

## Notice pour les déterminations altimétriques avec GPS dans la mensuration officielle

### Contexte général

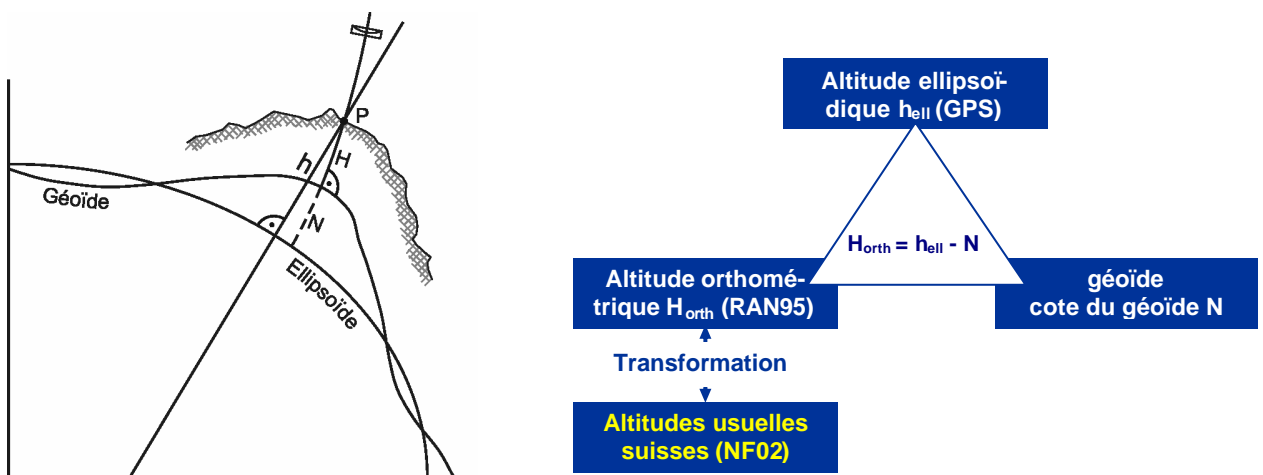
Comme composante de la nouvelle mensuration nationale MN95, l'Office fédéral de topographie (swisstopo) a introduit le nouveau réseau altimétrique national RAN95 pour remplacer l'actuel 'système des altitudes usuelles' NF02 seulement dans la mensuration géodésique nationale.

La direction de swisstopo a décidé en juin 2002 que NF02 resterait le système de référence altimétrique pour la mensuration officielle (MO) et qu'elle renoncerait à passer au RAN95. Cette décision allait dans le sens de la proposition du Centre de compétence 'Données géographiques / Mensuration nationale 95 (CC DG/MN95)', proposition qui avait été formulée suite à des discussions et à un débat avec divers utilisateurs des données de la MO et la direction du projet RAN95. Cette position a été présentée en détail aux organes cantonaux chargés de la surveillance de la MO dans la circulaire n° 2002/04 de la Direction fédérale des mensurations cadastrales (D+M) et publiée dans un article de la revue 'Mensuration Photogrammétrie Génie rural' (MPG 8/2002).

Toutefois, afin d'optimiser l'utilisation du GPS pour la détermination des altitudes, swisstopo mettra un programme de transformation à la disposition des utilisateurs dès la fin de l'année en cours. Le programme HTRANS permet de transformer des altitudes entre les deux cadres de référence NF02 et RAN95.

### Lien entre les systèmes altimétriques

Le graphique suivant donne un aperçu des divers systèmes altimétriques



Figures 1 et 2: Lien entre les systèmes altimétriques

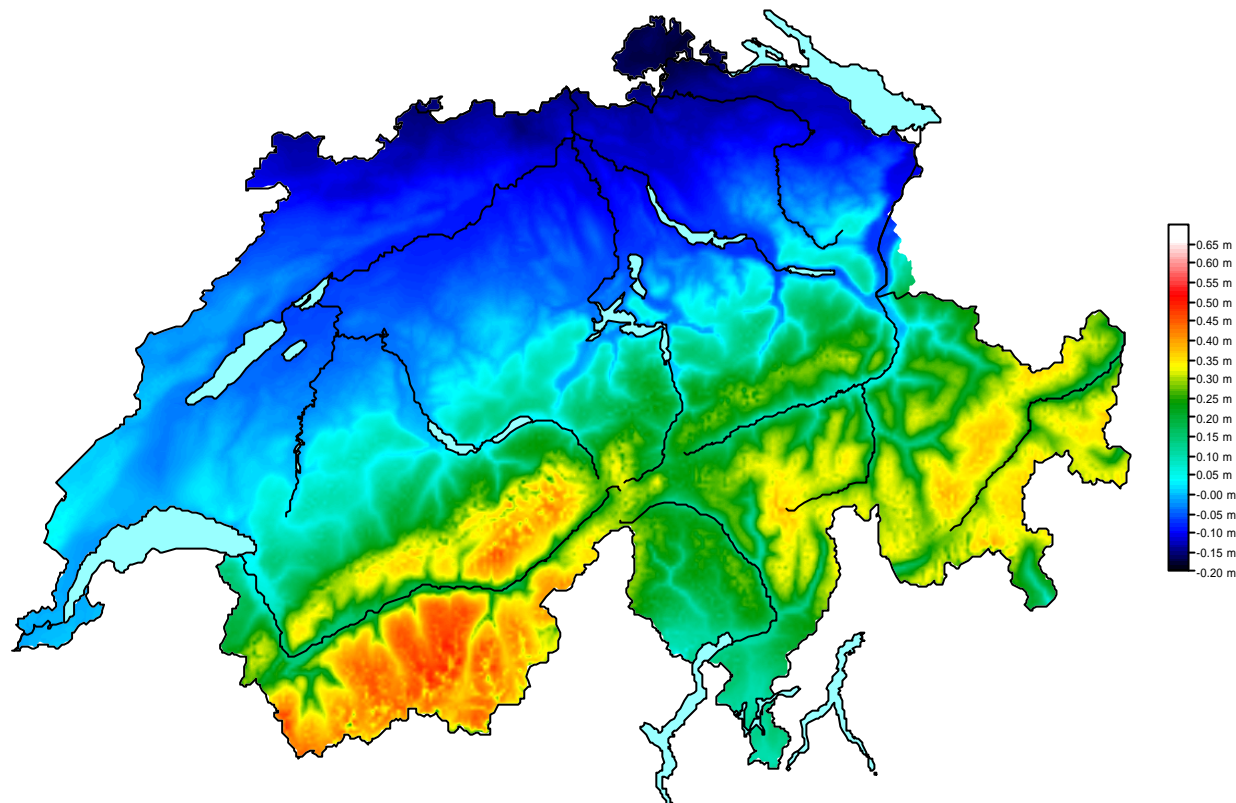
L'altitude orthométrique  $H$  désigne la distance séparant un point  $P$  du géοiδe. Elle est mesurée le long de la verticale. Il existe la relation simple suivante  $H_{orth} = h_{ell} - N$  (cf. fig. 1 et 2) entre les altitudes orthométriques  $H$ , les altitudes éllipsoiδiques  $h$  et les ondulations  $N$ . Si l'on corrige des altitudes éllipsoiδiques issues de mesures GPS avec les cotes du géοiδe, on obtient des altitudes orthométriques.

**Les altitudes usuelles ne sont pas des altitudes orthométriques!**

**Les altitudes usuelles NF02 n'ont pas de rapport mathématique défini avec les altitudes orthométriques RAN95.** Elles sont nées du fait que les pures mesures du nivellement fédéral (jusqu'à aujourd'hui) ont été « contraintes » pour l'essentiel dans les altitudes du Nivellement de Précision de la Commission géοδésique suisse (1864 - 1891). Les réseaux cantonaux et communaux de points fixes

altimétriques (PFA2 et PFA3), ainsi que la triangulation de 4<sup>e</sup> ordre qui s'y rattache et les mensurations parcellaires de la MO, composent, depuis le début du 20<sup>e</sup> siècle, la densification du cadre des altitudes usuelles NF02.

**Quelle est l'ampleur des différences entre les altitudes usuelles NF02 et les altitudes orthométriques RAN95?**



**Figure 3: Les différences RAN95 moins NF02**

La figure 3 montre les différences entre les altitudes orthométriques RAN95 et les altitudes usuelles NF02. Les divergences oscillent, au niveau du pays, entre -20 cm dans le nord de Schaffhouse et +65 cm au niveau des plus hauts sommets des Alpes valaisannes. Outre des parties systématiques, à grande échelle, tributaires de la position, on constate une nette dépendance de l'altitude affectant surtout le niveau local. Les différences se décomposent en plusieurs parties:

- Une partie systématique due à l'influence du champ gravimétrique ;
- Une partie due à l'incidence de la cinématique (soulèvement alpin sur 100 ans au plus) ;
- Une partie découlant des distorsions du NF02 (qualité du Nivellement de Précision 1864-91).

Le tableau 1 donne quelques exemples chiffrés des différences RAN95/NF02 à des endroits précis.

## Difficultés pour l'utilisateur GPS dans le cadre des altitudes usuelles NF02

La décision de laisser la MO et la grande majorité des données à référence spatiale dans le système d'altitudes usuelles NF02 va obligatoirement de pair avec une conservation de ce cadre par la confédération et les cantons. Des applications traditionnelles dans le domaine local ne présentent pas de difficulté à cet égard, les règles de l'art demeurant conservées. Des problèmes peuvent en revanche surgir lorsque des déterminations altimétriques sont exécutées à l'aide du GPS. Donnons-en deux exemples classiques:

➤ **Détermination de points fixes PFP2 dans la mensuration officielle:**

Comme une grande partie des cantons n'entretient plus de réseaux de PFA2 – ou n'en a jamais eu –, le cadre des altitudes usuelles NF02 entre les lignes du nivellement fédéral est souvent conservé à travers des réseaux de PFP2 et les œuvres cadastrales qui y sont rattachées. Les renouvellements actuels de points fixes PFP2 interviennent presque exclusivement moyennant des mesures GPS.

Des renouvellements locaux dans des régions sans différences altimétriques marquantes n'offrent le plus souvent pas de difficultés dans ce contexte vu que les cadres altimétriques NF02 et RAN95 ne se distinguent que par un « shift » altimétrique.

Dans des entreprises étendues en zone pré-alpine ou alpine apparaissent souvent des différences dépendant d'échelle (d'altitudes) entre les altitudes GPS et les altitudes usuelles actuelles. Un positionnement minutieux dans des altitudes NF02 existantes s'avère complexe dans la mesure où il faudrait aussi tenir compte de la répartition en fonction des altitudes. Si tel n'est pas le cas, on en arrive pour les nouveaux points à des altitudes qui, considérées de façon stricte, ne peuvent être assignées ni à un système altimétrique ni à un autre. Cette tâche est compliquée par le fait que la qualité des altitudes existantes des PFP2 laisse souvent à désirer sur la base de la détermination usuelle.

➤ **Détermination altimétrique en ligne au moyen de services de positionnement:**

Celui qui procède aujourd'hui à des déterminations altimétriques avec des services de positionnement en utilisant le modèle de géoïde CHGEO98 obtient des altitudes orthométriques approximatives RAN95. Les différences par rapport au système cherché d'altitudes usuelles correspondent aux indications de la figure 3 ou aux exemples numériques (colonne *Diff.*) du tableau 1. Les différences peuvent donc avoir des valeurs excédant la précision de la mesure.

Lieu	altitude ellips [m]	cote du géoïde [m]	altitude ortho. [m]	diff. [m]	altitude usuelle [m]
Système/origine	CH1903+	CHGEO98	RAN95	HTRANS	NF02
<b>Genève RPN</b>	370.94	<b>-2.66</b>	373.60	<b>0.00</b>	373.60
<b>Berne</b>	539.34	<b>-0.62</b>	539.96	<b>-0.04</b>	540.00
<b>Bâle</b>	259.92	<b>1.07</b>	258.85	<b>-0.15</b>	259.00
<b>Zurich</b>	407.89	<b>0.01</b>	407.88	<b>-0.12</b>	408.00
<b>Chiasso</b>	234.38	<b>-3.72</b>	238.10	<b>0.10</b>	238.00
<b>Landquart</b>	530.94	<b>0.96</b>	529.98	<b>-0.02</b>	530.00
<b>Davos</b>	1562.81	<b>2.66</b>	1560.15	<b>0.15</b>	1560.00
<b>Col de la Flüela</b>	2386.67	<b>3.34</b>	2383.33	<b>0.33</b>	2383.00

Tableau 1: Altitudes ellipsoïdiques, orthométriques et usuelles et différences entre elles

## HTRANS: transformation altimétrique entre les systèmes RAN95 et NF02

Le domaine Géodésie de swisstopo a réalisé un programme (HTRANS) permettant la transformation entre les systèmes NF02 et RAN95 et inversement. La théorie sous-tendant les applications a déjà fait l'objet d'une présentation dans un article paru dans le MPG (1/02).

La transformation se base encore pour l'heure sur des restitutions provisoires du nivellement fédéral (RAN95 / NF02), quelques rares lignes de PFA2 intégrées et des rattachements choisis au réseau national GPS MNV95. Concept, réalisation et tests avec des données indépendantes ont été présentés à l'instance CC DG/MN95 dans le cadre de deux rapports.

Des tests effectués sur des réseaux cantonaux de PFA2 en terrain plat et en zone de collines ont montré que la transformation pouvait être effectuée avec une précision absolue de 1 à 2 cm, la précision entre points voisins étant nettement supérieure.

Des tests effectués sur des réseaux de PFP2 donnent une image plus contrastée. Les résidus (cm - dm) sont souvent une conséquence des irrégularités des réseaux de PFP existants. On renonce pour cette raison à introduire des altitudes PFP2 comme valeurs d'appui. Mais ici également, on voit clairement qu'il ne faut pas attendre de solutions miracles dans le domaine des transformations.

## Quels sont les avantages de HTRANS?

Deux atouts essentiels découlent de l'application de HTRANS.

### ➤ Transformation avec GPS d'altitudes déterminées dans NF02:

Pour la détermination de points fixes dans la mensuration officielle, on peut transformer les altitudes orthométriques découlant de mesures GPS et du modèle de géoïde en NF02. On élimine ainsi des données les distorsions de réseaux connues du nivellement fédéral et, surtout, une grande partie des différences liées à l'altitude sans incidence prépondérante sur la précision entre points voisins des mesures GPS. La compensation contrainte dans NF02 est alors facilitée dans la mesure où grâce à l'élimination préalable d'effets systématiques, les contraintes résiduelles peuvent être mieux analysées sur les points existants.

### ➤ Détermination GPS online des altitudes dans NF02:

Outre le programme HTRANS proprement dit, est créée une possibilité d'apporter la correction altimétrique via le service de positionnement ou avec un modèle intégré dans le récepteur GPS (en analogie avec le modèle de géoïde CHGEO98). Une telle approche permet aussi la détermination altimétrique approximative online par GPS dans le système des altitudes usuelles NF02.

## Pourquoi HTRANS ne sera-t-il disponible qu'à la fin 2004?

Le domaine Géodésie de swisstopo élabore en ce moment un nouveau modèle géoïde (CHGEO03) qui sera cohérent avec les altitudes GPS MN95 et le cadre altimétrique RAN95. Pour atteindre cet objectif, il a encore fallu mesurer en 2003 des rattachements complémentaires GPS/Nivellement. L'introduction de HTRANS sera effectuée en même temps que le lancement du nouveau modèle de géoïde, à la fin 2004, et répond ainsi également aux impératifs chronologiques du CC DG/MN95.

## Délais et stratégie pour le lancement de HTRANS

L'introduction et la diffusion du programme de transformation NF02 ↔ RAN95 seront coordonnées et pilotées de façon centralisée par le CC DG/MN95. Des séances d'information et de formation adéquates compléteront également cette approche. Les étapes partielles suivantes sont prévues dans un premier temps:

- Information des services cantonaux du cadastre au moyen de la présente notice pour la détermination altimétrique avec GPS dans la mensuration officielle' **Janvier/février 2004**
- Information des services cantonaux du cadastre dans le cadre des séances d'échange d'informations ERFA 04 **Mars/avril 2004**
- Adaptation et révision des 'Directives pour la détermination des points fixes' **2004**
- Introduction de HTRANS pour les applications dans la mensuration officielle et pour les services de positionnement GPS en ligne **Fin 2004**

## A quels points veiller pour la détermination de nouvelles altitudes PFP2 avec le GPS dans NF02?

Par rapport aux directives antérieures, de nouvelles exigences fondamentales ne sont pas créées **depuis la fin 2004**. Vu l'importance persistante du cadre altimétrique NF02, on mentionnera et précisera ici les exigences posées à la détermination altimétrique par GPS.

### a) Procédures

#### Mesures GPS (altimétriques):

- Un réseau altimétrique doit se rattacher à un nombre suffisant de points du réseau GPS MN95 et à suffisamment de points existants avec des altitudes NF02.
- La liberté de choix de la méthode demeure. Vu l'importance supplémentaire de l'altitude, il faut également lever la hauteur d'antenne avec une grande précision et fiabilité.

#### Calculs GPS (altimétriques):

Il faut passer par les étapes suivantes:

- Calculs des mesures GPS dans CHTRS95.
- Transformation des différents lots de coordonnées (sessions) de CHTRS95 à MN95 avec les paramètres officiels MN95:  
$$\begin{aligned}DX &= -674.374 \text{ m} \\DY &= -15.056 \text{ m} \\DZ &= -405.346 \text{ m}\end{aligned}$$
- Calcul d'altitudes orthométriques (RAN95) par séries de coordonnées (session) avec le modèle de géoïde CHGEO03 (dès 2005 ; jusqu'à la fin 2004 toujours au moyen de CHGEO98). Ces séries de coordonnées servent alors de base pour la compensation dans MN95.
- Le calage de cette compensation (planimétrique et altimétrique) se fait exclusivement sur les points du réseau GPS MN95.
- Calcul d'altitudes usuelles NF02 approchées avec HTRANS.
- Compensation des lots de coordonnées (sessions), positionnement du calcul altimétrique sur des points connus et appropriés dans NF02 (avec altitudes de rattachement comme observations, normalement sans basculements ou échelle de hauteur).
- Contrôle et analyse des résidus altimétriques sur les points de rattachement existants.
- Calcul altimétrique contraint dans NF02, normalement sans basculements ni échelle de hauteur pour les mesures GPS.

### b) Calage

#### Importance des rattachements altimétriques et des points fixes altimétriques:

- Le cadre altimétrique précis NF02 est déterminé par le réseau altimétrique national (PFA1) et les réseaux de points fixes altimétriques cantonaux ou communaux (PFA2) actuels et intégrés dans le réseau altimétrique national.
- Des points MN95 nivelés sont des points de positionnement adaptés qui sont intégrés dans les deux cadres de référence altimétriques. Près de la moitié des points GPS MN95 est directement rattachée au réseau altimétrique national.
- Des PFP2 sis le long du réseau altimétrique national, nouvellement déterminés, doivent être directement rattachés aux PFA1 et PFA2 voisins. Dans ses nouvelles mensurations de sections de lignes, swisstopo s'efforce d'intégrer les PFP2 proches directement dans les mesures, et ce d'entente avec les cantons.
- S'il manque des points de rattachement appropriés avec des altitudes dans NF02, il faut effectuer des rattachements directs par GPS au réseau altimétrique national (PFA1/2).
- De bonnes connaissances de la genèse des altitudes sont indispensables pour l'appréciation des résidus altimétriques de PFP2 en place sans rattachement aux lignes PFA.
- Il faut veiller aux niveaux de tolérance des territoires concernés.

### c) Documentation des mesures et résultats:

- Seules des altitudes NF02 peuvent être publiées dans des documents officiels de la mensuration officielle (fiches signalétiques, listes de coordonnées, extraits destinés à des tiers, etc.). **L'altitude adéquate H se réfère toujours au cadre de référence altimétrique NF02** indépendamment du fait de savoir si les coordonnées de positionnement existent dans le système de référence CH1903 (Y: 600'000 X: 200'000) ou dans CH1903+ (E: 2'600'000 N: 1'200'000).
- Dans le rapport technique relatif aux calculs, il faut **absolument montrer le modèle de géoïde utilisé** et la version du programme **HTRANS**.
- Si, outre les mesures brutes à **usage interne**, on donne aussi des listes de résultats étapes intermédiaires (p. ex. altitudes orthométriques tirées du modèle de géoïde), on représentera alors absolument **dans les listes l'identification univoque des altitudes** (cadre de référence altimétrique, modèle de géoïde, etc.).
- Il faut a priori éviter toute confusion possible. A côté de la caractérisation univoque des données altimétriques, on garantira encore l'instruction et la formation de toutes les personnes concernées.

Wabern, janvier 2004, slt