

L'ASSURANCE ET LE CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DES RÉSULTATS GPS

Reiner Jäger

Geodätisches Institut, Universität Karlsruhe
Englerstraße 7, D-76128 Karlsruhe

Résumé

L'évolution récente de la technologie des récepteurs GPS, le développement des modèles mathématiques pour traiter les observations, ainsi que des modes rapides pour la mesure et le traitement, ont amené des applications de plus en plus nombreuses du GPS dans tous les domaines géodésiques. Le but de cette présentation est de préciser les caractéristiques fonctionnelles et statistiques d'un concept d'Assurance et Contrôle de la Qualité des résultats GPS en topographie, avec l'intention de produire des normes objectives et générales de la qualité ("AQ" et "CQ"). La qualité est décrite par des facteurs de **précision** et de **fiabilité** en rapport avec la **géométrie** d'une **configuration GPS** ou celle du résultat d'une **intégration GPS**. Bien que le principe soit valable pour un système tridimensionnel, l'AQ et le CQ sont gérés et traités séparément en planimétrie et en altimétrie. Les données utilisées pour la mise en œuvre des concepts de l'AQ et du CQ sont les résultats du traitement des observations - les coordonnées x_j et matrices de covariances C_{xj} des sessions. Les concepts théoriques AQ et CQ sont exposés et argumentés par des exemples pratiques.



1. INTRODUCTION ET DÉFINITION

D'après la figure 1, les concepts d'assurance de la qualité des résultats GPS ("AQ") et du contrôle de la qualité des résultats ("CQ") doivent être en permanence mis en œuvre lors des mesures et de l'intégration dans les réseaux existants.

Fig. 1 : Le GPS et les éléments classiques font l'objet d'une assurance de qualité géométrique exprimée par la précision et la fiabilité. L'assurance de qualité peut concerner les résultats GPS seuls, ou aussi les autres composantes d'une intégration de GPS dans un réseau existant.

A partir de la fig. 1 nous démontrons les notions d'AQ et du CQ. Mais il faut d'abord définir la notion et les composantes de **qualité** relatives à un réseau géodésique. La **qualité** est définie à partir de la **précision** et de la **fiabilité** fonction de la **géométrie** d'une **configuration GPS** ou du résultat d'une **intégration GPS**.

AQ et CQ sont fondées sur des traitements à base de compensation par la méthode des moindres carrés et des concepts statistiques s'y rapportant.

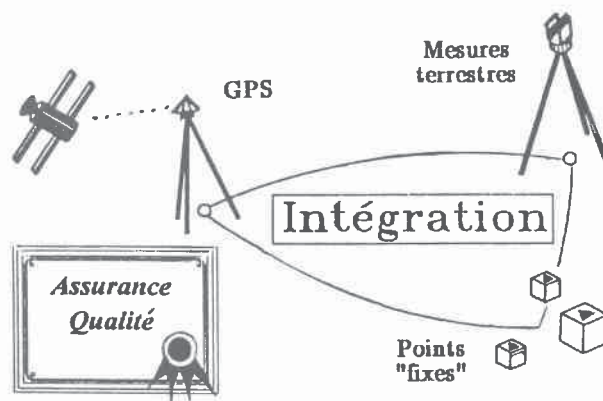


Figure 1

L'**AQ** - à garantir envers le maître d'ouvrage d'un réseau géodésique- est à faire par une **analyse préalable** à la réalisation. Seuls la configuration et le modèle stochastique des observations (trois types selon fig. 1) sont utilisés, sans les observations. Le facteur de **précision** est à quantifier -ou à comparer par rapport aux différentes configurations- par une analyse spectrale de la matrice de covariances des coordonnées [11] ou au moins par l'erreur moyenne des points escomptée pour le réseau. La redondance n'est en principe pas nécessaire pour assurer une certaine précision, alors que l'assurance de la **fiabilité** exige toujours la redondance. La **fiabilité interne** quantifie -vis-à-vis de chaque observation- la présence d'une erreur grossière ∇ vectorielle ou scalaire. Celle-ci est à localiser par un test statistique de niveau de confiance $(1-\alpha)$ avec un risque de deuxième espèce $(1-\beta)$ lors de la compensation des observations. Les mesures pour la **fiabilité externe** sont plus importantes dans l'assurance de qualité, car elles décrivent le dommage d'une erreur grossière $\nabla(\alpha, \beta)$ sur le réseau ; elles ne sont, en général, pas proportionnelles à la valeur $\nabla(\alpha, \beta)$. En pratique, $\beta = 80\%$ est usuel pour quan-

tifier le potentiel théorique de AQ en fiabilité (externe). En modifiant la configuration du réseau, la précision des observations, ou même le risque α au moment de la conception, il est possible de fournir les mesures de l'AQ exigée par le demandeur ou celles exigées par des normes.

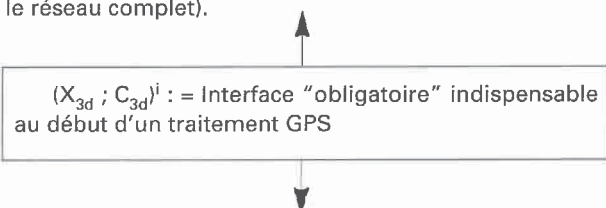
Le **CQ** comprend la **vérification de la précision et de la fiabilité**. Il est rendu possible par un traitement des observations dans la compensation. La vérification de la précision est faite par l'estimation des facteurs de variance pour les différents types d'observations, par exemple des sessions GPS, et exige des données redondantes. La preuve de la fiabilité est faite par les tests statistiques à partir des observations. En présence d'une erreur grossière signifiante la **fiabilité externe "empirique"** est calculée d'après l'erreur grossière estimée pour décider en définitive l'élimination ou non de l'observation concernée. C'est avec la probabilité $(1 - \beta)$ que la présence de l'erreur grossière $\nabla(\alpha, \beta)$ à calculer dans l'analyse AQ ne sera pas découverte pendant les tests du CQ.

Nous présentons un concept général d'AQ et du CQ avec des mesures GPS uniquement et des mesures GPS intégrées dans le réseau national. Ce concept est divisé en quatre parties. L'AQ et le CQ présentés dans les étapes (C) et (D) correspondent respectivement à la qualité théorique et à la réalisation pratique.

A) Traitement des observations GPS

Application d'un logiciel GPS commercial ou scientifique. **Résultat :**

- Coordonnées GPS X_{3d}^i sur WGS84, mal contrôlées et avec une matrice de covariances C_{3d}^i trop optimiste (précision interne) pour chaque session ou chaîne i (et le réseau complet).



B) Pré-transformation

Conversion $(X_{3d} ; C_{3d})^i$ accompagnée par la propagation des erreurs pour les matrices de covariances pour préserver l'information originale et la rigidité statistique du concept global. Les détails sont décrits par [15].

Résultat :

- Coordonnées nationales approchées planimétriques $(X_{2d} ; C_{2d})^i$.
- Coordonnées altimétriques ellipsoïdiques $(h ; C_h)^i$.

C) Compensation simultanée des sessions - CQ concernant GPS pur

Compensation simultanée des sessions du réseau GPS relatif au réseau altimétrique $(h^i ; C_h^i)$ et/ou relatif au réseau planimétrique $(X_{2d}^i ; C_{2d}^i)$. **Résultat :**

- Contrôle statistique et vérification de la précision externe de la composante GPS.
- Réseau GPS planimétrique X_{2d} (précision C_{2d} a posteriori).

- Réseau GPS altimétrique la (précision C_h a posteriori).

D) Intégration GPS

Intégration du GPS dans le système national -altimétrique $(h ; C_h)$ et/ou planimétrique $(X_{2d} ; C_{2d})$ - par une compensation combinée concernant les données GPS contrôlées en (C), des mesures terrestres et des points "fixes". Cette combinaison exige l'introduction des paramètres additionnels (A, B, C, D, E) pour le GPS altimétrique et/ou des paramètres $(m, \varepsilon, t_y, t_x)$ pour le GPS planimétrique. **Résultat :**

- Contrôle global du modèle de l'intégration GPS.
- Contrôle des mesures terrestres et des points fixes par des tests statistiques.
- Points nouveaux h^n et/ou X_{2d}^n déterminés par GPS relatif h et/ou X_{2d} du système national.

Ce concept (A)-(D) fut publié pour la première fois dans [10]. Comme différence essentielle par rapport au concept utilisé en Suisse [2], la solution ci-dessus utilise le modèle stochastique C_{3d} initial du GPS et augmente la rigueur statistique d'AQ et du CQ s'y rapportant. Au stade actuel du concept [2] les $C_{3d,i}$ -complètement pleines initialement dans (A)- sont assimilées par la suite à des matrices diagonales à définir arbitrairement par l'utilisateur, alors que dans [10], la structure $C_{3d,i}$ est préservée et seul un facteur s_i entre précision externe et interne est à estimer au cours du concept. Grâce à cette rigueur le concept peut aussi être utilisé dans des domaines où la sévérité continue d'un concept statistique est obligatoire, par exemple dans l'analyse des déformations avec GPS [1]. L'état actuel du concept ci-dessus est détaillé dans [7] et [8].

2. LES MODELES FONCTIONNELS DU CONCEPT

Les modèles fonctionnels des étapes (C) et (D) du schéma ci-dessus sont précisés et discutés brièvement par la suite. Nous considérons les équations aux observations linéarisées.

$$1 + v = A.dy + 1(y_0) \quad (1a)$$

où $y = dy + y_0$ sont les paramètres inconnus et à déterminer par le principe $v^T C_1^{-1} v = \text{Min}$ de moindres carrés. C_1 est la matrice de covariances des observations et y_0 les valeurs approchées des inconnues (par exemple les coordonnées h_k^n ou/et $(y, x)_k^n$ du réseau national). Le modèle fonctionnel concernant la fiabilité envers des erreurs grossières ∇ consiste à étendre de (1a) selon :

$$1 + v' = A.dy' + 1(y_0) + \nabla \quad (1b)$$

[4]. L'inconnu ∇ est un scalaire ou un vecteur selon s'il s'agit par exemple d'une simple observation classique l_i ou une coordonnée h du GPS, ou s'il s'agit par exemple d'une erreur $\nabla_i = (\nabla y, \nabla x)_i$ à découvrir dans les coordonnées planimétriques x_{2d}^n d'un point fixe P_i du réseau national. Les mesures de la fiabilité interne et externe dans AQ sont liées à la sensibilité du test de signifiante pour ∇ .

2.1 Etape (D) - intégration du GPS

Le mode standard des mesures et du traitement GPS relatif aux orbites des satellites ne fournit pas des coor-

données absolues mais des différences relatives par rapport au point de référence choisi dans le traitement (étape (A) du concept général). Ainsi le modèle standard pour l'intégration du GPS corrélé en planimétrie ($\Delta X_{2d}, C_{2d}$) dans le réseau national (étape (D)) s'écrit pour le couple $i (\Delta y, \Delta x)^{gps}_j$:

$$\begin{bmatrix} \Delta y + v_y \\ \Delta x + v_x \end{bmatrix}_j^{gps} = m \cdot \begin{bmatrix} \cos \varepsilon & \sin \varepsilon \\ -\sin \varepsilon & \cos \varepsilon \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_k - y_m \\ x_k - x_m \end{bmatrix}^n \quad (2a)$$

[10]. Les observations $(\Delta y, \Delta x)^{gps}_j$ résultant de l'étape (C) ne sont pas encore intégrées dans le réseau national. Pour le couple k et m (2a) du réseau national les observations $(\Delta y, \Delta x)^{gps}_j$ seront après correction $(v_y, v_x)_j$, liées par le paramètre ε (rotation) et un coefficient une échelle m . Pour l'intégration du GPS Δh altimétrique après le contrôle (C) dans le réseau national, il faut en principe disposer de l'ondulation du géoïde dans la région concernée. Par le modèle fonctionnel :

$$(\Delta h + v_h)_j^{gps} = (h_k - h_m)^n + (y_k - y_m) \cdot A + (x_k - x_m) \cdot B + (y_k^2 - y_m^2) \cdot C + (y_k \cdot x_k - y_m \cdot x_m) \cdot D + (x_k^2 - x_m^2) \cdot E \quad (2b)$$

traité dans [8], on peut renoncer au géoïde explicite, en faveur d'une modélisation correspondante. Les inconnues (A, B) décrivent l'inclinaison entre le plan tangentiel au géoïde et à l'ellipsoïde WGS84, et les inconnues (C, D et E) modèlent la différence entre les courbures de ces deux surfaces. Les coefficients du lieu $(\dots, y_m, x_m, y_k, x_k, \dots)$ peuvent être pris au choix dans le système GPS ou dans le réseau national. Des expériences réalisées avec le logiciel HEIDI [8] montrent que le modèle (2b) fonctionne pour des régions jusqu'à une extension de cinquante kilomètres.

2.2 Etapes (C) - compensation simultanée des sessions du GPS

Les paramètres ε et m (2a) n'interviennent pas lors du CQ ou AQ relatif au GPS dans l'étape (C). Il en va de même pour les composantes altimétriques Δh^i pour lesquelles il faut renoncer aux paramètres (A, ..., E) dans (2b). Cela veut dire que le CQ et l'AQ sont à traiter dans le cadre commun WGS84. Si pour une raison quelconque, les sessions $(x_{2d}^i; C_{2d}^i)$ ou $(h^i; C_h^i)$ respectivement sont introduites au pas (D), il faut le faire avec des paramètres additifs communs.

3. LE CONTROLE DE LA QUALITÉ

3.1 Etape (C) - CQ - compensation simultanée des sessions du GPS

En supposant que les résultats GPS à l'étape (A) sont trop optimistes (= interne, voir [11]) et insuffisamment contrôlés, le CQ concernant la **fiabilité** du GPS seul par rapport aux **erreurs grossières** à l'étape (C) doit se référer aux tests statistiques relatifs à la précision externe du GPS. Le test pour prouver la fiabilité d'un point j dans la session i doit tenir compte de la *corrélation des coordonnées* dans une session. Fondé sur le modèle (1b), il résulte :

$$T_j = \frac{[\bar{v}^i]_j^T \cdot [\bar{C}_v^i]^{-1} \cdot [\bar{v}^i]_j}{d \cdot \bar{s}^2} \leq c; \quad (3a, b, c)$$

$$[\bar{C}_v^i] = [C_v^i]^{-1} - [C_v^i]^{-1} A^i C_y A^i [C_v^i]^{-1}$$

$$\text{et } C_y = (A^T C_1^{-1} A)^{-1}$$

[4], [10]. Le vecteur des corrections transformées \bar{v}^i et le facteur de la variance réduite \bar{s}^2 se déterminent par :

$$\bar{v}^i = C_1^{i-1} \cdot v^i \text{ et } \bar{s}^2 = (s^2 \cdot r - [\bar{v}^i]_j^T \cdot [\bar{C}_v^i]^{-1} \cdot [\bar{v}^i]_j) / (r-d) \quad (3d, e)$$

$[C_v^i]$ sont les matrices de covariances des sessions originales -respectivement C_{2d}^i ou C_h^i - issues de (B).

La notation $[\dots]_j$ correspond à une observation j dans la session i . Pour la composante planimétrique on a $d = 2$ et pour la composante altimétrique $d = 1$. La valeur critique $c = F_{d, r-d, \alpha}$ est obtenue par la distribution centrale de Fisher, où r est la redondance. Dans l'étape (C), la matrice A^i de la session i est une matrice avec des éléments "1" ou "0" (observations directes). Au cas où T_j est rejetée, l'estimation de l'erreur grossière ∇_j et le scalaire Fl_j (facteur d'influence) se déterminent en planimétrie (de même pour l'altimétrie) comme suit :

$$\nabla_j = \begin{bmatrix} \nabla_y \\ \nabla_x \end{bmatrix}_j = -[\bar{C}_v^i]^{-1} \cdot [\bar{v}^i]_j \quad \text{et} \quad (4a, b)$$

$$Fl_j^2 = \frac{1}{\bar{s}^2} \nabla_j^T \left[[C_v^i]^{-1} - [\bar{C}_v^i] \right]_j \cdot \nabla_j$$

[5], [7]. Le facteur Fl_j relatif à la **fiabilité externe empirique*** (* selon [5]) donne une borne supérieure pour la falsification d'une fonction $f(y)$ arbitraire des inconnues y par ∇_j . La falsification maximale ∇P_{\max} de la position d'un point arbitraire dans le réseau à cause de ∇_j s'écrit par exemple :

$$\nabla f(y) \leq Fl_j \cdot \sigma_f \text{ et } \nabla P_{\max} \leq Fl_j \cdot s_p, \text{ avec } s_p = \text{erreur maximale des points.} \quad (4c, d)$$

La deuxième partie (**CQ - GPS** seul) consiste à apprécier la **précision externe (reproductible)** et à estimer des facteurs de précision s_i^2 pour chaque session i :

$$s_i^2 = v^i T C_1^{-1} v^i / \text{tr} (C_1^{-1} C_v^i) \quad , \quad \text{avec} \quad (5a, d)$$

$$C_v^i = C_1^i - A^i C_y A^{iT}$$

Pour un même mode d'utilisation GPS, on espère, qu'après l'élimination des erreurs grossières à l'aide du T_j les facteurs s_i

$$s_1 \approx \dots \approx s_i \approx \dots \approx s \quad \text{avec} \quad (5c, d)$$

$$s^2 = (v^T C_1^{-1} v) / r = T_g \sim F_{r, \infty} \quad \text{et } E(s^2) = 1$$

sont homogènes, et en accord avec le facteur s global de la compensation simultanée des sessions. Dans la relation $C_{\text{ext}}^i = s_i^2 \cdot C_1^i$, les s_i (5a) lient la précision intérieure C_1^i du logiciel GPS avec la précision effective C_{ext}^i de la session i . Dans la pratique on a $3 \leq s_i \leq 20$ et dépend du mode et de la durée de la mesure GPS. Pour cette raison des tests relatifs à la précision C_1^i interne (par exemple le "test global" T_g (5c) bien connu) sont sans intérêt pour le GPS seul dans l'étape (C). En conséquence, la matrice C_{ext} de covariances des inconnues y (dans (C) seulement les coordonnées).

$$C_{\text{ext}} = s^2 \cdot (A^T C_1^{-1} A)^{-1} = s^2 \cdot C_{\text{intr}}$$

avec $AT = [\dots A^i \dots]$, $C_1 = \text{diag} [\dots C_1^i \dots]$ et $i = \text{index des sessions}$ (6a,b,c)

exprimant la précision extérieure est par la suite utilisée comme modèle stochastique de l'intégration du GPS planimétrique ou altimétrique à l'étape (D). La fig. 2 montre les résultats concernant la détermination des facteurs si entre la précision interne (étape (A)) et la précision externe pour les six sessions GPS dans le CQ, étape (C). Les sessions étaient traitées par le "logiciel GPS Bernaise 3.4" à l'étape (A).

Situation du réseau (80 x 160 km)

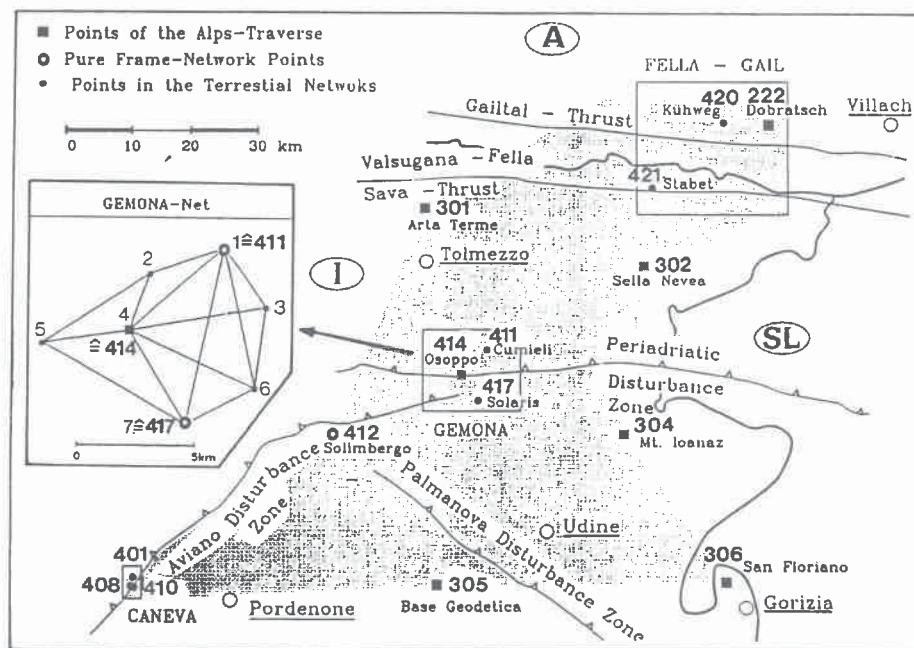


Figure 2

Session (2.5 - 3.0 heures)

- 401, 408, 410, 414, 411, 417, 421, 422, 222,
- 401, 408, 410, 412, 301, 304, 421, 422, 222
- 412, 305, 306, 304, 302, 421, 422, 222
- 305, 306, 414, 411, 417, 304, 302
- 410, 408, 401, 412, 305, 304, 306, 302, 301
- 412, 414, 417, 411, 301

Facteur s_i (5c)

Altimétrique	Planimétrique
4.7	17.2
25.6	17.7
14.1	16.8
16.0	17.4
18.8	18.1
11.8	10.3

Fig. 2 : CQ d'un réseau régional de déformation à FRIUL [1]. Le GPS seul donne une précision moyenne de 6.4 mm en planimétrie (précision interne 0,3 mm !) et 8.4 mm altimétrique (interne 0,5 mm !) dans C_{ext} (6a), voir [3].

3.2 Etape (D) - CQ lors de l'intégration du GPS dans des réseaux existants

A l'étape (D) le CQ concerne les groupes d'observations terrestres I_i et le groupe de points fixes du

réseau national. Les points fixes X_{2d}^n (2a) ou h^n (2b) du réseau national sont traités comme des inconnues et en même temps comme des observations directes [10], et sont ainsi à contrôler par le test (3a). Les formules pour tester une observation j (scalaire ou vectorielle) et la mesure de sa fiabilité externe empirique sont déjà données par T_j (3a, b, c) et F_j (4b). Pour les composantes autres que GPS (fig. 1) il y faut remplacer la notation "session" par la notation "groupe". Cela vaut aussi

pour l'estimation des composantes des variances s_i^2 (5a). En général on connaît la précision externe des groupes lors de l'intégration (D) mieux que dans (C). Pour cette raison on peut y appliquer des tests relatifs à la précision a priori des observations. Pour cela, il faut remplacer $\bar{s}^2 = 1$ dans T_j (3a) ; en conséquence le degrés r de liberté pour c (3a) passe à $r = \infty$.

4. L'ASSURANCE DE LA QUALITÉ

4.1 AQ de la précision d'un réseau GPS seul et intégration GPS

L'AQ pour la précision d'un réseau -à traiter par une analyse précédant la réalisation et exigeant seulement la

connaissance de la configuration A (1a) ainsi que la précision des observations C_i est bien connue. L'AQ y est relative aux mesures de précision des coordonnées x issues de $C_x = [(A^T C_i^{-1} A)^{-1}]x$. Il est usuel de prendre l'erreur moyenne des points -en même temps la racine de la valeur propre moyenne de C_x - comme mesure de précision dans AQ. Pour améliorer la précision d'un réseau, il est donc raisonnable d'aspirer à une contraction maximale du spectre des valeurs propres de C_x . Les articles [9] et [14] traitent la théorie et des applications de ce concept spectral relatif à l'amélioration de la précision d'un réseau par l'intégration de GPS. Ce concept spectral est aussi appliqué dans [7] pour obtenir la configuration optimale pour les sessions GPS.

La fiabilité de la précision estimée dans le CQ envers $s_i = s = 1.0$ concernant les s_i (5c) et s (5c) n'est pas traitée dans le cadre de cet article.

4.2 AQ et les mesures de la fiabilité interne et externe

L'assurance de la **fiabilité interne** du test T_j (3a), relatif à une observation j vectorielle dans un groupe i corrélé, est décrite par l'ellipsoïde de sensibilité suivant l'équation

$$\nabla T_j \cdot [\bar{C}_v^{-1}] \cdot \nabla T_j = \lambda \quad (\alpha, \beta)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_1 \text{ de } F_{d, r-d} \text{ non centrale pour } T_j(3a) \text{ avec } \bar{s}^2(3e) \\ \lambda_2 \text{ de } F_{d, 0} \text{ non centrale pour } T_j(3a) \text{ avec } \bar{s}^2=1 \end{array} \right\}, \text{ avec } \lambda_2 \leq \lambda_1 \quad (7a, b)$$

[7]. Cet ellipsoïde décrit par des vecteurs (du centre à la surface) le domaine d'une erreur grossière, ∇_j (un scalaire pour $d = 1$), qui est -lors de présence dans les données- à découvrir au cours de CQ par le test T_j (3a) avec une probabilité β , s'il est fait au niveau de confiance $(1 - \alpha)$. Pour $d > 1$, ∇_j n'est pas unique ; donc pour déterminer la **fiabilité externe**, le Fl_j théorique était dans [12] défini par le maximum $Fl_j^2 = \max (4b)$ pour une certaine ∇_j dans (7a). Cette valeur maximale et le ∇_j responsable se déterminent par la valeur propre maximale μ_{\max} et le vecteur m_{\max} correspondant au problème de valeurs propres généralisées suivant :

$$([C_1]^{-1} - \mu \cdot [\bar{C}_v]) \cdot m = 0 \Rightarrow \mu_{\max} Fl_j^2, \max$$

$$\lambda_{1,2}$$

$$m_{\max} = \nabla_j, \max \text{ (comportant } Fl_j^2, \max) \quad (8a, b, c)$$

[7]. Les mesures (7a, b) et (8b, c) sont dans l'AQ suffisantes pour juger de la qualité en rapport de la fiabilité. Elle est assurée par les tests (3a) concernant les observations x_{2d} et h du GPS au pas (C), et les points fixes x_{2d}^n ou h_n du réseau national à tester dans (D). La mesure ∇P_{\max} (4d) de la fiabilité externe -à assurer avec la puissance β pour le test T_j - est à calculer avec Fl_j, \max . Pour la généralisation, il est indiqué, que, pour $d = 1$ et l_j non corrélée, il résulte d'après (7a) et (8b, c) des mesures de fiabilité du test bien connu "correction normée ($T_j = v_j / \sigma_{v_j}$)" :

$$\nabla_j' = \nabla_j = \sigma_{ij} \frac{\sqrt{\lambda_2(\alpha, \beta)}}{\sqrt{r_j}} \text{ et}$$

$$Fl_j = \sqrt{\frac{1-r_j}{r_j}} \cdot \sqrt{\lambda_2(\alpha, \beta)} \quad (9a, 9b)$$

Pour obtenir ∇_j (9a) et Fl_j (9b) -à garantir envers le maître d'ouvrage avec une puissance $\beta = 80\%$ - il faut prendre $\lambda_2 = 17.2$ pour CQ avec $\alpha = 0.1\%$. Le calcul général des λ (α, β, d, r) et la solution logicielle sont traités dans [6]. La fig. 3 démontre des analyses concernant AQ de la fiabilité, dans la mesure où cela est exigé dans l'amélioration d'un réseau terrestre par GPS. Les ellipses fig. 3b décrivent la mesure bidimensionnelle de la fiabilité (7a) et la sensibilité du test T_j (3) respectivement, si le test est fait avec une variance a priori en concernant des erreurs grossières $\nabla_j = (\nabla_y, \nabla_x)_j^n$ pour les points fixes du réseau national.

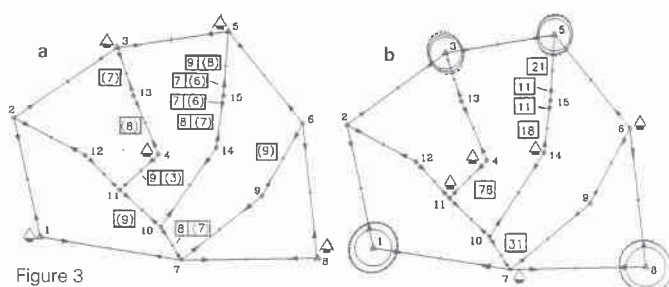


Figure 3

$\boxed{x} \boxed{x}$ cas a :

r_j critiques après GPS
non optimal et sans GPS

$\boxed{x} \boxed{x}$ cas b :

r_j suffisantes
après GPS optimal

Fig. 3 : AQ concernant le pas (D) : Pour un exemple d'un réseau terrestre qui est à contrôler par GPS, voir [7]. Les tests dans (D) pour les mesures terrestres seront faits avec $\alpha = 0.1\%$. Pour trouver la position optimale GPS présentée dans b, on a exigé que, avec une probabilité $\beta = 80\%$ les Fl_j (9b) doivent être inférieurs à 10. Donc, les redondances r_j doivent être environ 10% ou plus.

5. LES LOGICIELS POUR RÉALISER L'AQ ET LE CQ

Les étapes (C) et (D) de l'AQ et du CQ pour le GPS seul et les composantes d'une intégration (fig. 1) sont respectivement réalisées pour le réseau planimétrique dans le logiciel NETZ2D [13] et le réseau altimétrique dans HEIDI [8]. Les prétransformations (B) sont implémentées dans TRAVAR [15]. Il y a une continuité dans le traitement des données de (B)-(C)-(D). L'interface (A)-(B) est réalisée pour les logiciels GPS les plus connus.

6. CONCLUSION

Le premier objectif de cet article est de présenter un concept fonctionnel structuré et ouvert pour des applications pratiques diverses, qui permet en même temps l'intégration des opérations de quantification de la qualité au stade de la planification (= assurance) et pour les résultats (= vérification et contrôle) des diverses application du GPS. Le concept se met en place dans les entreprises modernes, où la qualité d'un produit n'est pas seulement contrôlée à la fin, mais projetée et vérifiée de manière continue dès le début. Les critères de "l'assurance de la qualité (AQ)" et "contrôle de la qualité (CQ)" sont introduits dans le produit spécifié de "qualité géodésique" -la géométrie d'un réseau géodésique. La qualité se rapporte en somme à la précision et la fiabilité de ce produit au sens statistique et est ainsi représentable par des mesures quantifiables et objectives. Selon la notion générale, l'AQ est relative à la planification d'un réseau. Le CQ et les mesures correspondantes comprennent la vérification et le contrôle de la qualité du produit (projeté au stade AQ) réalisé. Ainsi, les mesures de l'AQ et CQ dans ce concept sont correspondantes. Nous avons présenté un concept d'AQ et CQ dans le domaine du "GPS en topographie". Généralement, seule l'introduction des notions de la qualité dans les offres professionnelles donne "la valeur" au produit de la qualité. La pratique AQ et CQ revendique enfin l'introduction de "normes" pour les mesures de qualité liées à ce concept. Simultanément il faut aussi tenir compte et distinguer avec clarté "la qualité d'un concept AQ et CQ" (par exemple, un concept avec des procédures statistiques validées vaut mieux qu'un concept non strict). Pour le concept strict présenté et ses différentes étapes les normes pour "la bonne qualité" pourraient par exemple être données par une valeur " Fl_j (8b) intérieure à 10. dans "AQ", ou une valeur " ∇P_{\max} (4d) intérieur à 10.0 cm dans un réseau de topographie urbaine". L'exemple concernant le GPS seul (fig. 2) montre la mise en œuvre du CQ au cours de la compensation des résultats GPS. L'exemple traitant de l'intégration GPS pour améliorer la fiabilité d'un réseau terrestre (fig. 3) montre que le potentiel théorique de l'AQ et ses mesures respectives sont toujours à quantifier par une analyse préalable à la réalisation.

Références

- (1) Beinat, A., Jäger, R., Marchesini, C. and G. Schmitt (1994) : Interim Report on a Regional RCM - network in Friuli, Italy. "IAG Regional Symposium on Recent Crustal Movements in Europe", Szekesfehervar, September 01/04, 1992. Journal on Geodynamics.
- (2) Carosio, A. (1992) : La combinaison de mesures terrestres et par satellite dans les réseaux planimétriques. Mensuration, Photogrammétrie, Genie rural 10/92, Zürich.
- (3) Dumke, B. (1993) : Planung, Auswertung und statistische Ergebnisbeurteilung der GPS - Rahmennetzmessung in Friaul sowie Deformationsanalyse bezüglich der Nullmessung. Diplomarbeit am Geodätischen Institut der Universität Karlsruhe. Inédit.
- (4) Förstner, W. (1983) : Reliability and Discernability of extended Gauß - Markov - Models. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe A-98, München.
- (5) Förstner, W. (1985) : Über die Zuverlässigkeit der Netzverdichtung 3. und 4. Ordnung. DVW - Mitteilungen, Landesverein Baden - Württemberg, Heft 1, Stuttgart.
- (6) Hahn, M., Heck, B. Jäger, R. und R. Scheuring (1989) : Ein Verfahren zur Abstimmung der Signifikanzniveaus für allgemeine $F_{m,n}$ - Statistiken - Teil I : Theorie. Zeitschrift für Vermessungswesen 114 (5) : 234-248.
- (7) Illner, M. und Jäger, R. (1993) : Ein Konzept zur Integration von GPS in Verdichtungsnetze - Modellbildung und Ableitung von zugehörigen Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsmaßen . ZfV 118, Nr. 11.
- (8) Illner, M. un Jäger, R. (1994) : Integration von GPS - Höhen ins Landesnetz - Théoretisches Konzept und Realisierung im Programmsystem HEIDI. AVN. In Bearbeitung.
- (9) Jäger, R. (1990) : Optimum Positions for GPS - points and Supporting Fix-points in Geodetic Networks. In : Ivan I. Mueller (ed.) International Association of Geodesy Symposia. Symposium No. 102 : "Global Positioning System : An Overview", Edinburgh/Scotland, Aug. 7/8, 1989. Convened and edited by Y. Bock and N. Leppard, Springer Verlag : 254-261.
- (10) Jäger, R. und J. van Mierlo (1991) : Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Ergebnisinterpretation bei der Planung und Ausgleichung von GPS - Konfigurationen und der GPS - Integration in bestehende Netze. DVW - Mitteilungen Baden - Württemberg, 38. Jahrgang, Sonderheft "GPS und Integration von GPS in bestehende Netze", Stuttgart : 165-189.
- (11) Jäger, R. and S. Leinen (1992) : Spectral Analysis of GPS - Networks and Processing Strategies due to Random and Systematic Errors. In : Defense Mapping Agency and Ohio State University (Eds.) "Proceedings of the Sixth International Symposium on Satellite Positioning", Columbus/Ohio (USA), 16/20 March. Vol. (2) : 530-539.
- (12) Van der Marel, H. and A.J.M. Kösters (1990) : Statistical Testing and Quality Analysis in 3D - Networks (Part II) : Application to GPS. In : Publication of the Delft Computing Centre, Department of Geodetic Engineering, Delft.
- (13) Oppen, S. und R. Jäger (1991) : Das Softwarepaket NETZ2D. DVW - Mitteilungen Baden - Württemberg, 38. Jahrgang, Sonderheft "GPS und Integration von GPS in bestehende Netze", Stuttgart : 190-209.
- (14) Schmitt, G. (1994) : Optimization of Vertical Networks. In : Witte und Pelzer (Hrsg.) : "Precise Vertical Positioning". Proceedings of the Hannover Workshop, October 1990. Dümmler - Verlag, Bonn. Im Druck.
- (15) Schmitt, G., M. Illner und R. Jäger (1991) : Transformationsprobleme. DVW - Mitteilungen Baden - Württemberg, 38. Jahrgang, Sonderheft "GPS und Integration von GPS in bestehende Netze", Stuttgart : 125-142.