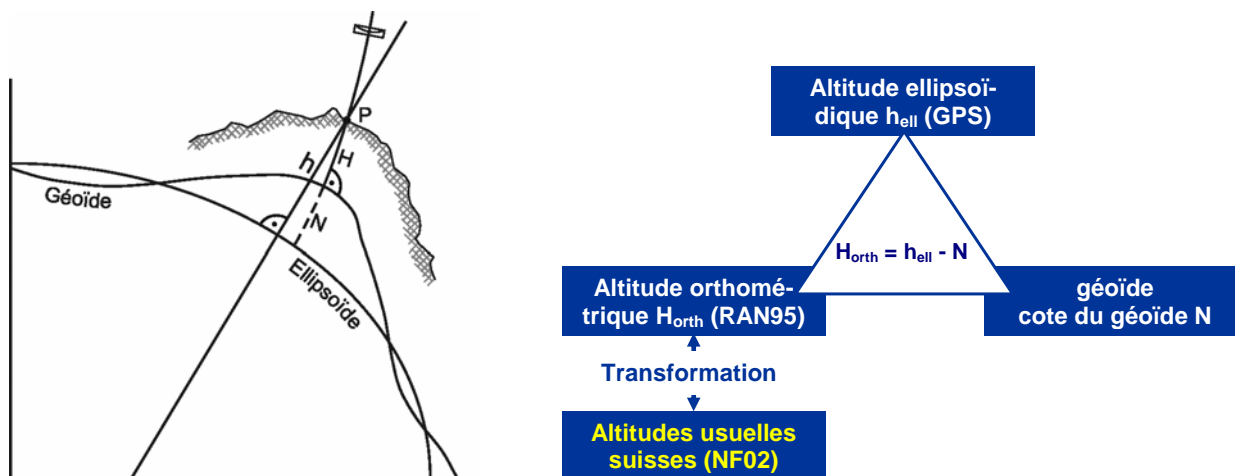


Fig. 3-1 et Fig. 3-2: Interaction entre les systèmes de référence altimétriques

La relation entre les altitudes orthométriques RAN95 et les hauteurs ellipsoïdales calculées dans CH1903+ est établie à travers le nouveau modèle de géoïde **CHGeo2004**.

Pour l'ensemble de la Suisse, les altitudes NF02 et RAN95 présentent une différence oscillant de -20 cm à +65 cm. Les différences, indépendamment des effets de la gravité, du soulèvement des Alpes ainsi que des distorsions de NF02, peuvent être déterminées de manière approchée au moyen du programme HTRANS (cf. chapitre 3.4)

3.1.2 Cadre de référence officiel futur de la Suisse

Conformément à la stratégie de la "Mensuration officielle pour les années 2004 – 2007", le rattachement de toute la mensuration parcellaire, et donc de toutes les autres données géographiques, doit être transformé à moyen terme pour passer de MN03 à MN95. Pendant une période transitoire, des données peuvent être acquises dans les deux cadres de référence; la transformation avec FINELTRA s'opère via des points d'appui de transformation (PAT) déterminés aussi bien dans MN03 que MN95.

Pour l'altimétrie, la mensuration officielle continue d'utiliser le cadre de référence altimétrique existant NF02, provoquant une perte de précision dans les déterminations altimétriques GNSS.

3.2 Paramètres de transformation CHTRS95/ETRS89 ↔ CH1903+

3.2.1 Paramètres MN95

Les paramètres MN95 sont des valeurs utilisées depuis 1997 pour la transformation entre CHTRS95 et CH1903+. Ils peuvent toutefois être utilisés sans restriction également pour les systèmes ETRS89 et CH1903. Dans le cas de CH1903, on notera cependant que, en raison des distorsions locales de ce réseau, les coordonnées transformées peuvent différer des coordonnées officielles d'une valeur allant jusqu'à 1.5 m.

$X_{CH1903+} = X_{CHTRS95} - 674.374 \text{ m}$
$Y_{CH1903+} = Y_{CHTRS95} - 15.056 \text{ m}$
$Z_{CH1903+} = Z_{CHTRS95} - 405.346 \text{ m}$

Formule 3-1: Paramètres MN95 (transformation à trois paramètres)

3.2.2 Paramètres Granit87

On ne doit plus utiliser les "paramètres Granit87" historiques (transformation à 7 paramètres) étant donné qu'ils incluent dans le transfert de datum les erreurs du cadre de référence de MN03. Les paramètres moyens pour l'ensemble de la Suisse ne tiennent toutefois pas suffisamment compte du caractère local des distorsions de telle sorte qu'il est préférable de séparer les deux tâches. Après la transformation du datum, le lien avec le cadre de référence dans la compensation est garantie par le choix des points de rattachement. Les distorsions locales de MN03 sont, dans l'idéal, définies par une transformation ou, le cas échéant, par une interpolation modélisée par des points d'ajustage sis dans le secteur de l'entreprise.

3.3 Transformations planimétriques entre le cadre de référence local MN03 et MN95

Le programme **FINELTRA** de swisstopo est à disposition pour la transformation directe entre le cadre de référence local MN03 et MN95 (anciennes et nouvelles mensurations nationales); il utilise une transformation affine avec des éléments finis (triangles) pour modéliser des distorsions locales de MN03 par rapport à MN95. La précision de la transformation dépend notamment de la qualité des points d'appui pour la transformation (PAT) et de la densité des triangles de transformation. Des indications détaillées sur FINELTRA ont été publiées dans [swisstopo Manual 06, FINELTRA, Februar 2003].

La stratégie de la MO prescrit aux cantons de préparer l'outil pour la transition MN03 ↔ MN95 (triangles définitifs pour la transformation dans FINELTRA) de sorte que les données de la MO soient disponibles dans les deux cadres de référence. La qualité de la transformation avec FINELTRA s'améliore ainsi de telle manière que, dans le nouveau cadre de référence MN95, une précision absolue (écart-type / erreur moyenne par rapport à un point quelconque de la Suisse, dans le cadre de référence MN95) de l'ordre de quelques centimètres peut être atteinte.

3.4 Transformation altimétrique entre NF02 et RAN95

Depuis 2005, un outil similaire est à disposition pour le transfert entre le cadre de référence altimétrique NF02 et RAN95. swisstopo a réalisé le programme **HTRANS** permettant la transformation de NF02 en RAN95 et réciproquement. La théorie relative à cette application a déjà été présentée dans des articles paru dans la revue Géomatique Suisse (1/02 et 8/05).

La transformation se base sur les calculs de RAN95, les restitutions du nivellement fédéral NF02, quelques lignes PFA2 bien intégrées et des rattachements choisis au réseau national GNSS MN95. Des tests sur des réseaux PFA2 cantonaux dans des régions de plaine et de collines ont montré que la transformation pouvait être effectuée avec une précision absolue de 1 - 2 cm (écart-type / erreur moyenne par rapport à un point quelconque de la Suisse, dans le cadre de référence RAN95), la précision entre points voisins atteignant des

valeurs nettement meilleures. Des tests effectués sur des réseaux de PFA2 présentent une image plutôt contrastée. Les résidus (cm - dm) sont souvent une conséquence de faiblesses des déterminations altimétriques dans les réseaux de PFP existants. Pour l'heure, on renonce de ce fait à introduire les altitudes PFP2 dans HTRANS à titre de valeurs de rattachement. Pour la déduction d'altitudes NF02 avec des mesures GNSS pour les points fixes de la mensuration officielle, un ajustage local ultérieur au moyen d'une compensation contrainte reste nécessaire.

La détermination altimétrique avec GNSS est décrite avec plus de détails dans la "Notice pour les déterminations altimétriques avec GPS dans la mensuration officielle" de janvier 2004.

4 Méthodes

Les chapitres qui suivent donnent des indications sur les différentes méthodes utilisées et formulent des recommandations pour la détermination des points fixes. Des règles et des critères généralement valables, indépendants de la méthode ou valables pour des déterminations combinées de points, ont déjà été traités dans les chapitres qui précèdent.

4.1 Global Navigation Satellite System (GNSS)

4.1.1 Entrée en matière

Global Navigation Satellite System (GNSS) est un terme générique pour les systèmes de radionavigation que sont le Global Positioning System (GPS) et le Global Navigation Satellite System (GLONASS), ainsi que pour des futurs systèmes tels que le Galileo européen.

Le GPS américain et le GLONASS russe fonctionnent selon le même principe fondamental basé sur la détermination de la position tridimensionnelle de l'utilisateur déterminée à quelques mètres près, à partir des mesures de temps de transmission d'au moins 4 satellites. Il est possible d'accroître la précision de la détermination de la position au centimètre près par des mesures effectuées sur les phases porteuses, par la disposition différentielle des mesures par rapport à un point de référence et par des procédures d'évaluation ad hoc. Pour la réception des signaux, on dispose aujourd'hui soit de récepteurs GPS soit de récepteurs GPS/GLONASS combinés.

La future évolution du GNSS est donnée par le programme américain "GPS Modernization" - lequel prévoit, dès 2006 environ, l'introduction de nouvelles fréquences GPS civiles et par le système satellitaire européen Galileo qui doit entrer en service entre 2008 et 2010. La combinaison du GPS avec Galileo augmentera le nombre des satellites disponibles et l'introduction de nouvelles fréquences conduira à une résolution plus rapide et plus fiable encore des ambiguïtés et donc à une précision plus élevée des coordonnées.

La nouvelle mensuration nationale MN95 et l'établissement des 29 stations permanentes du Réseau GPS automatique de la Suisse (AGNES) sont, dans notre pays, les bases d'une mensuration moderne, assistée par satellite. Sur la base des réseaux permanents GNSS de la Confédération et de fournisseurs privés, des services de positionnement permettant la détermination de positions GNSS ont été établis en Suisse entre 1999 et 2002. Quand un utilisateur fait appel à AGNES, une composante de MN95, swisstopo garantit qu'il mesure selon le mode RTK-VRS dans le cadre de référence officiel de la Suisse. L'utilisateur doit apporter lui-même une telle preuve s'il recourt à un autre service de positionnement.

La nouvelle mensuration nationale assistée par satellite prend appui sur le nouveau système de référence CHTRS95 (global) et CH-1903+ (local). Le cadre de coordonnées MN95 se caractérise par une précision élevée et surtout homogène (écart-type / erreur moyenne par rapport à un point quelconque de la Suisse, dans le cadre de référence MN95, resp. RAN95), inférieure au cm pour la planimétrie et de l'ordre de 2 cm pour l'altimétrie sur l'ensemble de la Suisse, et qui sera garantie à long terme.

4.1.2 Vue d'ensemble des méthodes de mesure GNSS

Le tableau 4-1 donne une vue d'ensemble des méthodes de mesure GNSS. Les temps de mesure et les précisions sont à considérer comme des valeurs indicatives grossières, valables pour le périmètre de travail. La colonne "application" indique les domaines dans lesquels les différentes méthodes de mesure GNSS conviennent.

Établissement du réseau	Organisation des mesures	Session	Mode de traitement	Ligne de base [km]	Durée des mesures [min h]	Précision des lignes de base [1 Sigma]	Application
Réseau	Polygone avec récepteurs GNSS exploités simultanément	Durée de la saisie simultanée des données	Post-processing [Static]	0 – 60	1 - 24h	Planim. 5 - 10mm Altim. 10 - 15mm	PFP1 Points principaux et points spéciaux Exceptionnellement PFA Détermination de stations de référence permanentes
Station de référence temporaire	Polaire par rapport à une station de référence ("étoile")	Durée d'traitement de la station de référence	Post-processing [Rapid / Fast Static]	0 – 30	5 - 15min	Planim. 1 - 2cm Altim. 2 - 3cm	PFP2, PAT
Station de référence permanente		Durée entre deux contrôles des coordonnées de référence*	Real-time [RTK-LRS]	0 – 20	quelques minutes	Planim. 2cm Altim. 4cm	PFP2, PFP3, PAT, points de contrôle
Réseau de stations de référence (service de positionnement)	Polaire par rapport aux n stations environnantes du réseau de référence	Durée illimitée*	Post-processing VRS [Rapid / Fast Static]	0 – 30	10 - 15min	Planim. 1 - 2cm Altim. 2 - 3cm	PFP2, PAT
			Real-time [RTK-VRS]	pas de limitation	quelques minutes	Planim. 2 cm** Altim. 4 cm**	PFP2, PFP3, PAT, points de contrôle

* S'agissant de la session, on distinguera entre les sessions liées à la technique GNSS et les sessions conditionnées par la technique de compensation (cf. chapitre 4.1.7)

** Précision dans le périmètre du réseau de stations permanentes GNSS. En cas d'extrapolation, la précision peut-être moins bonne, pour l'altimétrie surtout.

Tab. 4-1: Méthodes de mesure GNSS

Les différents processus d'évaluation applicables aujourd'hui sont détaillés ci-après. D'éventuels autres modes de mesure sont autorisés d'entente avec l'instance de vérification dans la mesure où les exigences de précision et de fiabilité sont remplies ("liberté de choix de la méthode").

4.1.2.1 Static

Cette méthode de mesure est utilisée pour des applications de la plus haute précision.

La longueur des lignes de base est de l'ordre de 0 à 60 km et les temps de mesure peuvent se situer entre 1 et 24 heures. Le calcul se fait en post-processing, en rapport avec une ou plusieurs stations de référence locales, une ou plusieurs stations d'un réseau permanent ou une station de référence virtuelle (VRS). Les précisions qu'il est possible d'atteindre vont de < 1 cm (planimétrie) à < 2 cm (altimétrie) et sont, pour des périodes d'observation longues (> 12 heures), quasiment indépendantes de la longueur des lignes de base. Ce n'est qu'avec des lignes de base très courtes (> 3 km) que l'on obtiendra une bonne précision, même avec un bref temps d'observation (1 à 3 heures). De façon générale, les temps d'observation courts sont réservés aux lignes courtes.

4.1.2.2 Rapid / Fast Static

Méthodes de mesure pour des exigences de précision moyenne.

La longueur des lignes de base se situe entre 0 et 30 km, les temps de mesure pouvant osciller entre 5 et 15 minutes. Le calcul se fait en post-processing, en lien avec une station de référence locale, une station d'un réseau permanent ou une station de référence virtuelle (VRS). Les précisions qu'il est possible d'atteindre se situent dans le domaine de 1 - 2 cm (planimétrie) et de 2 - 3 cm (altimétrie). Les temps d'observation devraient être un peu plus longs en comparaison avec le procédé RTK-LRS (cf. chapitre 4.1.2.3) vu que les algorithmes de compensation des logiciels GPS dans le post-processing sont réglés "plus strictement" et que la résolution des ambiguïtés est plus sûre avec un intervalle d'observation plus long.

4.1.2.3 RTK avec station de référence locale (RTK-LRS)

Les précisions qu'il est possible d'atteindre se situent dans le domaine (écart-type / erreur moyenne par rapport à un point quelconque de la Suisse, dans le cadre de référence MN95, resp. RAN95) de < 2 cm (planimétrie) et de 4 cm (altimétrie).

Des mesures Real-time Kinematic (RTK) en rapport avec une station de référence locale (LRS) représentent le processus "classique" des mesures RTK.

Les stations de référence locales peuvent être des stations de référence temporaires ou permanentes. Les stations de référence temporaires sont installées pour la durée des mesures sur un PFP, tandis que les stations de référence permanentes le sont de façon fixe, par exemple sur des bâtiments commerciaux. Il s'agit dans les deux cas de garantir par un contrôle périodique la stabilité de la station de référence (cf. chapitre 4.1.6).

La distance d'engagement théorique maximal RTK dépend de la constellation des satellites et des conditions régnant dans l'ionosphère. L'activité de cette dernière est couplée aux cycles solaires de 11 ans: une activité solaire intense engendre une teneur élevée en électrons dans l'atmosphère et des variations rapides dans l'ionosphère pouvant rendre difficile, voire impossible, la résolution des ambiguïtés (temps d'initialisation longs ou initialisation impossible). L'activité maximum des taches solaires a eu lieu en 2001.

Les temps de mesure (y compris l'établissement de la liaison et l'initialisation) sont normalement d'une à deux minutes par point.

4.1.2.4 RTK avec stations de référence virtuelles (RTK-VRS)

Les précisions qu'il est possible d'atteindre dans ce domaine (écart-type / erreur moyenne par rapport à un point quelconque de la Suisse, dans le cadre de référence MN95, resp. RAN95) sont de < 2 cm (planimétrie) et de 4cm (altimétrie).

Dans les réseaux avec stations de référence, les mesures RTK peuvent être effectuées selon la méthode de la station de référence virtuelle (VRS). Pour ce faire, il faut que les stations de référence GNSS soient interconnectées et que les données puissent être exploitées dans une centrale, en temps réel, et mises à disposition de l'utilisateur.

Avec la méthode VRS, des mesures GPS sont interpolées à partir des données de stations de référence situées autour de l'emplacement actuel de l'utilisateur. Ces données interpolées correspondent pour l'essentiel aux données qui auraient été effectivement mesurées dans la position de l'utilisateur si une station de référence GPS s'y était trouvée. Toutefois, on peut renoncer à introduire la position du VRS dans la compensation.

L'utilisation de la méthode VRS exige un moyen de communication bidirectionnel vu que la position approchée de l'utilisateur doit d'abord être transmise à la centrale où le calcul VRS débute, puis les données de correction sont transmises à l'utilisateur. Dans la pratique, on utilise surtout un Natel/GSM à cet effet; dès 2005, des données correctives pourront également être obtenues via l'Internet (GPRS; à l'avenir UMTS également).

La question de la longueur maximale des lignes de base ne se pose pas de la même manière avec la méthode VRS qu'avec le procédé RTK avec des stations de référence locales: la qualité de l'interpolation des données VRS dépend de la distance entre les stations de référence GNSS. Celle-ci est d'environ 50 à 70 km pour les réseaux disponibles en Suisse. La ligne de base proprement dite, mesurée dans le cadre de la méthode VRS, est très courte (quelques mètres) et dépend de la position approchée indiquée.

Le temps de mesure, y compris l'établissement de la liaison et l'initialisation, est normalement de 2 minutes environ; à cet égard, on notera que la composition du numéro au service VRS via Natel/GSM dure près de 15 secondes de plus que l'établissement de la liaison sur une station de référence locale. Le temps de liaison est nettement plus bref si on établit la communication via l'Internet (GPRS).

Si l'on utilise des services de positionnement, il faut chercher à savoir si les mesures sont relevées à l'intérieur ou à l'extérieur du périmètre des stations permanentes GNSS. Dans le premier cas (interpolation), les indications de précision s'appliquent du Tab. 4-1, dans le second cas (extrapolation), la précision peut être moins bonne.

Comme pour les stations de référence locales, l'exploitant du service de positionnement RTK-VRS doit garantir un examen périodique de la stabilité et de l'opérabilité de ses stations de référence.

4.1.2.5 Cas particuliers

4.1.2.5.1 Longueur des lignes de base avec les mesures RTK

En règle générale, la distance maximale d'utilisation donnée par les fabricants va de 20 à 40 km. Des tests de mesures détaillés ont montré qu'à partir de 15 à 20 km de longueur de ligne de base, les temps d'initialisation et le nombre des points ne pouvant plus être initialisés augmentaient avec le procédé RTK-LRS. Pour cette raison, l'utilisation du mode RTK-LRS dans la mensuration officielle est autorisée **jusqu'à une longueur de ligne de base de 20 km au maximum**.

La longueur recommandée de la ligne de base se raccourcit encore dans les cas suivants:

lorsqu'il y a une grande différence d'altitude (> 500 m) entre la station de référence et le rover;

lorsque la mensuration s'opère avec des constellations de satellites différentes à la station de référence et au rover;

lorsque la constellation de satellites est mauvaise.

Dans ces cas, il est recommandé de passer en mode de mesure RTK-VRS ou Fast / Rapid Static. Avec les algorithmes d'initialisation dont on dispose aujourd'hui, des erreurs grossières d'initialisation sur de fausses ambiguïtés sont en revanche rares chez tous les fabricants.

En outre, la distance entre la station et le rover dépend aussi beaucoup du moyen de communication utilisé entre la référence et le rover. Si on utilise des appareils de radiocommunication, la distance est limitée à 5 à 10 km en raison des prestations d'émission maximales autorisées en Suisse et de la topographie particulière du pays. L'utilisation d'un Natel/GSM permet théoriquement d'utiliser la distance maximale de 30 km si la réception du téléphone mobile est garantie.

En général, la fiabilité maximale est atteinte avec le mode RTK-VRS vu que la position de VRS découle de plusieurs stations permanentes. Jusqu'à une longueur de ligne de base approximative de 5 km, une adaptation un peu meilleure aux conditions locales (en particulier pour les altitudes) se fait avec la méthode RTK-LRS. Les exigences de précision pour les réseaux de points fixes sont toutefois respectées également sans problème, et en tout temps, avec RTK-VRS.

Dès 5 km environ, les meilleurs résultats sont obtenus avec la méthode RTK-VRS vu que la précision de la détermination des coordonnées, et de l'altitude surtout, diminue avec RTK-LRS avec la longueur de la ligne de base (e.m. coordonnées: 1 cm + 1ppm / altitude 2 cm + 1ppm).

4.1.2.5.2 Détermination altimétrique avec GNSS

Fondamentalement, la méthode de mesure GNSS est un procédé de mesure tridimensionnel, ce qui revient à dire qu'elle livre des composantes altimétriques en plus des coordonnées planimétriques. Il faut cependant noter que, en raison de la géométrie des satellites (intersections aiguës) et des erreurs systématiques (atmosphère), l'altitude est toujours déterminée de façon moins précise, d'un facteur 2 à 3, par rapport à la planimétrie.

Il faut en outre être attentif aux points suivants en cas de détermination altimétrique par GNSS:

Hauteur d'antenne

Une importance prépondérante est à apporter à la mesure de la hauteur d'antenne (cf. chapitre 4.1.6).

Excentricités de phase des antennes GNSS

Les excentricités de phase des antennes GNSS (soit l'écart entre le point de réception effectif du signal GNSS et le centre géométrique de l'antenne) sont très importantes pour la détermination altimétrique. Alors que l'excentricité planimétrique est le plus souvent de l'ordre du millimètre, *l'excentricité altimétrique totalise quelques centimètres!*

Les valeurs correctes pour les excentricités de phase sont automatiquement prises en compte à travers le choix du type d'antenne GNSS pour la station de référence et pour le rover dans le logiciel de traitement (cf. chapitre 4.1.8.2), pour autant que les types d'antenne soient connues dans le logiciel. Une attention particulière doit être vouée au choix du type d'antenne de la station de référence en cas de recours aux données de station d'un réseau permanent GNSS. Le type d'antenne GNSS à utiliser se trouve dans l'en-tête des fichiers RINEX. La plupart des fabricants recourent à des valeurs de calibration d'IGS (International GPS Service) ou à des calibrations propres qui devraient toutefois être compatibles avec les valeurs ci-dessus.

Différences d'altitude

Une différence d'altitude entre la station de référence et le rover provoque des erreurs résiduelles non modélisées dans la détermination altimétrique en raison des conditions troposphériques différentes des deux emplacements (pression, température et humidité relative différentes). On peut accepter comme règle empirique une erreur résiduelle de l'ordre de quelques mm par 100 m ($< 10 \text{ mm} / 100 \text{ m}$) de différence d'altitude entre la station de référence et le rover².

Rattachement

La question du rattachement des réseaux altimétriques GNSS est abordée au chapitre 4.1.8.5.

4.1.3 Projet de bureau

Le choix de la méthode de mesure GNSS est dicté par les exigences de précision et tient compte des indications du Tab. 4-1.

La planification effectuée au bureau doit prévoir au moins le double stationnement indépendant de chaque point nouveau mesuré par GNSS si la fiabilité ne peut pas être prouvée en combinaison avec une autre méthode de mesure basée sur un stationnement indépendant.

Avec les nouvelles déterminations et les renouvellements de grande ampleur de réseaux de PFP, un plan de mesures doit être remis à l'instance de vérification compétente, en plus des documents usuels, pour approbation. Pour les réseaux combinés (GNSS et mesures trigonométriques), il faut, en plus, livrer un canevas comprenant toutes les mesures, comme indiqué au chapitre 2.4; pour plus de clarté, on y désignera non plus les lignes de base, mais seulement les points stationnés avec GNSS.

4.1.4 Reconnaissance

Les principes généraux pour le choix des emplacements des points sont mentionnés au chapitre 2.3. En cas de difficulté topographique particulière, il est possible, à titre de solution d'urgence, de déterminer également un point d'appui temporaire par GNSS si des mesures trigonométriques complémentaires sont intégrées.

4.1.5 Disposition définitive des mesures

Le plan de mesures indique, en fonction du mode de mesure choisi (Static, Rapid / Fast Static, RTK avec LRS, RTK avec VRS) comment les mesures effectuées par GNSS ont été saisies ou calculées. Normalement, les points ou les lignes de base mesurés et calculés sont représentés graphiquement.

L'organisation des mesures doit garantir la résolution des ambiguïtés s'agissant des temps de mesure et des valeurs DOP. Ceci s'avère particulièrement important pour les mesures avec des temps de mesure brefs et qui seront traités ultérieurement (Rapid / Fast Static) afin d'éliminer d'éventuels calculs erronés. On respectera les indications des constructeurs. Les indications du Tab. 4-1 donnent des valeurs indicatives.

4.1.6 Mesures

Les mesures doivent être effectuées avec des récepteurs géodésiques GNSS. Les données brutes doivent être enregistrées. Il faut choisir les stations de référence (temporaires et permanentes) avec un l'horizon dégagé. Le danger de chemin multiple (multipath) doit être évité. On établira les stations de référence locales temporaires de façon stable. Les lignes de base jusqu'au rover doivent être aussi courtes que possible.

Il faut faire en sorte que les antennes soient stables. Pour les mesures dans le mode RTK, on utilisera, pour le moins, une canne de centrage avec 2 contre-fiches. On relèvera la hauteur de l'antenne deux fois, de façon indépendante. La nivelle sphérique doit être contrôlée périodiquement.

Il faut si possible éviter de combiner différents types de récepteurs et d'antenne. S'il est impossible d'éviter une telle combinaison (p.ex. en cas d'utilisation de données des réseaux permanents GNSS ou de services de positionnement), il faut documenter soigneusement les récepteurs et antennes utilisés à la station de référence et au rover et faire les ajustements correspondants lors de la mesure en temps réel.

² cf. TB 98-03 (B) "Pilotstudie LHN95-Verdichtung": Machbarkeitstests 1998 in Zusammenarbeit mit dem KVA-BE im LFP2-Netz Emmental und auf der Sekundärlinie des LN Susten

En outre avec des mesures RTK et en cas d'utilisation de services de positionnement, on veillera au paramétrage correct du cadre de référence utilisé (cf. chapitre 4.1.8.2, traitement) et à le documenter comme il convient.

Un protocole de terrain doit être rempli avec les informations suivantes, pour autant qu'elles ne soient pas enregistrées automatiquement dans le récepteur GNSS:

- Paramètres de transformation, modèle de géoïde
- Récepteur GNSS et type d'antenne (avec excentricité d'antenne)
- Numéro du point
- Genre de repérage
- Opérateur, date, heure et durée des mesures
- Indicateurs DOP, PDOP ou GDOP (suivant le type de récepteur)
- Nombre de satellites
- Coordonnées et altitude mesurées
- Autres remarques (p.ex. état de la matérialisation).

Pour les modes de mesure RTK-LRS et RTK-VRS, on tiendra aussi compte des aspects suivants pour la conception du plan de mesures:

RTK avec station de référence locale (RTK-LRS)

Il faut impérativement déterminer les stations de référence locales permanentes dans les cadres de coordonnées MN95 et MN03. Il faut en contrôler la stabilité avant les grandes campagnes de mesure ou au moins une fois par année. Cette preuve de stabilité doit être présentée aux instances de vérification.

RTK avec station de référence virtuelle (RTK-VRS)

La précision altimétrique du mode RTK-VRS est souvent insuffisante pour la détermination de réseaux altimétriques GNSS en remplacement des réseaux de nivellement (surtout en dehors du périmètre du réseau permanent et en cas de grandes différences d'altitude par rapport aux stations permanentes GNSS). Il faut dans de tels cas, utiliser une station de référence locale.

4.1.7 Définition de sessions

Par session, on entend l'ensemble des points mesurés durant un certain laps de temps (p.ex. une demi-journée ou une journée entière). Il s'agit à cet égard de distinguer deux cas:

4.1.7.1 Pour la technologie GNSS

Durée pendant laquelle une station de référence est exploitée sans interruption.

4.1.7.2 Pour la compensation

Des séries de coordonnées sont intégrées dans le système national moyennant une transformation tridimensionnelle affine (7 paramètres). Les points groupés dans une session définissent ainsi une série pour laquelle il est possible d'estimer systématiquement dans le calcul de compensation trois translations, une rotation et un facteur d'échelle (et éventuellement encore deux rotations). A cet égard, tous les points (fixes et nouveaux) servent de points d'ajustage dans un processus itératif.

La définition adéquate de sessions dans le calcul de compensation dépend ainsi de la méthode de mesure ainsi que du processus de traitement: les mesures avec un processus de traitement différent (p. ex. Rapid / Fast Static face à RTK) où des récepteurs divers doivent toujours être groupés dans des sessions indépendantes. Avec le mode RTK-LRS, les mesures qui se réfèrent au même stationnement, donc à l'exploitation ininterrompue de la station de référence, composent une session.

Si on utilise un service de positionnement pour GNSS (RTK-VRS), le rapport au cadre de référence devrait être garanti (voir chap. 4.1.1).

De cette manière, une transformation d'Helmert ne serait plus du tout nécessaire pour les coordonnées. Un ajustage reste cependant nécessaire vu que le cadre de référence altimétrique de la mensuration officielle

(NF02) est un cadre relatif. La définition de la session dépend donc d'abord de la fréquence à laquelle il doit être possible d'évaluer une translation altimétrique. Il s'agit d'en tenir compte surtout en présence de différences d'altitude importantes ou dans des conditions ionosphériques différentes. On recommande généralement pour le mode RTK-VRS de placer le premier et le deuxième stationnement de mesure dans des sessions différentes et de définir une session par des mesures de maximum quelques semaines.

Le déroulement des mesures et le groupement en sessions qui en découle doivent être présentés dans une matrice. On peut le faire par exemple de la manière suivante:

Nom du point	1. Mesure [Date / Heure]	Session [Numéro]	2. Mesure [Date / Heure]	Session [Numéro]	Observations
10927001	12.10.2004 / 10.00	1	14.10.2004 / 14.00	2	

Tab. 4-2: Matrice des sessions GNSS

Les aspects suivants doivent en outre être pris en considération au moment de constituer une session:

Les différentes sessions doivent être reliées entre elles par un minimum de trois points mesurés en commun.

Lors de l'utilisation d'un service de positionnement, cette liaison est donnée par les stations de référence. Il est recommandé malgré tout d'utiliser au minimum deux points de liaison comme contrôle et pour améliorer la fiabilité.

Tous les points nouveaux doivent être stationnés deux fois de manière indépendante. Les deux stationnements doivent, si possible, se faire avec des constellations de satellites différentes (différences d'au moins 1 heure). S'agissant de stations de référence temporaires, les deux stationnements doivent de plus se faire à partir de deux stations de référence différentes. En cas d'utilisation d'une station de référence permanente locale, les deux stationnements peuvent avoir lieu par rapport à la station de référence locale permanente.

Des points voisins doivent être mesurés dans la même session. On évitera les sessions de forme linéaire.

4.1.8 Calculs

Les calculs sont en principe effectués conformément aux indications du chapitre 2.6. En cas d'utilisation du GNSS, les différentes étapes du traitement des mesures sont détaillées ci-dessous:

1. Calcul des coordonnées de référence dans CHTRF95
2. Traitement par ligne de base des mesures GNSS et formation des sessions d'observations
3. Transformation des coordonnées CHTRF95 en coordonnées nationales (MN95) et dans le réseau altimétrique national (RAN95)
4. Compensation dans MN95 / RAN95 pour analyser la qualité des mesures et le rattachement du réseau
5. Calcul définitif dans MN03/NF02

Les étapes 1 à 3 sont en général effectuées dans le logiciel de traitement du fabricant de récepteur GNSS, les deux dernières dans le logiciel de compensation de réseau ou de transformation (p.ex. LTOP, FINELTRA et HTRANS de swisstopo).

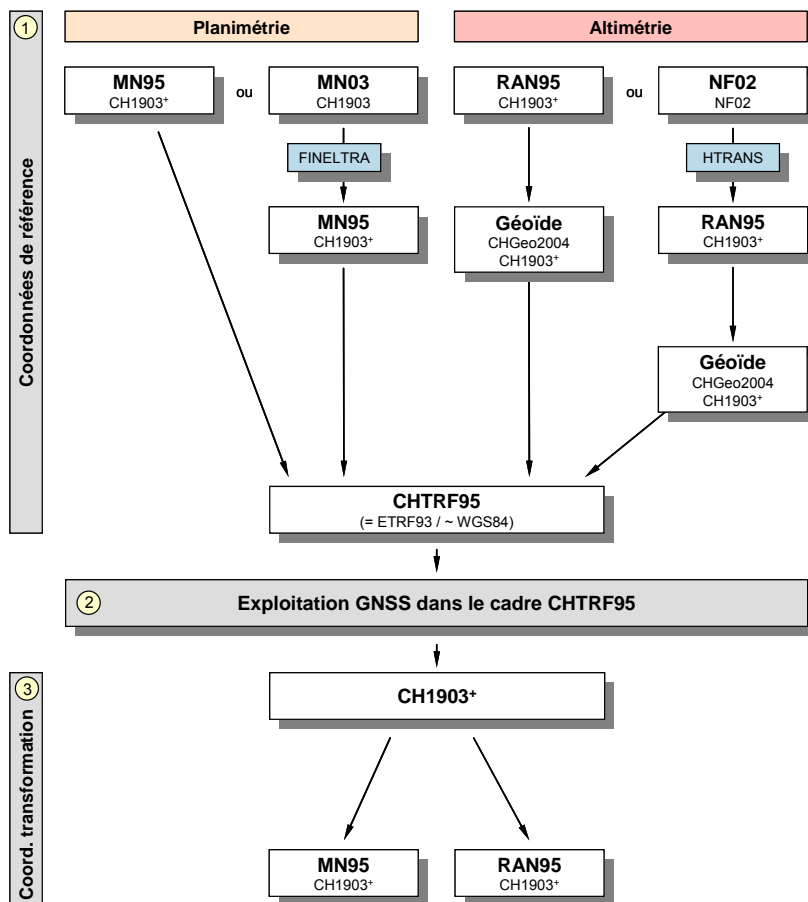


Fig. 4-1: Déroulement des calculs GNSS

Les calculs de la compensation et la transformation (étapes 4 et 5) peuvent être tirés de la Fig. 2-1 (chapitre 2.6.1).

4.1.8.1 Coordonnées des points de référence

La transformation des coordonnées de la station de référence du système de la mensuration nationale dans le système CHTRS95 s'opère en général directement dans le logiciel de traitement. A titre d'alternative, la transformation peut aussi s'opérer avec le logiciel GPSREF / GEOREF développé par swisstopo.

Pour la transformation planimétrique, on garantira que, dans le logiciel de traitement, les paramètres soient définis selon les indications du chapitre 3. Le calcul des cotes du géοide doit être effectué avec le géοide officiel de la Suisse (CHGeo2004).

4.1.8.2 Traitement des mesures GNSS

Avec les **modes de mesure Static et Fast / Rapid Static**, les mesures GNSS sont traitées par ligne de base, avec le logiciel spécifique du récepteur utilisé. Pour ce faire, l'utilisation de ce qu'on appelle les orbites Broadcast et d'un modèle standard tenant compte des influences ionosphériques et atmosphériques suffit en règle générale (pour la Suisse, Saastamoinen est recommandé).

On peut utiliser des stations de référence locales (temporaires et permanentes) comme stations de référence. Le rattachement à la MN95 s'effectue par le rattachement direct aux points MN95 officiels ou stations permanentes GNSS (ou moyennant l'utilisation de stations de référence virtuelles VRS, dont les données peuvent être obtenues au format RINEX), PAT et PFP intégrés de manière fiable dans MN95. Il faut prêter une grande attention aux types d'antenne utilisés si on recourt aux données de réseaux permanents et aux données VRS. On reprendra les indications des en-têtes des fichiers RINEX du logiciel de traitement et on garantira que des valeurs d'excentricité de phase d'antenne compatibles soient utilisées pour le traitement GNSS.

Le traitement des mesures GNSS s'opère toujours dans le système CHTRS95. Quand on utilise les réseaux permanents, les coordonnées des stations de référence sont déjà dans le système CHTRS95. Si on utilise des stations de référence locales, les coordonnées doivent être préalablement transformées du système CH1903+ dans le système CHTRS95 à l'aide des paramètres MN95 (cf. chapitre 3.2).

Seules peuvent être reprises des lignes de base (coordonnées) pour lesquelles les ambiguïtés ont pu être résolues. Si nécessaire, des mesures complémentaires doivent être effectuées. A cet égard, il faut noter qu'au moins deux à trois lignes de base supplémentaires doivent être mesurées pour garantir une intégration suffisante dans le réseau.

Les coordonnées résultantes doivent être documentées en indiquant les paramètres de traitement choisis et groupées par session pour le traitement ultérieur. Les fichiers de protocoles du logiciel de traitement peuvent être utilisés pour la documentation de le traitement GNSS (ils ne doivent pas être imprimés pour de grands réseaux).

Les **mesures RTK** n'ont en règle générale plus besoin de traitement au bureau. Les données sont transférées du récepteur GNSS dans le logiciel de traitement approprié. Seules peuvent être reprises des solutions de type "fixed". Les coordonnées qui en découlent sont à grouper par session pour le traitement ultérieur. Les fichiers de protocoles doivent être classés pour la documentation avec les indicateurs de qualité appropriée.

4.1.8.3 Transformation des coordonnées

La transformation des coordonnées GNSS du système CHTRS95 dans les systèmes de la mensuration nationale a généralement lieu directement dans le logiciel de traitement.

Pour la transformation planimétrique, il faut garantir que, dans le logiciel de traitement, les paramètres soient réglés selon les indications figurant du chapitre 3. Le calcul des cotes du géoïde doit se faire avec le géoïde officiel de la Suisse (CHGeo2004).

Cette procédure permet de disposer finalement, après le traitement GNSS, de coordonnées planimétriques MN95 et d'altitudes RAN95. On archivera ces coordonnées MN95 et ces altitudes RAN95 vu qu'elles peuvent être utilisées à des fins de contrôle après la transposition de MN03 vers MN95.

4.1.8.4 Compensation dans MN95 / RAN95 pour analyser les mesures et le rattachement au réseau

Le rattachement de cette compensation pour la planimétrie et l'altimétrie s'opère exclusivement sur les points du réseau GNSS MN95. On introduira dans la compensation les séries de coordonnées (MN95/RAN95) comme types de mesures GNSS. Normalement, les mesures d'une session engendrent une série de coordonnées. Le procédé et l'analyse lors de cette étape du calcul sont détaillés au chapitre 2.6, raison pour laquelle on ne donnera ici que quelques compléments spécifiques au GNSS.

On apportera un soin tout particulier à l'analyse de la qualité des observations GNSS. Il est conseillé, pour repérer d'éventuelles erreurs de mesures et pour évaluer l'homogénéité de l'échelle et de l'orientation des différentes séries de coordonnées, d'opérer d'abord une compensation du réseau libre ou du réseau libre ajusté uniquement avec les mesures GNSS, puis d'ajouter d'éventuelles mesures classiques, préalablement épurées. En principe, les facteurs d'échelle devraient tendre vers 1 et les orientations des différentes séries de coordonnées GNSS vers zéro (et avoir une précision concordante) vu que les coordonnées GNSS sont directement définies dans CHTRF95. Si l'on ne renonce pas entièrement à l'évaluation de ces paramètres, il faudrait introduire la même échelle et la même orientation dans les compensations suivantes pour toutes les séries de coordonnées.

Il faut suspecter une erreur dans le traitement GNSS (p.ex. coordonnées inexactes des points de référence) ou une erreur dans la transformation des coordonnées nationales (chapitre 4.1.8.3) si l'échelle et l'orientation diffèrent trop fortement l'une de l'autre par session. On examinera tout spécialement les stationnements lorsque les conditions ne sont pas idéales (p.ex. grands recouvrements, objets perturbateurs dans le voisinage).

Il faut en général éviter d'introduire des rotations et des facteurs d'échelle dans le calcul des altitudes.

Le réseau libre ou libre ajusté a valeur de preuve pour la qualité des observations GNSS et doit par conséquent être documenté.

4.1.8.5 Calcul définitif dans MN03 / NF02

Le calcul définitif effectué selon les possibilités décrites au chapitre 2.6 a prouvé son bien-fondé pour un ajustage optimal des mesures GNSS dans MN03 (répartition des contraintes résiduelles; cf. chapitre 2.6.7) tant que les triangles de transformation pour FINELTRA ne sont pas définitivement choisis.

Pour le calcul altimétrique dans la mensuration officielle, les altitudes orthométriques RAN95 tirées des mesures GNSS et du modèle de géoïde peuvent être transformées de manière approchée avec HTRANS dans NF02. On supprime de cette manière les distorsions connues du nivellement fédéral et surtout une grande partie des différences liées aux altitudes, sans influencer de façon prépondérante la précision de voisinage des mesures effectuées par GNSS.

L'insertion ultérieure dans NF02 sera facilitée dans la mesure où, grâce à l'élimination préalable d'effets systématiques, il sera possible de mieux analyser les contraintes résiduelles sur les points existants. Pour le rattachement définitif, il devrait y avoir suffisamment de points de rattachement répartis de façon homogène, en tenant compte des paliers altimétriques, et on ne devrait si possible utiliser que des PFP nivelés, respectivement des PFA.

4.1.9 Cas spéciaux

4.1.9.1 Introduction des coordonnées de la station de référence

Il faut en principe se montrer très réticent avec l'introduction de ces coordonnées comme mesures 'fictives' dans le calcul de compensation. On veillera à cet égard aux aspects suivants:

L'introduction de mesures fictives ne doit être envisagée que lorsque la station de référence a été établie sur un point matérialisé et que ces données sont également utilisées dans le traitement. On peut par conséquent y renoncer si on utilise une station de référence virtuelle.

En cas d'utilisation d'une station de référence temporaire ou d'une station permanente locale (RTK-LRS, Fast / Rapid Static ou Static), les coordonnées théoriques (introduites) de la station de référence peuvent être insérées comme mesures dans la session adéquate pour le calcul de compensation vu que toutes les mesures rover s'y réfèrent et que, de cette manière, la station de référence est également considérée comme point d'ajustage dans la transformation d'Helmert.

4.1.9.2 Déplacements

En cas de déplacement, les coordonnées et l'altitude du point déplacé sont calculées à partir de celles de l'ancien point. Il est quasiment impossible de respecter ce principe en cas de déplacement GNSS. Si on ne stationne que sur l'ancien repère et sur le point nouveau, l'échelle et l'orientation du vecteur de déplacement sont déterminées par les orbites des satellites, vu qu'il est impossible d'évaluer une échelle ou une orientation dans la compensation du fait d'une surdétermination insuffisante. Si on stationne des points de rattachement supplémentaires, il est certes possible d'évaluer l'orientation locale et l'échelle, mais le point déplacé ne sera dès lors plus calculé comme transfert de coordonnées de l'ancien repère, mais comme intercalage d'un point isolé. On tiendra compte de ces éléments en analysant les résidus du vecteur de déplacement.

4.1.10 Documentation

La documentation complète est décrite de façon exhaustive au chapitre 6.

En plus des documents mentionnés au chapitre 2.6.9 on fournira les documents spécifiques suivants pour des calculs par GNSS:

réseau libre ou libre ajusté

pour évaluer les mesures par GNSS dans le cadre de référence MN95 / RAN95

plan des vecteurs tiré des différences de coordonnées "réseau libre" – "calcul définitif" pour évaluer les relations de voisinage (différences des vecteurs)

matrice des sessions GNSS (cf. chapitre 4.1.5)

4.2 Détermination trigonométrique des points

Le réseau à mesurer par la méthode trigonométrique est constitué d'un ensemble de directions, de distances, d'angles zénithaux et de dénivelées. Même si le résultat final donne des coordonnées tridimensionnelles, actuellement encore le calcul et la compensation se font séparément pour la planimétrie et pour l'altimétrie. L'évolution de la technique du GNSS rend la détermination trigonométrique des points toujours plus marginale. Ce procédé reste cependant actuel avant tout dans les zones bâties, pour les réseaux de PFP3 et de PFP2, pour des mesures complémentaires (déterminations de points excentriques, déplacements, détermination de points inaccessibles par exemple).

4.2.1 Projet de canevas

4.2.1.1 Réseau planimétrique

Dans les réseaux purement trigonométriques, il faut chercher à relier entre eux les PFP voisins. En règle générale, un point doit être déterminé par 6 mesures au moins. S'il est impossible de mettre en place des liaisons directes entre points voisins, des liaisons indirectes seront établies par des angles parallactiques, des paires de distances et des points auxiliaires. Le plus souvent, de telles faiblesses de réseau sont plus facilement éliminées avec des mesures combinées GNSS.

Avec des groupes de points (point élevé - Rab; PC - PAZ; PC - PA, etc.) et en cas de déplacement de points, les relations doivent en tous cas être établies et contrôlées de manière indépendante. Pour des raisons de fiabilité, la mesure de l'angle parallactique depuis le rabattement entre le point élevé et le PA doit être fait séparément. Il est introduit comme tel dans le calcul, en plus de la mesure des séries.

Le réseau peut présenter une structure polygonale dans des forêts ou des zones bâties. Il faut à cet égard prévoir une mesure réciproque des distances et des orientations intermédiaires partout où cela est possible.

On prévoira des orientations aux points de rattachement. Il faut aussi veiller, en vue de la détermination de l'échelle du réseau, à ce que les points de rattachement du réseau soient reliés entre eux de la façon la plus contiguë et continue possible par des mesures de distance.

PFP2

Le renouvellement des PFP2 peut se faire dans le cadre de l'établissement du nouveau réseau de PFP3. Ces réseaux doivent être conçus comme des réseaux de surface. Avec des liaisons transversales, env. tous les 3 à 4 points, on évite les longues polygonales et on garantit ainsi une bonne précision voisine et une bonne fiabilité.

Chez nous, des groupes de points sont toujours plus rares. En règle générale, le point principal reste PFP2 et les points auxiliaires sont dégradés en PFP3 (ou éliminés) dans la mesure où cela s'avère utile.

PFP3

Dans les réseaux de PFP3, il faut établir une distinction entre les PFP3 matérialisés de façon durable et les points auxiliaires non matérialisés durablement, utilisés pour le levé de détail, le piquetage ou la consolidation du réseau. Lors d'un premier levé, la matérialisation durable de seulement un point sur 3 ou 5 peut être envisagée; ces points seront disponibles pour la mise à jour de la mensuration cadastrale.

Tous les points, y compris les points auxiliaires non matérialisés durablement, sont compensés globalement par la méthode des moindres carrés.

Le canevas de mesure pour les réseaux de PFP3 n'est planifié que dans ses grandes lignes au bureau (PR, périmètre). Le canevas de détail n'intervient qu'à l'occasion d'une reconnaissance sur le terrain.

Avec leur nombre impressionnant de points, les réseaux structurés de cette manière dépassent souvent les capacités du logiciel disponible tant et si bien que la constitution de réseaux partiels s'impose. Des raisons d'organisation du travail peuvent également plaider pour la mise en place de tels réseaux partiels. Ces derniers doivent être délimités de sorte qu'ils soient suffisamment fiables en tant que tels et permettent un contrôle sûr des points de rattachement prévus pour le rattachement.

En règle générale, les PFP3 sont conçus comme des réseaux de surface en forme polygonale. On veillera à ce que la longueur des côtés soit la plus équilibrée possible. Avec un nombre suffisant de liaisons transversales, env. tous les 3 à 4 points, on évite les longues polygonales et garantit ainsi une bonne précision de voisinage et une bonne fiabilité.

Il faut rattacher les réseaux à tous les PFP2, ainsi qu'à un choix de PFP3 existants, dans le périmètre de travail et à son voisinage. L'état de ces points doit être contrôlé au préalable et jugé en ordre.

La relation entre un Rab ou un PFP3 et le point élevé qui lui est lié doit en général être déterminée, ou pour le moins contrôlée lors de la mesure du réseau de PFP3 (visée sur le point élevé depuis quatre à six points voisins).

4.2.1.2 Réseau altimétrique

Le réseau altimétrique se compose en général de dénivelées déterminées trigonométriquement, par nivellement géométrique ou par la méthode GNSS. Les PFP qui se trouvent au voisinage de points fixes altimétriques, compte tenu du cheminement, doivent être déterminés par un nivellement géométrique contrôlé. Celui-ci doit si possible être rattaché à des points fixes altimétriques, qui doivent être contrôlés dans le groupe de points. Le cas échéant, on peut également prévoir un nivellement trigonométrique.

La mesure trigonométrique des altitudes doit se faire par des visées directes aussi courtes que possible. On évitera si possible des visées à proximité du sol en raison des effets de la réfraction. On ne mesurera qu'à titre exceptionnel des angles zénithaux sur des points à plus de 1.5 km.

À l'intérieur des groupes de points (PC - PA; PC - PAZ, etc.) et des déplacements, le contrôle indépendant peut s'opérer moyennant des mesures de dénivelées trigonométriques ou par nivellement. Des mesures d'angles zénithaux unilatérales y sont admises, comme pour les contrôles de points.

On peut renoncer à la détermination des altitudes des points inaccessibles.

Lors de déplacements, le contrôle altimétrique s'effectue en général à l'aide de mesures unilatérales d'angles de hauteur sur les points de rattachement voisins.

PFP2

L'altitude d'un PFP2 est déterminée par au moins trois dénivelées sur des points voisins. Les angles zénithaux contribuant à la dénivelée doivent être mesurés réciproquement. Des mesures unilatérales ne sont admises que vers des points non stationnables; dans les zones d'instabilité de terrain, exceptionnellement aussi vers des points sur lesquels il n'est pas nécessaire de stationner du fait d'exigences moindres quant à la précision et à la fiabilité de la situation.

PFP3

Il est possible de renoncer à la détermination altimétrique des PFP3 matérialisés de façon durable lorsqu'un réseau de PFA3 spécialement matérialisé, en général mesuré par nivellement, est prévu dans le périmètre de travail.

4.2.2 Mesures

Les conditions météorologiques exercent une grande influence sur la détermination trigonométrique des points. Aussi, faut-il veiller à ce que les incidences défavorables de la réfraction ou de fortes vibrations soient réduites au minimum.

4.2.2.1 Instruments

Il est possible de respecter, en règle générale, les exigences de qualité préconisées par l'OTEMO en recourant aux instruments suivants:

- tachéomètres atteignant pour les directions / angles zénithaux une précision de 0.5 mgon (PFP2) à 1 mgon (PFP3) et pour la mesure des distances une précision de $\pm (5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm})$;
- Niveaux de précision pour nivellement technique (erreur moyenne de 5mm par kilomètre pour nivellement double)

Les instruments doivent être régulièrement contrôlés. Pour les instruments mesurant la distance, le facteur d'échelle (constante de multiplication) ainsi que la constante d'addition (spécialement pour les réseaux de PFP3) doivent être contrôlés et pris en compte, et le cas échéant également étalonnés. Lors de nivellement, le contrôle du niveau sera effectué régulièrement. On dressera un protocole de contrôle des appareils. Ces derniers doivent être soigneusement entretenus et révisés périodiquement.

PFP3

L'enregistrement automatique des mesures constitue aujourd'hui la règle. On enregistre en un seul pointé toutes les mesures dans une position (direction, angle zénithal, distance oblique). Il faut veiller à ce que les mesures originales soient introduites dans la compensation du réseau.

En règle générale, il n'est pas nécessaire d'exploiter les mesures directement sur le terrain.

4.2.2.2 Mesures de directions

Une mise en station stable et un calage horizontal opéré avec soin sont les conditions indispensables pour de bonnes mesures de directions.

Les directions sont mesurées par séries à l'aide d'un tachéomètre. On mesure généralement deux séries. Une série ne doit pas comprendre plus de 10 à 12 directions. Pour constater une éventuelle torsion du trépied, il est conseillé, pour les grandes séries, de remesurer la direction initiale à la fin des demi-séries (ne doit pas être introduite une 2^{ème} fois dans la compensation). Les objets volumineux (boules, mâts épais, etc.) peuvent également être mesurés sur leurs bords gauche et droit; la moyenne sera introduite dans le calcul.

La réduction des séries, le calcul des directions moyennées et de l'erreur moyenne se font dans le protocole de terrain. L'écart-type d'une direction mesurée une fois dans les deux positions de la lunette (mesure de séries) ne doit pas être supérieure à 0.8 mgon.

PFP3

Les visées entre les PFP3 sont mesurées dans les deux positions. Des mesures de séries sont conseillées, mais pas indispensables. Seule une série sera mesurée.

4.2.2.3 Mesures de distance

On recommande généralement une mesure de distance contrôlée (double déclenchement ou mesures aller et retour). La différence entre les deux mesures ne devrait pas dépasser 1 cm pour des distances courtes (< 100 m) et 2 cm pour des distances longues. Pour les PFP2, il faut saisir les distances obliques sans aucune correction. Les valeurs affichées par l'appareil sont enregistrées automatiquement ou consignées dans le protocole de mesure. Les réductions atmosphériques (météo) sont prises en compte ultérieurement.

Pour les PFP3, les distances réduites peuvent être directement enregistrées. On veillera alors à noter les paramètres introduits dans le distancemètre.

Pour les distances jusqu'à 500 m, l'estimation de la température de l'air à 5 °C près et la pression normale à l'altitude du milieu de la distance suffisent pour la réduction atmosphérique. Si les distances sont plus longues et lors de grandes différences d'altitudes (> 100 m), on mesurera la pression de l'air et la température à la station et calculera la pression à l'altitude moyenne de la visée. Il serait plus rationnel d'effectuer le relevé des valeurs météo à la station et au réflecteur et d'en faire ensuite la moyenne. Le baromètre et le thermomètre sont à contrôler régulièrement, aussi avant et après d'importantes campagnes de mesure.

Valeurs indicatives pour la réduction atmosphérique des distances:

Différence de température 1 degré Celsius	= 1 ppm
Différence de pression barométrique 3 mbar	= 1 ppm

On mesurera si possible toutes les distances du réseau avec le même distancemètre. Si on utilise plusieurs appareils, 2 à 3 longues distances communes au moins seront mesurées pour une comparaison de l'échelle, ainsi que 2 à 3 distances courtes pour comparer une éventuelle constante d'addition. Les distances mesurées avec des distancemètres différents devront être traitées dans des groupes différents.

Les éléments altimétriques nécessaires à la réduction géométrique des distances obliques sont à relever.

Pour les déplacements et les points excentriques, l'erreur moyenne du vecteur de déplacement ou de l'excentricité ne devrait pas excéder ± 5 mm.

4.2.2.4 Mesures des hauteurs

Les mesures de hauteurs servent à déterminer l'altitude des points et à réduire les distances obliques à l'horizontale. Lors de la mesure d'angles zénithaux ou de différences de niveau par nivellement, la mesure des hauteurs d'instrument et de signal doit être indépendamment contrôlée. Afin de réduire le plus possible l'influence de la réfraction, il faut mesurer les angles zénithaux aller et retour dans les conditions les plus semblables possibles.

4.2.2.4.1 Nivellement trigonométrique

Les angles zénithaux sont déterminés normalement à l'aide d'un tachéomètre doté d'un compensateur automatique. Mesurer un angle zénithal consiste à viser et faire une lecture en première et deuxième position.

On mesurera en général deux fois les angles zénithaux. Une troisième mesure doit être faite si la différence entre les deux mesures est supérieure à 2.0 mgon. Il faut analyser la collimation pour chaque angle zénithal qui ne doit pas diverger de plus de 3.0 mgon de la moyenne d'une série.

On notera les indications relatives à des pointés particuliers (p.ex. au milieu d'une boule, bas des planches, milieu d'une croix). Avec des visées courtes et inclinées vers des boules (p.ex. cordon de soudure de la boule), il faut s'assurer que la réduction de l'angle zénithal soit faite sur le point visé qui convient (p.ex. le milieu de la boule).

4.2.2.4.2 Mesures d'altitudes par nivellement

On utilisera des niveaux automatiques ou digitaux dont l'erreur moyenne pour 1 km de nivellement double est inférieure à 5 mm. Le contrôle du niveau doit être exécuté régulièrement. On peut recourir à des mires en bois ou en métal léger qu'on aura soin de comparer de temps à autre.

L'erreur moyenne du nivellement par kilomètre, calculée à partir de la mesure aller et retour ou de l'erreur de fermeture, ne doit pas excéder 10 mm.

4.2.3 Calculs

Le déroulement général du calcul est décrit au chapitre 2.6 et vaut également pour la méthode de mesure trigonométrique. Il y a lieu d'observer spécialement ici les réductions préalables sur les mesures (distances et dénivelées). Comme mesures, on introduit les directions, les distances et les dénivelées ainsi que les coordonnées et les altitudes des points de rattachement.

Les distances sont préalablement réduites des corrections atmosphériques et d'éventuelles corrections d'appareils. La **réduction géométrique des distances** (réduction en raison de la hauteur des appareils et des prismes, réduction à l'horizontale au niveau de la mer, dans le plan de projection) **et le calcul des dénivelées** à partir des angles zénithaux, de la distance, de la hauteur des appareils et de signal **doivent s'opérer avec le programme de compensation** et y être clairement documenté.

En tenant compte de la distribution de Gauss, on attribue l'erreur moyenne de 0.5 mgon à 0.7 mgon pour les directions et les angles zénithaux et de $\pm (5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm})$ pour les distances mesurées électroniquement. On peut accroître ces valeurs à la faveur de la mise à jour dans le cadre de référence de MN03 (en particulier la part dépendant de la distance), pour préserver la précision locale en tenant mieux compte des contraintes plus grandes qu'il y a lieu d'attendre dans la pratique (p.ex. lors de déplacements). En cas de visées courtes, il y a lieu d'accroître de façon adaptée les erreurs moyennes (écarts-type) des directions a priori en tenant compte de la précision de centrage. Les erreurs moyennes (écarts-type) doivent être évaluées après la première itération et, le cas échéant, elles doivent être adaptées de telle manière que le quotient³ composé par l'erreur moyenne (écart-type) a priori et l'erreur moyenne (écart-type) a posteriori des différents groupes de calculs donne une valeur située entre 0.7 et 1.2.

On ajoute en général une inconnue d'échelle pour les distances mesurées électroniquement si la disposition des distances dans le réseau le permet. Au cas où (exceptionnellement) plusieurs appareils sont utilisés pour le même réseau, une inconnue d'échelle est à introduire pour chaque appareil.

³ LTOP donne le quotient linéaire, qui correspond au carré du quotient entre 0.5 et 1.5 selon le test Chi carré.

4.2.4 Documentation

La documentation est décrite en détail au chapitre 6 ainsi qu'au chapitre 2.6.9. Il n'existe pas d'autres particularités pour la détermination trigonométrique des points.

4.3 Nivellement géométrique

4.3.1 Projet de canevas

Les réseaux de PFA2 / PFA3 présentent une structure en lignes. C'est la raison pour laquelle, en cas de nouvelle détermination et de renouvellement, le périmètre est avant tout tracé en fonction de la possibilité de rattachement à des PFA hiérarchiquement supérieurs ou égaux. Pour des raisons de fiabilité, il s'agit, si possible, de relier plusieurs lignes lors de la même opération. Les groupes de points doivent être entièrement contrôlés entre eux. Des visées intermédiaires non contrôlées ne sont pas admises. On peut prévoir des points auxiliaires entre les PFA, séparés par une distance de 400 à 500 m, afin de mieux contrôler les mesures. Ces points auxiliaires devraient être suffisamment stables pendant la campagne de mesure; ils ne sont pas reportés dans les registres.

Le périmètre des travaux de mise à jour est fonction des besoins. On esquisse tout d'abord les emplacements de points souhaités sur la base d'un plan ou d'une carte appropriée ainsi que le canevas projeté.

PFA3

Le réseau de PFA3 se compose de lignes courtes reliées entre elles. Lors d'une nouvelle détermination et d'un renouvellement, le périmètre s'étend en général sur la zone à bâtir d'une commune pour autant qu'il existe au moins un groupe de PFA1 ou de PFA2. Si tel n'est pas le cas, le périmètre s'étend jusqu'à la prochaine possibilité de rattachement.

Pour des raisons de fiabilité, un tronçon en boucle ne devrait pas comporter plus de 5 à 6 PFA. Les différents tronçons en boucle peuvent être déterminés par des mesures simples. Les PFA ne se trouvant pas dans une boucle ainsi que les longues boucles doivent être mesurées de façon réciproque (mesures aller et retour).

4.3.2 Reconnaissance / Visite

Le but de la reconnaissance est d'arrêter définitivement les emplacements et la matérialisation des points nouveaux ainsi que la structure du réseau conformément au projet de bureau.

À cet égard il y a lieu d'observer avant tout les aspects suivants, en plus des critères généraux pour la matérialisation des points fixes de mensuration mentionnés au chapitre 5:

Les PFA doivent pouvoir être placés sur des objets faciles d'accès et stables comme des rochers, des immeubles, des murs limites ou de soutènement massifs.

Il faut vérifier la stabilité de l'objet dans le voisinage immédiat du PFA prévu, et ce à l'aide d'appareils adéquats ou avec des moyens simples.

Il faut tenir compte du fait qu'on doit pouvoir poser une mire sur le PFA.

On ne placera qu'un point fixe altimétrique par objet.

On peut s'attendre à ce que les nouvelles constructions subissent des tassements; aussi évitera-t-on de tels objets ainsi que ceux à rénover dans un avenir plus ou moins rapproché. Il faut prêter attention aux projets routiers.

Il est judicieux de visiter les PFA sur le terrain durant les travaux de reconnaissance.

Densité des points

Dans les réseaux de **PFA2**, la distance moyenne entre deux points ou groupes de points est d'environ 1.5 km. Au sein du groupe, les différents PFA sont disposés dans un rayon de 100 m environ.

Dans les réseaux de **PFA3**, la distance moyenne entre deux points est d'environ 500 m.

4.3.3 Mesures

4.3.3.1 Choix de la méthode

Le chapitre suivant se subdivise en une partie générale sur le nivellement géométrique ainsi qu'un volet spécial sur le nivellement géométrique de précision et le nivellement technique. En principe, les réseaux de PFA sont mis à jour à l'aide de la méthode ayant déjà servi à leur détermination.

Le **nivellement géométrique de précision** s'applique aux PFA2 et, dans les cas fondés, aux PFA3 sis dans les villes ou dans les grandes localités.

Le **nivellement technique** est généralement appliqué aux PFA3.

4.3.3.2 Instruments

Il faut contrôler régulièrement les niveaux de précision et les mires.

La longueur des mires (échelle) doit être régulièrement comparée ou au moins lorsque l'on mesure d'importantes dénivelées.

Les nivelles sphériques des instruments et des mires doivent être également contrôlées régulièrement.

Nivellement géométrique de précision

Pour le nivellement géométrique de précision, on utilise des niveaux à enregistrement automatique ou des micromètres optiques avec lames à faces parallèles adaptés à la graduation des mires. On doit ainsi, selon les indications de la firme, obtenir avec ces appareils des écarts-type de moins de 1.0 mm par kilomètre de nivellement double. On recourt généralement à des instruments à compensation automatique de l'inclinaison de la ligne de visée. Les instruments à nivelle présentent des avantages dans les régions dont le sol est soumis à d'importantes vibrations ou à des champs magnétiques intenses.

La ligne de visée du niveau doit être réglée lorsque son erreur est supérieure à 0.03mm par mètre de portée.

On utilisera des mires invar à codes-barres ou, dans la mesure du possible, avec deux échelles décalées l'une par rapport à l'autre. Ces mires doivent être posées entre les PFA sur des crapauds spéciaux afin qu'elles gardent leur position durant la mesure. On recommande d'étayer les mires avec des contre-fiches pour les stabiliser.

Le mécanisme de tension du ruban invar des mires doit fonctionner impeccablement, quelle que soit la température. Il est à contrôler régulièrement; on en fera de même pour l'erreur relative du pied de mire en cas d'utilisation de paires de mires.

On peut déterminer l'échelle des mires auprès des firmes commercialisant ces instruments et auprès de l'Institut de géodésie et de photogrammétrie (IGP) de l'EPFZ.

Nivellement technique

On utilisera des niveaux de précision avec ou sans compensateur dont l'écart-type pour 1 km de nivellement double est inférieure à 4 mm, selon les indications du constructeur.

La ligne de visée du niveau doit être réglée lorsque son inclinaison est supérieure à 0.1 mm par mètre.

On choisira des mires en bois ou en métal léger. Entre les PFA, les mires doivent être posées sur des crapauds.

4.3.3.3 Mesures

En principe, le niveau se pose au milieu des deux mires. Il est important que la somme des distances des coups arrière soit égale à celle des coups avant entre deux PFA. Les longueurs de visée devraient être adaptées au contexte; elles n'excéderont pas 40 m.

Les visées passant juste au-dessus du sol sont fortement influencées par le phénomène de réfraction, aussi les évitera-t-on. Les visées ne doivent pas se faire à moins de 30 cm du sol.

Durant les mesures proprement dites, des dispositions assurant la sécurité de l'équipe de terrain et du trafic routier doivent être prises.

Nivellement géométrique de précision

On recommande un schéma de mesures prévoyant deux mires. La succession des lectures RVVR (R = visée arrière, V = visée avant), par leur symétrie, permet de constater un éventuel affaissement du trépied et d'éliminer ce problème dans une large mesure. La succession des lectures RRVV est cependant le plus souvent suffisante.

On consignera la distance des mires par rapport à l'instrument dans le protocole; il faut viser à cet égard à une précision d'un ordre de grandeur inférieur au mètre. Les distances peuvent être mesurées au pas ou à l'aide du niveau.

Sur les routes asphaltées, on tiendra compte de l'enfoncement des crapauds. Cet effet apparaîtra dans la somme algébrique des mesures réciproques sous la forme d'un chiffre positif. Suivant la température, cette somme peut atteindre 0.5 à 2 mm par kilomètre de nivellement. La moyenne des mesures réciproques n'est pas touchée par cette erreur systématique. Il est toutefois toujours mieux de poser les crapauds sur des bordures stables ou sur un sol ferme. On recommande de ce fait d'effectuer les mesures si possible lorsque les conditions atmosphériques sont favorables (printemps / automne).

Lors de grandes différences de niveau, il faudrait, à l'aide de moyens simples, enregistrer les températures des rubans invar pour tenir compte de l'échelle de la mire.

On veillera à ce que la mesure s'effectue de façon homogène et à ce que les temps de changement de station soient réduits au minimum.

Nivellement technique

On effectue en général les mesures à l'aide d'une seule mire; on mesure au pas son éloignement par rapport à l'instrument et on l'inscrit dans le protocole. Les longueurs de visée peuvent également être mesurées avec le niveau. Les crapauds seront posés sur des supports solides.

4.3.3.4 Tenue du carnet de terrain

On conseille d'utiliser un carnet de terrain électronique; il facilitera les contrôles et permettra d'accroître la fiabilité du travail (cf. aussi chapitre 2.5.2). De manière générale, il faudrait que les mêmes valeurs que celles relevées avec un carnet de terrain usuel soient consignées dans le protocole. Les données saisies doivent pouvoir être consultées directement sur le terrain.

Nivellement géométrique de précision

Lors des mesures, on relèvera également les numéros des mires employées et leur mode de placement.

Les différences résultant de R1-V1 et R2-V2 ne doivent pas excéder un maximum de 0.3 mm entre elles. Avec les mires (classiques) avec deux échelles, on additionne à des fins de contrôle la constante de la mire aux deux lectures sur les petits chiffres. Les résultats seront ensuite comparés avec les lectures sur les grands chiffres. On réduira la portée si de grandes différences se multiplient; si ces dernières sont systématiques, cela peut indiquer un enfoncement du trépied ou des mires. Dans la mesure du possible, on supprimera ces erreurs.

Nivellement technique

Lors de la mesure, on relèvera les visées arrière et avant, au millimètre près.

4.3.3.5 Mise au propre des mesures

Il faut mettre les protocoles de mesure au propre avant d'effectuer leur traitement ultérieur. Les dénivelées sont calculées deux fois indépendamment. Il est en outre recommandé de procéder au contrôle intermédiaire consistant à vérifier si la différence des sommes de toutes les visées avant et arrière est égale à la somme de toutes les dénivelées.

Nivellement géométrique de précision

Les dénivelées sont calculées indépendamment, une fois comme différences entre les petits chiffres et une fois entre les grands chiffres des lectures sur la mire, ou avec la deuxième mesure indépendante faite avec le

nivellement numérique. On établit la moyenne de ces deux valeurs. D'éventuelles corrections sont à apporter à la moyenne (correction relative au crapaud, échelle de la mire; éventuellement, température s'il existe de grandes différences d'altitude).

4.3.3.6 Analyse des mesures

4.3.3.6.1 Mesures réciproques

On commence par comparer entre elles les valeurs mises au propre des mesures réciproques des différents tronçons. Les différences ne doivent pas dépasser les valeurs suivantes en millimètres:

Nivellement géométrique de précision: $d < 0.5 \cdot \sqrt{n}$ (mm)

Nivellement technique: $d < 3 \cdot \sqrt{n}$ (mm)

d = différence entre les mesures réciproques d'un tronçon

n = nombre de stations du niveau sur ce tronçon

La mesure du tronçon doit être répétée si cette tolérance est dépassée.

On calcule ensuite à l'aide de la formule ci-dessous l'écart-type pour 1 km de nivellement double à partir de tous les tronçons mesurés à double entre des points fixes:

$$m_x = \sqrt{\frac{1}{4n_T} \sum \frac{dd}{\ell}}$$

m_x = écart-type pour 1 km de nivellement double

d = différence entre les mesures réciproques d'un tronçon

ℓ = longueur en kilomètre du tronçon en question

n_T = nombre de tronçons

m_x ne doit pas excéder les valeurs suivantes:

Nivellement géométrique de précision: $m_x < 1$ mm

Nivellement technique: $m_x < 4$ mm

4.3.3.6.2 Mesure simple

Dans les réseaux mesurés de façon simple seulement, on calculera d'abord les erreurs de fermeture des différentes boucles. Ces erreurs ne doivent pas excéder les valeurs suivantes:

Nivellement géométrique de précision: $f < 3 \cdot \sqrt{S}$ (mm)

Nivellement technique: $f < 12 \cdot \sqrt{S}$ (mm)

f = erreur de fermeture

S = longueur de la boucle en kilomètre

Il faut remesurer toute la boucle en cas de dépassement de cette valeur.

L'écart-type pour 1 km de nivellement simple est ensuite calculée à l'aide de la formule suivante, pour toutes les boucles:

$$m_s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum \frac{ff}{S}}$$

f = erreur de fermeture

S = longueur de la boucle en kilomètre

N = nombre de boucles

m_s ne doit pas excéder les valeurs suivantes:

Nivellement géométrique de précision $ms < 1.4 \text{ mm}$
Nivellement technique: $ms < 6 \text{ mm}$

4.3.4 Calculs

On analyse dans un premier temps les altitudes des points de rattachement du groupe de points. Si seules de petites contraintes se manifestent, on pourra les répartir au sein de ce groupe et utiliser les altitudes ainsi corrigées comme valeurs finales. Si les écarts sont plus importants (plus de 3 mm), les mesures à prendre doivent être discutées avec l'instance de vérification. On tiendra compte de l'influence des points instables (le plus souvent caractérisés par des affaissements systématiques) en évaluant les contraintes de rattachement.

Pour les nivellements en ligne, on mettra en évidence les écarts entre les dénivelées mesurées et les dénivelées données.

Le calcul des altitudes des points nouveaux s'effectue en général selon la méthode des moindres carrés. Seul l'usage de programmes reconnus par l'instance de vérification est admis.

Pour des raisons de fiabilité, on tiendra compte dans le calcul des dénivelées des mesures réciproques. L'écart-type sur l'unité de poids sera celle calculée pour m_o . Dans la plupart des cas, il faut augmenter cette valeur en raison des contraintes de rattachement qui se manifestent. L'expérience a montré qu'elle se situait entre 0.8 et 1.0 mm pour des nivellements géométriques de précision et entre 3 à 4 mm avec des nivellements techniques.

À cette fin, il faut introduire les distances correspondantes à toutes les dénivelées. On prendra les valeurs consignées dans le carnet de terrain. Si un tel relevé n'a pas été effectué, il faut saisir graphiquement les distances en question en se servant d'une carte ou d'un plan.

Certaines lignes mesurées à double peuvent également être compensées de façon usuelle (ou interpolées) en répartissant l'écart proportionnellement à la distance. Ce mode de faire convient surtout aux petites mises à jour.

4.3.5 Documentation

Les travaux doivent être documentés de façon appropriée (cf. chapitre 2.6.9 et chapitre 6).

5 Matérialisation des points fixes

5.1 Considérations générales

On peut **renoncer aux repères secondaires** (repérage excentrique local) pour les points nouveaux qui sont déterminés dans le cadre de référence **MN95/RAN95** en plus du cadre de référence MN03/NF02. La possibilité de rétablissement est garantie par des services de positionnement GNSS - p.ex. le réseau GNSS automatique de la Suisse AGNES - dans un cadre de référence absolu comme MN95/RAN95.

En revanche, pour les points en place ne disposant que de coordonnées dans le cadre de référence MN03/NF02 ou de coordonnées transformées MN95/RAN95, le rétablissement ne reste possible que par des repères secondaires.

Il faut procéder à la matérialisation des points fixes (conformément aux articles 46 et 47 de l'OTEMO) avant les mesures. Les points doivent pouvoir être utilisés à long terme pour tous les travaux de mensuration ultérieurs. Aussi, doivent-ils prioritairement être placés dans un sous-sol stable ou sur des objets durables. L'accès aux emplacements choisis doit être sûr et facile; les entreprises de mensuration ultérieures doivent pouvoir les utiliser aisément.

La matérialisation du point comprend les éléments suivants:	La documentation englobe:
repères primaires	protocole de terrain
repères secondaires	fiche signalétique du point
objets spéciaux	carte des points
dispositifs de protection	éventuelle inscription au registre foncier

Les repères primaires servent à matérialiser les points de façon univoque pour les utilisations ultérieures. Quant aux repères secondaires, ils permettent de rétablir les repères primaires avec la précision voulue en cas de destruction et d'endommagement de ces derniers. Pour les PFA, on ne fait pas la distinction entre repères primaires et secondaires.

Il est également permis, pour repérer les points, de recourir à des objets artificiels tels les boules de clocher, les pointes de tours, les mâts, etc., dans la mesure où ils sont stables, durables et utilisables.

Des mesures de protection complémentaires (regard, repère primaire enterré) doivent réduire les dangers menaçant les points.

Il est possible de protéger encore plus efficacement les points si on informe les propriétaires fonciers concernés, si possible moyennant un accord écrit. Il est également recommandé d'informer les éventuelles autres personnes concernées (p.ex. fermiers, commune, voyer cantonal). Un système d'annonce fiable et bien organisé constitue un préalable indispensable à cet égard.

Finalement, les points jouissent d'une protection encore meilleure si on recourt également aux moyens légaux disponibles. Des inscriptions au registre foncier, un emplacement sur le domaine public ainsi qu'une inscription dans la législation cantonale peuvent étayer efficacement les mesures de protection prises.

5.2 Compétences

Les travaux sur les repères des PFP2 et PFA2 sont entrepris d'entente avec les instances de vérification compétentes; ceux concernant les PFP3 et PFA3 sont de la compétence du géomètre responsable.

Les annonces concernant des événements particuliers doivent être adressées à l'autorité de mensuration compétente.

5.3 Types de repères

5.3.1 Matérialisation des PFP2

Font office de repères pour les PFP2:

Bornes	<p>en matière résistant aux aléas climatiques, en général granit</p> <p>Dimensions: 18/18/75 cm, lorsque la tête de la borne est au-dessus du niveau du sol 18/18/65 normalement, si la borne est au niveau du sol ou sous regard 18/18/50-60 cm à titre exceptionnel en montagne ou en présence d'un sous-sol rocheux</p> <p>un triangle est gravé sur la tête ou sur une face latérale</p> <p>Traitement: La tête doit être carrée et travaillée sur 10 cm; le reste de la borne étant à l'état brut. La tête de la borne doit être finement bouchardée ou polie, permettant de mesurer son inclinaison.</p> <p>Le centre doit être marqué de façon univoque et durable.</p>
Chevilles	<p>en matériau durable</p> <p>Le centre doit être marqué de façon univoque et durable.</p> <p>La cheville doit être ancrée fermement dans la roche ou le socle en béton.</p>
Objets spéciaux	<p>Boules, croix ou pointes de clocher en matériaux durables.</p> <p>Poteaux, antennes, etc., construits en matériaux durables et identifiables. Ces objets peuvent être identifiés spécialement à l'aide de papier collant ou de peinture.</p>

Dans des cas particuliers, on peut utiliser d'autres repères primaires dans la mesure où ils ont été approuvés par l'instance de vérification.

Peuvent protéger les PFP2 à titre complémentaire:

Regards en fonte: dimensions internes minimales 24/24 cm, avec inscription sur le couvercle

Regards en béton: diamètre intérieur d'environ 40 cm, possibilité de rouler sur le couvercle avec un véhicule

Plaque indicative: on peut placer une plaque indicative aidant la recherche sur des poteaux spéciaux ou des objets artificiels

5.3.2 Matérialisation des PFP3

Font office de repères pour les PFP3:

Bornes	<p>En matière résistant aux aléas climatiques, en général granit; avec un trou central défini de façon univoque et durable, de Ø 5-10 mm</p> <p>Dimensions: 12x12 ou Ø 12 cm, 65-75 cm; la tête de la borne doit être finement bouchardée ou polie</p>
Chevilles	<p>en matériau durable</p> <p>Le centre doit être marqué de façon univoque et durable.</p> <p>La cheville doit être ancrée fermement dans la roche ou le socle en béton.</p>
Petits tuyaux (éventuellement avec cheville)	<p>en matière durable résistant aux aléas climatiques</p> <p>diamètre interne d'au moins 18 mm; épaisseur minimale de 4 mm</p> <p>longueur minimale de 40 cm</p>
Croix / Cercles	<p>Taillées au ciseau dans un rocher ou un gros bloc, croix avec petit trou central et 3 branches, longueur 4 à 8 cm, 5 à 10 mm de profondeur, ou cercle Ø 4-8 cm</p>
Objets spéciaux	<p>Boules, croix ou pointes de clocher en matériaux durables.</p> <p>Poteaux, antennes, etc., construits en matériaux durables et identifiables. Ces objets peuvent être identifiés spécialement à l'aide de papier collant ou de peinture.</p>

Dans des cas particuliers, on peut utiliser d'autres repères primaires dans la mesure où ils ont été approuvés par l'instance de vérification.

Peuvent protéger les PFP3 à titre complémentaire:

Regards en fonte: avec inscription sur le couvercle

Regards en béton: on doit pouvoir rouler dessus avec un véhicule

5.3.3 Matérialisation des PFA2/3

Servent au repérage des PFA2/3:

Chevilles à trou	<p>en laiton ou en bronze; avec inscription gravée</p> <p>Tête et partie supérieure de la tige bombée de façon que le point d'appui supérieur soit toujours le même</p> <p>Tige de 10 cm de long au minimum, avec ancrage dans sa partie inférieure</p> <p>Placées horizontalement (en général) ou verticalement</p>
Rivets	<p>en laiton ou en bronze ou en fer zingué à chaud</p> <p>Diamètre de la tête de 20 mm environ, bombée</p> <p>Longueur: 6 cm environ; avec ancrages dans la partie inférieure</p> <p>Placés verticalement</p>
Points à bille	<p>Creusés au ciseau dans le rocher ou un bloc massif, marqués de façon très visible</p> <p>Trou pratiqué de sorte qu'une bille de nivellement (Ø 20 mm) ne puisse se placer que dans une seule position</p>

Il est possible de continuer à utiliser les points fixes altimétriques adéquats provenant d'anciens nivellements (p.ex. chevilles à calotte, écrous, plaquettes).

5.4 Pose des repères des points fixes planimétriques et altimétriques

Par la pose de repères, on entend la combinaison de repères primaires et secondaires ainsi que de mesures de protection complémentaires. Tous les travaux de pose des repères doivent être consignés dans un **protocole de terrain**. Y figureront les éléments suivants:

- numéro du point
- date, personnel
- genre de repères, dispositif de protection
- position des repères primaires par rapport aux repères secondaires, extrait éventuel du plan cadastral, photo
- visibilité GNSS
- détermination des repères secondaires
- particularités (p.ex. accès particulier)

PFP3 / PFA3

Les protocoles relatifs aux données sur les PFP3 et les PFA3 peuvent être simplifiés. On peut renoncer à un protocole de terrain pour les PFP3 sans repères excentriques.

5.4.1 PFP2

Les nouveaux PFP2 sont en règle générale dotés de repères primaires seulement, étant donné que le rétablissement dans le cadre de référence MN95/RAN95 est en tout temps possible avec un service de positionnement GNSS.

5.4.1.1 PFP2 existants avec repères secondaires centrés

Le repérage est constitué d'une borne et d'une dalle souterraine. Lorsque le sous-sol est rocheux, la dalle souterraine peut être remplacée par une petite cheville. Le repérage est enregistré dans le protocole de terrain tout comme la détermination d'éventuels repères secondaires.

La borne est en général placée au niveau du sol. Sur les places, les routes et les chemins, la borne et la dalle souterraine sont protégées par un regard.

Le repérage d'un PFP2 consiste à poser horizontalement la dalle souterraine dans un trou d'environ 50/50/95 cm aménagé dans un sous-sol préparé et à orienter une arête (vers le Nord par exemple) exactement comme la borne ultérieurement. On dame une couche de 10 cm au moins de terre ou de sable entre la dalle souterraine et la borne. Cette dernière y sera placée, son trou central se situant verticalement, avec une précision de 5 mm au moins, au-dessus du centre de la dalle souterraine. La cote (différence d'altitude entre la surface de la borne et celle de la dalle) doit être levée de façon tout aussi précise et contrôlée. La surface de la tête de la borne ne doit pas être inclinée de plus de 1%. Cette dernière sera calée dans le sol à l'aide d'une ou deux couronnes de pierres, ou le remblais autour de la borne sera damée avec un compresseur.

Si un regard est placé ultérieurement sur la borne, il ne sera pas en contact direct avec celle-ci; il faut exclure la possibilité que le regard s'enfonce dans le sol. On veillera à ce que l'eau de pluie puisse aussi s'écouler.

5.4.1.2 PFP2 existants avec repères secondaires excentrés

Ce repérage se compose d'une cheville / cheville à trou ou d'une borne comme repère primaire et de petites chevilles, croix, dalles souterraines, etc., comme repères secondaires.

Le *repère primaire* est en général une cheville / cheville à trou cimentée dans le rocher, un gros bloc ou un objet massif (p.ex. bloc de béton). Si on recourt à un socle de béton, il faudra qu'il pèse au moins 250 kilos. Le repère primaire peut être protégé par un regard.

Les repères secondaires doivent être placés de manière à durer le plus longtemps possible et de sorte que le repère primaire puisse être reconstruit simplement s'il venait à être endommagé (planimétrie et altimétrie). Ils sont normalement placés entre 2 et 50 m du centre. Des dalles souterraines placées à une profondeur d'au moins 60 cm (gel) peuvent également faire office de repères secondaires.

La *détermination des repères secondaires* doit s'effectuer de sorte qu'un rétablissement du repère primaire soit possible à 5 mm près (planimétrie et altimétrie), et que la fiabilité de la détermination soit garantie. Ces informations sont consignées dans le protocole de terrain. Le calcul des mesures se fera au moyen d'un logiciel de compensation offrant la possibilité de mettre en évidence la précision et la fiabilité requises.

5.4.2 PFP3

En vertu de l'article 47 de l'OTEMO, une partie seulement des PFP3 est repérée durablement. Il n'est pas nécessaire que tous les points soient stationnables. Normalement, les PFP3 sont matérialisés en appliquant les mêmes principes que ceux utilisés pour les PFP2. Des différences existent s'agissant des dimensions et des poids des repères, lesquels sont moindres, s'agissant également des possibilités de stationnement et des visées de rattachement. Les repères primaires des PFP3 peuvent être protégés par un regard. On peut de façon générale renoncer aux repères secondaires. La matérialisation et la détermination doivent également être consignées dans les protocoles

5.4.3 PFA2/3

Pour les PFA2/3, aucune distinction n'est faite entre repères primaires et secondaires. Il n'existe que des repères primaires.

5.5 Documentation des PFP2, des PFP3 et des PFA2/3

Des fiches signalétiques doivent être établies pour tous les points fixes de mensuration, à l'exception des PFP3 sans repère secondaire; elles décrivent la matérialisation correcte sur le terrain. Des détails à ce sujet figurent au chapitre 6.1.

Les objets artificiels peuvent être reportés dans la fiche signalétique au moyen d'une photo. Le point visé doit y être spécialement désigné.

Les fiches signalétiques des PFP2 doivent être établies sur un modèle uniforme pour toute la Suisse, conformément aux indications de l'instance de vérification.

Les fiches signalétiques des PFP3 doivent être établies d'après les instructions cantonales.

Les fiches signalétiques des PFA3 peuvent être établies sous une forme simplifiée.

5.6 Protection des points fixes planimétriques et altimétriques

5.6.1 PFP2/3

Il faut obtenir l'accord du propriétaire foncier (pour les points important si possible par écrit) avant de choisir un emplacement définitif. Le propriétaire doit être informé de ses droits et devoirs liés au fait de tolérer un PFP sur son terrain; il doit également être mis au courant du système d'annonce.

Pour les PFP2, il est recommandé de les faire inscrire au registre foncier. La pose de regards ou le fait d'enterrer les repères permettent d'améliorer leur protection matérielle.

5.6.2 PFA2/3

Les repères des points fixes altimétriques sont normalement posés sur des objets (maisons, piles de ponts, etc.). Il est quasiment impossible de les protéger matériellement. Pour ces repères, l'information des propriétaires concernés revêt une importance particulière.

6 Travaux finaux / Documentation

La clôture soignée et la documentation de chaque travail revêtent une grande importance pour d'éventuelles consultations ultérieures et pour les utilisateurs des données officielles. Pour cette raison, les paragraphes suivants donnent une synthèse complète des travaux de clôture nécessaires et des documents requis (cf. aussi art. 64 OTEMO, annexe B).

6.1 Fiches signalétiques des points

Il faut établir les fiches signalétiques de tous les PFP2 et d'un choix de PFP3, ainsi que de tous les PFA. Avec les indications suivantes, elles comprennent toutes les informations utiles pour l'utilisateur:

numéro de la carte nationale;

numéro du point;

coordonnées (MN03) et altitude (NF02) arrondies au millimètre;

indications sur la précision et la fiabilité;

genre de repères;

indications sur les repères secondaires, s'il y a lieu;

croquis de situation ou photo;

visibilité pour mesures GNSS;

date de la matérialisation ou de la mesure;

données sur l'entreprise (groupe) ou la section, numéro d'entreprise ou nom;

commune, district, canton;

données sur la mise à jour;

autres indications éventuelles:

- propriétaire(s) et numéro de la parcelle;
- indications relatives à une éventuelle inscription au registre foncier;
- relations avec des points antérieurs.

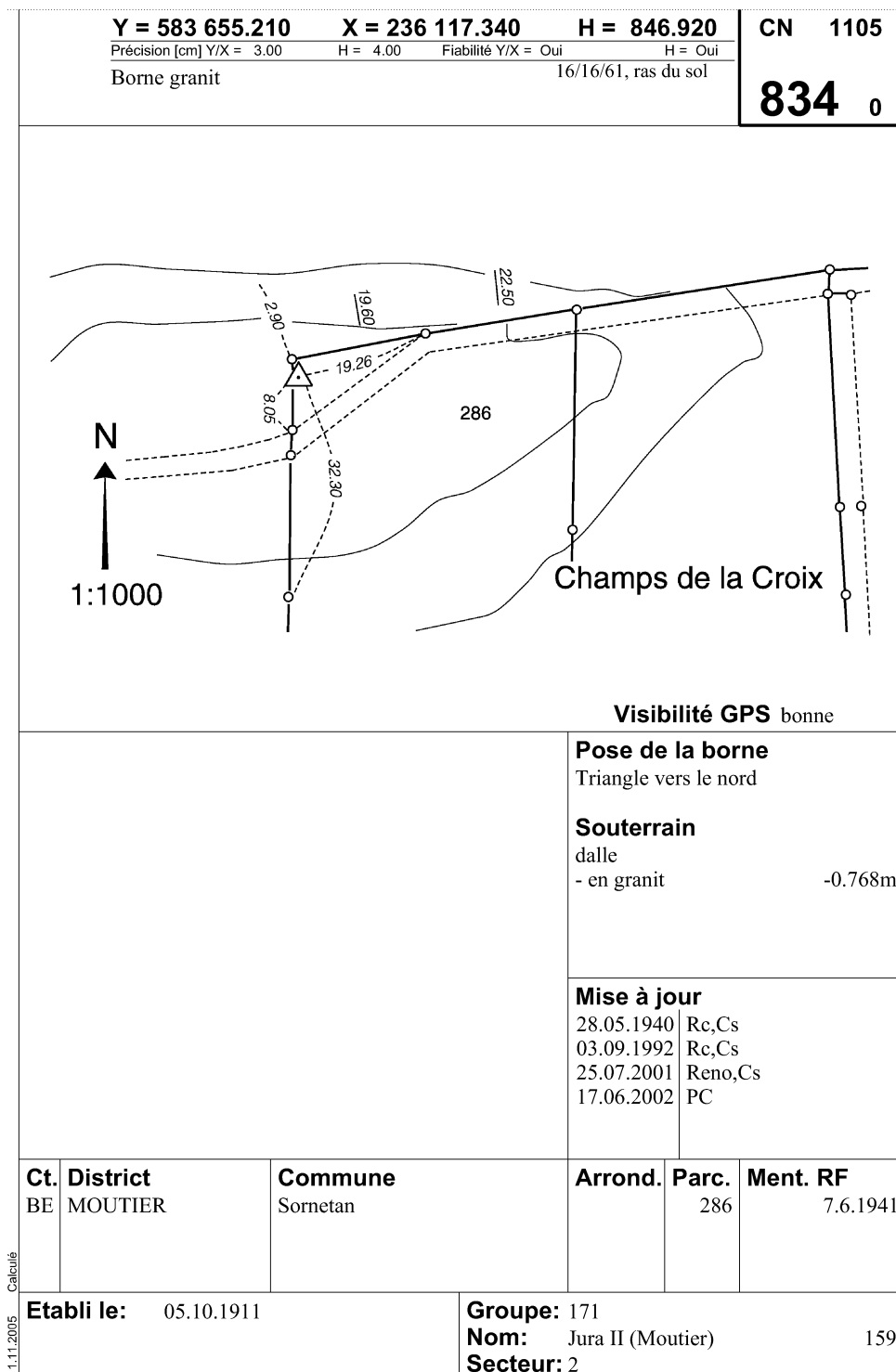


Fig. 6-1: Fiche signalétique du point 11058340

6.2 Carte des points

Tous les PFP1 et PFP2 ainsi que tous les PFA1 et PFA2 (avec l'introduction de FPDS) sont reportés sur une carte des points au 1:25'000 avec leur numéro et signe conventionnel indiquant le genre de matérialisation. Ces cartes des points sont établies de façon centralisée par swisstopo et mises à jour périodiquement. Les cantons peuvent s'écarter de ce modèle pour leurs propres besoins.

Pour les premiers relevés et les renouvellements de réseaux de points fixes de la catégorie 2, des cartes des points de l'entreprise (groupe) seront établies; on y tracera la limite du groupe et on établira une distinction

entre les points nouveaux et les points de rattachement. Les cartes des points du groupe ne sont pas mises à jour.

Le projet de **Service de données sur les points fixes (FPDS)** de swisstopo mettra à la disposition de l'ensemble du pays une banque de données centrale pour la gestion et la documentation des points fixes des catégories 1 et 2. Cette initiative vise notamment à encourager l'accès et l'uniformisation de la documentation sur l'ensemble du territoire suisse et surtout à améliorer l'actualité des données sur les points fixes. Le FPDS permet aux utilisateurs d'avoir accès aux fiches signalétiques des points et aux extraits des cartes des points directement par l'Internet.

6.3 Calcul définitif

La documentation des calculs est indiquée en détail au chapitre 2.6.9. Les différentes étapes de calculs apportent la preuve des résultats définitifs. Toutefois on annexe aux pièces officielles uniquement le calcul définitif prouvant la validité des coordonnées et des altitudes des points fixes. Les résultats des calculs intermédiaires ne doivent pas forcément être conservés, mais le rapport technique doit mentionner ces étapes intermédiaires et leur évaluation.

6.4 Canevas

Pour la méthode trigonométrique, les canevas planimétriques et altimétriques sont établis séparément. Ils indiquent graphiquement les mesures du calcul définitif. Il faut également établir une distinction nette entre les points de rattachement et les points nouveaux dans le calcul définitif. Les points auxiliaires sont également reportés.

Avec des réseaux 100% GNSS, le canevas peut être remplacé par un plan des mesures définitives qui peut également être présenté sous la forme d'un tableau.

On ne reporte en revanche pas les mesures dont l'influence a été éliminée du calcul par l'attribution de très grandes erreurs moyennes (écarts-type). Par souci de lisibilité, on peut agrandir sur la carte l'écart entre point central et le point excentrique. Le cas échéant, les mesures peuvent être représentées de façon centrique et les relations au point excentrique ajoutées à part, en utilisant une grande échelle, par groupe de points.

Les canevas sont obtenus de manière automatique à partir des fichiers de dessin directement générés par le logiciel de calcul. Si tel n'est pas le cas, l'adjudicataire devra préciser dans le rapport, de manière explicite, la méthode utilisée.

Les canevas ou les tableaux doivent être expliqués par une légende. On peut aussi simplifier les canevas pour des travaux de moindre importance.

6.5 Plans des vecteurs

6.5.1 Plan des vecteurs réseau libre ajusté - Coordonnées "actuelles"

Pour analyser le rattachement du réseau (planimétrie et altimétrie), il est avantageux de disposer d'un plan des vecteurs (cf. chapitre 2.6.6). Il s'agit en fait d'un plan de travail qui fournit de précieuses indications sur les contraintes existantes entre les points de rattachement. Ce plan est annexé au dossier définitif.

6.5.2 Plan des vecteurs réseau libre ajusté - Coordonnées définitives

Spécialement pour les calculs GNSS, un plan des vecteurs résultant de la différence de coordonnées réseau libre - calcul définitif est nécessaire; il facilite grandement l'évaluation des relations de voisinage (différences des vecteurs).

6.5.3 Plan des vecteurs des modifications des coordonnées et altitudes

Les différences entre les anciennes et les nouvelles coordonnées et altitudes sont mises en évidence sur un extrait de la carte des points.

6.6 Registre des coordonnées et altitudes

Il faut, pour les premiers relevés et les renouvellements, établir un registre des coordonnées et altitudes séparé pour les points de rattachement de la première catégorie, les points de rattachement de la deuxième catégorie, les points de rattachement de la deuxième catégorie nouvellement calculés et les points nouveaux. Ce registre comprend les numéros de points, les coordonnées et altitudes définitives, pour le moment encore dans MN03/NF02, les codes de qualité ainsi que des remarques sur la mise à jour pendant la durée du traitement. Seuls les points repris dans les fiches signalétiques seront mentionnés.

6.7 Fichier de points

On établira un fichier de tous les points fixes, qui comprendra, en plus du numéro de point univoque avec les coordonnées et les altitudes, les autres indications conformément au catalogue des données de l'OTEMO (annexe A). Il faut contrôler la mise à jour du fichier. A l'avenir, cette condition sera remplie au moyen de FPDS.

6.8 Rapport technique

Un rapport technique doit être établi pour tous les travaux; il décrit leur déroulement et fait mention des constatations particulières. Pour ce faire, il est aussi possible d'utiliser des modèles de rapport établis par swisstopo. Pour des travaux de moindre ampleur, un rapport simplifié suffit (notice).

6.9 Décompte

Le décompte a lieu par mutation ou par entreprise (groupe). Il est vérifié et approuvé par l'instance de vérification. La contribution fédérale est versée sur la base de ce décompte.

6.10 Intégration des résultats dans les systèmes d'information de la mensuration

Au moment où elles sont approuvées par l'autorité de surveillance, les nouvelles coordonnées et altitudes des points fixes font partie intégrante de la mensuration officielle et doivent entrer dans les systèmes de géoinformation des géomètres-conservateurs en conformité avec le MD.01-MO.

L'intégration des points fixes définitivement ajustés et calculés a une incidence sur les données existantes de la mensuration officielle ainsi que sur toutes les autres données à référence spatiale. Tout particulièrement dans les régions où il existe déjà des données aux standards de qualité de la MO93, des modifications des valeurs des points fixes ont des effets sur toutes les couches de la mensuration officielle vu qu'ils composaient déjà la base (le cadre de référence) de tous les levés de points de détail (p.ex. pour les points limites, la couverture du sol, etc.). Afin que les exigences de qualité posées aux différentes couches d'information puissent toujours être garanties, des travaux d'adaptation sont nécessaires, selon les circonstances (interpolation par exemple). Il faut apporter la preuve du respect de ces exigences de qualité.

Après la saisie des données dans le FPDS (Service de données sur les points fixes), il est possible d'exporter à partir des topics POINTS_FIXESCATEGORIE1 et POINTS_FIXESCATEGORIE2 les tableaux pour les PFP1 et PFP2 conformément au MD.01-MO directement dans Interlis 1. La diffusion des PFA1 est également prévue mais dans une seconde phase. Les fichiers de transfert Interlis peuvent être intégrés de cette manière par les géomètres directement dans les systèmes de géoinformation. Les travaux d'adaptation éventuels qui en résultent au niveau des autres couches de la mensuration officielle doivent faire l'objet de discussions avec les géomètres-conservateurs.

7 Vérification

La vérification doit se faire au fur et à mesure de l'avancement des travaux par l'instance de vérification. La vérification des PFP2/PFA2 est du ressort de swisstopo; les cantons sont responsables du contrôle des PFP3/PFA3 (art.48 OTEMO). Lors de la vérification, on contrôlera si l'exécution du travail répond aux prescriptions et au contrat conclu.

7.1 Projet de canevas

Pour le premier relevé et le renouvellement de réseaux de points fixes, le projet de canevas définitif, assorti d'un rapport intermédiaire sur les travaux de préparation et de reconnaissance doit être soumis pour approbation à l'instance de vérification (cf. chapitre 2.4).

7.2 Vérification sur le terrain

Pour les premiers relevés, ou selon les besoins, on procédera à une vérification sur le terrain. On examine la matérialisation des points et les mesures. Le vérificateur doit établir un rapport sur les travaux de vérification sur le terrain.

7.3 Documents à livrer

Les documents suivants sont livrés pour la vérification à l'achèvement des travaux s'il s'agit de premiers relevés et de renouvellements:

- Feuille de secteur et d'entreprise ainsi que la récapitulation des coûts et le décompte
- Rapport technique
- Protocoles de terrain (protocole de reconnaissance et protocole de matérialisation)
- Protocoles de mesures
- Protocoles d'étalonnage des appareils, paramètres de transformation utilisés pour les mesures GNSS ainsi que la preuve du dernier contrôle en cas de recours à une station de référence GNSS permanente
- Calculs
 - Calculs préparatoires
(p.ex. solutions de lignes de base GNSS, cotes du géoïde, réduction des séries de mesures trigonométriques)
 - Compensations libre et définitive
 - Transformations / Interpolations
- Registre des coordonnées et altitudes
- Canevas planimétrique et altimétrique
- Plans des vecteurs:
 - Plan des vecteurs résultant du réseau libre - Coordonnées "actuelles" Evaluation des contraintes / points de rattachement
 - Réseau libre - Calcul définitif Représentation des contraintes résiduelles
 - "Coordonnées actuelles" - Calcul définitif Représentation des modifications des coordonnées
- Carte des points
- Copie des fiches signalétiques des points mis à jour ou nouveaux
- Topic POINTS_FIXESCATEGORIE2 en Interlis dans le MD.01-MO
Préparation des données pour remise aux géomètres-conservateurs pour qu'elles puissent être intégrées directement dans les systèmes de géoinformation. Livraison à swisstopo seulement selon convention.
- En cas d'utilisation d'anciennes mesures: liste d'identification des points assortie d'une mention de la provenance
- Liste des points nouveaux avec indication des relations avec d'anciens PFP2 ainsi que des suppressions

7.4 Rapport de vérification

Un rapport est établi après chaque vérification; il est remis aux instances fédérales et cantonales de vérification ainsi qu'aux bureaux privés concernés. Il évalue le travail fourni et établit la liste des défauts constatés.

7.5 Suppressions des défauts

Les adjudicataires doivent corriger les défauts durant le délai fixé par l'instance de vérification. Pour les nouveaux relevés et les renouvellements, une fois les défauts supprimés, on enverra à nouveau les pièces concernées assorties d'un rapport sur les travaux complémentaires et les corrections effectués à l'instance de vérification.

8 Reconnaissance

Après avoir corrigé les défauts et rédigé tous les documents conformément au contrat, l'entreprise est approuvée par l'autorité de surveillance.

Une fois que cette approbation a été délivrée, le canton demande à la Direction fédérale des mensurations cadastrales de reconnaître cette entreprise et de verser les subventions fédérales.

Abréviations

CH1903	Datum géodésique suisse, défini en 1903 (ellipsoïde de référence Bessel 1841)
CH1903+	Datum géodésique suisse, défini en 1995 (ellipsoïde de référence Bessel 1841)
CHGeo2004	Modèle de géoïde de la Suisse / actuellement: CHGeo2004
CHTRF95	Cadre de référence global de la mensuration nationale 1995
CHTRS95	Système de référence global de la mensuration nationale 1995 (ellipsoïde de référence GRS80)
CN	Carte nationale
D+M	Direction fédérale des mensurations cadastrales
DFJP	Département fédéral de justice et police
e.m.	Erreur moyenne (écart-type)
EPF	Ecole polytechnique fédérale
ETRF93	European Terrestrial Reference Frame 1993
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989 (ellipsoïde de référence GRS80)
Exc	Point excentrique
FINELTRA	Logiciel de transformation affine par éléments finis
FPDS	Service de données sur les points fixes
GDOP	Geometric dilution of precision
g_i	Valeur probable d'une possible erreur grossière
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
HTRANS	Logiciel pour la transformation NF02 <-> RAN95
LRS	Station de référence locale
LTOP	Logiciel de compensation (swisstopo)
metas	Office fédéral de métrologie et d'accréditation
m₀	Ecart-type de l'unité de poids
MN	Mensuration nationale
MN95	Cadre de référence de la mensuration nationale / actuellement: MN03 et MN95
MNyy	Cadre de référence de la mensuration nationale 19yy
MO	Mensuration officielle
MO93	Mensuration officielle 93
NA	Valeur maximale de la fiabilité externe, long côté du rectangle de la fiabilité externe
NB	Petit côté du rectangle de la fiabilité externe
NF02	Réseau altimétrique national de 1902 (altitudes usuelles)
NH	Valeur maximale de la fiabilité externe pour l'altitude
NT	Niveau de tolérance conformément à la MO93 (niveaux 1 à 5)
OFMET	Office fédéral de métrologie
OMO	Ordonnance sur la mensuration officielle (nov. 92)
OTEMO	Ordonnance technique sur la mensuration officielle (juin 94)
PA	Point auxiliaire
PAT (1/2)	Point d'appui pour la transformation (catégories 1 et 2)
PAZ	Point azimutal
PC	Point central
PF	Point fixe
PFA (1 à 3)	Point fixe altimétrique (catégories 1 à 3)
PFP (1 à 3)	Point fixe planimétrique (catégories 1 à 3)
PN	Point nouveau
ppm	Parties par million
PR	Point de rattachement
PT	Point de triangulation
Rab	Rabattement
RAN95	Réseau altimétrique national de 1995 (altitudes orthométriques strictes)
RMS	Root mean square (errors)
RTK	Méthode de mesure par GNSS "Real Time Kinematic" (cinématique en temps réel)
S₀	Erreur moyenne de l'unité de poids de la compensation par blocs
swisstopo	Office fédéral de topographie

TRANSINT	Logiciel de calcul de transformation et d'interpolation
v_i	Ecart résiduel de la mesure i
VRS	Station de référence virtuelle
WGS84	World Geodetic System 1984 (système de référence GPS)
w_i	Ecart résiduel standardisé v/σ_v
z_i	Fiabilité locale (répartition de la surdétermination du réseau sur les différentes mesures)

Réseau libre: réseau géodésique défini uniquement par des relations réciproques entre les observations (mesures), sans influence externes (p.ex. ajusté uniquement sur un point et une orientation).

Réseau libre ajusté:

réseau géodésique ajusté de manière minimale. Les coordonnées des points de rattachement sont introduites comme observations fictives, avec une erreur moyenne (écart-type) choisie, définissant ainsi le degré de contraintes introduites dans ce réseau.

Transformation de Helmert:

Le réseau libre est ajusté aux points de rattachement par une translation, une rotation et un facteur d'échelle de telle sorte que la somme des carrés des écarts résiduels sur les points de rattachement (points d'ajustage) soit minimale.

Erreur moyenne: écart-type

Ellipse de confiance: ellipse d'erreur moyenne

Précision "absolue":

Ecart-type / erreur moyenne par rapport à un point quelconque de la Suisse, dans le cadre de référence MN95 resp. RAN95.