

## QUALITÉ DES OPÉRATIONS GPS

Par Jean-Pierre Sparfel  
Ingénieur Géographe IGN

### 1. INTRODUCTION

Le système GPS est supposé permettre à tout utilisateur de déterminer rapidement et précisément la position de points à la surface de la Terre. Malgré cette apparente (et néanmoins incontestable) facilité d'utilisation, il faut, pour obtenir à coup sûr les résultats escomptés tout en optimisant les moyens mis en œuvre, adopter une méthodologie respectant strictement certaines spécifications.

Constatant les erreurs les plus communément commises et les illusions les plus largement répandues au sujet notamment des précisions atteintes, il convient d'établir un certain nombre de contrôles principalement sous forme d'indicateurs qualificatifs ou quantitatifs aux différents niveaux de réalisation d'un réseau.

Cet article sera limité aux applications du GPS en mode statique ou statique rapide qui sont utilisés en géodésie et en topographie.

### 2. LES PRINCIPES DE LA QUALITÉ TOTALE, APPLIQUÉS AUX OPÉRATIONS GPS

Le terme "**Qualité Totale**" est une mauvaise traduction du concept américain "**Total Quality Control**"; la qualité de la réalisation d'un levé topographique ou d'un réseau géodésique a été longtemps restreinte à sa **précision**. Or la qualité dans la conception actuelle du terme passe par la **maîtrise complète du processus**, de la conception du "produit" jusqu'à sa diffusion.

Dans la démarche de Qualité Totale qui est mise en place à l'IGN cinq principes définis par les qualitiens français ont été retenus :

- *la mesure*, c'est à-dire l'évaluation de la qualité d'un produit ou d'une organisation par des **indicateurs** si possible quantitatifs,

- *la prévention* : c'est prévoir la possibilité d'agir, si possible avant que quelque chose de fâcheux n'arrive, ou prévoir des **solutions alternatives** dès que cet événement survient de façon à ne pas compromettre la suite du processus,

- *l'excellence* : c'est bien faire du premier coup ; c'est également le principe global du "**zéro défaut**" qui dans la plupart des cas concrets se traduit par défaut, tendant vers zéro,

- *la responsabilité* : chaque intervenant dans une chaîne de production est responsable de la qualité de



l'ensemble. Ce principe se traduit par des processus incluant l'auto-contrôle,

- *la conformité* : aux spécifications des produits finaux, c'est-à-dire en général l'adéquation aux exigences des clients.

Le tableau n° 1 récapitule les actions qualité qui sont menées lors des phases successives de la réalisation d'un réseau par GPS, au crible des quatre premiers principes de la qualité totale définis ci-dessus. On admettra que le cinquième principe, la conformité,

sera respecté si les quatre autres l'auront été auparavant.

### 3. CONCEPTION DE LA MISSION

L'aspect primordial de la qualité de la conception réside dans la **qualité des spécifications** de processus. Ces spécifications devront être exhaustives, c'est-à-dire qu'elles décriront tous les aspects de toutes les étapes des opérations.

#### 3.1. Prévention

Les spécifications devront prévoir des solutions de secours en cas d'événements non prévus qui peuvent être :

- soit une dégradation volontaire des éphémérides par le DoD américain (dans ce cas doit-on continuer à observer dans ces conditions ou arrêter les mesures ?), si le matériel utilisé n'est pas conçu pour résoudre ce problème,

- soit une panne (de récepteur ou autre) qui ferait que l'une des stations n'aurait pas de mesures :

- prévoir du matériel de secours (en particulier un ou des récepteurs),

- prévoir dans la stratégie d'observation un facteur de redondance et facteur de réoccupation supérieurs aux valeurs théoriquement nécessaires pour pallier ces pannes ou dégradations éventuelles et ne pas avoir à retourner sur le terrain pour respecter les spécifications de détermination.

#### 3.2. Mesure

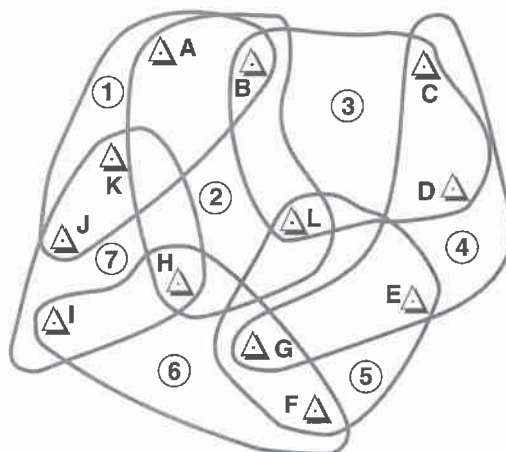
Lors de l'élaboration de la stratégie d'observation, deux indicateurs permettent de mesurer la qualité du réseau de lignes de bases mesurées :

- le facteur de redondance,
- le facteur de réoccupation.

PRINCIPES PHASES	PREVENTION	MESURE	EXCELLENCE	RESPONSABILITE
<b>CONCEPTION</b> - Préparation - Stratégie d'observation	- Spécifications de processus - Alternatives en cas de - Dégradations (A/S) - Pannes . Matériel de secours . Redondance : +10% . Durées obs. : +20% à 50%	- Facteur de redondance - Facteur de réoccupation - Homogénéité	- Optimisation des moyens - Fiabilité des spécifications (reliability) → Excentrement → Facteur d'échelle	- Autocontrôle . Check-list matériel - Calibrations
<b>OBSERVATIONS</b>	- (télé) communications	- Comparaison de doubles mesures indépendantes de l'excentrement = . Centrage . Hauteur antenne - Taille des fichiers = Taille prévue	- Application des préventions	- Peu de latitude de décision - Fiche de station . Incidents . Check -list des opérations - Communication
<b>CALCULS</b> - Lignes de base - Compensation - Intégration dans un référentiel	- Sous estimer indicateurs des logiciels constructeurs	- Indicateurs statistiques de précision : . RMS . Ecart type sur vecteur . Ecart type sur ambiguïtés entières - Répétabilité - Fermetures externes - Résidus . . . - Indicateurs statistiques du logiciel d'estimation	- Optimisation des moyens de calcul - Rapidité de validation - Comparaison de : . Précisions finales . Précisions spécifiées	

NOMBRE DE RÉCEPTEURS :  $r = 4$   
 NOMBRE DE POINTS :  $n = 12$

NOMBRE DE FIGURES :  $k = 7$   
 NOMBRE DE SESSIONS PAR FIGURE :  $s = 2$

NOMBRE D'OCCUPATIONS ( $\alpha_i$ )

Point A : 2 fois  
 Point B : 3 fois  
 Point C : 2 fois  
 Point D : 2 fois  
 Point E : 2 fois  
 Point F : 2 fois

Point G : 3 fois  
 Point H : 3 fois  
 Point I : 2 fois  
 Point J : 2 fois  
 Point K : 2 fois  
 Point L : 3 fois

## facteur de redondance

$$f_r = \frac{(r-1) \cdot s \cdot k}{n-1} = \frac{3 \cdot 2 \cdot 7}{11} = 3,8$$

## facteur de réoccupation

$$f = \frac{r \cdot k}{n} = \frac{4 \cdot 7}{12} = 2,33$$

$$|\alpha_i - f| < 1$$

La figure n° 2 montre un exemple concret de stratégie optimale d'observation d'un réseau de 12 points avec 4 récepteurs formant 7 figures consécutives d'occupation des points.

Le **facteur de redondance** est le rapport entre le nombre total de mesures de lignes de bases indépendantes et le nombre  $(n - 1)$  de lignes de bases à déterminer.

En géodésie, ce facteur  $f_r$  est spécifié en fonction des longueurs moyennes des bases du réseau et de la précision recherchée ; il peut prendre des valeurs de 2 à 5.

Pour atteindre cette valeur imposée, à moyens bloqués (c'est-à-dire  $r$  fixé), on peut soit augmenter le nombre  $S$  de sessions de mesure par figure, soit augmenter le nombre  $k$  de figures.

Il est évidemment plus facile de choisir la première option qui est plus économique car elle évite des déplacements entre points.

Dans presque tous les cas (sauf si  $r = n$ ), ce n'est malheureusement pas la bonne solution pour des raisons de fiabilité qui sont développées dans le paragraphe suivant (excellence).

C'est pourquoi l'on a défini un deuxième indicateur : le **facteur de réoccupation**  $f$ , qui est directement proportionnel au nombre de figures et indique le nombre moyen de fois que chaque point est occupé.

Il est significatif de la redondance géométrique du réseau de mesures.

Mais cela ne suffit encore pas : cette redondance géométrique doit être **homogène** en tout point du réseau, de sorte que celui-ci n'ait pas de point de faiblesse.

Il faut donc que le nombre  $O_i$  d'occupations de chaque point du réseau soit le plus constant possible, c'est-à-dire que l'écart à la moyenne  $(O_i - f)$  soit le plus petit possible.

Dans ce cas on a  $(O_i - f) < 1$  quel que soit  $i$ .

### 3.3. Excellence

Pour les opérateurs GPS l'excellence se traduit essentiellement par l'**absence de faute**. Quelle que soit la précision des mesures GPS elles-mêmes, les coordonnées finales n'auront pas de valeur si des fautes sont commises dans des opérations aussi élémentaires que la mesure de la hauteur de l'antenne GPS au-dessus du repère, ou son centrage sur ce repère.

Il est donc primordial que la stratégie d'observation spécifiée permette de mettre en évidence ces fautes.

C'est l'exigence de la **fiabilité** des processus (terme anglais, **reliability**).

Apparaît donc ici l'intérêt d'imposer le facteur de réoccupation en plus du facteur de redondance, de sorte que chaque point soit stationné au moins dans deux figures différentes ce qui impose deux **mises en station indépendantes**.

Si l'une est entachée de faute, cela sera forcément mis en évidence au moment des calculs.

Sur l'exemple proposé, deux figures consécutives et adjacentes ont deux points en commun.

Deux mesures indépendantes de la ligne de base définie par ces deux points peuvent mettre en évidence une variation du facteur d'échelle de la figure due à la ionosphère, ce qui permettra de la traiter au moment des calculs.

Au moins pour les applications précises en géodésie, cet autre aspect de la fiabilité de processus devra être pris en compte dans les spécifications.

Une autre exigence du critère d'excellence est de produire au meilleur coût.

En effet du point de vue économique, un coût excessif est considéré comme un défaut rédhibitoire.

L'organisation de la mission GPS devra tenir compte de cette exigence en **optimisant les moyens** mis en œuvre.

Dans l'idéal, les spécifications des processus et des moyens devraient permettre d'atteindre les spécifications des produits ni plus ni moins.

En particulier la stratégie d'observation devra prévoir un nombre optimum de récepteurs mis en œuvre, des déplacements minimum des opérateurs entre les figures et des durées optimales d'observation, etc...

### 3.4. Responsabilité

La responsabilité du concepteur et des opérateurs est évidemment de s'assurer de l'existence des moyens et de donner les instructions permettant d'assurer le succès de la mission.

Celle de l'opérateur, lors de la préparation de la mission, est de contrôler les matériels :

- leur présence dans son lot personnel par des check-lists
- leur conformité : essais de fonctionnement avant le départ, calibrations d'antennes, etc...

## 4. OBSERVATIONS

Une fois lancées les opérations de terrain, le chef de mission et les opérateurs sont responsables de la qualité.

### 4.1. Prévention

Pour pouvoir appliquer les consignes de prévention prévues lors de la conception de la mission, les opérateurs doivent informer rapidement et clairement le chef de mission ou les autres opérateurs des incidents qui se produisent (pannes, retards, dégradations des signaux).

Cela suppose des moyens de communication efficaces.

### 4.2. Mesure

A chaque station, les excentrement d'antenne (centrage et hauteur doivent être mesurés par les opérateurs de deux façons indépendantes ; différentes techniques existent : mesures verticales et obliques des hauteurs, mesures en début et fin de session, remise en station entre deux sessions...

De plus les opérateurs pourront relever la taille des fichiers de mesure à la fin de chaque session, et s'assurer qu'elle correspond à la taille prévue compte tenu du nombre de satellites captés, de la cadence et de la durée d'observation.

On aura ainsi la quasi-certitude que les enregistrements se sont déroulés normalement.

## 4.3. Excellence et responsabilité

Elles seront assurées par le strict respect des instructions techniques et en particulier par l'application des mesures de prévention.

Il faut remarquer que la phase d'observations GPS laisse très peu de latitude de décision à l'opérateur et exige peu de qualification du moins en comparaison des mesures terrestres classiques.

Cette nouvelle donnée n'est pas sans poser des problèmes de **responsabilisation** et de **motivation** des opérateurs.

Néanmoins il faut obtenir que les plannings soient strictement respectés, les excentrement mesurés avec soin et les fiches de station correctement et intégralement renseignées.

## 5. CALCULS

### 5.1. Calcul des lignes de base, validation

**Prévention** : Ces calculs sont en général réalisés avec le logiciel fourni par le constructeur du récepteur.

Il est conseillé de sous-estimer la validité des indicateurs donnés par ces logiciels qui sont en général très optimistes, au minimum de les recouper avec d'autres indicateurs.

**Mesure** : Les indicateurs utilisés sont des indicateurs statistiques de précision : RMS, écart-type sur le vecteur, écart-type sur les ambiguïtés entières...

De plus les spécifications de calcul devront prévoir des écarts maximum de **répétabilité** entre sessions d'une même ligne de base.

Cet indicateur est nécessaire mais non suffisant pour juger de la qualité des mesures, en effet il ne permet pas de mettre en évidence des fautes d'excentre-

ment d'antenne (s'il n'y a pas eu remise en station entre les sessions) ou des erreurs systématiques comme le facteur d'échelle dû à la propagation atmosphérique.

Un meilleur indicateur est réalisé par la **fermeture externe** de polygones constitués par des vecteurs indépendants, c'est à-dire observés dans des figures différentes.

Sur notre exemple la somme de vecteurs AB(1) + BL(2) + LC(3) + CD(3) + DE(4) + EF(5) + FG(5) + GH(6) + HI(6) + IJ(7) + KA(1) constitue la fermeture d'un polygone constitué par 11 lignes de bases observées dans 7 figures différentes (chiffres entre parenthèses).

Si cette fermeture est anormale (hors tolérances), des fermetures de polygones plus petits (4 points environ) permettront par recoupements de déceler la ligne de base ou la station dont les mesures sont douteuses.

Contrairement à la répétabilité, ce contrôle permet de mettre en évidence des fautes d'excentrement d'antenne.

**Excellence** : Une ligne de base sera validée par son calcul et les contrôles décrits ci-dessus.

Lorsque le chantier est éloigné du centre de traitement, il est donc primordial que cette validation puisse intervenir très rapidement, de sorte que pour éviter des surcoûts importants, en cas de nécessité de reprise de mesure, les opérateurs n'aient pas déjà quitté la zone de travail.

Cela suppose une **transmission rapide** des données de terrain au centre de calcul et une **optimisation des moyens** de calcul.

### 5.2. Calcul de compensation

Le calcul de compensation d'un réseau mesuré par GPS n'est pas foncièrement différent d'un calcul de compensation d'un réseau de mesures géométriques quelles qu'elles soient et ce sujet continue d'être l'objet d'une abondante littérature.

Cette partie n'est donc pas traitée ici. On peut cependant souligner que la précision finale peut être sensiblement dépendante de la pondération des résultats des mesures des lignes de bases selon les conditions d'observation et selon leurs estimateurs de précision interne.