



www.fee.bzh

SyncNet

Système de synchronisation picoseconde pour transfert temps-fréquence longue distance

INTRODUCTION

L'horodatage est essentiel quand par exemple de multiples sous-systèmes de numérisation doivent travailler ensemble. Le système "SyncNet" de FEE a été conçu à l'origine pour la radio logicielle (SDR, Software Digital Radio) en contexte MIMO (Multiple Inputs Multiple Outputs), afin de synchroniser des antennes HF numériques constituant de grands réseaux phasés. Il permet un transfert temps-fréquence précis par fibre optique vers un nombre quelconque de sous-systèmes « clients ».

Ces sous-systèmes clients peuvent être:

- Récepteur numérique HF/VHF dédié à la numérisation en pied d'antenne (v1 terminée, v2 en cours)
- Exciteur HF/VHF pour antenne numérique d'émission (projet)
- Horodateur d'impulsion / mesure d'intervalles de temps / générateur d'événements distribués avec 1 ps de résolution (projet)
- ...

DESCRIPTION

Le système SyncNet de FEE utilise une unique fibre optique par lien de synchronisation et autorise le branchement à chaud. Il est basé sur des modules optiques à bas coût (modules SFP ethernet) utilisés dans une configuration spécifique, et travaille nominalement à une longueur d'onde proche du minimum de dispersion de la fibre (soit environ 1310 nm pour la fibre telecom standard ITU-T-G652 / G657).

Bien qu'ayant des similitudes avec le système de synchronisation sur ethernet "White Rabbit" du CERN, les réseaux SyncNet sont spécifiquement dédiés à la synchronisation (les transferts de données sont mineurs), et permettent ainsi de bien meilleures stabilité et précision. En particulier, l'objectif est d'atteindre une erreur absolue inférieure à 50 ps sans calibration à l'installation.

Le principe sous-jacent consiste à calculer le temps de propagation dans la fibre en effectuant une datation locale de la réception du signal du vis-à-vis, puis à échanger ces données. Ceci permet au système asservi de calculer son décalage temporel par rapport au système maître. Ce décalage est ensuite injecté dans une PLL afin d'aligner l'horloge interne de l'esclave sur celle du maître.

L'erreur absolue induite par un lien SyncNet est typiquement inférieure à 20 ps pour 10 km de fibre. Ramené à une porteuse de 120 MHz, ceci est équivalent à un déphasage inférieur à 1°.

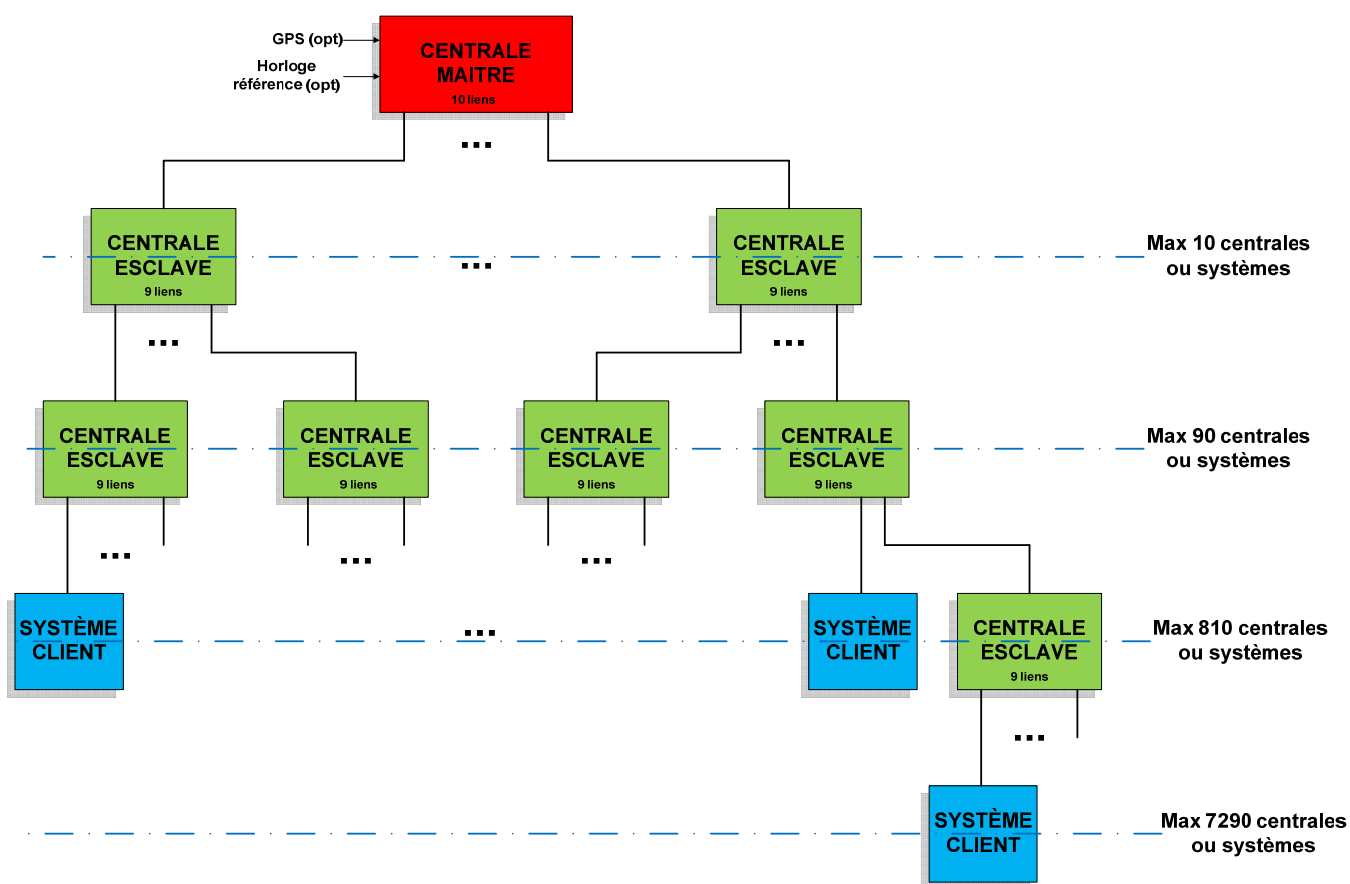
Deux jeux de paramètres sont utilisables, l'un pour les courtes portées (jusqu'à 10 km), l'autre pour les longues portées (jusqu'à 100 km). Aux grandes distances, la précision est limitée essentiellement par le décalage des longueurs d'onde des lasers. A partir d'un modèle à 3 paramètres de la fibre, la connaissance des longueurs d'onde des lasers, de leur comportement en température (tarage usine) et

du temps de propagation estimé, le système compense l'essentiel de l'asymétrie causée par la fibre. Une précompensation de l'effet Sagnac peut également être prise en compte à partir des positions géodésiques des systèmes maître et esclave (l'effet Sagnac apporte une asymétrie maximale de l'ordre de 50 ps pour 10 km).

Un sous-système SyncNet possède au moins un port de synchronisation (qui peut être configuré en maître ou en esclave), et typiquement 2 ports pour permettre une redondance. En usine, la procédure de calibration mesure la longueur d'onde du laser et les retards spécifiques de chaque port, qui sont ensuite compensés numériquement.

Le premier élément d'un système SyncNet est la centrale de synchronisation, qui permet, via une structure arborescente, de synchroniser un nombre quelconque de sous-systèmes esclaves avec un nombre minimal d'étages (et une erreur cumulée minimale). Une centrale de synchronisation type possède également des entrées pour des références externes (OCXO haute stabilité, horloges rubidium ou césium,...). Alternativement, une entrée pour antenne GPS active permet la correction de fréquence à long terme.

La centrale de synchronisation type possède 10 ports SyncNet; dans le cas d'une distribution non redondée, l'arborescence est du type:



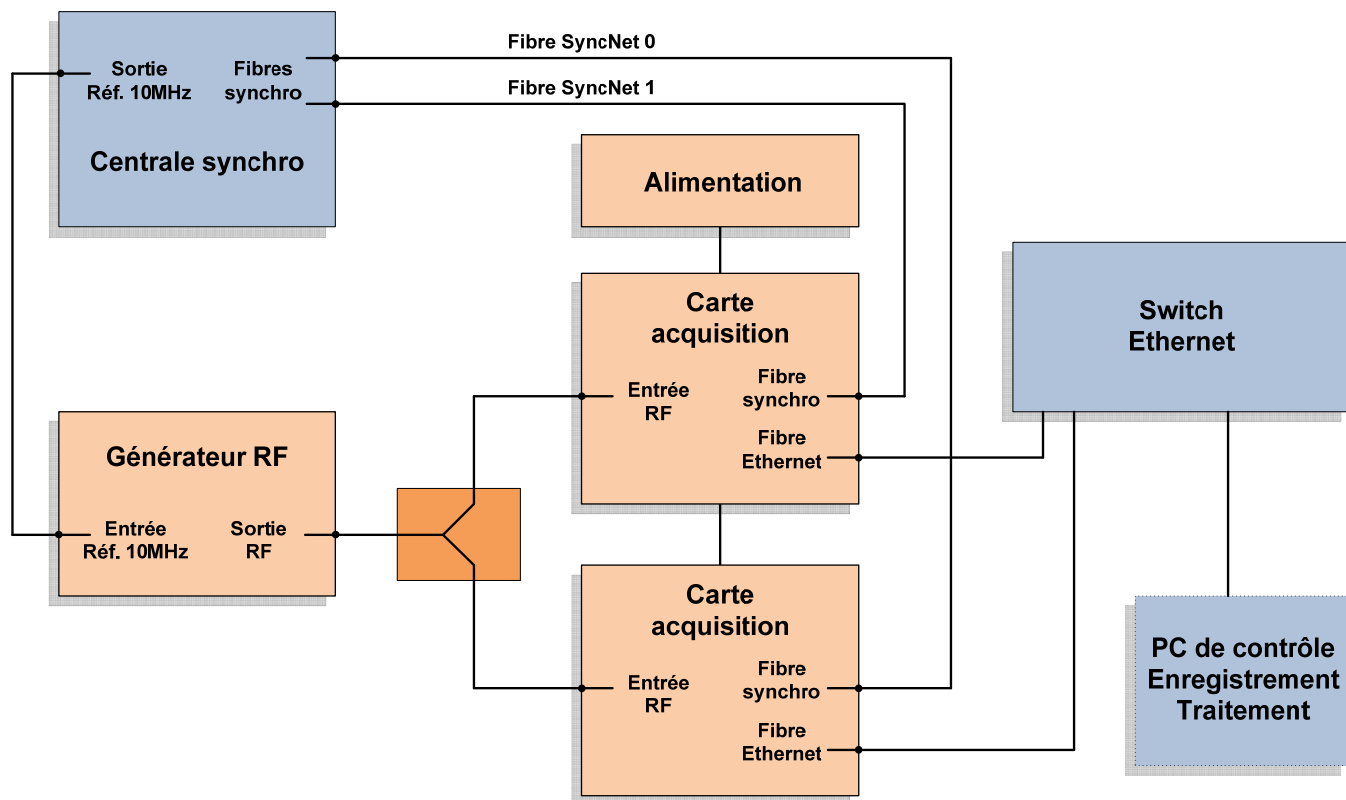
La version 1 du système SyncNet est terminée, des modifications (version 2) sont à l'étude, incluant:

- Propagation d'événements globaux (radar blanking,...) pour une prise en compte synchrone par l'ensemble des sous-systèmes
- Détermination automatique de la topologie du réseau, permettant l'utilisation de structures non arborescentes et/ou une reconfiguration automatique en cas de panne locale
- Fusion des mesures de phase des OCXOs, horloges rubidium,... disponibles dans le réseau SyncNet afin de réduire le bruit de phase basse fréquence (wander)
- Fusion des mesures des récepteurs GPS disponibles dans le réseau, afin de compenser la dérive long terme des horloges
- Mise en parallèle de liens SyncNet afin de réduire le bruit de mesure et ainsi d'améliorer la stabilité court-terme

- Amélioration de la mesure des retards (meilleure précision, plus faible bruit)
- Utilisation de modules optiques dédiés pour améliorer la précision et la stabilité
- ...

EVALUATION DES PERFORMANCES (SYSTEME VERSION 1)

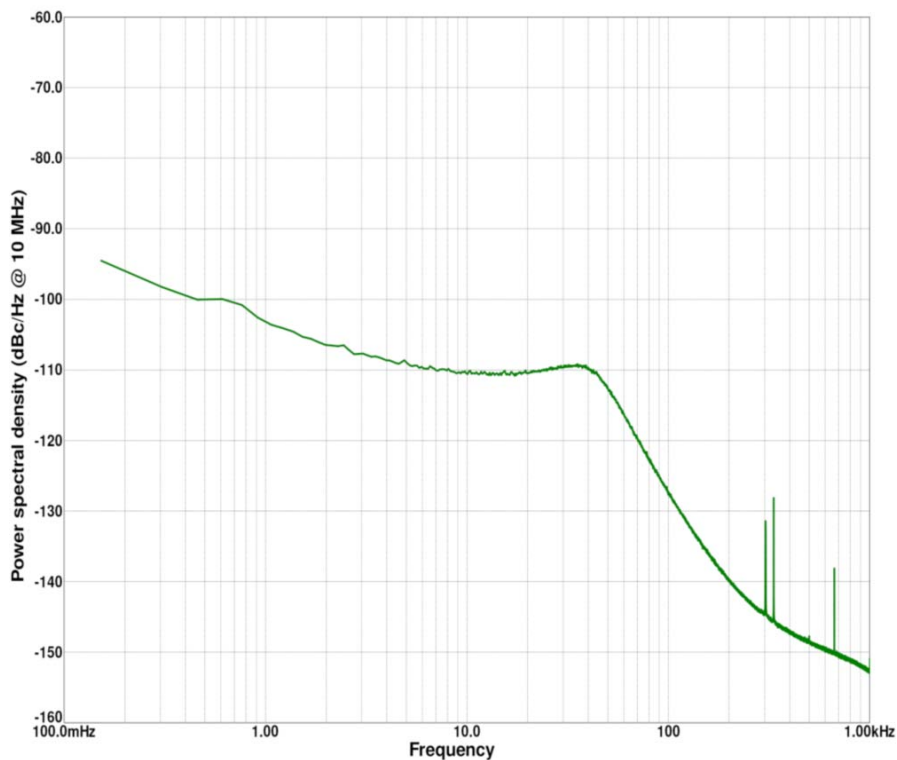
La stabilité de la synchronisation a été évaluée (en labo) par le banc de test suivant:



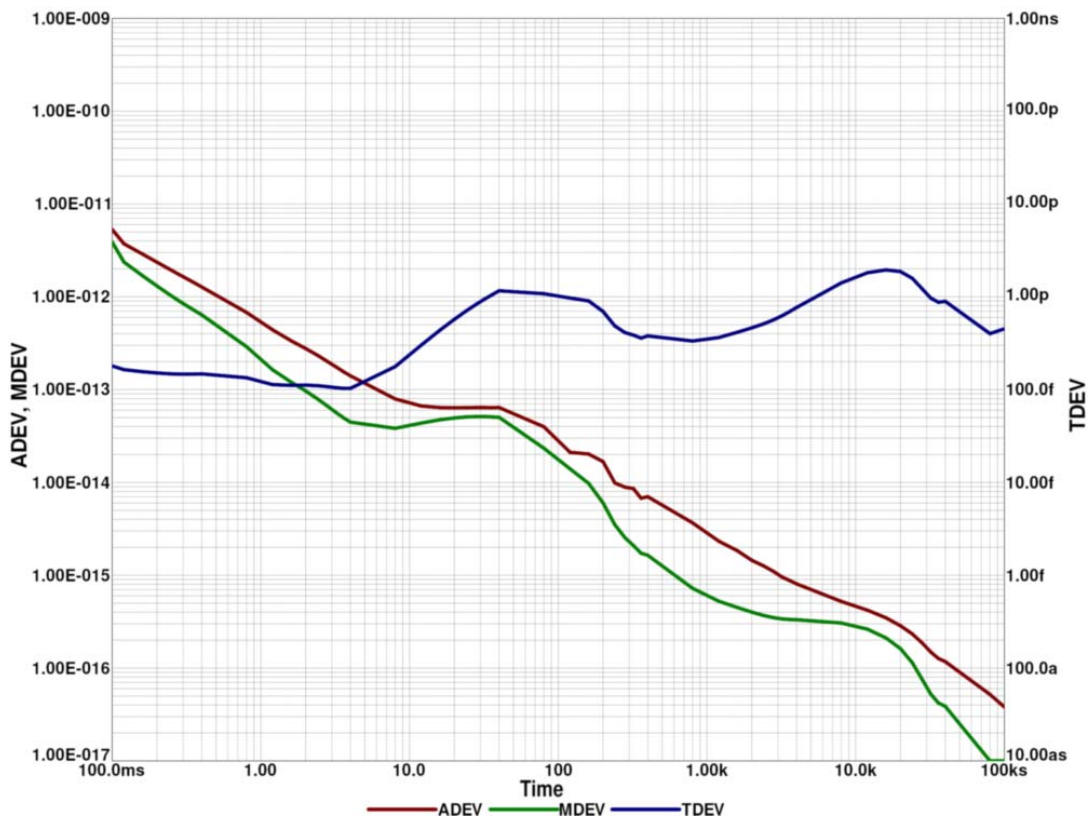
Deux cartes d'acquisition sont asservies par une centrale SyncNet via deux fibres optiques. Un générateur RF injecte un même signal dans les deux cartes à travers un diviseur de puissance. La stabilité est alors évaluée à partir de la phase différentielle (numérique) extraite des signaux démodulés par les cartes d'acquisition et enregistrés par un ordinateur (PC). Le PC calcule le bruit de phase différentielle et les variances d'Allan (ADEV), d'Allan modifiée (MDEV), et du retard différentiel, caractérisant les performances du système global.

Les données suivantes sont extraites d'enregistrements faits en laboratoire, la température ambiante est comprise dans 18-23°C. Les fibres font environ 7 km de long, les paramètres SyncNet sont : courte portée (10 km max), bande passante de PLL de 50 Hz. La fréquence du signal RF est choisie à 30 MHz. Le retard différentiel « absolu » est estimé à +33 ps (moyenne des mesures numériques avant et après permutation des voies de sortie du diviseur de puissance). Ce retard est la somme de l'erreur globale de synchronisation (deux liens SyncNet) et de l'erreur de numérisation (convertisseurs A/N et étages d'entrée).

Le bruit de phase différentiel calculé est (court-terme, normalisé pour une référence 10 MHz):



La stabilité long-terme calculée du retard différentiel est (depuis un enregistrement de 160h):



Les oscillations de périodes ~ 100 s et ~ 10000 s correspondent à des variations thermiques (ventilateurs et ambiante).