

# La mesure de l'exactitude d'un récepteur GPS

■ Charles DEBOUCHE - Katia BERGHMANS - Jean-Jacques CLAUSTRIAUX

*Une méthode est proposée pour déterminer l'exactitude d'un récepteur GPS. Cette exactitude comprend la justesse du récepteur (absence d'erreur systématique) et sa précision (effet des erreurs accidentelles inévitables). Cette méthode consiste à utiliser le récepteur GPS pour effectuer, à différentes dates, la mesure des coordonnées de quelques stations de coordonnées connues. Les écarts entre les coordonnées ainsi mesurées et les coordonnées "connues" de ces stations sont soumis à une analyse de la variance à deux critères de classification. Celle-ci permet de vérifier si les erreurs accidentelles sont ou non indépendantes des dates et des stations de mesure. Les résultats de cette analyse de la variance permettent donc d'évaluer la précision du récepteur. Ils permettent également d'en tester la justesse.*

## MOTS-CLÉS

Récepteur GPS, exactitude, justesse, précision, analyse de la variance.

Il y a plusieurs termes différents pour décrire l'écart qui existe entre la valeur du mesurande (ou valeur de référence reconnue comme vraie) et le résultat du mesurage. Ces termes sont normalisés par les normes ISO 5725-1 (1994) sous le titre "Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure", ISO 7078 (1985) sous le titre "Construction immobilière – Procédés pour l'implantation, le mesurage et la topométrie – Vocabulaire et notes explicatives" et par CEN (1999) sous le titre "Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure".

Les deux premières références définissent l'exactitude comme étant l'écart entre le résultat d'un essai (d'un mesurage) et la valeur du mesurande. Cette exactitude implique une combinaison de composantes aléatoires et systématiques. La dernière référence (CEN, 1999) définit l'incertitude comme étant un paramètre, associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient raisonnablement être attribuées au mesurande. Exactitude et incertitude comprennent donc toutes deux le doute qui existe quant à la valeur à donner au mesurande, tant du fait des erreurs accidentelles que des erreurs systématiques, en supposant qu'il n'y a pas eu de faute dans le mesurage. Le mot "incertitude" est parfois réservé au paramètre qui quantifie l'exactitude, ou plutôt l'inexactitude du mesurage.

Exactitude et incertitude sont donc à considérer comme synonymes et traitant globalement des erreurs tant systématiques qu'accidentelles, ainsi que des fautes éventuelles qui altèrent le résultat d'un mesurage. L'erreur totale est également synonyme de l'exactitude et de l'incertitude, dans la mesure où elle est définie comme l'ensemble de l'erreur d'un mesurage constitué par la combinaison de l'erreur aléatoire et de l'erreur systématique (ISO 7078, 1985).

La justesse est définie comme étant l'écart entre la valeur moyenne obtenue à partir d'une large série de

résultats d'essais et une valeur de référence acceptée (ISO 5725-1, 1994). La justesse est donc tributaire de la présence d'une faute éventuelle et/ou d'une erreur systématique éventuelle. Un mesurage est donc réputé "juste" s'il est dépourvu de faute et d'erreur systématique.

Finalement la précision (également appelée la fidélité) d'un mesurage est l'écart entre les valeurs mesurées obtenues en appliquant la procédure de mesurage plusieurs fois, dans des conditions prescrites (ISO 7078, 1985). Elle quantifie l'importance des valeurs des erreurs accidentelles inévitables qui altèrent le résultat de ce mesurage. La précision est donc indépendante de la justesse. Un appareil peut être très précis sans être juste s'il fournit des résultats de mesurage entachés d'erreurs systématiques. La précision est quantifiée par l'écart-type des erreurs accidentelles. La figure n°1 illustre ces deux notions de justesse et de précision.

L'exactitude (ou l'incertitude) comprend donc tant la justesse que la précision d'un mesurage.

Il existe diverses sources d'inexactitude possible, affectant la justesse et la précision du positionnement obtenu par l'usage d'un système mondial de positionnement par satellites (GPS ou GNSS). Elles peuvent être dues aux satellites, au milieu traversé, à l'environnement du récepteur et au récepteur lui-même (Bonin 2001, Kasser, 2001, Duquenne et

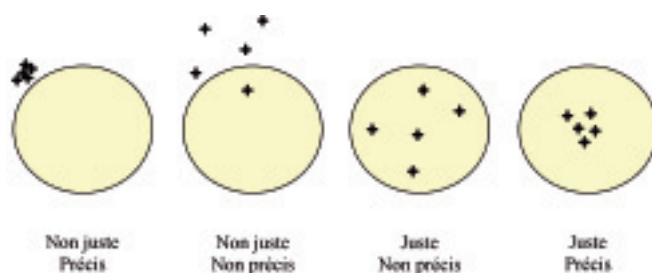


Figure 1. Illustration des notions de justesse et de précision.

al. 2005). Elles sont donc susceptibles de varier dans le temps et dans l'espace.

Le mesurage des coordonnées d'un point par un récepteur GPS livre à l'utilisateur des valeurs de ces coordonnées sans lui permettre d'en évaluer l'exactitude. Bien évidemment, le paramétrage du récepteur permet généralement d'imposer une valeur limite de la précision des coordonnées mesurées, généralement exprimée en écart-type, au-dessus de laquelle les coordonnées ne sont pas livrées par le récepteur. Il s'agit cependant d'un processus non vérifiable par l'utilisateur et qui ne traite que de la précision et non de la justesse du résultat du mesurage.

Il est ici proposé une méthode relativement simple d'évaluation de l'exactitude d'un récepteur GPS. Ce dernier est utilisé à différentes dates et sur des points de coordonnées connues par ailleurs. Une analyse de la variance est appliquée aux résultats de ces mesurages et permet d'estimer l'exactitude du récepteur.

## Matériel et méthode

Un récepteur GPS de précision centimétrique est utilisé en mode RTK, recevant des corrections en temps réel par gsm émises par le système Walcors. Celui-ci est un réseau permanent de stations de référence couvrant le territoire de la Wallonie (Belgique) et appartenant à la Région wallonne (Walcors, 2007).

Cinq stations sont levées à trois dates différentes de manière à faire varier la constellation des satellites c'est-à-dire à des jours et à des heures différentes. Chaque station est un point géodésique, positionné et entretenu par l'Institut Géographique National belge. Les coordonnées de ces points sont disponibles sur le réseau internet (IGN, 2007). L'écart-type quantifiant la précision des coordonnées de ces points géodésiques est compris entre 8 et 17 mm (Lambot, 2005).

Les coordonnées x, y et z seront donc mesurées sur ces cinq stations et à trois dates avec le récepteur GNSS dont on souhaite évaluer l'exactitude. Pour chaque station et chaque date, le mesurage des coordonnées de la station est répété à trois reprises, avec extinction du récepteur entre chaque répétition. Les différences entre les résultats de ces mesurages et les coordonnées connues des stations seront traitées par une analyse de la variance à deux critères de classification selon le modèle croisé aléatoire (Dagnelie 2006, § 10.3). Nous considérons que les stations sont choisies au hasard et sont représentatives de toutes les stations sur lesquelles le récepteur évalué est susceptible d'être utilisé. Il en est de même pour les dates de mesure. L'utilisation de l'analyse de la variance suppose que les erreurs accidentelles ont des distributions de probabilité normales et de variances identiques.

Le modèle mathématique du résultat d'un mesurage particulier à la mesure d'une coordonnée x à la i<sup>è</sup> date et sur la j<sup>è</sup> station peut s'écrire :

$$X_{ijk} = m_{x_i} + F_{ijk} + s + A_{ijk} \quad (1)$$

où  $X_{ijk}$  est la variable aléatoire représentant toutes les coordonnées en x qui pourraient être mesurées par le récepteur GPS,

i est l'indice de la date. Il varie de 1 à p et p = 3 dans notre expérience,

j est l'indice de la station. Il varie de 1 à q et q = 5 dans notre expérience,

k est l'indice de la répétition. Il varie de 1 à n et n = 3 dans notre expérience, pour toutes valeurs de i et de j,

$m_{x_i}$  est la moyenne théorique de la coordonnée en x, c'est-à-dire la vraie valeur de cette coordonnée en x,

$F_{ijk}$  est la variable aléatoire représentant toutes les fautes qui pourraient éventuellement être commises,

s est une erreur systématique éventuelle, identique pour toutes les mesures de coordonnées en x,

$A_{ijk}$  est la variable aléatoire représentant l'erreur accidentelle globale résultant de toutes les erreurs accidentelles possibles.

L'écart qui existe entre  $X_{ijk}$  et la moyenne théorique de la coordonnée en x est appelé l'incertitude ou l'exactitude :

$$Exactitude = F_{ijk} + s + A_{ijk} \quad (2)$$

Le même modèle peut évidemment s'écrire pour les coordonnées y et z.

La précision du mesurage est fonction de la dispersion de l'erreur accidentelle A, mesurée par l'écart-type de la distribution de probabilité de l'erreur accidentelle  $\sigma_A$ .

Les fautes proviennent d'une inattention, d'une maladresse ou d'un oubli de l'opérateur dans le mesurage ou dans les calculs appliqués au résultat du mesurage. Généralement la faute est d'un ordre de grandeur largement supérieur à l'erreur.

La justesse est fonction des valeurs de F et de s. Un mesurage est "juste" en l'absence de faute et d'erreur systématique, donc si F et s sont nulles.

L'absence de faute a été testée sur l'ensemble des 45 différences entre coordonnées mesurées et valeurs connues par un test de Grubbs (Grubbs, 1969, Stefansky, 1972, ISO 5725-2, 1994).

On suppose à ce stade que l'on peut remplacer la moyenne théorique de la coordonnée en x par la coordonnée de référence fournie par l'IGN (Belgique). Ces hypothèses permettent de réécrire le modèle mathématique de la manière suivante, en présentant l'écart entre la coordonnée en x fournie par le récepteur et la coordonnée en x supposée connue exactement de la station :

$$\Delta X_{ijk} = X_{ijk} - (x_j)_{ref} = s + A_{ijk} \quad (3)$$

Comme énoncé ci-dessus, l'erreur accidentelle  $A_{ijk}$  résulte de plusieurs composantes qui peuvent varier dans le temps et dans l'espace. On peut donc décomposer ces erreurs accidentelles de la manière suivante :

$$A_{ijk} = D_i + S_j + DS_{ij} + R_{ijk} \quad (4)$$

où  $D_i$  est la composante de l'erreur accidentelle liée à la date,  
 $S_j$  est la composante de l'erreur accidentelle liée à la station,

$DS_{ij}$  est la composante de l'erreur accidentelle liée à l'interaction existant entre l'effet de la date et celui de la station,

$R_{ijk}$  comprend toutes les composantes de l'erreur accidentelle qui ne sont liées ni à la date ni à la station.

Les valeurs observées de ces écarts sont soumises à l'analyse de la variance à deux critères de classification à savoir le critère date et le critère station.

Cette analyse de la variance permet, tout d'abord, de tester les trois hypothèses suivantes :

$$H_0 : \sigma_D^2 = 0, H'_0 : \sigma_S^2 = 0 \text{ et } H''_0 : \sigma_{DS}^2 = 0 \quad (5)$$

où  $\sigma_D^2$  est la variance de la composante de l'erreur accidentelle liée à la date,

$\sigma_S^2$  est la variance de la composante de l'erreur accidentelle liée à la station,

$\sigma_{DS}^2$  est la variance de la composante de l'erreur accidentelle liée à l'interaction existant entre l'effet de la date et celui de la station.

Si ces hypothèses sont acceptées, cela signifie que les composantes correspondantes de l'erreur accidentelle peuvent être considérées comme nulles.

Dans le cas contraire, l'évaluation de la précision du récepteur devra évidemment tenir compte des composantes qui sont considérées comme différentes de zéro.

Si la première hypothèse ( $H_0$ ) est rejetée, cela signifie que la précision du récepteur est moins bonne si on la définit pour une date quelconque que si on la quantifie pour une date unique. Il en est de même pour la deuxième hypothèse, en ce qui concerne les stations.

Le rejet de la troisième hypothèse signifie que la composante de l'erreur accidentelle liée à la date ne sera pas la même d'une station à l'autre ou que celle qui est liée à la station, ne sera pas identique d'une date à l'autre. Il faudra évidemment en tenir compte dans l'estimation de la précision du récepteur.

A partir de la somme de la variance résiduelle et des variances énoncées ci-dessus qui ne pourraient être considérées comme nulles, on pourra procéder à l'estimation de la précision du récepteur par la formule :

$$\hat{\sigma}_x = \sqrt{\hat{\sigma}_D^2 + \max[0; (\hat{\sigma}_S^2 - \hat{\sigma}_{ref}^2)] + \hat{\sigma}_{DS}^2 + \hat{\sigma}_R^2} \quad (6)$$

où  $\hat{\sigma}_D^2$  est la valeur estimée de la variance de la composante de l'erreur accidentelle liée à la date, si celle-ci doit être considérée comme différente de zéro,

$\hat{\sigma}_S^2$  est la valeur estimée de la variance de la composante de l'erreur accidentelle liée à la station, si celle-ci doit être considérée comme différente de zéro,

Sources de variation	Degrés de liberté	Somme des carrés des écarts	Carrés moyens	F
Dates	p - 1	SCE <sub>D</sub>	CM <sub>D</sub>	F <sub>D</sub> = CM <sub>D</sub> /CM <sub>DS</sub>
Stations	q - 1	SCE <sub>S</sub>	CM <sub>S</sub>	F <sub>S</sub> = CM <sub>S</sub> /CM <sub>DS</sub>
Dates-stations	(p - 1)(q - 1)	SCE <sub>DS</sub>	CM <sub>DS</sub>	F <sub>DS</sub> = CM <sub>DS</sub> /CM <sub>R</sub>
Résidus	pq(n - 1)	SCE <sub>R</sub>	CM <sub>R</sub>	
Total	pqn - 1	SCE <sub>T</sub>		

Tableau 1. Tableau de l'analyse de la variance

$\hat{\sigma}_{ref}^2$  est la variance caractérisant la précision des coordonnées de référence,

$\hat{\sigma}_{DS}^2$  est la valeur estimée de la variance de la composante de l'erreur accidentelle liée à l'interaction existant entre l'effet de la date et celui de la station si celle-ci doit être considérée comme différente de zéro,

$\hat{\sigma}_R^2$  est la valeur estimée de la variance de la composante résiduelle de l'erreur accidentelle.

Ces valeurs estimées des composantes de variance sont obtenues à partir des résultats de l'analyse de la variance, selon les expressions suivantes.

$$\hat{\sigma}_D^2 = \frac{CM_D - CM_{DS}}{n \cdot q} \quad (7)$$

$$\hat{\sigma}_S^2 = \frac{CM_S - CM_{DS}}{n \cdot p} \quad (8)$$

$$\hat{\sigma}_{DS}^2 = \frac{CM_{DS} - CM_R}{n} \quad (9)$$

$$\hat{\sigma}_R^2 = CM_R \quad (10)$$

où les termes CM sont les carrés moyens, c'est une expression propre du langage de l'analyse de variance désignant la variance. Ces CM<sub>D</sub>, CM<sub>S</sub>, CM<sub>DS</sub> et CM<sub>R</sub> sont respectivement les carrés moyens des facteurs date et station, le carré moyen de l'interaction entre ces deux facteurs et le carré moyen résiduel, extraits du tableau d'analyse de variance<sup>1</sup> (tableau 1).

A noter que les valeurs F de SNEDECOR relatives aux tests de signification des effets "dates" et "stations" sont obtenues en divisant le carré moyen correspondant par celui de l'interaction.

Les écarts-types en y et en z s'obtiennent de la même manière en procédant à l'analyse de la variance des écarts en y et en z, entre les coordonnées mesurées et les coordonnées correspondantes de référence.

Il reste à évaluer la justesse du récepteur, c'est-à-dire sa capacité à fournir des coordonnées dépourvues d'erreur systématique. Cela revient à tester la nullité de la moyenne des

(1) Les tableaux les plus courants comprennent dans leurs utilitaires le calcul de l'analyse de la variance. Il convient cependant de vérifier le bon calcul des valeurs de F.

écarts constatés entre les coordonnées mesurées par le récepteur et les coordonnées de référence, considérées comme connues et justes, des stations utilisées dans les mesurages. Les coordonnées de référence sont considérées comme exactes si elles sont mesurées avec une précision largement supérieure à la précision du récepteur en question. Il n'en est évidemment pas ainsi dans notre expérience puisque l'écart-type caractérisant leur estimation par l'IGN est de l'ordre du centimètre, soit du même ordre de grandeur que la précision présumée des coordonnées livrées par le récepteur. Elles ne peuvent donc évidemment pas être considérées comme exactes, c'est-à-dire connues sans erreur d'aucune sorte. La justesse des coordonnées mesurées ne peut être testée dans ce cas. On peut cependant examiner si ces coordonnées mesurées diffèrent significativement des coordonnées de référence. Pour ce faire, on procède à un test d'égalité entre les coordonnées mesurées et les coordonnées de référence en calculant la moyenne des écarts entre les coordonnées en x mesurées et les coordonnées en x de référence par la formule :

$$\bar{\Delta}_x = \frac{1}{npq} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q \sum_{k=1}^n [x_{ijk} - (x_i)_{ref}] \quad (11)$$

Le récepteur pourra être considéré comme juste si la moyenne des écarts entre les coordonnées mesurées et les coordonnées de référence est nulle, ce qui correspond à poser comme hypothèse à tester :

$$H_0 : m_{\Delta x} = 0 \quad (12)$$

Nous vérifions ainsi que le récepteur donne des coordonnées qui ne diffèrent pas significativement des coordonnées de référence calculées par l'IGN.

Un test de conformité de la moyenne des différences peut répondre à cette question. Il se réalise en calculant la valeur :

$$t_{obs} = \frac{|\bar{\Delta}_x|}{\sqrt{\hat{\sigma}_{\Delta x}^2}} \quad (13)$$

qui est une valeur observée de la variable t de Student dont le nombre de degrés de liberté dépend des composantes de variances dont la signification a été mise en évidence par l'analyse de la variance. Les nombres de degrés de liberté correspondants aux diverses situations (Cochran, 1951) sont présentés dans le tableau 2.

La variance de la moyenne des différences peut se calculer par l'expression :

$$\hat{\sigma}_{\Delta x}^2 = \frac{\hat{\sigma}_D^2}{p} + \frac{\hat{\sigma}_S^2}{q} + \frac{\hat{\sigma}_{DS}^2}{pq} + \frac{\hat{\sigma}_R^2}{pqn} \quad (14)$$

En tenant compte des composantes de variance des coordonnées mesurées par le récepteur, dans la mesure où elles sont considérées comme différentes de zéro, et de la variance des coordonnées de référence, cette variance peut se calculer plus simplement à partir des carrés moyens du tableau d'analyse de variance par les expressions présentées au tableau 2. L'hypothèse de justesse du récepteur est rejetée si la probabilité d'observer une valeur de la variable t de Student supérieure à  $t_{obs}$  est inférieure au niveau de signification choisi pour ce test et qui est habituellement de 5 %.

Composantes de variances non nulles	$\hat{\sigma}_{\Delta x}^2$	Nombres de degrés de liberté
$\sigma_D^2$	$\frac{CM_D}{pqn}$	p - 1
$\sigma_S^2$	$\frac{CM_S}{pqn}$	q - 1
$\sigma_{DS}^2$	$\frac{CM_{DS}}{pqn}$	(p-1)(q-1)
$\sigma_D^2$ et $\sigma_S^2$	$\frac{CM_D + CM_S - CM_{DS}}{pqn}$	$\frac{(CM_D + CM_S - CM_{DS})^2}{\frac{CD_D^2}{(p-1)} + \frac{CD_S^2}{(q-1)} - \frac{CD_{DS}^2}{(p-1)(q-1)}}$
$\sigma_D^2$ et $\sigma_{DS}^2$	$\frac{CM_D}{pqn}$	(p-1)
$\sigma_S^2$ et $\sigma_{DS}^2$	$\frac{CM_S}{pqn}$	(q-1)
$\sigma_D^2$ , $\sigma_S^2$ et $\sigma_{DS}^2$	$\frac{CM_D + CM_S - CM_{DS}}{pqn}$	$\frac{(CM_D + CM_S - CM_{DS})^2}{\frac{CD_D^2}{(p-1)} + \frac{CD_S^2}{(q-1)} - \frac{CD_{DS}^2}{(p-1)(q-1)}}$

**Tableau 2.** Nombres de degrés de liberté de la variable t de Student en fonction des composantes de variance à considérer comme différentes de zéro (le résultat de la fraction doit être arrondi à l'unité supérieure).

Le rejet de cette hypothèse implique donc la présomption de l'existence d'une erreur systématique dans les coordonnées fournies par ce récepteur, dont la valeur peut être estimée à  $\bar{\Delta}_x$ .

## Résultats

### Mesures

Les mesurages ont été effectués les 18 et 31 juillet et le 17 août 2007. La distance maximale séparant deux des cinq stations est de 7.555 km. Les distances séparant les cinq stations des trois stations de référence du système Walcors les plus proches varient respectivement entre 11 et 17 km, 12 et 17 km et 32 et 38 km.

Paramètre	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$
Minimum (cm)	-1,5	-7,7	-5,9
Maximum (cm)	3,8	5,2	8,6
Moyenne (cm)	1,08	0,08	0,34
Ecart-type estimé (cm)	1,26	3,03	4,35
Grubbs (minimum)	2,041	2,569	1,436
Grubbs (maximum)	2,159	1,692	1,901

**Tableau 3.** Paramètres descriptifs résumant les 45 écarts calculés entre les coordonnées mesurées par GPS et les coordonnées de référence (trois dates x cinq stations x trois répétitions) et valeurs du test de Grubbs.



Source de variation	Degrés de liberté	Carrés moyens	F <sub>obs</sub>	Probabilité
<b>Analyse de variance des écarts en x</b>				
Dates	2	0.600889	0,2780	0,7643
Stations	4	10.195222	4,7162	0,0300
Dates-stations	8	2.161722	6,0011	0,0001
Résidus	30	0.360222		
<b>Analyse de variance des écarts en y</b>				
Dates	2	1.238222	0,2182	0,8086
Stations	4	74.855000	13,1938	0,0013
Dates-stations	8	5.673500	3,0365	0,0127
Résidus	30	1.868444		
<b>Analyse de variance des écarts en z</b>				
Dates	2	4.820667	0,4336	0,6626
Stations	4	156.985333	14,1187	0,0011
Dates-stations	8	11.119000	3,1917	0,0097
Résidus	30	3.483778		

**Tableau 4.** Analyses de variance des écarts en x, en y et en z, entre coordonnées mesurées et coordonnées de référence.

Le tableau n° 3 présente les paramètres descriptifs résumant les 45 écarts calculés entre les coordonnées mesurées par GPS et les coordonnées de référence (trois dates x cinq stations x trois répétitions). Dans les deux dernières lignes de ce tableau sont présentées les valeurs de la statistique de Grubbs relative à la détection de fautes éventuelles. Ces valeurs étant inférieures à la valeur limite de cette statistique (approximativement 3,09 avec un niveau de signification de 5 %), on peut en conclure qu'il n'y a pas eu de faute dans ce mesurage.

### ■ Précision

Le tableau 4 présente les résultats des analyses de variance pratiquées sur les écarts en x, en y et en z, entre coordonnées mesurées et coordonnées de référence (exprimés en cm). La composante de variance associée au facteur date n'est pas significativement différente de zéro pour les trois coordonnées (probabilité supérieure au niveau de signification choisi, soit 0,05). Par contre, les composantes de variance associées

	x	y	z
$\hat{\sigma}_s^2$ (cm <sup>2</sup> )	0.89	7.69	16.21
$\hat{\sigma}_{GN}^2$ (cm <sup>2</sup> )	1.56	1.56	1.56
Max {0 ; ( $\hat{\sigma}_s^2 - \hat{\sigma}_{GN}^2$ )}	0.00	6.12	14.64
$\hat{\sigma}_{DS}^2$ (cm <sup>2</sup> )	0.60	1.27	2.55
$\hat{\sigma}_R^2$ (cm <sup>2</sup> )	0.36	1.87	3.48
$\hat{\sigma}_X^2$ (cm <sup>2</sup> )	0.96	9.26	20.67
$\hat{\sigma}_X$ (cm)	1.0	3.0	4.5

**Tableau 5.** Composantes de variance et précision du récepteur GPS utilisé.

Moyenne des écarts (cm)	1,08	0.08	0,34
Variance estimée de la moyenne des écarts (cm <sup>2</sup> )	0.2266	1.6634	3.4886
t <sub>obs</sub>	2.26	0.06	0.18
Nombre de degrés de liberté	4	4	4
Probabilité t <sub>obs</sub>	0.0867	0.9548	0.8644

**Tableau 6.** Évaluation de la justesse du récepteur GPS

au facteur station et à l'interaction entre les stations et les dates sont significativement différentes de zéro (probabilité inférieure au niveau de signification choisi, soit 0,05). Les erreurs de mesurage semblent donc indépendantes de la date de mesure. Elles varient par contre d'une station à l'autre et ces variations ne sont pas stables dans le temps.

A partir de ces résultats, on peut calculer les composantes de variances non nulles ainsi que l'écart-type caractérisant la précision du récepteur GPS utilisé. Ces résultats sont présentés dans le tableau 5. La variance caractérisant les erreurs d'estimation des coordonnées de référence a été calculée en considérant un écart-type moyen de 0,0125 m.

On peut donc déduire de ce tableau que la précision du récepteur GPS utilisé est quantifiée par des valeurs de l'écart-type de 1,0, 3,0 et 4,5 cm, respectivement en x, y et z.

### ■ Justesse

Le tableau 6 présente le test de conformité vérifiant la justesse du récepteur GPS utilisé.

Les probabilités d'observer ces valeurs de t<sub>obs</sub> étant supérieures au niveau de signification choisi (0,05), on peut considérer que la moyenne des écarts existant entre les coordonnées mesurées par le récepteur GPS utilisé et les coordonnées de référence est nulle tant en x qu'en y et en z. On peut donc en conclure que ce récepteur livre des coordonnées qui sont en moyenne égales aux coordonnées de référence. Pratiquement cela revient à considérer ce récepteur comme étant juste.

## Conclusions

La répétition du mesurage par un récepteur GNSS, à trois dates différentes, sur cinq stations de référence de coordonnées fournies par l'IGN et à trois reprises indépendantes a permis de quantifier la précision de ce récepteur et d'en valider la justesse. Il résulte de ces mesures, traitées par une analyse de variance, que ce récepteur peut être considéré comme juste et caractérisé par une précision, exprimée en écart-type, de 1,0, 3,0 et 4,5 cm, respectivement en x, y et z. ●

## Contacts

**Charles DEBOUCHE – Katia BERGHMANS –**

**Jean-Jacques CLAUSTRIAUX**

Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux,  
Passage des Déportés, 2 à 5030 Gembloux - Belgique  
debouche.c@fsagx.ac.be

## Bibliographie

**BONIN G. (2001).** *Système GPS de positionnement par satellite*. Les Techniques de l'Ingénieur (réf. du 12/9/2006). Disponible sur World Wide Web : <http://www.techniques-ingenieur.fr/affichage/DisplIntro.asp?nGcmId=te6715>

**CEN - COMITE EUROPEEN DE NORMALISATION (1999).** *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*. AFNOR : NF ENV 13005, 105 p.

**COCHRAN W.G. (1951).** *Testing a linear relation among variances*. Biometrics 7, 17-32.

**DAGNELIE P. (2006).** *Statistique théorique et appliquée*. Tome 2 : Inférence statistique à une et à deux dimensions. Paris et Bruxelles : De Boeck & Larcier. 734 p.

**DUQUENNE F., BOTTON S., PEYRET F., BÉTAILLE D. et WILLISP. (2005).** *GPS : Localisation et navigation par satellite*. Paris Lavoisier, 330 p.

**GRUBBS F. E. (1969).** *Procedure for detecting outlying observations in samples*. Technometrics, 14, 1-21.

**IGN (2007).** *Points planimétriques et altimétriques* (réf. du 13/9/2007). Disponible sur World Wide Web : <http://www.ign.be/FR/FR1-7.shtm>

**ISO 5725-1 (1994).** *Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure - Partie 1 : Principes généraux et définitions*.

**ISO 5725-2 (1994).** *Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure - Partie 2 : Méthode de base pour la détermination de la répétabilité et de la reproductibilité d'une méthode de mesure normalisée*.

**ISO 7078 (1985).** *Construction immobilière - Procédés pour l'implantation, le mesurage et la topométrie - Vocabulaire et notes explicatives*.

**KASSER M. (2001).** *Le GPS : utilisation en positionnement et surveillance*. Les Techniques de l'Ingénieur, (réf. du 12/9/2006). Disponible sur World Wide Web : <http://www.techniques-ingenieur.fr/affichage/DisplIntro.asp?nGcmId=r1384>

**LAMBOT P. (2005).** *BeRef & Projection Lambert Liège - Techniques de positionnement* 1/10/2005, 11 p.

**STEFANSKY W. (1972).** *Rejecting outliers in factorial designs*. Technometrics, 14, 469-479.

**Walcors (2007).** *Réseau permanent de stations GPS de référence*. (réf. du 13/9/2007).

Disponible sur World Wide Web : <http://gps.wallonie.be/>

## ABSTRACT

**Key words:** GPS receiver, accuracy, trueness, precision, analysis of variance (ANOVA).

*A method is proposed to determine the accuracy of a GPS receiver. This accuracy consists of the trueness of the receiver (absence of systematic error) and its precision (effect of unavoidable accidental errors).*

*This method consists in using the GPS receiver to perform, at different dates, the measurement of coordinates of some stations of known coordinates. The discrepancies between the coordinates measured and the "known" coordinates of these stations are submitted to an two-way analysis of variance.*

*This one permits to verify if accidental errors are or not independant of the dates and stations of measurement. The results of this analysis of variance allow to value the precision of the receiver therefore. They also allow to test its trueness.*

### Olivier Reis

Ingénieur géomètre-topographe ENSAI Strasbourg  
Diplômé de l'Institut de traducteurs et d'interprètes (ITI) de Strasbourg  
9, rue des Champs F-57200 SARREGUEMINES  
Téléphone : 03 87 98 57 04 Télécopie : 03 87 98 57 04 E-mail : [o.reis@infonie.fr](mailto:o.reis@infonie.fr)

Pour toutes vos traductions d'allemand et d'anglais en français en  
**topographie - géodésie - photogrammétrie - SIG - cartographie - GPS**

### Reinhart Stölzel

Ingénieur géomètre-topographe  
Interprète diplômé de la Chambre de commerce et d'industrie de Berlin  
Heinrich-Heine-Strasse 17, D-10179 BERLIN  
Téléphone : 00 49 30 97 00 52 60 Télécopie : 00 49 30 97 00 52 61 E-mail : [reinhart.stoelzel@eplus-online.de](mailto:reinhart.stoelzel@eplus-online.de)

Pour toutes vos traductions de français et d'anglais en allemand en  
**topographie - géodésie - SIG - GPS - chemin de fer - routes**

### Paul Newby

Membre de la Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS)  
Diplômé des universités de Cambridge (géographie) et de Londres (photogrammétrie)  
9 Merrytree Close, West Wellow, Romsey, Hants SO51 6RB GB  
Téléphone : 00 44 1794 322 993 Télécopie : 00 44 1794 324 354 E-mail : [paulnewby@onetel.net.uk](mailto:paulnewby@onetel.net.uk)

Pour toutes vos traductions de français en anglais en  
**topographie - géodésie - GPS - SIG - cartographie - photogrammétrie - télédétection**

*Des topographes traducteurs à votre service*