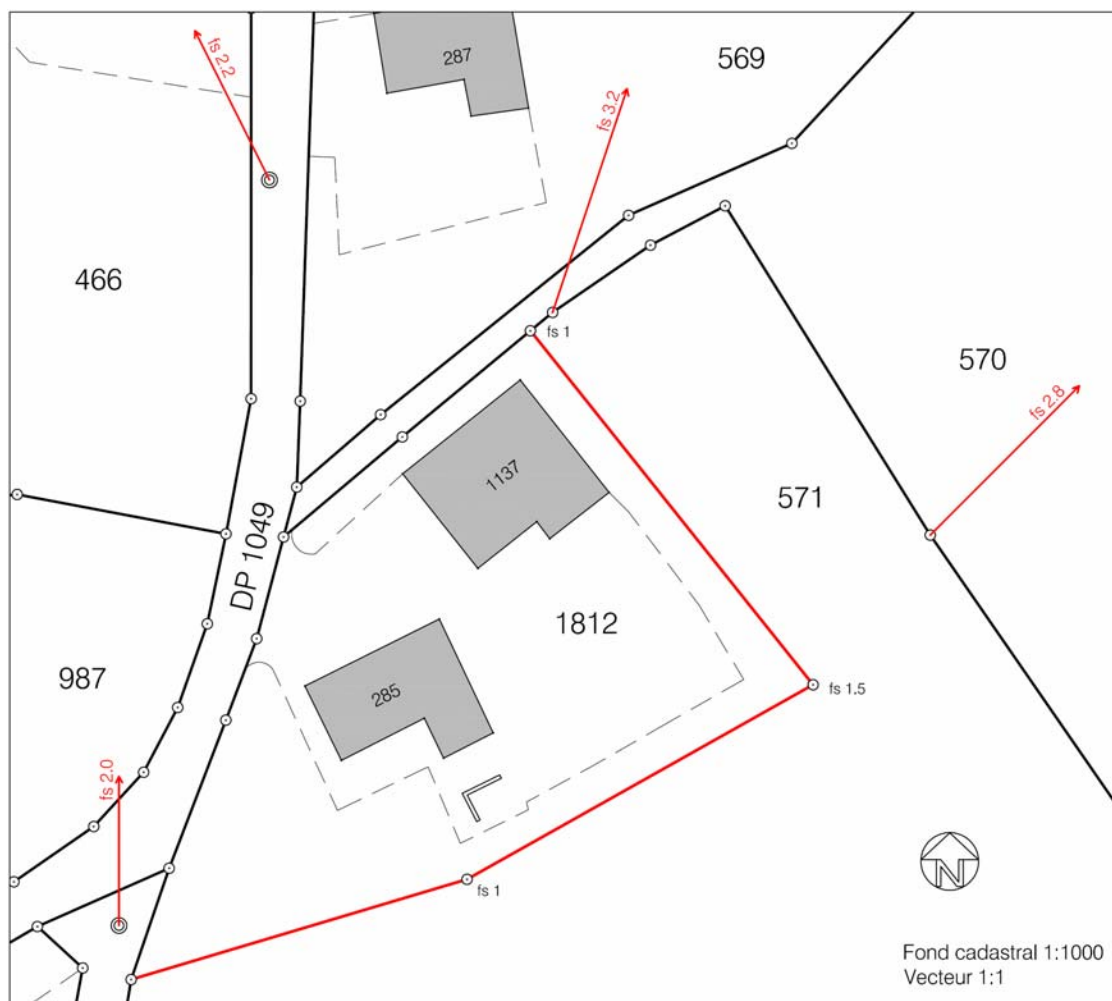


DIRECTIVE

Utilisation de GNSS pour la détermination de points de détail en mensuration officielle



Date : 3.06.2009

Table des matières

1	Introduction	3
1.1	Remarques générales.....	3
1.2	Champ d'application	4
1.3	Glossaire.....	5
2	Méthode de mesure	7
2.1	RTK avec station de référence locale (L-RTK)	7
2.1.1	Mode de mesure L-RTK « temporaire »	7
2.1.2	Mode de mesure L-RTK « permanent »	8
2.1.3	Exigences à satisfaire	9
2.2	RTK avec station de référence virtuelle (V-RTK).....	10
2.2.1	Description de la méthode.....	10
2.2.2	Cas d'utilisation	11
3	Mesures	12
3.1	Géométrie du réseau	12
3.2	Tableau d'utilisation	13
3.3	Règles générales pour l'utilisation de GNSS	13
4	Ajustage local	14
4.1	Remarques générales.....	14
4.2	Transformations propres aux récepteurs	15
4.3	Critères de décision	16
5	Justification de la précision et de la fiabilité	17
5.1	Couches d'information « Biens-fonds » et « Limites territoriales » de même que les « points particuliers bien déterminés » selon art. 8, al. 4 OTEMO	17
5.2	Couches d'information « Couverture du sol » et « Objets divers »	17
6	Documentation	17
6.1	Documentation générale.....	17
6.2	Documentation par passage (de mesure).....	18
6.3	Exemples de listes de contrôle GNSS pour les modes V-RTK et L-RTK	18
Annexe		21
	21

1 Introduction

1.1 Remarques générales

L'évolution très rapide des technologies utilisées en mensuration officielle, ainsi que la nouvelle loi sur la géoinformation (LGéo) – et notamment la révision partielle de l'ordonnance sur la mensuration officielle (OMO) et de l'ordonnance technique du DDPS sur la mensuration officielle (OTEMO) – ont entraîné l'adaptation et l'apport de compléments à la présente directive après sept années d'utilisation dans la pratique.

Le produit « mensuration officielle » est décrit de manière contraignante dans l'OTEMO où son contenu, les niveaux de précision et de fiabilité à atteindre, de même que les documents techniques à établir sont clairement définis. La méthode par laquelle ces exigences peuvent être atteintes est laissée à la libre appréciation du mandataire chargé de l'exécution des travaux de mensuration. Il incombe cependant à ce dernier d'apporter la preuve que les mesures réalisées satisfont bien aux exigences imposées.

A l'art. 1 de l'OTEMO, on exige que les travaux de mensuration soient exécutés « dans les règles de l'art ». Le chapitre 3 de l'OTEMO impose par ailleurs d'apporter la preuve que les exigences en matière de précision et de fiabilité sont bien respectées. La question suivante se pose donc lors de la mise en œuvre d'une méthode de mesure (le GNSS par exemple) : de quoi faut-il tenir compte pour satisfaire les exigences définies ?

Si le GNSS est utilisé comme méthode de mesure, la présente directive devrait aider le lecteur à répondre à la question précédente. Si les prescriptions qu'elle contient sont observées et qu'elles sont appliquées avec le professionnalisme requis, il est légitime de penser que les « règles de l'art » sont respectées et que la preuve de la précision et de la fiabilité est apportée, pour autant que les valeurs requises soient atteintes.

MN95 constitue le cadre de référence standard pour les mesures en planimétrie. Le lien entre MN95 et MN03 est officiellement défini par CHENyx06. Le passage de systèmes de référence globaux tels que WGS84 au cadre de référence suisse MN95 s'effectue par trois translations (souvent appelées paramètres MN95).

Le **cadre de référence NF02 (altitudes usuelles)** est, en revanche, défini par l'ensemble des points fixes altimétriques de la 1^{ère} à la 3^{ème} catégorie. Contrairement à FINELTRA, HTRANS est une transformation approchée qui requière toujours un ajustage local. Généralement, les points de détail sont utilisés sans altitudes. Par points de détail, on entend ici les points limites et les points de situation.

Les notions techniques et les abréviations sont répertoriées par ordre alphabétique et expliquées dans un glossaire au paragraphe 1.3.

La publication initiale de la directive par la CSCC remonte au 23 novembre 2001. Le groupe de travail se composait alors d'Alexander Hof (VD), de Heinz Lautenschlager (GR), de Thomas Signer (L+T), de Markus Sinniger (BE) et du Dr Fridolin Wicki (D+M).

La révision de la directive et les compléments qui y ont été apportés sont l'oeuvre de Christian Gamma (AG), Laurent Huguenin (IGS), Markus Scherrer (swisstopo) et Bruno Vogel (swisstopo).

Le texte a été approuvé par la commission technique de la CSCC le 3 juin 2009.

1.2 Champ d'application

La présente directive s'applique à la **détermination (levé et implantation) de points de détail** en mensuration officielle au moyen d'équipements de mesures GNSS utilisant la méthode des mesures de phase différentielle.

La directive est valable aussi bien pour des travaux de mise à jour que pour des premiers relevés et des renouvellements. Le RTK est généralement employé pour de tels travaux. Il est possible d'employer la technique Rapid-Static dans des cas particuliers (par exemple lors de la perte du signal sur des terrains au relief particulièrement accidenté). Les mesures statiques, quant à elles, avec des durées d'observation supérieures à une heure, sont rarement utilisées en mensuration officielle, raison pour laquelle cette méthode n'est pas abordée par la présente directive.

La directive ne s'applique pas aux **travaux concernant la couche d'information « Points fixes »** tels que la détermination de PFP3, la densification du maillage des points fixes, etc. (cf. aussi OTEMO art. 47, al. 4 et directives pour la détermination des points fixes de la mensuration officielle de novembre 2005, disponibles sous www.cadastre.ch → Documentation → Publications).

Dans le cas de réseaux présentant des tensions internes, on suppose que le levé des points de détail s'effectue dans des zones de faible étendue. En règle générale, il s'agit de zones restreintes sur les périmètres desquelles on choisira les points de rattachement. La règle de base suivante s'applique toujours : plus les tensions locales sont fortes, plus les dimensions de l'espace de travail doivent être réduites.

Dans les zones présentant peu de tensions, où des points de contrôle ont donc servi à prouver le respect des exigences de précision, la méthode GNSS offre en revanche des avantages considérables, puisque les données peuvent être saisies et exploitées en temps réel, sans devoir entreprendre d'ajustage local.

Dans les territoires en mouvement permanent, la directive ne peut être appliquée que sous certaines conditions. Tous les éléments de la couche d'information traitée (points de détail) au voisinage direct des territoires concernés doivent être levés simultanément et pris en compte lors de l'examen des points de rattachement.

Si les altitudes des points de détail doivent également être déterminées (par exemple dans le cas de points de la couche d'information « Altimétrie »), la présente directive sera appliquée par analogie. On tiendra alors compte de la « Notice pour les déterminations altimétriques avec GPS dans la mensuration officielle » (www.cadastre.ch → Documentation → Publications).

1.3 Glossaire

AGNES	Réseau GNSS automatique de la Suisse (acronyme de « Automatisches GNSS-Netz Schweiz ») comprenant environ 30 stations GNSS en fonctionnement permanent
Ambiguïtés	Ambiguïtés de phase
Cadre de référence	Concrétisation et aptitude du système de référence géodésique à être utilisé dans la pratique pour la mensuration, au travers de jeux de coordonnées, de réseaux de points fixes géodésiques et de réseaux permanents
CH1903	Système de référence du cadre de référence MN03
CH1903+	Système de référence local renouvelé du cadre de référence MN95
CHENyx06	Jeu de données officiel associé à FINELTRA pour procéder au changement de cadre de référence MN03 ↔ MN95
CHTRF95	Cadre de référence terrestre suisse, mis en vigueur en 1995
CHTRS95	Système de référence terrestre suisse de 1995 (global)
Configuration des satellites	Disposition des satellites dans l'espace à un instant donné par rapport au récepteur GNSS en service
Ecart-type	Théorique : erreur moyenne a priori Empirique : erreur moyenne a posteriori
ETRS89	Système de référence terrestre européen de 1989
FINELTRA	Logiciel pour la transformation affine par des éléments finis
Galileo	Système de positionnement par satellites à l'échelle mondiale développé par l'Europe (vraisemblablement opérationnel à partir de 2013)
GLONASS	Système de positionnement par satellites à l'échelle mondiale développé par la Russie
GNSS	Global Navigation Satellite Systems (abréviation générique regroupant l'ensemble des systèmes de navigation et de positionnement par satellites à l'échelle mondiale)
GPRS	General Packet Radio Service (transmission de données via Internet)
GPS	Global Positioning System (système de positionnement par satellites à l'échelle mondiale développé par les Etats-Unis)
GSM	Global System for Mobile Communications (transmission de données par téléphonie mobile)
HTRANS	Logiciel pour la transformation NF02 ↔ RAN95
IGS	Ingénieurs géomètres suisses : organisation regroupant l'ensemble des ingénieurs géomètres de Suisse
Initialisation	Résolution des ambiguïtés de phase au début de la procédure de mesure ou durant celle-ci
ITRS	Système de référence terrestre international
LGéo	Loi fédérale du 5 octobre 2007 sur la géoinformation (RS 510.62)
Ligne de base	Vecteur spatial entre deux stations GNSS mesurées simultanément
LRS	Station de référence locale

L-RTK	RTK avec station de référence locale : - temporaire : station de référence mise en place provisoirement - permanente : station de référence installée à demeure (par exemple montée sur un toit ou un mât)
Mesure GNSS	Levé d'un point de détail via GNSS à l'aide d'une station du mobile
MN03	Cadre de référence de la mensuration nationale de 1903 (triangulation)
MN95	Cadre de référence de la mensuration nationale de 1995
Mobile	Récepteur GNSS itinérant enregistrant les signaux des satellites sur le terrain et les convertissant en positions par rapport à la station de référence
NF02	Nivellement fédéral de 1902 : altitudes usuelles utilisées en MO (« altitudes au-dessus du niveau de la mer »)
OMO	Ordonnance sur la mensuration officielle (RS 211.432.2)
OTEMO	Ordonnance technique du DDPS sur la mensuration officielle (RS 211.432.21)
Passage (de mesure)	Un passage (de mesure) englobe toutes les mesures GNSS satisfaisant simultanément aux conditions suivantes : - les mesures GNSS se réfèrent à la même station ou aux mêmes stations de référence (VRS) - les mesures GNSS sont effectuées le même jour - les mesures GNSS sont réalisées avec le même ajustage local
Point de détail	Point limite et point de situation
Point de situation	Point isolé des couches d'information prévues par l'OTEMO (par exemple la couverture du sol, les objets divers ou les conduites)
RAN95	Réseau altimétrique national de 1995 : référence altimétrique avec des cotes orthométriques
Rapid Static	Mode de mesure GNSS pour des exploitations de type statique avec une durée de mesure de 5 à 15 minutes ; l'exploitation des données ne s'effectue qu'après le retour au bureau
RTK	Mode de mesure « Real Time Kinematik » (mesure cinématique en temps réel)
SCSP	Système de coordonnées spécifique à un pays (grille kilométrique intégrée au récepteur GNSS, servant de solution approchée pour la transformation officielle via CHENyx06, pour les équipements Leica)
Session	Durée pendant laquelle une station de référence est en fonctionnement ininterrompu
SGF	Shift Grid File (fichier grille des déplacements, grille kilométrique intégrée au récepteur GNSS, servant de solution approchée pour la transformation officielle via CHENyx06, pour les équipements Trimble)
Station de référence	Station par rapport à laquelle les mesures du mobile sont exploitées ; des mesures statiques sont effectuées sur cette station pendant toute la durée de la session
Swipos	Service de positionnement en temps réel de swisstopo

Système de référence	Définition d'un système de coordonnées avec sa date de mise en vigueur Les <i>systèmes de référence terrestres globaux</i> sont des systèmes de coordonnées cartésiennes géocentriques ayant le centre de gravité des masses terrestres pour origine Les <i>systèmes de référence locaux</i> sont les systèmes de coordonnées et les systèmes altimétriques officiels nationaux, les ellipsoïdes de référence, les modèles de géoïde et les projections cartographiques
Valeur de DOP	Dans le cas du GNSS, le coefficient d'affaiblissement de la précision (Dilution of Precision, DOP) sert à évaluer l'ampleur de la dispersion des valeurs de mesure ; ce coefficient dépendant de la position relative des satellites entre eux et par rapport à l'observateur, on l'utilise souvent sous la forme du GDOP (Geometric Dilution of Precision)
VRS	Station de référence virtuelle, déterminée au sein d'un réseau GNSS automatique sur la base de mesures de stations GNSS permanentes pour la zone de travail du mobile
V-RTK	RTK via une station de référence virtuelle (mesure basée sur des services de positionnement tels que swipos)
WGS84	World Geodetic System 1984 (système de référence du GPS)

2 Méthode de mesure

Le présent chapitre décrit les méthodes de détermination courantes des points de détail en mensuration officielle, étant entendu que des récepteurs GNSS de type géodésique sont utilisés à cette fin (et non de simples récepteurs "de poche" destinés à la randonnée ou des récepteurs de navigation).

Contrairement à la détermination trigonométrique de points, par nature locale, le GNSS permet de travailler aussi bien à l'échelle locale que globale. Il est donc important que les utilisateurs du GNSS aient toujours parfaitement conscience de ce qu'ils font et des conséquences de leurs décisions, tenant compte du mode de travail choisi (local ou global).

2.1 RTK avec station de référence locale (L-RTK)

Comme pour toutes les applications RTK, l'utilisation de GNSS en mode de mesure L-RTK se fonde sur la transmission au récepteur itinérant, en temps réel, des signaux de correction par une station de référence temporaire ou permanente. La condition requise pour cette méthode est que les récepteurs aient été initialisés avec succès avant la détermination effective de coordonnées (résolution des ambiguïtés de phase).

La longueur des lignes de base exerce une influence directe sur la précision de la détermination de position. Plus les lignes de base sont courtes, meilleure est la précision locale.

2.1.1 Mode de mesure L-RTK « temporaire »

Dans le cas du mode de mesure L-RTK « temporaire », la station de référence n'est mise en place, si possible à proximité de la zone de travail, que pour la durée d'une session de mesure. Cette station de référence, installée sur un point fixe connu ou en tout autre emplacement librement choisi, transmet les signaux de correction par radio au récepteur mobile.

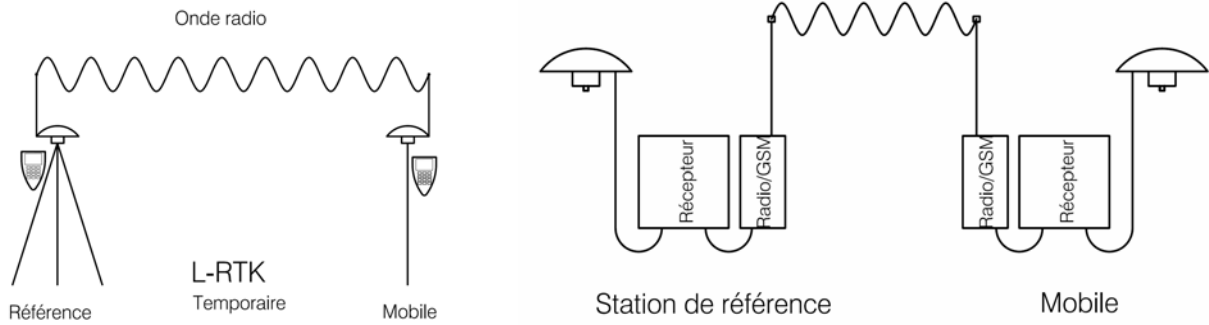
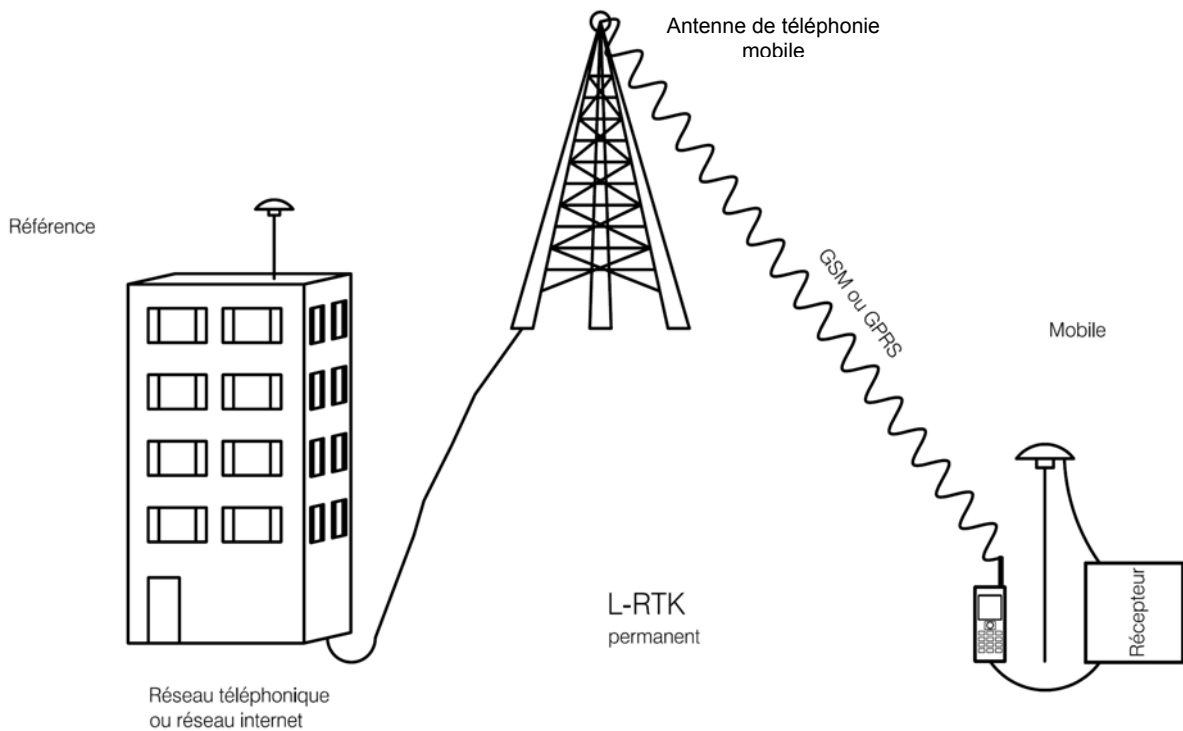


Figure 1 : Principe et schéma de connexion en mode de mesure L-RTK avec station de référence locale mise en place temporairement

2.1.2 Mode de mesure L-RTK « permanent »

Comme son nom l'indique, le mode de mesure L-RTK « permanent » s'appuie sur une station de référence établie de façon permanente sur un site propice (horizon dégagé, emplacement sûr, alimentation électrique, ...). Les signaux de correction sont transmis au récepteur mobile par GSM ou mieux, par GPRS, en fonction de la qualité de l'infrastructure mise en place. Ce dispositif de mesure peut être considéré comme une solution à mi-chemin entre le mode de mesure L-RTK « temporaire » précédemment décrit et les services de positionnement officiels proposés (tels que swipos).

Figure 2 : Principe du mode de mesure L-RTK avec une station de référence locale établie de façon permanente



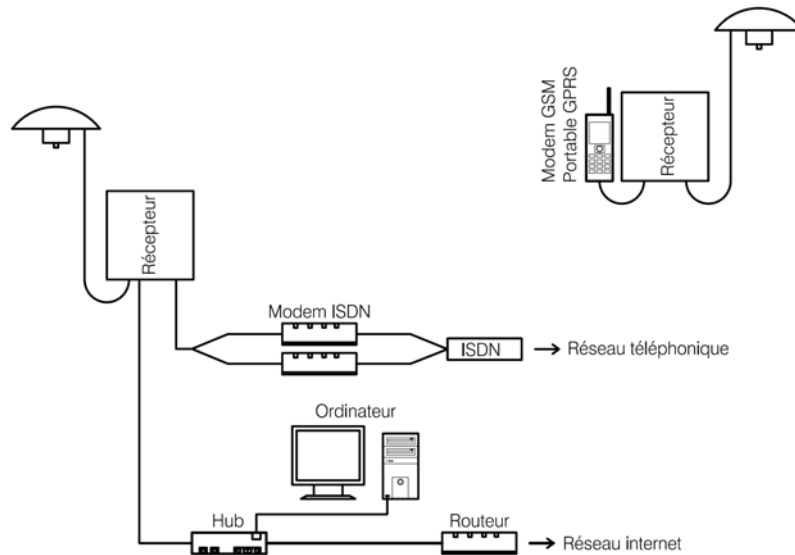


Figure 3 : Exemple de schéma de connexion pour le mode de mesure L-RTK avec une station de référence locale établie de façon permanente

2.1.3 Exigences à satisfaire

Au niveau de la station permanente :

- Choix pertinent du système et du cadre de référence pour la détermination et la transmission des coordonnées de la station de référence
- Installation de l'antenne en prenant des dispositions de sécurité appropriées (par exemple sa protection contre la foudre, son accessibilité, ses modalités de fixation, ...)
- Contrôle régulier de la stabilité de l'antenne (en planimétrie et en altimétrie)
 - Méthode de mesure Mesure statique (au moins deux fois 12 h) vers les stations AGNES ou remesure locale des repères excentriques
 - Précision Ecart-type $1\sigma < 1$ cm (planimétrie) et < 2 cm (altimétrie)
 - Fréquence Avant chaque campagne de mesure d'une certaine ampleur et au moins tous les deux mois
 - Stabilité Evaluation des remesures régulières et de l'ancrage de l'antenne
- Etat / entretien de l'équipement : la qualité d'un système se mesure au niveau de son maillon le plus faible. Il faut donc s'assurer que la station de référence et les mobiles sont de niveaux équivalents.

Au niveau du récepteur mobile (rover):

- Adéquation avec le choix opéré en matière de système respectivement de cadre de référence pour les coordonnées de la station de référence
- Vérification périodique des paramètres de transformation retenus au moyen de plusieurs mesures de contrôle réalisées sur des points connus.

2.2 RTK avec station de référence virtuelle (V-RTK)

2.2.1 Description de la méthode

Dans le cas de la méthode VRS, des mesures GNSS « virtuelles » sont interpolées pour la position actuelle de l'utilisateur, à partir des données des stations de référence environnantes. Ces données interpolées correspondent pour l'essentiel aux données qui auraient effectivement été mesurées à la position de l'utilisateur si une station de référence GNSS s'y était trouvée. Les mesures RTK réalisées selon la méthode VRS supposent que les stations de référence GNSS sont reliées à une centrale où les données sont exploitées en temps réel avant d'être mises à la disposition des utilisateurs.

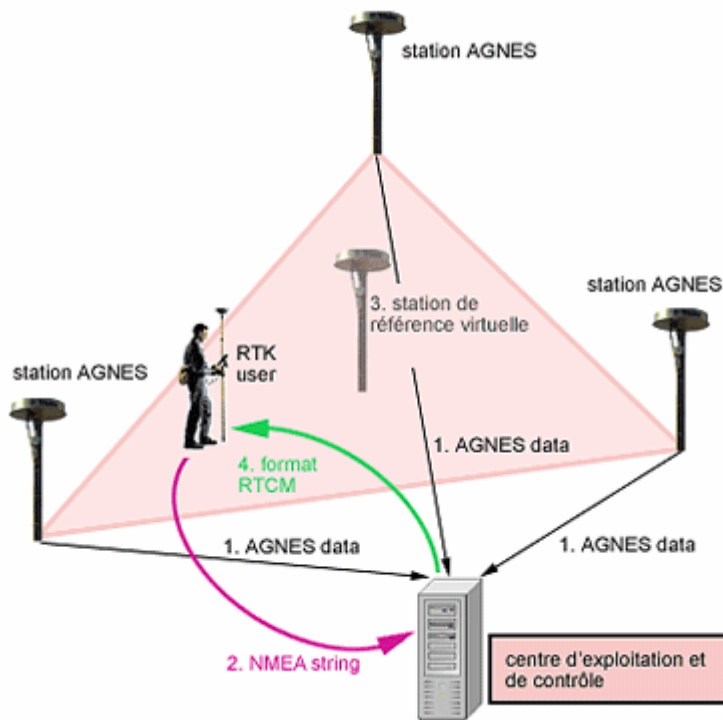


Figure 4 : Principe du mode de mesure RTK avec station de référence virtuelle

L'utilisation de la méthode VRS suppose l'existence d'une communication bidirectionnelle, puisque la position approchée de l'utilisatrice ou de l'utilisateur doit d'abord être transmise à la centrale où le calcul VRS est ensuite lancé, les données de correction n'étant transmises à l'utilisateur qu'une fois ce calcul réalisé. En pratique, on utilise des GSM, les données de correction pouvant aussi être obtenues via Internet (par exemple via GPRS ou d'autres standards de communication).

Avec la nouvelle mensuration nationale MN95 et l'établissement du réseau GNSS automatique de la Suisse (AGNES), les bases d'une mensuration moderne par satellites existent désormais dans notre pays. Des services de positionnement ont été mis en place en Suisse dans les années 1999 à 2002 sur la base des réseaux GNSS permanents de la Confédération et de fournisseurs privés, permettant la détermination de positions GNSS relatives en temps réel sur tout le pays. Depuis 2007, ces services sont réunis au sein du service de positionnement swipos. Si le réseau AGNES, partie intégrante de MN95, est judicieusement utilisé (c.-à-d. configuré comme il convient sur le récepteur), swisstopo garantit à l'utilisateur qui travaille en mode V-RTK que les coordonnées des points mesurés sont exprimées dans le cadre de référence officiel de la Suisse MN03 ou MN95.

La nouvelle mensuration nationale par satellites se base sur le nouveau système de référence CHTRS95 (global) ou CH1903+ (local). Le cadre de référence MN95 se distingue par la précision élevée et surtout par l'homogénéité de ses points de référence. En planimétrie, elle est de l'ordre de 1 cm dans tout le pays et est garantie à long terme.

La question de la longueur maximale d'une ligne de base ne se pose pas dans les mêmes termes pour la méthode VRS et pour la méthode L-RTK. La qualité de l'interpolation des données VRS dépend de la distance entre les stations de référence GNSS. Pour les réseaux disponibles en Suisse, elle est d'environ 50 à 70 km. La ligne de base « virtuelle » mesurée dans le cas de la méthode VRS est très courte (quelques mètres) et dépend de la position approchée indiquée.

Les précisions atteignables (écart-type / e.m. (1σ) par rapport à un point bien situé en Suisse (présentant un horizon parfaitement dégagé) dans le cadre de référence MN95, resp. RAN95) sont inférieures à 2 cm en planimétrie et à 4 cm en altimétrie.

2.2.2 Cas d'utilisation

Dans un récepteur GNSS, la mesure et le traitement des données s'effectuent toujours dans un système de référence global tel que WGS84 (ITRS), ETRS89 ou CHTRS95. L'exportation des résultats par les instruments GNSS peut ensuite être réalisée dans un cadre de référence librement sélectionné, suite à une conversion depuis le système global.

Il est extrêmement important que les paramètres corrects soient introduits dans les récepteurs et dans les logiciels de calcul, particulièrement pour le choix du système de référence et du cadre de référence.

Le service de positionnement swipos propose les possibilités de choix suivantes pour le cadre de référence en RTK :

- MN95 / RAN95* Modèle de géoïde CHGeo2004 pris en charge par le récepteur
- A *MN95 / NF02* idem, conversion supplémentaire avec HTRANS
- B *MN03 / NF02* idem, conversion supplémentaire avec HTRANS et FINELTRA
« CHENyx06 »

Le paramétrage actuel qui doit être enregistré sur le récepteur pour swipos peut être consulté sur le portail Internet de swisstopo : www.swisstopo.ch → Produits → Services → Positionnement (swipos) → swipos-GIS/GEO → Configuration.

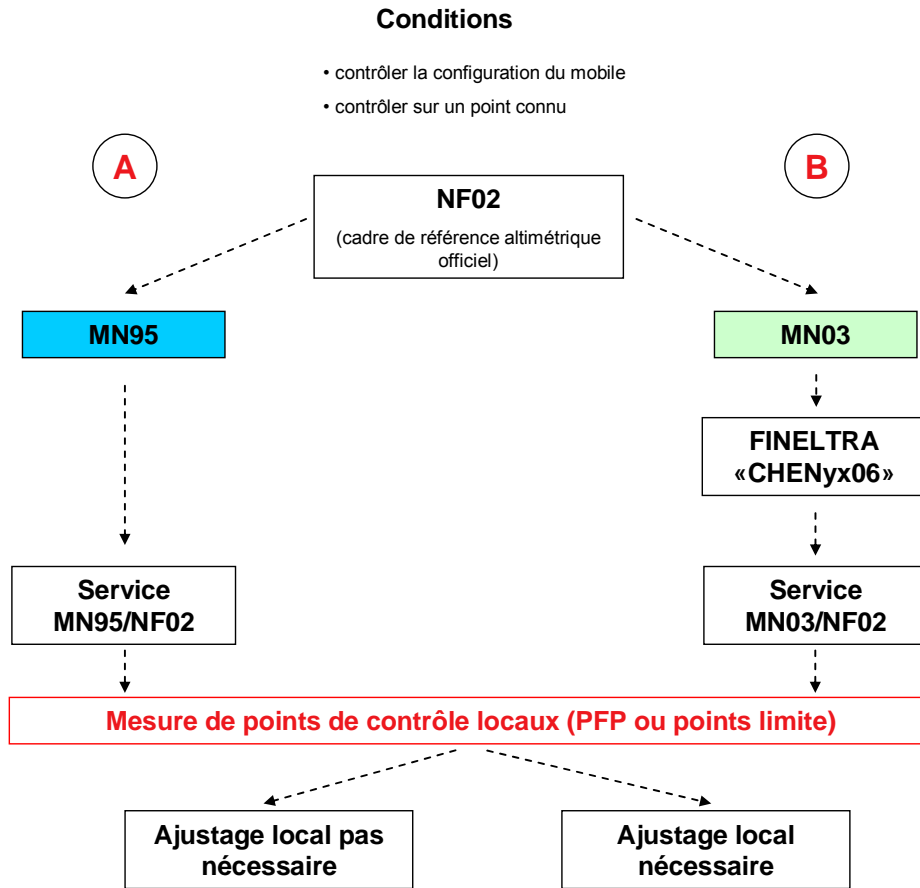


Figure 5 : Schéma logique pour le choix du cadre de référence et du service de positionnement

3 Mesures

3.1 Géométrie du réseau

Les réseaux de points fixes de la mensuration officielle (réseaux des PFP3) présentent souvent des tensions internes que le changement de cadre de référence - passage de l'ancienne mensuration officielle MN03 à la nouvelle mensuration officielle MN95 – ne peut pas toujours éliminer.

Tout ajustage local, ou la preuve qu'on peut s'en dispenser, doit toujours être documenté (cf. chapitre 4).

Les règles suivantes s'appliquent :

- Le principe des relations de voisinage avec les points de rattachement les plus proches doit être respecté. Les écarts sur de tels points doivent être réduits à l'aide d'un ajustage local. Dans les réseaux hiérarchiques (anciens réseaux polygonaux), la structure du réseau doit être prise en compte.
- Dans des zones où des contraintes subsistent, les points les plus proches seront utilisés comme points de rattachement.
- Les mesures sur des points à l'extérieur du périmètre de travail (cf. Figure 6) doivent être évitées. Si de telles mesures sont toutefois indispensables, les précisions locales attendues doivent être évaluées en conséquence.

- Dans les zones constituées de mensurations homogènes, pour lesquelles la précision locale est garantie dans le périmètre de travail (cf. Figure 6), des points de contrôle doivent être intégrés en bordure de zone.

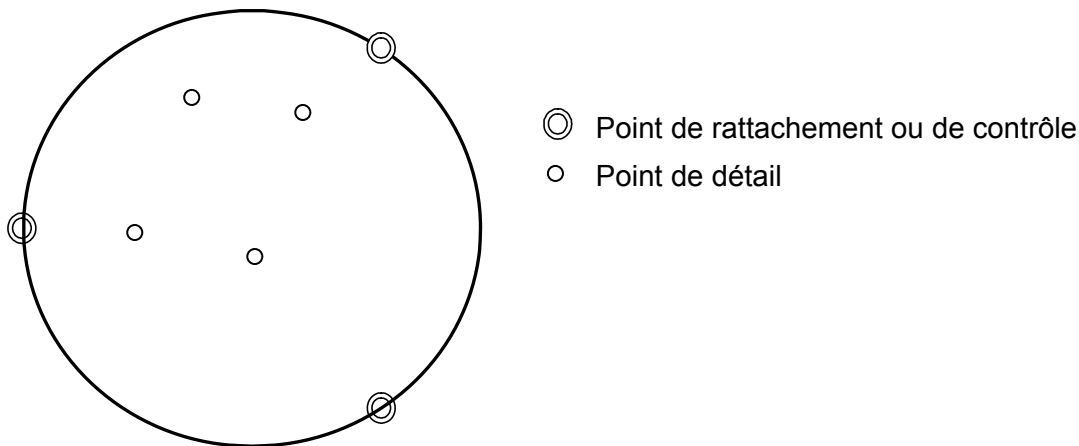


Figure 6 : Périmètre de travail

3.2 Tableau d'utilisation

Les conditions énumérées sur le tableau suivant s'appliquent indépendamment de la méthode GNSS utilisée. Tous les points de contrôle sélectionnés doivent alors être représentatifs pour le périmètre de travail considéré.

Condition	Utilisation de GNSS pour la détermination de :	
	Points limites	Points de situation
Nombre minimal de points de rattachement nécessaires pour le levé de nouveaux points et le rétablissement de points manquants	3 PFP <i>(cf. figure 6)</i> 2 PFP + 2 PL 1 PFP + 3 PL (4 PL uniquement en l'absence de tout PFP3)	3 PL <i>(cf. figure 6)</i>
Restrictions	Les conditions géométriques telles que l'orthogonalité et la linéarité doivent être tout particulièrement respectées	Si les nouveaux points sont proches de limites, un point limite au moins doit être sélectionné à proximité comme point de contrôle

3.3 Règles générales pour l'utilisation de GNSS

- Les coordonnées globales entrées pour la station de référence seront calculées avec les paramètres MN95 officiels, à partir des coordonnées locales.
- Dans le cas de mesures RTK, un nombre quasiment illimité de points peut être mesuré avec la même initialisation. Il est cependant recommandé de renouveler périodiquement l'initialisation. Cela doit survenir au plus tard avant la seconde détermination d'un point.
- En général, la durée d'une mesure (incluant l'établissement de la liaison et l'initialisation) est d'environ 2 minutes. Notons que l'établissement de la communication avec le service VRS (via GSM) prend environ 15 secondes de plus que dans le cas d'une station de référence locale. Le temps d'établissement de la connexion est considérablement réduit en cas de recours à une liaison Internet (GPRS).

- Dans le cas du mode V-RTK comme dans celui du mode L-RTK, les exploitants du service de positionnement doivent garantir la vérification périodique de la stabilité et de la fiabilité opérationnelle des stations de référence.
- Les valeurs limites pour les indicateurs de précision fournis par les fabricants de récepteurs doivent être respectées (par exemple les valeurs de DOP requises).
- Les erreurs instrumentales inhérentes au GNSS impossibles à éliminer doivent être prises en compte par calcul. Il s'agit des multitrajets des signaux des satellites (réflexions sur des bâtiments, des véhicules, à la surface de l'eau, etc.) et d'autres perturbations des signaux (diffraction des signaux, par exemple par des buissons, etc.) qui peuvent provoquer des erreurs centimétriques voire décimétriques.
- Les services VRS MN03-NF02 ou VRS MN95-NF02 seront utilisés lors de connexion aux services swipos en mode V-RTK. Tous les paramètres du récepteur mobile seront vérifiés avant le début des mesures.
- Il convient de s'assurer que le type et modèle d'antenne ont bien été sélectionnés et qu'ils sont compatibles avec le paramétrage effectué au niveau de la station de référence.
- Les produits de transformation de swisstopo (géoïde «CHGeo2004» et HTRANS) doivent être utilisés pour le calcul des altitudes (passage des altitudes ellipsoïdiques aux altitudes usuelles) ; il convient de garantir au moins leur implémentation par le fabricant.
- Le second levé indépendant des points par GNSS s'effectue dans une fenêtre de mesure différente (configuration des satellites différente). En règle générale, un laps de temps d'au moins 30 minutes doit être observé par rapport au premier levé. Les paramètres de l'ajustage local peuvent être repris.

4 Ajustage local

Avec un ajustage local les relations de voisinage devraient rester inchangées dans la mensuration cadastrale existante. La qualité de la mensuration d'origine ne doit en aucun cas être dégradée par une utilisation inconsidérée de méthodes GNSS.

Ainsi, par exemple, les anciens cheminements seront pris en compte dans le cas de travaux de mise à jour réalisés dans une mensuration basée sur un réseau polygonal hiérarchisé (liaisons transversales manquantes, rétablissements, etc.).

En principe, un ajustage local doit toujours être effectué en cas d'utilisation de GNSS pour la détermination de points de détail en mensuration officielle.

On ne peut renoncer à l'ajustage local que lorsque les mesures de contrôle satisfont aux critères de décision prévus au paragraphe 4.3.

La méthode de l'ajustage local doit être utilisée dans des zones présentant de fortes distorsions locales, où la transformation au moyen du maillage triangulaire est donc insuffisante, entraînant ainsi le non-respect des exigences de précision prévues par l'OTEMO. Il va de soi que des exigences particulières s'appliquent par analogie aux territoires en mouvement permanent. Cette situation doit être vérifiée dans chaque cas en réalisant des mesures de contrôle sur des points connus. En mensuration officielle, il est fréquent qu'une correction locale de telles déformations intervienne à un stade ultérieur du processus. Des informations supplémentaires peuvent être tirées des recommandations de la CSCC intitulées «Traitement des territoires en mouvement permanent dans la mensuration officielle» (www.cadastre.ch → Documentation → Publications).

4.1 Remarques générales

La transformation du système de référence géocentrique global (CHTRS95) vers le système de coordonnées géocentrique local (CH1903+) s'effectue à l'aide des paramètres MN95 officiels.

En règle générale, cette opération est réalisée dans les récepteurs GNSS, juste avant la conversion dans le cadre de référence concerné (système de projection).

Coordonnées géocentriques globales (CHTRS95) => coordonnées géocentriques locales (CH1903+)	Coordonnées géocentriques locales (CH1903+) => coordonnées géocentriques globales (CHTRS95)
DX = -674,374 m	DX = + 674,374 m
DY = - 15,056 m	DY = + 15,056 m
DZ = -405,346 m	DZ = + 405,346 m

Il est important que ces mêmes paramètres soient utilisés pour le calcul des coordonnées globales de la station de référence. Les paramètres GRANIT **ne doivent plus** être utilisés.

L'ajustage dans l'environnement local des coordonnées situées dans le plan de projection s'effectue ensuite par l'intermédiaire de points de calage locaux, exprimés dans le même cadre de référence, en règle générale à l'aide d'une transformation à 2-4 paramètres pour la planimétrie.

Les cantons peuvent définir des zones où l'on peut renoncer à un ajustage local. Des mesures de contrôle restent toutefois nécessaires pour garantir la plausibilité des mesures. En procédant ainsi, on s'assure que la configuration de l'instrument et l'initialisation ont été correctement réalisées et qu'aucune erreur grossière n'est à craindre.

4.2 Transformations propres aux récepteurs

En cas d'utilisation d'autres transformations propres aux récepteurs, les instructions fournies par les fabricants des instruments seront respectées. Pour des solutions basées sur des grilles officielles (CHENyx06), fréquemment utilisées sur les récepteurs (exemples : SCSP, SGF), les règles fixées dans les notices correspondantes seront observées (www.swisstopo.ch → Thèmes → Mensuration → Changement de cadre de référence → CHENyx06 / téléchargements → Grille de transformation → Notice SCSP resp. SGF).

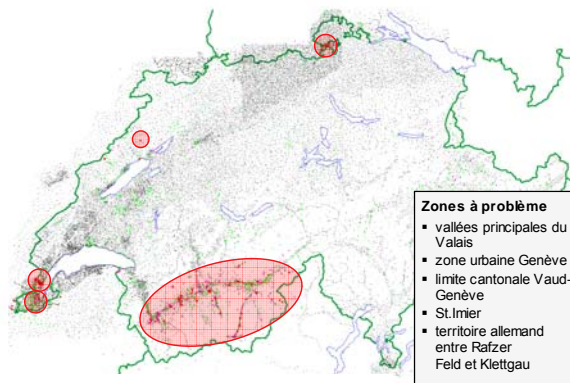


Figure 7 : Passage MN95 → MN03 : zones à problèmes avec les grilles SCSP/SGF

Les solutions locales, levées de manière autonome (par exemple à l'échelon communal ou au niveau d'un groupements de communes), sont admissibles en mensuration officielle, mais sont soumises aux restrictions suivantes :

- 1) Elles ne dispensent pas de prouver le respect des critères cités aux paragraphes 3.2 ou 4.3.
- 2) Elles sont soumises à l'approbation du service cantonal du cadastre.
- 3) Il va de soi que les jeux de données ne peuvent en aucun cas être utilisés pour la détermination de points fixes.

Les transformations propres aux récepteurs ne tiennent pas compte des territoires en mouvement permanent. Ces nombreuses zones à problèmes ne sont pas représentées sur la figure 7.

4.3 Critères de décision

Pour apporter la preuve que l'on peut renoncer à un ajustage local, il faut procéder à une vérification sur les mêmes points (points de contrôle) qui serviraient de points de rattachement lors d'un ajustage local.

Il faut, d'une part, contrôler que les écarts (f_s) sur tous les points de contrôle ou de rattachement soient inférieurs à la précision requise par l'OTEMO (écart-type en cm) et, d'autre part, détecter d'éventuels systématismes sur les composants y/x ou E/N. Les critères de répartition des points de rattachement et de couverture du périmètre de travail doivent être respectés (cf. figure 6). Une transformation de Helmert est par exemple parfaitement adaptée dans ce cadre. Les différences constatées seront représentées dans tous les cas. Lors d'une transformation de Helmert, les paramètres estimés ainsi que l'écart quadratique moyen à posteriori doivent être justifiés et analysés de manière critique.

Ecart-type (1σ) en cm prévu par l'OTEMO :

Catégorie de point	NT1	NT2	NT3	NT4	NT5
Point limite (défini exactement)	*	3,5	7	15	35
Point limite (non défini exactement)	*	20	35	75	150
Point de détail (défini exactement)	*	10	20	50	100
Point de détail (non défini exactement)	Conformément à l'art. 29 al. 2 OTEMO				

*) selon les prescriptions cantonales, mais au moins équivalent au NT2

Un ajustage local doit être entrepris si les conditions énumérées ci-dessus ne sont pas remplies. Les paramètres de transformation et les écarts résiduels sur les points de rattachement utilisés seront alors justifiés. Dans le cas d'écarts résiduels supérieurs à l'écart-type requis ou dans le cas d'un facteur d'échelle, voire d'une rotation d'ampleur inhabituelle, le dispositif de mesure (points de rattachement et de contrôle) sera revu et complété le cas échéant par des points supplémentaires. Une solution doit être trouvée avec le service cantonal du cadastre si les prescriptions fixées ne peuvent pas être respectées en dépit des mesures complémentaires effectuées.

5 Justification de la précision et de la fiabilité

La documentation (protocole de calcul) doit donner des renseignements sur la précision atteinte.

Le respect de la précision requise doit être justifié pour chaque point. Si elle n'est pas atteinte, les raisons doivent en être exposées et de nouvelles mesures (reprises ou compléments) seront entreprises, cas échéant.

5.1 Couches d'information « Biens-fonds » et « Limites territoriales » de même que les « points particuliers bien déterminés » selon art. 8, al. 4 OTEMO

Pour les points de ces couches d'information (principalement les points limites), l'OTEMO prévoit que le respect de la précision (e.m., 16) doit être prouvé numériquement. Le respect de la fiabilité doit être prouvé par l'intermédiaire de grandeurs appropriées. En pratique, la preuve est apportée en comparant des éléments de mesure surabondants avec des valeurs calculées (coordonnées, distances, ...).

Pour cela, un contrôle efficace est indispensable et différentes méthodes sont envisageables :

- Un nouveau levé indépendant des mêmes points par GNSS (seconde mesure). Les coordonnées sont généralement moyennées, pour autant que les deux levés soient de qualités comparables.
- Des levés indépendants des mêmes points par GNSS et par méthode tachéométrique. Les coordonnées sont généralement moyennées, pour autant que les deux levés soient de qualités comparables.
- Un seul levé des points par GNSS accompagné de mesures de contrôle efficaces. Ces mesures de contrôle doivent être choisies de telle façon que la vérification soit possible selon deux directions (planimétrie). Les mesures de contrôle peuvent aussi bien être effectuées entre des points nouvellement déterminés qu'entre des points existants. Les coordonnées provenant du levé des points sont reprises.

Les mesures de contrôle doivent satisfaire aux mêmes exigences de précision que celles de la première détermination.

Pour qualifier la précision planimétrique (attribut PrecPlan), on peut utiliser les écarts-types empiriques. On peut également utiliser les valeurs maximales prévues par l'OTEMO ou d'autres prescriptions cantonales. L'écart-type calculé (empirique) doit être inférieur ou égal à l'écart-type théorique exigé.

La fiabilité (attribut FiabPlan) est admise si l'ajustage a répondu aux critères du paragraphe 4 .

5.2 Couches d'information « Couverture du sol » et « Objets divers »

Dans le cas des points particuliers, la précision a priori des méthodes de mesure et de calcul doit être justifiée. Une preuve n'est pas exigée pour la fiabilité. Outre la précision des mesures, il faut également prendre en compte la précision de détermination.

6 Documentation

6.1 Documentation générale

La documentation doit être organisée de telle façon qu'il soit possible de retracer de manière complète tant le calcul des coordonnées définitives que le calcul de l'ajustage.

Une liste de contrôle propre à chaque équipement GNSS doit être établie. La configuration de tous les récepteurs GNSS utilisés, station de référence permanente comprise, doit être à la disposition des utilisateurs sous forme numérique ou sous forme analogique (sur support papier). Ces éléments doivent faire partie intégrante de la procédure de gestion de la qualité interne à l'entreprise exécutante et faire l'objet d'une documentation appropriée. Il est recommandé de protéger le paramétrage contre toute modification non conforme ou involontaire, par exemple en le verrouillant.

6.2 Documentation par passage (de mesure)

L'exécution des vérifications et les résultats obtenus doivent être consignés sur un protocole prenant l'aspect d'une liste de contrôle. La documentation complète correspond, par analogie, à celle des travaux terrestres réalisés en mensuration officielle. Elle doit cependant comprendre des indications supplémentaires relatives à la décision prise pour l'ajustage local (points de rattachement, paramètres de transformation, écarts résiduels, éventuellement plan des vecteurs).

6.3 Exemples de listes de contrôle GNSS pour les modes V-RTK et L-RTK

Les professionnels de la mensuration chargés de l'exécution des travaux établissent souvent leur propre liste de contrôle, adaptée à chacun des différents équipements GNSS, dans le cadre de la procédure de gestion de la qualité interne à leur entreprise. En effet, les procès-verbaux de mesure et de calcul ne fournissant pas une documentation intégrale des travaux, ils seront complétés, le cas échéant, par une liste de contrôle. Une telle liste peut se présenter comme indiqué sur les pages suivantes et devrait comprendre les informations mentionnées aux pages 19 et 20.

Liste de contrôle pour mesures GNSS (V-RTK)

Projet :			
Commune :		Niveau de tolérance :	NT2 <input type="checkbox"/> NT3 <input type="checkbox"/> NT4 <input type="checkbox"/>
Dossier traité par :		Date :	
Service de positionnement : (swipos-GIS/GEO)	<input type="checkbox"/> VRS MN95-RAN95 <input type="checkbox"/> VRS MN95-NF02 <input type="checkbox"/> VRS MN03-NF02		
Type de récepteur (mobile) :	Type :	Type d'antenne (mobile)	Type :
Paramétrage côté récepteur :	<input type="checkbox"/> Paramètres de transformation (paramètres MN95) : $X_{1903+} = X_{CHTRS95} - 674,374 \text{ m}$ $Y_{1903+} = Y_{CHTRS95} - 15,056 \text{ m}$ $Z_{1903+} = Z_{CHTRS95} - 405,346 \text{ m}$ <input type="checkbox"/> Projection (MN03 / MN95) <input type="checkbox"/> SCSP / SGF désactivé <input type="checkbox"/> Géoïde CHGEO2004 <input type="checkbox"/> Type d'antenne		
Indication de précision côté récepteur :	Horizontalement : 0,02 m / (verticalement : 0,03 m)		
Ajustage local :	OUI <input type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/>		
Points de rattachement ou de contrôle :	PFP :	PL :	
Evtl. jeu de transformation approuvé :			
		<i>Mesure I</i>	<i>Mesure II</i>
Travaux préliminaires :	<u>Paramétrage</u> côté récepteur, <u>compatibilité</u> du paramétrage avec le service de positionnement assurée et <u>initialisation</u> exécutée avec succès	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hauteur d'antenne (mobile) :	Hauteur exprimée en mètres et en centimètres		
Début du passage (de mesure) :	Heure de début exprimée en heures et en minutes		
Géométrie du réseau pour le levé de points :	Conditions relatives au périmètre de travail : - points de rattachement / contrôle en bord de zone - tous les points levés dans la zone	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Durée de mesure :	Durée moyenne d'une mesure GNSS en secondes		
Remarques :			

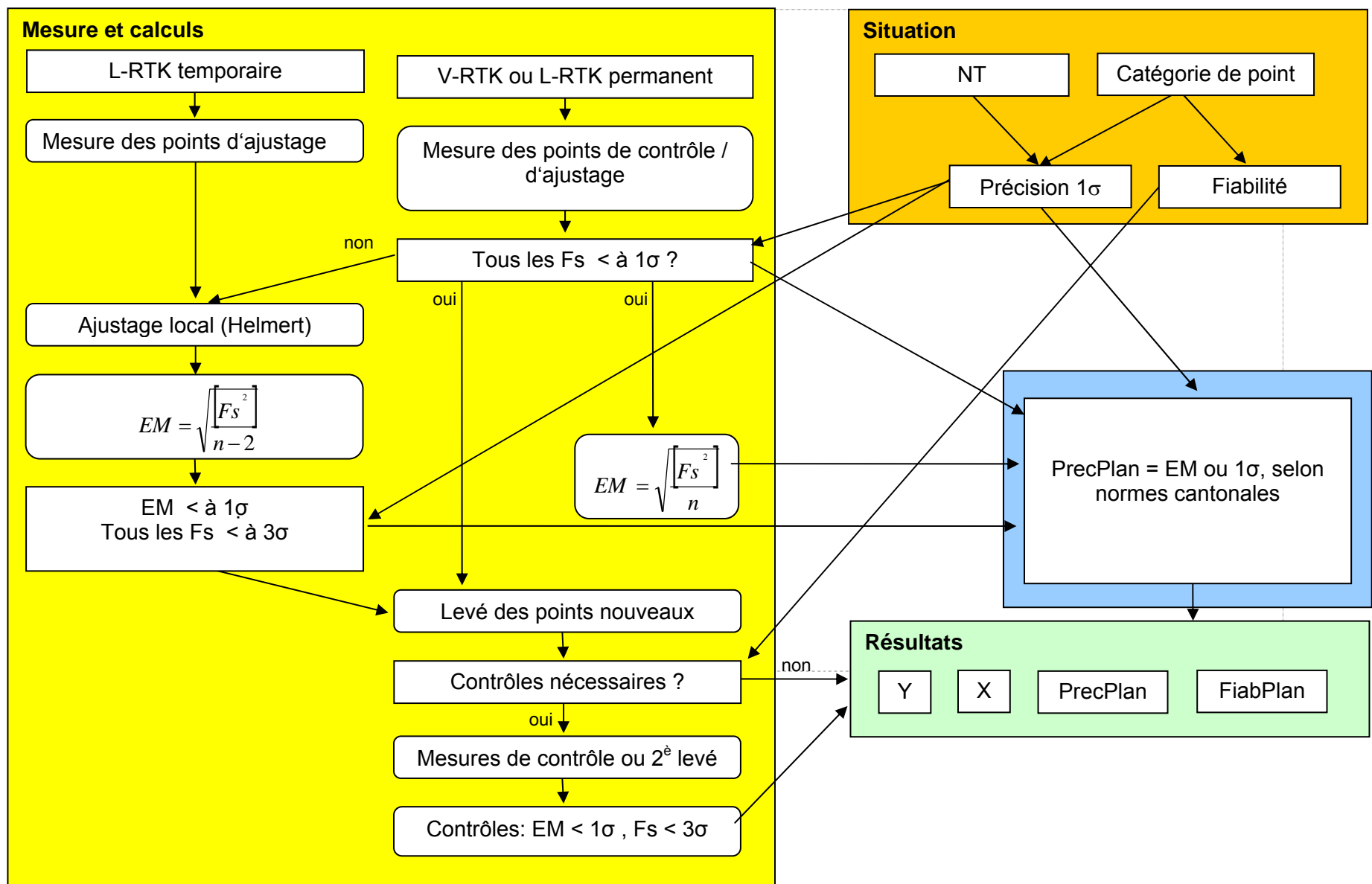
Liste de contrôle pour mesures GNSS (L-RTK)

Projet :			
Commune :		Niveau de tolérance :	NT2 <input type="checkbox"/> NT3 <input type="checkbox"/> NT4 <input type="checkbox"/>
Dossier traité par :		Date :	
Type de récepteur (station de référence) :	Type :	Type d'antenne (station de référence)	Type :
Indications sur la station de référence :	TEMPORAIRE <input type="checkbox"/> PERMANENTE <input type="checkbox"/> Référence : (Coord. : / Altitude :		
Type de récepteur (mobile) :	Type :	Type d'antenne (mobile)	Type :
Paramétrage côté récepteur :	<input type="checkbox"/> Géoïde CHGEO2004 <input type="checkbox"/> SCSP / SGF <input type="checkbox"/> Type d'antenne		
Indication de précision côté récepteur :	Horizontalement : 0,02 m / (verticalement : 0,03 m)		
Ajustage local :	OUI <input type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/>		
Points (rattachement / contrôle) ou jeu de transformation approuvé :	LFP:	GP:	
Evtl. jeu de transformation approuvé :			

		Mesure I	Mesure II
Travaux préliminaires :	Paramétrage côté récepteur, <u>compatibilité</u> du paramétrage avec la station de référence assurée et <u>initialisation</u> exécutée avec succès	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hauteur d'antenne (station de référence) :	Hauteur exprimée en mètres et en centimètres		
Début des mesures à la référence :	Heure de début exprimée en heures et en minutes		
Fin des mesures à la référence :	Heure de fin exprimée en heures et en minutes		
Hauteur d'antenne (mobile) :	Hauteur exprimée en mètres et en centimètres		
Début du passage (de mesure) :	Heure de début exprimée en heures et en minutes		
Géométrie du réseau pour le levé de points :	Conditions relatives au périmètre de travail : - points de rattachement / contrôle en bord de zone - tous les points levés dans la zone	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Durée de mesure :	Durée moyenne d'une mesure GNSS exprimée en secondes		

Remarques :

Annexe



Exemples d'utilisation du tableau

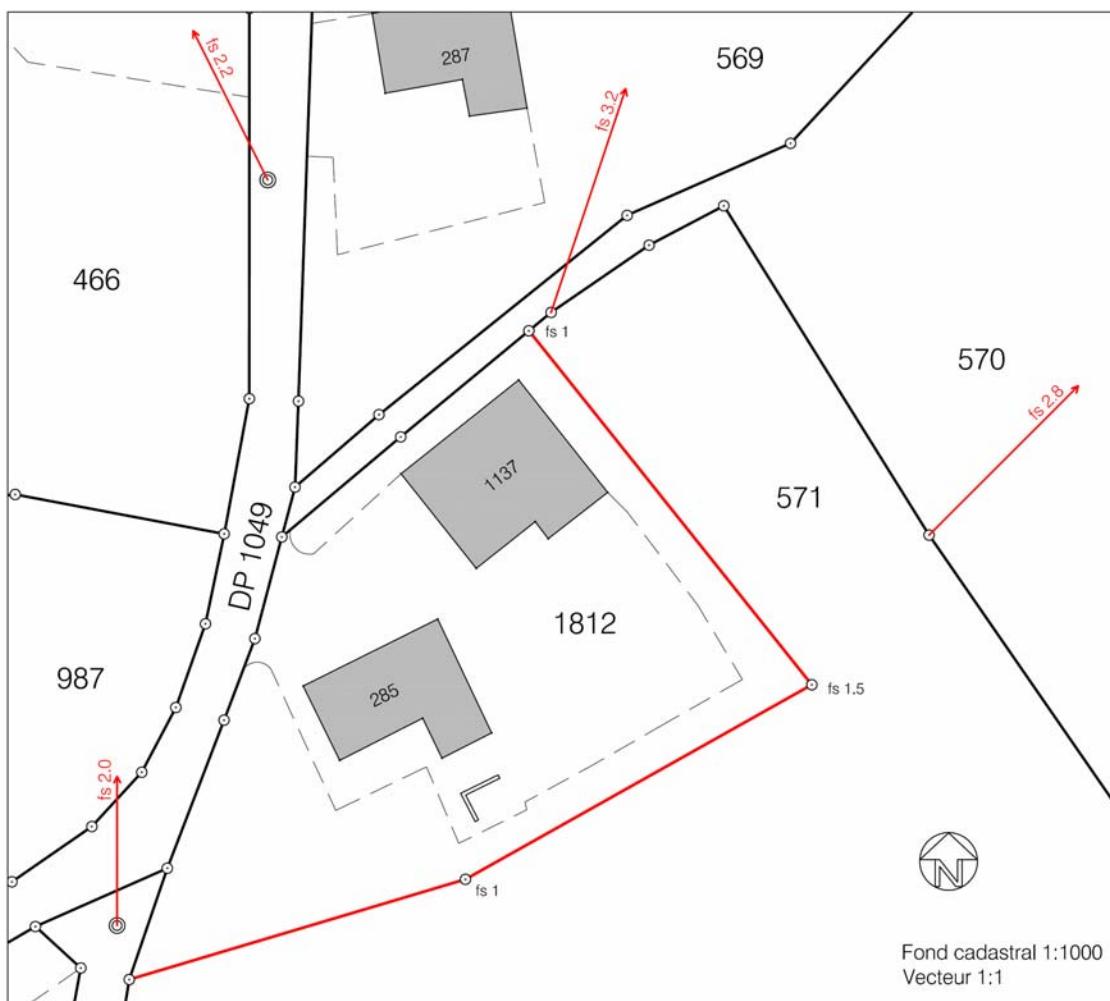
a) NT2, mutation dans la couche Biens-fonds (BF), 3 points nouveaux (définis exactement)

Les points nouveaux doivent être fiables. La précision à atteindre (1σ selon l'OTEMO) est donc de 3,5 cm.

Les mesures s'effectuent en mode V-RTK sur 4 points de contrôle : 2 PFP3 et 2 PL.

Les résidus obtenus sur ces 4 points sont de (-1 ; 2), (0 ; 2), (1 ; 3) et (2 ; 2) cm d'où des f_s de 2,2 ; 2,0 ; 3,2 et 2,8 cm. Les f_s sont tous inférieurs à 3,5 cm (1σ). Un ajustage local n'est donc pas nécessaire (même si les résidus montrent un certain systématisme en direction X). L'écart quadratique moyen (estimation de σ) est de 2,6 cm.

L'opérateur procède au levé (ou à l'implantation) des trois points nouveaux. Il effectue un deuxième levé (30 minutes plus tard, avec les mêmes paramètres) et obtient des écarts (f_s) de 1,0 ; 1,5 et 1,0 cm. L'écart quadratique moyen est de 1,2 cm et les f_s sont inférieurs à 10,5 cm (3σ).



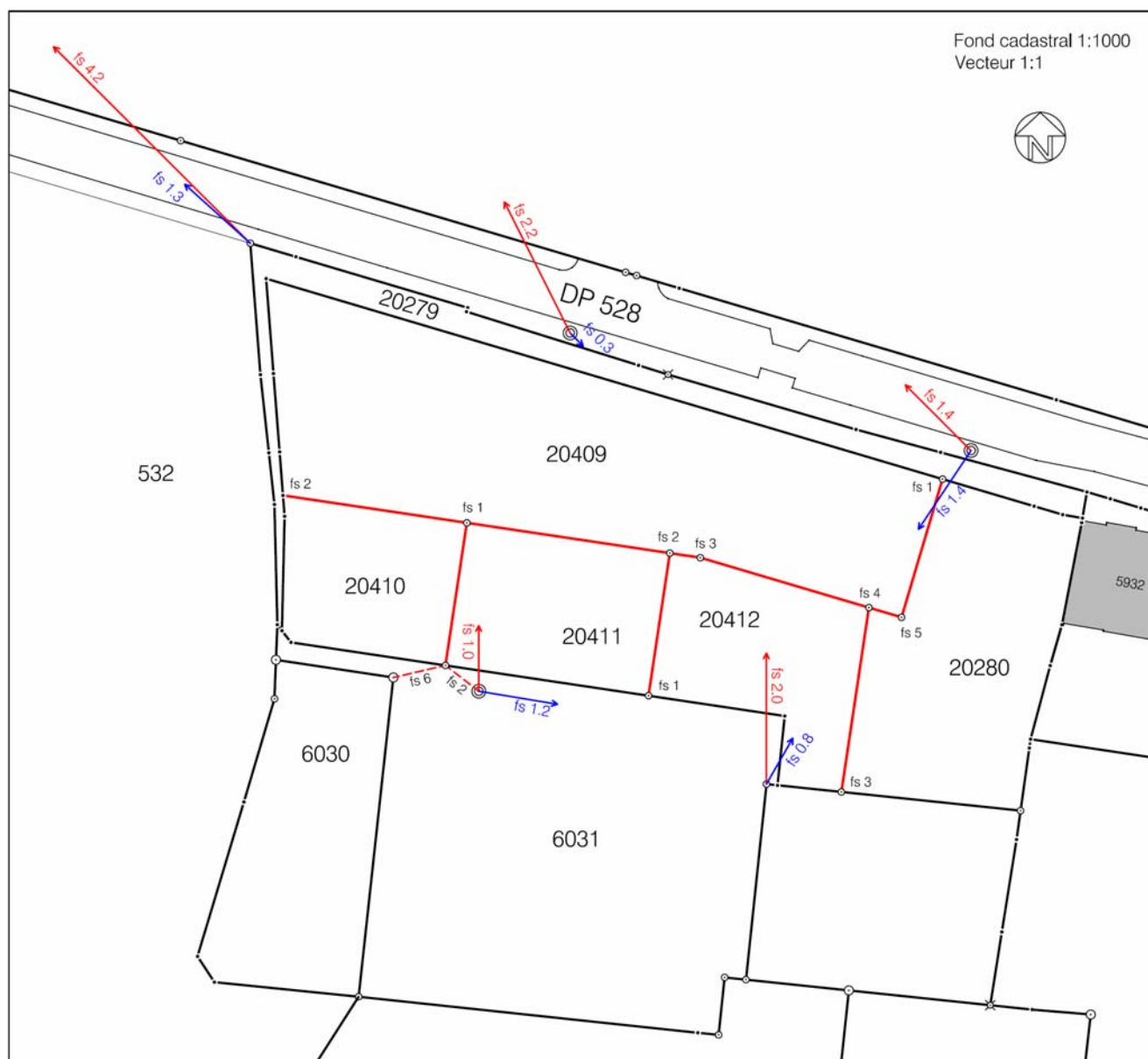
Les coordonnées moyennes peuvent être calculées. Les attributs PrecPlan et FiabPlan reçoivent respectivement les valeurs 3,0 cm et « oui » (la valeur de 3,0 cm est attribuée sur la base des normes cantonales).

b) NT2, mutation dans la couche Biens-fonds (BF), 10 points nouveaux (définis exactement)

Les points nouveaux doivent être fiables. La précision à atteindre (1σ selon l'OTEMO) est donc de 3,5 cm.

Les mesures s'effectuent en mode V-RTK sur 5 points de contrôle : 3 PFP3 et 2 PL.

Les résidus obtenus sur ces 5 points sont de (-1 ; 1), (-1 ; 2), (0 ; 1), (0 ; 2) et (-3 ; 3) cm d'où des f_s de 1,4 ; 2,2 ; 1,0 ; 2,0 et 4,2 cm. Un f_s est supérieur à 3,5 cm (1σ). Un ajustage local est donc réalisé (transformation de Helmert). Au terme de la transformation, les résidus sur les points qui deviennent dès lors des points de rattachement sont les suivants : (-0,8 ; 1,2) ; (0,2 ; -0,2) ; (1,2 ; 0,2) ; (0,4 ; 0,7) et (-1,0 ; 0,9)cm. Les f_s ont respectivement les valeurs de 1,4 ; 0,3 ; 1,2 ; 0,8 et 1,3 cm. L'écart quadratique moyen est de 1,4 cm et tous les f_s sont inférieurs à 10,5 cm (3σ).



L'opérateur procède au levé (ou à l'implantation) des dix nouveaux points. Il effectue un deuxième levé (30 minutes plus tard, avec les mêmes paramètres) et obtient des écarts (f_s) de 2, 1, 2, 2, 3, 4, 5, 3 et 1 cm par rapport aux premières déterminations. Le dixième point

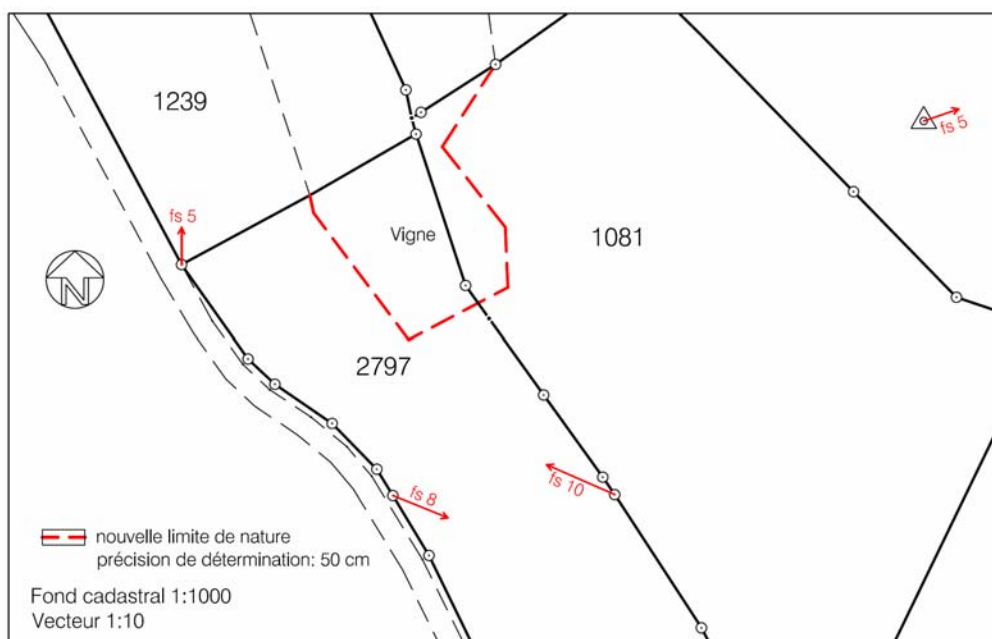
n'a pas pu être levé par GNSS (voiture sur le point) mais deux mesures efficaces à la chevillière ont été possibles vers un point limite existant et un des PFP3 utilisés. Les écarts sur ces mesures sont respectivement de 6 et de 2 cm. L'écart quadratique moyen (incluant les mesures à la chevillière) est de 3,2 cm. 3 f_s sont supérieurs à 3,5 cm mais restent inférieurs à 10,5 cm => les mesures et les calculs sont acceptés.

Les coordonnées moyennes peuvent être calculées. Les attributs PrecPlan et FiabPlan reçoivent respectivement les valeurs 3,0 et « oui » (la valeur de 3,0 cm est attribuée sur la base des normes cantonales).

c) NT3, mutation d'un objet de la couverture du sol (CS), 5 points nouveaux, non définis exactement

Les points nouveaux ne doivent pas forcément être fiables. La précision à attribuer aux points est la « précision de détermination ».

Les mesures s'effectuent en mode V-RTK sur 4 points de contrôle : 1 PFP2 et 3 PL. Les f_s sur ces points de contrôle sont de 5, 5, 8 et 10 cm. L'écart quadratique moyen est de 7.3 cm. Cette valeur est inférieure à la précision de détermination, estimée à 50 cm. Le levé des points peut être effectué (1x). Les attributs PrecPlan et FiabPlan reçoivent respectivement les valeurs 50.0 cm et « non ».



Remarque importante : cet « ajustage » ne permettrait pas de lever des points limites.