

## RECOMMANDATION UIT-R TF.1153-1

**UTILISATION OPÉRATIONNELLE DU TRANSFERT BIDIRECTIONNEL  
DE SIGNAUX HORAIRE ET DE FRÉQUENCES ÉTALON PAR SATELLITE  
AU MOYEN DE CODES DE PSEUDO-BRUIT**

(Question UIT-R 201/7)

(1995-1997)

L'Assemblée des radiocommunications de l'UIT,

*considérant*

- a) la grande précision offerte par la technique de transfert bidirectionnel par satellite de signaux horaires et de fréquences étalon (TWSTFT) que mentionne la Question UIT-R 201/7;
- b) qu'il est établi que les systèmes TWSTFT utilisant des satellites de télécommunication dans les bandes 14/11 et 14/12 GHz sont très performants;
- c) que d'autres bandes de fréquences sont de plus en plus utilisées;
- d) qu'il est établi que les systèmes TWSTFT donnent de bons résultats d'étalonnage temporel;
- e) que l'on dispose de bases théoriques applicables au calcul des corrections de l'effet du temps de propagation dans la troposphère et l'ionosphère, de l'effet Sagnac et d'autres facteurs de réciprocité;
- f) que le nombre de participants est en augmentation;
- g) qu'il est nécessaire de normaliser:
  - les procédures de mesure,
  - le traitement des données,
  - le format d'échange bilatéral des données et des informations utiles,

*recommande*

- 1** d'adopter pour le transfert précis des signaux horaires et des fréquences étalon des procédures de mesure et de traitement des données conformes aux procédures définies dans l'Annexe 1;
- 2** d'incorporer dans le format d'échange bilatéral des données utiles les informations rassemblées dans l'Annexe 2.

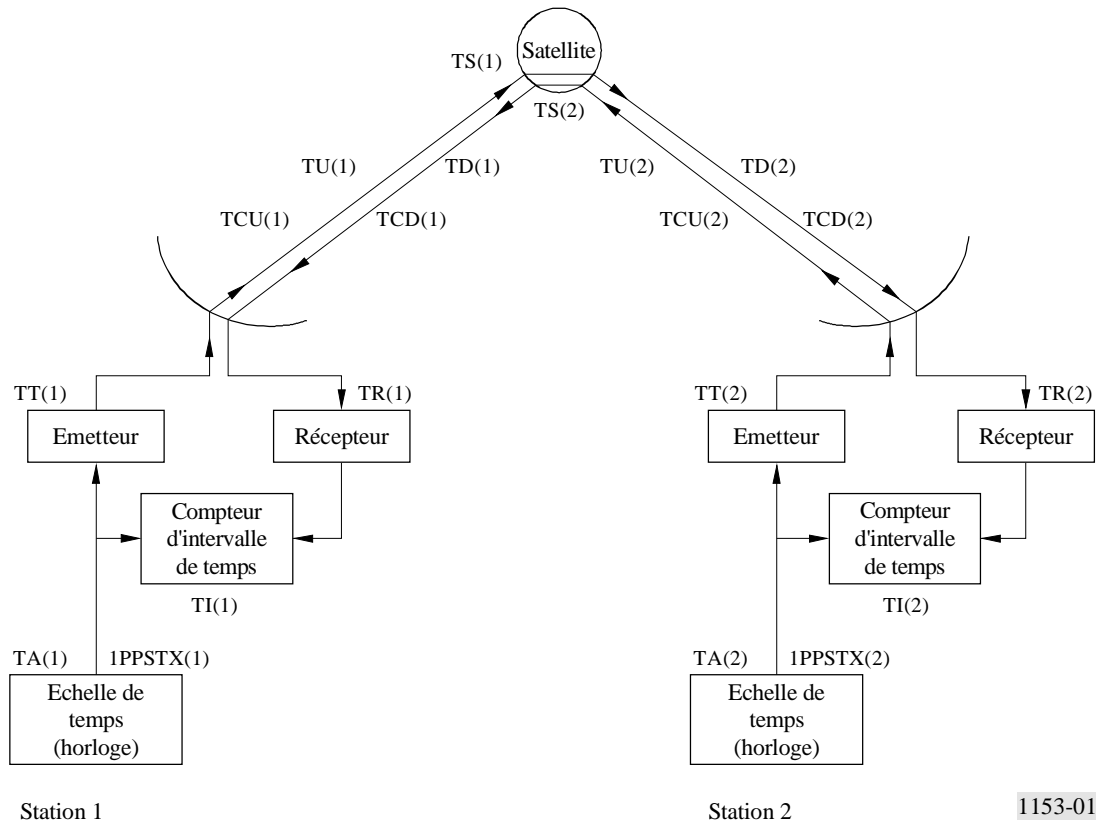
## ANNEXE 1

**Procédures TWSTFT****1 Introduction**

Les liaisons radioélectriques peuvent être utilisées pour transférer les signaux horaires d'une horloge à l'autre. Toutefois, sur ces liaisons, le temps de propagation des signaux varie en fonction de la distance, des conditions de l'ionosphère et de la troposphère, de la température, de la conductivité de la Terre, etc. Le système bidirectionnel permet d'annuler les effets de ces variations: les signaux horaires sont transmis simultanément par deux horloges, l'une vers l'autre, et à chaque extrémité, le signal reçu de l'autre horloge est mesuré. Les données mesurées sont alors échangées, et l'on calcule le décalage entre les deux horloges. L'annulation des écarts est assurée par la totale réciprocité des trajets des signaux. Pour obtenir des résultats précis, il faut savoir quand la réciprocité n'est pas parfaite, et être en mesure de procéder aux corrections nécessaires.

FIGURE 1

## Principe du TWSTFT



1153-01

La Fig. 1 indique de quelle manière on calcule l'écart de temps entre les horloges des stations 1 et 2.

TA(k): échelle de temps au point de référence 1PPSTX de la station k, où k désigne le numéro de la station

TI(k): lecture de l'intervalle de temps

TT(k): retard dû à l'émetteur, retard du modem inclus

TR(k): retard dû au récepteur, retard du modem inclus

TU(k): temps de propagation sur la liaison montante

TD(k): temps de propagation sur la liaison descendante

TS(k): retard dû au satellite

TCU(k): correction de l'effet Sagnac sur la liaison montante

TCD(k): correction de l'effet Sagnac sur la liaison descendante.

La différence entre l'échelle de temps (1PPSTX) de la station 2 et l'échelle de temps (1PPSTX) de la station 1 est donnée par  $TA(1) - TA(2)$  et est calculée comme suit.

La lecture du compteur d'intervalle de temps (CIT) au niveau de la station 1 donne:

$$TI(1) = TA(1) - TA(2) + TT(2) + TU(2) + TCU(2) + TS(2) + TD(1) + TCD(1) + TR(1)$$

La lecture du CIT au niveau de la station 2 donne:

$$TI(2) = TA(2) - TA(1) + TT(1) + TU(1) + TCU(1) + TS(1) + TD(2) + TCD(2) + TR(2)$$

En soustrayant l'expression obtenue pour la station 2 de celle obtenue pour la station 1, on obtient:

$$TI(1) - TI(2) = 2 \cdot TA(1) - 2 \cdot TA(2) + TT(2) - TT(1) + TU(2) - TU(1) + TS(2) - TS(1) \\ + TD(1) - TD(2) + TR(1) - TR(2) + TCD(1) - TCU(1) - TCD(2) + TCU(2)$$

L'écart entre les échelles de temps est donné par:

$$\begin{aligned}
 TA(1) - TA(2) = & \quad 1/2[TI(1)] && (= \text{lecture du CIT au niveau de la station 1}) \\
 & -1/2[TI(2)] && (= \text{lecture du CIT au niveau de la station 2}) \\
 & +1/2[TS(1) - TS(2)] && (= \text{retard dû au satellite}) \\
 & +1/2[TU(1) - TD(1)] && (= \text{différence montante/descendante à la station 1}) \\
 & -1/2[TU(2) - TD(2)] && (= \text{différence montante/descendante à la station 2}) \\
 & +1/2[TT(1) - TR(1)] && (= \text{décalage entre l'émission et la réception au niveau de la station 1}) \\
 & -1/2[TT(2) - TR(2)] && (= \text{décalage entre l'émission et la réception au niveau de la station 2}) \\
 & -1/2[TCD(1) - TCU(1)] && (= \text{correction de l'effet Sagnac pour la station 1, y compris correction} \\
 & && \quad \text{du mouvement du satellite}) \\
 & +1/2[TCD(2) - TCU(2)] && (= \text{correction de l'effet Sagnac pour la station 2, y compris correction} \\
 & && \quad \text{du mouvement du satellite}).
 \end{aligned}$$

Les sept derniers termes représentent les corrections de non-réciprocité. Les corrections peuvent être déterminées et regroupées par station. Chaque station échange à la fois les données TI(k) et le calcul de ses propres corrections avec l'autre station.

Les facteurs de non-réciprocité sont traités ci-après de façon plus détaillée.

## 2 Non-réciprocité due aux retards introduits par les équipements des satellites

Si le satellite utilise la même fréquence, la même antenne de réception, le même canal de répéteur et la même antenne d'émission, alors  $TS(1) = TS(2)$ .

Il en est autrement lorsque, à chaque station, des fréquences, des répéteurs ou des faisceaux ponctuels différents sont utilisés pour la réception et/ou les émissions de chaque station, comme dans le cas par exemple des satellites Intelsat qui assurent les liaisons transatlantiques. Dans ce cas, la mesure de  $TS(1)$  et  $TS(2)$  ou du moins de la différence  $TS(1) - TS(2)$  doit être effectuée avant le lancement du satellite, ou au moyen d'une autre méthode précise de transfert de signaux horaires.

## 3 Correction de l'effet Sagnac

Compte tenu du déplacement des stations terriennes et du satellite, dû à la rotation de la Terre sur son axe, le temps de propagation Terre-satellite et satellite-Terre d'un signal horaire doit être corrigé. Pour une propagation unidirectionnelle entre le satellite s et la station k, cette correction de l'effet Sagnac s'écrit:

$$TCD(k) = (\Omega/c^2) \times [Y(k) \times X(s) - X(k) \times Y(s)]$$

où:

$\Omega$ : vitesse de rotation de la Terre =  $7,2921 \times 10^{-5}$  rad/s

$c$ : vitesse de la lumière = 299 792 458 m/s

$X(k)$ : coordonnée géocentrique x de la station (m)

$$= r \cos[LA(k)] \times \cos[LO(k)]$$

$X(s)$ : coordonnée géocentrique x du satellite (m)

$$= R \cos[LA(s)] \times \cos[LO(s)]$$

$Y(k)$ : coordonnée géocentrique y de la station (m)

$$= r \cos[LA(k)] \times \sin[LO(k)]$$

$Y(s)$ : coordonnée géocentrique y du satellite (m)

$$= R \cos[LA(s)] \times \sin[LO(s)]$$

$r$ : rayon de la Terre = 6 378 140 m

$R$ : rayon de l'orbite du satellite = 42 164 000 m

LA: latitude

LO: longitude.

Pour les satellites géostationnaires  $LA(s) = 0$ , d'où  $TCD(k) = (\Omega/c^2) \times R \times r \times \cos[LA(k)] \times \sin[LO(k)] - LO(s)$ .

Correction Sagnac globale  $TC(12)$  à appliquer à l'horloge de la station 1 prise comme référence de mesure de l'horloge de la station 2:

$$TC(12) = 1/2(TCU(1) + TCD(2) - [TCU(2) + TCD(1)])$$

Sur les deux liaisons, les corrections Sagnac sont de signes opposés, puisque les signaux sont de sens contraires:  $TCU(k) = -TCD(k)$ , d'où  $TC(12) = -TCD(1) + TCD(2)$ .

Exemple pour un satellite à  $307^\circ$  E:

$LA(VSL) = 52^\circ$  N,  $LO(VSL) = 4^\circ$  E,  $LO(\text{sat}) = 307^\circ$  E, différence de  $LO = 57^\circ$ ,  $TCD(VSL) = +112,42$  ns

$LA(USNO) = 39^\circ$  N,  $LO(USNO) = 283^\circ$  E,  $LO(\text{sat}) = 307^\circ$  E, différence de  $LO = -24^\circ$ ,  $TCD(USNO) = -68,83$  ns

$TC(VSL \rightarrow USNO): -TCD(VSL) + TCD(USNO) = -181,25$  ns

$TC(USNO \rightarrow VSL): -TCD(USNO) + TCD(VSL) = +181,25$  ns

VSL: NMI Van Swinden Laboratory, Delft, Pays-Bas

USNO: US Naval Observatory, Washington DC, Etats-Unis d'Amérique.

#### 4 Effets d'asymétrie dus au mouvement du satellite dans une configuration terrestre fixe

Les trajets bidirectionnels entre stations terriennes via le satellite ne sont pas symétriques lorsque le satellite se déplace par rapport à la Terre et lorsque les deux signaux reçus ne passent pas par le satellite au même instant. Cet effet peut être compensé par une légère correction temporelle ( $< 17$  ms) à l'émission. Sans compensation, les erreurs de synchronisation pourraient se chiffrer à presque 1 ns et il faudrait alors calculer les corrections nécessaires.

#### 5 Correction ionosphérique

A chaque station, les signaux des liaisons montante et descendante varient en fréquence porteuse et présentent une différence de temps de propagation ionosphérique égale à:

$$40,3 \text{ CET } (1/c) (1/f_d^2 - 1/f_u^2)$$

où:

CET: concentration électronique totale sur le trajet du signal

$c$ : vitesse de la lumière

$f_d$  et  $f_u$ : fréquences des liaisons montante et descendante.

Exemple: pour une CET élevée de  $1 \times 10^{18}$  électrons/m<sup>2</sup> et pour  $f_u = 14,5$  et  $f_d = 12,5$  GHz, cet écart est égal à  $0,859$  ns –  $0,639$  ns soit  $0,220$  ns. La correction correspondant à  $1/2[TU(k) - TD(k)]$  est donc typiquement plus petite que  $-0,11$  ns.

#### 6 Correction troposphérique

La troposphère engendre un retard qui dépend de l'angle d'élévation, de l'hypsométrie, de la densité de l'air et de la température, mais jusqu'à 20 GHz ce retard ne dépend pas de la fréquence: son effet sur les temps de propagation dans les liaisons montante et descendante est identique et aucune correction n'est nécessaire.

#### 7 Mesure du retard dû aux équipements de la station terrienne

L'écart observé entre l'étape d'émission et l'étape de réception  $[TT(k) - TR(k)]$  y compris les convertisseurs élévateurs et abaisseurs de fréquence, le modulateur et le démodulateur (modem), les alimentations, le câblage, etc., doit être déterminé pour chaque station. A cette fin, on peut:

- placer les deux stations au même endroit; ou
- placer au même endroit que chacune des deux stations, une troisième station terrienne (transportable);
- utiliser un simulateur de satellite et un câble étalonné.

La dernière méthode est la moins onéreuse et peut être utilisée fréquemment. Il s'agit d'étalonner un câble auxiliaire, de mesurer la somme des temps de propagation à l'émission et à la réception, de mesurer la somme du retard introduit par le câble auxiliaire et du temps de propagation en réception et enfin de calculer à partir de ces mesures les temps de propagation à la réception et à l'émission.

Le retard interne émission/réception caractéristique de chaque modem doit également être déterminé. A cette fin, on peut:

- placer les modems au même endroit et mesurer la somme du retard de propagation à l'émission d'un modem et du retard de propagation à la réception de l'autre;
- mesurer la somme des retards de propagation à l'émission et à la réception en connectant le signal de sortie FI au signal d'entrée FI de chaque modem. L'intervalle de temps entre l'impulsion seconde (repère seconde) et l'inversion de phase du signal de sortie FI modulé en phase est mesurée, à l'aide d'un oscilloscope par exemple. Le retard de propagation à la réception est alors la différence entre le retard de propagation à l'émission et la somme mesurée des temps de propagation.

## 8 Traitement des données

Pour déterminer la différence entre les temps UTC(k) des deux laboratoires considérés, on doit mesurer avec soin et noter les retards observés dans la chaîne temporelle de l'un et l'autre. Dans certains laboratoires, le temps UTC(k) est une échelle de temps mathématique. Tous les laboratoires disposent d'une horloge de référence (horloge(k)) qui est la représentation physique de cette échelle de temps. Chaque laboratoire dresse un tableau de correspondances entre les valeurs mesurées par l'horloge de référence et l'échelle de temps [UTC(k) – horloge(k)]. Le signal de l'horloge(k) peut être appliqué à l'entrée réf(k) du modem qui génère le code de pseudo-bruit. Il existe un retard [horloge(k) – réf(k)] introduit par le câblage de connexion entre l'horloge(k) et le modem. Le modem génère une sortie d'impulsions secondes 1PPSTX liée au signal émis qui permet de mesurer la différence [réf(k) – 1PPSTX(k)] par rapport à réf(k).

Pour calculer la différence entre les échelles de temps UTC des deux laboratoires à partir de [TA(1) – TA(2)] (voir le § 1), on procède comme suit:

$$\begin{aligned}
 \text{UTC}(1) - \text{UTC}(2) &= \text{TA}(1) - \text{TA}(2) \\
 &\quad - [\text{UTC}(1) - \text{horloge}(1)] \\
 &\quad - [\text{horloge}(1) - \text{réf}(1)] \\
 &\quad - [\text{réf}(1) - 1\text{PPSTX}(1)] \\
 &\quad + [\text{UTC}(2) - \text{horloge}(2)] \\
 &\quad + [\text{horloge}(2) - \text{réf}(2)] \\
 &\quad + [\text{réf}(2) - 1\text{PPSTX}(2)]
 \end{aligned}$$

## 9 Détermination de la précision et de la stabilité du résultat

Il convient de se conformer aux directives générales du «Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure» de l'Organisation internationale de normalisation (1993), ainsi qu'aux procédures de détermination de la qualité décrites dans la Recommandation UIT-R TF.538.

## 10 Caractéristiques de qualité de fonctionnement des stations terriennes

Deux niveaux de qualité et de fonctionnement des stations terriennes doivent être pris en compte pour les transferts bidirectionnels de signaux horaires. Il s'agit en premier lieu de respecter les conditions de base imposées par le modem, de manière à ne pas dépasser en sortie la valeur de gigue de phase prescrite. Le second niveau concerne les caractéristiques de qualité de fonctionnement de la station terrienne, spécifiées par les organisations de réglementation.

Le seul respect des dispositions réglementaires ne suffit pas à garantir le bon fonctionnement d'un système bidirectionnel. Ce n'est que lorsque le rapport  $C/N_0$  et le niveau de la porteuse  $C$  requis sont obtenus au niveau du modem que l'on peut obtenir des résultats satisfaisants. Les paramètres de fonctionnement sont déterminés d'après un bilan de liaison. A partir du bilan de liaison, on peut calculer la dimension d'antenne, la puissance d'émission et la température de bruit du système de réception nécessaire. Le bilan de liaison peut être déterminé d'après les indications et les exemples donnés au § 2.2 et à l'Annexe II du Manuel du CCIR sur les télécommunications par satellite (Service fixe par satellite), Genève, 1988.

Les prescriptions réglementaires sont généralement établies par les services administratifs chargés de la gestion du spectre électromagnétique au niveau national et international et les opérateurs de systèmes à satellites. Ce sont d'ailleurs souvent les règles et règlements qui dictent les divers paramètres d'exploitation des stations terriennes – emplacement, date de mise en service, qualité de fonctionnement, régime d'exploitation, etc. Ces règles et règlements ont pour objet de garantir que les stations terriennes ne brouilleront pas d'autres stations ou satellites voisins. Les aspects traités sont habituellement les diagrammes de rayonnement des antennes, les gains d'antenne, les rapports  $G/T$ , les p.i.r.e. et les critères de discrimination de polarisation ainsi que la formation et la qualification du personnel d'exploitation. Pour l'essentiel, les questions techniques concernant la station terrienne ne se posent pas lorsque l'on s'adresse à des fabricants qui ont déjà homologué leurs équipements pour des systèmes et des normes spécifiques.

Les normes de qualité de fonctionnement électrique sont généralement définies dans les publications suivantes: Recommandations UIT-R S.580 et UIT-R S.465; Règle 25-209 de l'US FCC Code of Federal Regulations, Titre 47, Parties 20-39; Normes INTELSAT C (IESS-203), E (IESS-205), G (IESS-601) et Z (IESS-602) applicables aux stations terriennes. Dans certaines régions du monde, d'autres spécifications peuvent s'appliquer aux systèmes à satellites, aux emplacements, à la classification des utilisateurs, et à d'autres critères.

## ANNEXE 2

### Format d'échange de données

#### 1 Introduction

Un fichier de données comprend tout d'abord un en-tête qui doit contenir toutes les données supposées constantes pendant la mesure. Les lignes suivantes contiennent toutes les données variables. On distingue deux types de données: celles qui sont expérimentales, et celles qui sont opérationnelles. Par exemple, les données de mesure de la seconde sont utilisées à des fins expérimentales et les résultats obtenus après un lissage quadratique appliqué à l'ensemble des mesures individuelles sont utilisés à des fins opérationnelles.

#### 2 Informations requises

##### 2.1 Identification de la station et caractères, codes et décalages de fréquences assignés

Les stations participantes seront identifiées au moyen d'un caractère ASCII et des codes de pseudo-bruit ainsi qu'un décalage de fréquence porteuse net leur seront affectés.

Voir le Tableau 1 comme exemple.

TABLEAU 1

Désignation du laboratoire (caractère ASCII)	Code d'émission (MITREX)	Décalage net de porteuse (kHz par rapport à la fréquence centrale)
A	0	-20
B	1	0
C	2	+20
D	3	-40
E	4	+40
F	5	+60
G	6	+80
H	7	-80

## 2.2 Paramètres de mesure

Le plan de session de mesure rassemblera les informations suivantes:

- identification du satellite: désignation, longitude, paramètres orbitaux, canal de répéteur, caractéristique de non-réciprocité,
- désignations des stations,
- codes d'émission et de réception,
- bilan de liaison,
- fréquences d'émission et de réception des stations terriennes,
- nom de l'opérateur,
- date et heure de début,
- temps de préparation de chaque session (égal au silence entre deux sessions successives),
- durée de chaque session,
- modalités d'échange des fichiers de données générés.

## 2.3 Paramètres des stations(k) terriennes locales

Chaque station doit conserver sur fichier les informations suivantes:

- coordonnées de l'antenne (x, y, z dans le cadre de référence terrestre IERS),
- indicatif de station terrienne,
- puissance d'émission (p.i.r.e.) (W),
- rapport  $G/T$  du récepteur,
- modem: fabricant, modèle, type, numéro de série,
- compteur de l'intervalle de temps: fabricant, type, numéro de série,
- antenne: fabricant, type, diamètre, gain,
- étalonnage temporel: date, méthode employée, résultats obtenus,
- données facultatives: enregistrement, retards émission/réception, rapport  $C/N_0$ , conditions d'utilisation de l'antenne (température, humidité, pression barométrique, conditions météorologiques).

Toute modification des paramètres ou de l'équipement sera signalée.

## 3 Format des données

### 3.1 Observations générales

Les conventions et symboles exposés ci-dessous s'appliquent entièrement au format de données décrit au § 3.2 et partiellement au format de données décrit au § 3.3.

LAB:	identification du laboratoire (par exemple, selon la convention adoptée par le Bureau international des poids et mesures (BIPM))
jjjjj:	date julienne modifiée
hh:	heure UTC
mm:	minute UTC
ss:	seconde UTC
L:	caractère ASCII désignant le laboratoire local
R:	caractère ASCII désignant le laboratoire distant
*:	indication du début d'une ligne de texte
S:	indication du signe de la valeur qui suit
[ ]:	désignation d'une option
:	désignation d'un choix
0.nnnnnnnnnnn:	valeur d'un intervalle de temps (s) (12 décimales = résolution d'1 ps).

## DÉSIGNATION DU FICHIER DE DONNÉES:

Ljjjjjhh.mmR

où jjjjj, hh, mm donnent la date nominale UTC de début de la session TWSTFT.

## EN-TÊTE:

```
*      Ljjjjjhh.mmR
*      UTC (LAB) – HORLOGE = S0.nnnnnnnnnnn [jjjjj hhmmss]
*      HORLOGE – 1PPSREF   = S0.nnnnnnnnnnn [jjjjj hhmmss]
*      1PPSREF – 1PPSTX    = S0.nnnnnnnnnnn [jjjjj hhmmss]
*      Tous les autres paramètres sont de forme: PARAMÈTRE = Valeur [unités] [jjjjj hhmmss]
*      DONNÉES = [1PPSTX – 1PPSRX] | [1PPSREF – 1PPSRX] | [..]
```

où jjjjj, hhmmss donnent en option la date UTC à laquelle la valeur indiquée a été observée.

**3.2 Rapports de mesures individuelles de tops de secondes**

## FORMAT DU FICHIER DE DONNÉES:

L'EN-TÊTE est immédiatement suivi des DONNÉES.

## DONNÉES:

```
jjjjj  hhmmss  0.nnnnnnnnnnn
jjjjj  hhmmss  0.nnnnnnnnnnn
:      :      :
jjjjj  hhmmss  0.nnnnnnnnnnn
```

où jjjjj, hhmmss donnent la date UTC à laquelle les données ont été obtenues.

## EXEMPLE:

Fichier A4926610.56B (données mesurées au niveau de la station A lors d'une session TWSTFT avec la station B sur MJD 49266, programmée pour 1056 h UTC):

```
*      A4926610.56B
*      UTC (LAB A) – HORLOGE = -0.000000123456 49266 101000
*      HORLOGE – 1PPSREF   = 0.000000012345
*      1PPSREF – 1PPSTX    = +0.000000001234 49266 102059
*      DONNÉES = 1PPSTX – 1PPSRX
49266  105616 0.270924666406
49266  105617 0.270924663805
49266  105618 0.270924660170
49266  105619 0.270924657628
49266  105620 0.270924654270
49266  105621 0.270924651106
```

**3.3 Format du fichier contenant les résultats d'un lissage quadratique****3.3.1 Remarques générales**

Ce format a pour objet de réduire la quantité de données à échanger et de donner la possibilité de signaler dans un seul fichier les données de poursuite d'un même laboratoire, associant différentes stations partenaires et différentes liaisons par satellite. Les données de plus d'un seul jour peuvent être signalées dans un même fichier. Ce format permet de calculer facilement les décalages d'horloges, au moyen des informations contenues dans les lignes d'en-tête et de données, sans qu'il soit nécessaire de connaître chaque configuration de mesure dans les laboratoires participants.

Il existe deux sortes de lignes:

- les lignes dont la première colonne contient un astérisque (en-tête de fichier, en-tête de ligne de données);
- les lignes dont la première colonne ne contient pas d'astérisque (lignes de données).

Dans la description du format, les caractères gras sont des mots clés à certaines positions et les caractères italiques doivent être remplacés, selon le cas, par des chaînes ou des valeurs réelles. Les chaînes entre crochets sont facultatives et, chaque fois que des données doivent être précédées d'un signe, celui-ci est indiqué par «+». Toute donnée manquante doit être remplacée par une série de 9 (avec possibilité de signe).



**3.3.2 Nom du fichier**

Le nom du fichier se compose des lettres **TW** (indiquant un transfert bilatéral par satellite des données de temps et de fréquence), de la désignation du laboratoire (*LLLL*, jusqu'à quatre caractères selon les acronymes des laboratoires figurant dans le Rapport annuel du BIPM, section Temps) et de la date julienne modifiée telle qu'elle figure dans la première ligne de données (les trois derniers chiffres servent d'extension au fichier) soit: *TWLLLLMM.MMM* (par exemple: TWTUG50.091).

**3.3.3 En-tête**

Le nombre des colonnes dans les lignes des en-têtes est limité à 78.

```

.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....
12345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678

* TWLLLLMM.MMM
* FORMAT      nn
* LAB         LLLL
* REV DATE    YYYY-MM-DD
* ES LLLLnn  LA: D dd mm ss.sss      LO: D ddd mm ss.sss      HT: +nnnn.nn m
* REF-FRAME   RRRRRRRRRR
* LINK  LL SAT: SSSSSSSSSSSSSSSSSSS NLO: D ddd mm ss.sss  XPNDR: +nnnn.nnn ns
*
*           SAT-NTX: fffff.ffff MHz  SAT-NRX: fffff.ffff MHz
*
* CAL  CCC  TYPE: TTTTTTTTTTTTTTTTTT  MJD: MMMMM  EST. UNCERT.: nnnn.nnn ns
* LOC-MON [YES] [NO]
* MODEM  TYPE, SERIAL NUMBER
* COMMENTS SSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSSS
*

```

TWLLLLMM.MMM	Nom du fichier (voir le § 3.3.2)
FORMAT	Version du format (de 01 à 99)
LAB	Acronyme du laboratoire où les observations sont effectuées. Pour les acronymes des laboratoires, voir le Rapport annuel de la section Temps du BIPM.
REV DATE	Date de révision des données d'en-tête, qui est modifiée lorsqu'un paramètre contenu dans l'en-tête est modifié (sauf le nom du fichier). Chaque fichier de laboratoire doit avoir un nom unique, tandis que plusieurs fichiers peuvent avoir le même en-tête. <i>YYYY-MM-DD</i> pour l'année, le mois et le jour.
ES	Nom et position de la station terrienne:
	<i>LLLLnn</i> Nom de la station terrienne, formé de l'acronyme du laboratoire (jusqu'à quatre caractères) et du numéro d'identification de la station (deux chiffres). Par exemple: TUG01.
	<i>LA</i> Latitude en coordonnées géodésiques, avec remplacement de la lettre <i>D</i> par N (nord) ou S (sud).
	<i>LO</i> Longitude en coordonnées géodésiques, avec remplacement de la lettre <i>D</i> par W (ouest) ou E (est).
	<i>HT</i> Hauteur (m).

Chaque ligne décrit une seule station, mais on peut utiliser autant de lignes ES que nécessaire.

REF-FRAME	Désignation du cadre de référence des coordonnées bilatérales d'antenne (sur autant de colonnes que nécessaire),
LINK	Les lignes de la rubrique LINK caractérisent les liaisons par satellite:
LL	Identification de la liaison contenue dans chaque ligne de données (en-tête de ligne: LI, voir le § 3.3.4), qui pointe sur une ligne LINK spécifique de l'en-tête du fichier.
SAT	Identification du satellite conformément à la désignation de l'agence ou de l'organisation spatiale internationale exploitant le satellite.
NLO	Longitude nominale du satellite, en remplaçant <i>D</i> par <i>W</i> (ouest) ou <i>E</i> (est).
XPNDR	Temps de propagation différentiel du répéteur (ns) (temps de la station locale jusqu'à la station distante moins temps de la station distante à la station locale).
SAT-NTX	Fréquence nominale d'émission du satellite (MHz). Cette fréquence correspond à la fréquence de réception de la station terrienne locale.
SAT-NRX	Fréquence nominale de réception du satellite (MHz). Cette fréquence correspond à la fréquence d'émission de la station terrienne locale.

Chaque liaison est décrite par deux lignes, mais l'on peut utiliser autant de paires de lignes LINK que nécessaire.

CAL	Les lignes CAL indiquent le type d'étalonnage, la date julienne modifiée et l'incertitude d'étalonnage estimée:
CCC	Identification de l'étalonnage, contenue dans chaque ligne de données (en-tête de ligne: CI, voir le § 3.3.4), qui pointe sur une ligne CAL spécifique de l'en-tête du fichier.
TYPE	Type de la technique utilisée pour une liaison donnée, caractérisé par un des mots clés suivants:
PORT ES REL	Station terrienne portative, utilisée en mode relatif.
PORT ES ABS	Station terrienne portative, utilisée en mode absolu.
PORT SS REL	Simulateur de satellite portatif, utilisé en mode relatif.
PORT SS ABS	Simulateur de satellite portatif, utilisé en mode absolu.
	L'étalonnage peut être effectué par un système de transfert temporel indépendant, par exemple:
GPS	Système mondial de localisation.
PORT CLOCK	Horloge portative.
	Différents types d'étalonnage peuvent être utilisés pour la même liaison, ce qui donne des lignes de données différentes.
MJD	Date julienne modifiée de l'étalonnage.
EST.UNCERT	Incertitude estimée de l'étalonnage.

Chaque étalonnage est décrit par une seule ligne, mais l'on peut utiliser autant de lignes CAL que nécessaire.

LOC-MON	Utiliser YES ou NO selon qu'un système de surveillance du temps de propagation de station terrienne locale est ou non disponible.
MODEM	Type et numéro de série du modem utilisé. Tous les modems utilisés pendant la période de validité du fichier doivent être signalés.

On peut utiliser autant de lignes et de colonnes que nécessaire.

COMMENTS Lignes de commentaire, aussi nombreuses que nécessaires.

La dernière ligne de l'en-tête du fichier contient seulement un astérisque en colonne 1.

### 3.3.4 Lignes de données

Pour le format d'une ligne de données, voir l'Appendice 1 de l'Annexe 2.

EARTH-STAT	Désignation de la station terrienne locale (LOC) et de la station terrienne distante (REM), sous la forme de l'acronyme du laboratoire correspondant (jusqu'à quatre caractères) et d'un numéro d'identification de station (deux chiffres). Par exemple: TUG01.
LI	<p>Identification de la liaison sous la forme d'un pointeur sur l'en-tête de fichier donnant des informations sur une liaison par satellite spécifique.</p> <p>L'assignation des identifications de liaison doit être coordonnée au niveau international, par exemple par le Groupe de travail sur le transfert temporel bilatéral par satellite du Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS). (Voir les exemples donnés au § 3.3.6)</p>
MJD STTIME	Date et heure nominales de début (h, min, s) par rapport au temps UTC.
NTL	Durée nominale des poursuites (s) (date nominale du dernier échantillon moins date nominale du premier échantillon).
TW	Résultat (s) d'un lissage quadratique des données d'une même poursuite, calculé pour la date nominale de début indiquée, plus la moitié de la durée nominale de la poursuite, arrondie aux secondes.
DRMS	Valeur quadratique moyenne des valeurs résiduelles du lissage quadratique (ns).
SMP	Nombre d'échantillons utilisés dans le lissage quadratique.
ATL	Durée réelle d'une poursuite (s) (date du dernier échantillon moins date du premier échantillon du lissage quadratique).
REFDELAY	Temps de propagation de la référence par rapport au temps UTC(LAB) (s). Le calcul de ce terme dépend de la configuration de mesure adoptée dans chaque laboratoire. Pour la configuration de mesure habituellement utilisée (où PPSTX lance des mesures bilatérales), le temps de propagation de référence est la somme (UTC(LAB)-CLOCK) + (CLOCK-REF) + (REF-PPSTX).
RSIG	Écart-type de la moyenne du terme REFDELAY (ns).
CI	<p>Identification de l'étalonnage sous la forme d'un pointeur sur l'en-tête de fichier qui donne des renseignements sur le type d'étalonnage, la date julienne modifiée et l'incertitude estimée de l'étalonnage.</p> <p>L'assignation d'une identification d'étalonnage doit être coordonnée sur une base internationale (par exemple par le Groupe de travail sur le transfert temporel bilatéral par satellite du CCDS) pour les laboratoires engagés dans une campagne d'étalonnage spécifique. L'utilisation d'un système de transfert temporel indépendant (comme le GPS) ne permet que les étalonnages entre paires de laboratoires. Les identifications d'étalonnage doivent donc être assignées par paires de laboratoires (voir les exemples du § 3.3.6).</p>
S	<p>Commutateur d'étalonnage (valeur «0» ou «1») qui indique les termes de l'équation bilatérale qui sont inclus dans le résultat d'étalonnage CALR ainsi que l'équation qui doit donc être utilisée pour le calcul des décalages d'horloge (voir le § 3.3.5).</p> <p>S = 0 Le résultat d'étalonnage CALR donne la différence entre le temps différentiel de la station terrienne (partie émission moins partie réception) du laboratoire et le temps différentiel de la station terrienne du système d'étalonnage (cositionnement de stations terriennes, simulateur de satellite).</p> <p>S = 1 Le résultat d'étalonnage CALR comprend tous les termes de l'équation bilatérale, à l'exception, respectivement, des mesures de transfert temporel TW et des mesures de référence REFDELAY des stations locale et distante. C'est le cas si l'on utilise un système de transfert temporel indépendant comme le GPS.</p>
CALR	Résultat d'étalonnage (ns).
ESDVAR	Variations (ns), du temps de propagation différentiel surveillé de la station terrienne (par rapport au temps de propagation différentiel de la station terrienne observé à l'instant de l'étalonnage, si celui-ci est effectué). Toutes les variations du temps de propagation dans la station terrienne et dans le modem doivent être incluses dans ce terme.

ESIG	Écart-type de la moyenne du terme ESDVAR (ns).
TMP	Température extérieure (°C).
HUM	Humidité relative extérieure (%).
PRES	Pression atmosphérique (mbar).

### 3.3.5 Calcul des décalages d'horloge

S = 0: UTC(LAB <sub>1</sub> ) – UTC(LAB <sub>2</sub> ) =	+0,5(TW <sub>1</sub> + ESDVAR <sub>1</sub> ) + REFDELAY <sub>1</sub>	Ligne de données du lab. 1
	–0,5(TW <sub>2</sub> + ESDVAR <sub>2</sub> ) + REFDELAY <sub>2</sub>	Ligne de données du lab. 2
	+0,5 EARTH ROT.CORR.	Lignes d'en-tête des lab. 1 et 2
	+0,5 IONOSPHERIC CORR.	Lignes d'en-tête des lab. 1 et 2
	+0,5 CALR <sub>1</sub>	Ligne de données du lab. 1
	–0,5 CALR <sub>2</sub>	Ligne de données du lab. 2
	+0,5 XPNDR	Ligne d'en-tête du lab. 1
S = 1: UTC(LAB <sub>1</sub> ) – UTC(LAB <sub>2</sub> ) =	+0,5(TW <sub>1</sub> + ESDVAR <sub>1</sub> ) + REFDELAY <sub>1</sub>	Ligne de données du lab. 1
	–0,5(TW <sub>2</sub> + ESDVAR <sub>2</sub> ) – REFDELAY <sub>2</sub>	Ligne de données du lab. 2
	+CALR	Ligne de données du lab. 1

La connaissance des positions des stations terriennes et du satellite permet de calculer le terme EARTH ROT.CORR. (effet Sagnac) et la connaissance des fréquences d'émission et de réception permet de calculer le terme IONOSPHERIC CORR.

### 3.3.6 Exemples

(Voir l'Appendice 2 de l'Annexe 2.)

APPENDICE 1  
DE L'ANNEXE 2

1 LIGNE DE DONNÉES

```

0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      1      1      1      1
1      2      3      4      5      6      7      8      9      0      1      2      3
1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
* EARTH-STAT LI MJD STTIME NTL TW DRMS SMP ATL REFDELAY RSIG CI S CALR ESDVAR ESIG TMP HUM PRES
* LOC REM hhhmss s s ns s s s ns ns ns ns ns ns degC % mbar
LLLLnn LLLLLn LL MMMM hhhmss nnn +0,nnnnnnnnnnnn n,nnn nnn nnn +0,nnnnnnnnnnnn n,nnn CCC i +nnnn,nnn +nnnn,nnn n,nnn +nn nnn nnnn

```

APPENDICE 2  
DE L'ANNEXE 2

EXEMPLES

Ces exemples contiennent des données réelles et fictives (en particulier pour l'étalonnage).

1 FICHIERS DE DONNÉES

```

* TWUSNO49.933
* FORMAT 01
* LAB USNO
* REV DATE 1995-07-10
* ES USNO01 LA: N 38 55 00.000 LO: W 77 04 00.000 HT: 51.30 m
* REF-FRAME WGS84
* LINK 04 SAT: IS706 NLO: W 53 00 00.000 XPNDR: 99999.999 ns
* SAT-NTX: 11922.3750 MHz SAT-NRX: 14221.6275 MHz
* CAL 002 TYPE: GPS MJD: 49639 EST. UNCERT.: 5.000 ns
* CAL 003 TYPE: GPS MJD: 49649 EST. UNCERT.: 5.000 ns
* LOC-MON NO
* MODEM MITREX 2500A
*
* EARTH-STAT LI MJD STTIME NTL TW DRMS SMP ATL REFDELAY RSIG CI S CALR ESDVAR ESIG TMP HUM PRES
* LOC REM hhhmss s s ns s s s ns ns ns ns ns ns degC % mbar
USNO01 TUG01 04 49933 140200 299 0.263265762933 1.529 300 299 0.000001334100 9.999 002 1 296.350 99999.999 9.999 32 63 994
USNO01 NPL01 04 49933 141000 299 0.260419315503 0.613 300 299 0.000001334200 9.999 999 0 99999.999 99999.999 9.999 32 63 994
USNO01 VSL01 04 49933 141800 299 0.261451406897 0.387 300 299 0.000001334200 9.999 999 0 99999.999 99999.999 9.999 32 63 994
USNO01 PTB01 04 49933 143400 299 0.262748501558 1.822 233 232 0.000001334240 9.999 003 1 449.500 99999.999 9.999 32 63 994

```

```

* TWTUG49.933
* FORMAT      01
* LAB         TUG
* REV DATE   1995-07-10
* ES TUG01 LA: N 47 04 01.578      LO: E 15 29 36.570      HT: 538.14 m
* REF-FRAME  ITRF88
* LINK       03 SAT: IS706          NLO: W 53 00 00.000      XPNDR: 0.000 ns
*           SAT-NTX: 12549.7475 MHz SAT-NRX: 14044.7475 MHz
* LINK       04 SAT: IS706          NLO: W 53 00 00.000      XPNDR: 99999.999 ns
*           SAT-NTX: 12726.6275 MHz SAT-NRX: 14217.3750 MHz
* CAL       001 TYPE: PORT ES REL    MJD: 49640      EST. UNCERT.: 5.000 ns
* CAL       002 TYPE: GPS           MJD: 49639      EST. UNCERT.: 5.000 ns
* LOC-MON    YES
* MODEM      MITREX 2500, SN1194
* COMMENTS  Depuis 1995-07-10, on utilise un nouveau satellite (à la même position que l'ancien).

```

* EARTH-STAT	LI	MJD	STTIME	NTL	TW	DRMS	SMP	ATL	REFDELAY	RSIG	CI	S	CALR	ESDVAR	ESIG	TMP	HUM	PRES
* LOC	REM		hhmmss	s	s	ns	s	s	s	ns			ns	ns	ns degC	%	mbar	
TUG01	TUG01	03	49933	100000	299	0.273757169304	0.612	300	299	0.000000237687	0.003	001 0	-720.000	0.689	0.123	26	42	957
TUG01	NPL01	03	49933	100600	299	0.270911455763	0.328	300	299	0.000000237687	0.003	001 0	-720.000	0.689	0.123	26	42	957
TUG01	PTB01	03	49933	101200	299	0.273242494495	0.458	300	299	0.000000237687	0.003	001 0	-720.000	0.689	0.123	26	42	957
TUG01	FTZ01	03	49933	101800	299	0.272511114690	0.416	300	299	0.000000237687	0.003	001 0	-720.000	0.689	0.123	26	42	957
TUG01	OCA01	03	49933	103000	299	0.271282560840	0.969	300	299	0.000000237687	0.003	001 0	-720.000	0.689	0.123	26	42	957
TUG01	USNO01	04	49933	140200	299	0.263269499027	0.475	300	299	0.000000237694	0.003	002 1	-296.350	-3.280	0.236	27	38	955
TUG01	NIST01	04	49933	141000	299	0.268868858338	0.405	300	299	0.000000237693	0.003	999 0	99999.999	-3.280	0.236	27	38	955

```

* TWPTB49.933
* FORMAT      01
* LAB         PTB
* REV DATE   1995-07-10
* ES PTB01 LA: N 52 17 49.787      LO: E 10 27 37.966      HT: 143.406m
* REF-FRAME  WGS84
* LINK       03 SAT: IS706          NLO: W 53 00 00.000      XPNDR: 0.000 ns
*           SAT-NTX: 12549.7475 MHz SAT-NRX: 14044.7475 MHz
* LINK       04 SAT: IS706          NLO: W 53 00 00.000      XPNDR: 99999.999 ns
*           SAT-NTX: 12726.6275 MHz SAT-NRX: 14217.3750 MHz
* CAL       001 TYPE: PORT ES REL    MJD: 49632      EST. UNCERT.: 3.000 ns
* CAL       003 TYPE: GPS           MJD: 49649      EST. UNCERT.: 5.000 ns
* LOC-MON    NO
* MODEM      MITREX 2500A

```

* EARTH-STAT	LI	MJD	STTIME	NTL	TW	DRMS	SMP	ATL	REFDELAY	RSIG	CI	S	CALR	ESDVAR	ESIG	TMP	HUM	PRES
* LOC	REM		hhmmss	s	s	ns	s	s	s	ns			ns	ns	ns degC	%	mbar	
PTB01	PTB01	03	49933	100000	299	0.272722644071	0.614	300	299	0.000000802678	9.999	001 0	-1052.000	99999.999	9.999	999	999	9999
PTB01	OCA01	03	49933	100600	299	0.270763375457	1.175	300	299	0.000000802678	9.999	001 0	-1052.000	99999.999	9.999	999	999	9999
PTB01	TUG01	03	49933	101200	299	0.273236013639	0.954	300	299	0.000000802678	9.999	001 0	-1052.000	99999.999	9.999	999	999	9999
PTB01	NPL01	03	49933	101800	299	0.270390245192	0.379	300	299	0.000000802678	9.999	001 0	-1052.000	99999.999	9.999	999	999	9999
PTB01	USNO01	04	49933	143400	299	0.262745748275	0.621	300	299	0.000000805499	9.999	003 1	-449.500	99999.999	9.999	999	999	9999
PTB01	NIST01	04	49933	144200	299	0.268345111620	0.515	300	299	0.000000805499	9.999	999 0	99999.999	99999.999	9.999	999	999	9999

**2 CALCUL DE DÉCALAGES D'HORLOGE**

UTC(TUG)-UTC(PTB): MJD 49933, 10:12:00 UTC, CI 001, LI 03  
 UTC(TUG)-UTC(PTB)= + 0.5(0.273242494495 + 0.689E-9) + 0.000000237687  
                   - 0.5(0.273236013639 + 0                  ) - 0.000000802678  
                   + 0.5(-37.4E-9)  
                   + 0  
                   + 0.5( -720.000E-9)  
                   - 0.5(-1052.000E-9)  
                   + 0.5(0.000E-9)  
 UTC(TUG)-UTC(PTB)= +2823.1 ns on MJD 49933 at 10:14:30 UTC

UTC(PTB)-UTC(USNO): MJD 49933, 14:34:00 UTC, CI 003, LI 04  
 UTC(PTB)-UTC(USNO)= + 0.5(.262745748275 + 0) + 0.000000805499  
                   - 0.5(.262748501558 + 0) - 0.000001334240  
                   + (-449.500E-9)  
 UTC(PTB)-UTC(USNO)= -2354.9 ns on MJD 49933 at 14:36:30 UTC

UTC(USNO)-UTC(TUG)= -473.7 ns on MJD 49933 at 14:04:30 UTC

**3 IDENTIFICATION ET DESCRIPTION DES LIAISONS PAR SATELLITE**

LI	LINK	SAT	NLO			XPNDR DELAY (ns)	SAT-NTX (MHz)	SAT-NRX (MHz)	Remarques
			dd	mm	ss				
01	EU-EU	IS513	53	00	00 W	0,000	12543,4025	14038,4025	
02	EU-USA	IS513	53	00	00 W	448,000	12644,8275	14139,8275	Pour les stations terriennes européennes
		IS513	53	00	00 W	-448,000	11844,8275	14139,8275	Pour les stations terriennes des Etats-Unis d'Amérique
03	EU-EU	IS706	53	00	00 W	0,000	12549,7475	14044,7475	
04	EU-USA	IS706	53	00	00 W	9999,999	12726,6275	14217,3750	Pour les stations terriennes européennes
		IS706	53	00	00 W	9999,999	11922,3750	14221,6275	Pour les stations terriennes des Etats-Unis d'Amérique

#### 4 IDENTIFICATION ET DESCRIPTION DES ÉTALONNAGES EFFECTUÉS

CI	TYPE	MJD	CALR (ns)	EST. UNCERT. (ns)	Remarques
001	PORT ES REL				Contrôle de stations terriennes portatives (USNOxx) en octobre 1994 chez OCA, LPTF, NPL, VSL, PTB, FTZ, TUG, USNO, NIST
		49632	-1052,000	3,000	PTB01
		49640	-720,000	5,000	TUG01
002	GPS	49639	-296,350	5,000	Etalonnage de la liaison TUG01-IS706-USNO01 au moyen du système de transfert temporel indépendant GPS (calculé sur la base de données GPS signalées)
003	GPS	49649	-449,500	5,000	Etalonnage de la liaison PTB01-IS706-USNO01 au moyen du système de transfert temporel indépendant GPS (calculé sur la base de données GPS signalées)