

Comment Transmettre des données à Très Longue Distance tout en maintenant une sobriété énergétique ? (TTLD)

Guillaume Seimandi

15/05/2025

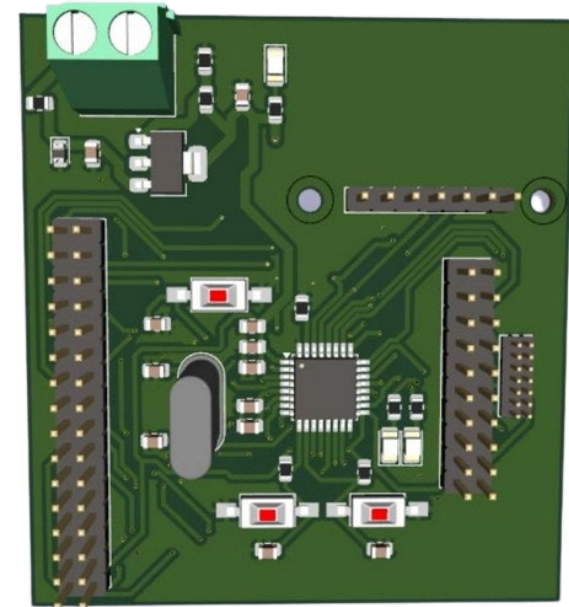
Réalisé pour Télécom Paris
Dans le cadre de l'entretien d'admission
(document non validé par Télécom Paris)

Sommaire

- Contexte
- Conception du module de génération du signal
- Création d'une librairie en C
- Analyse de stabilité en fréquence
- Conclusion

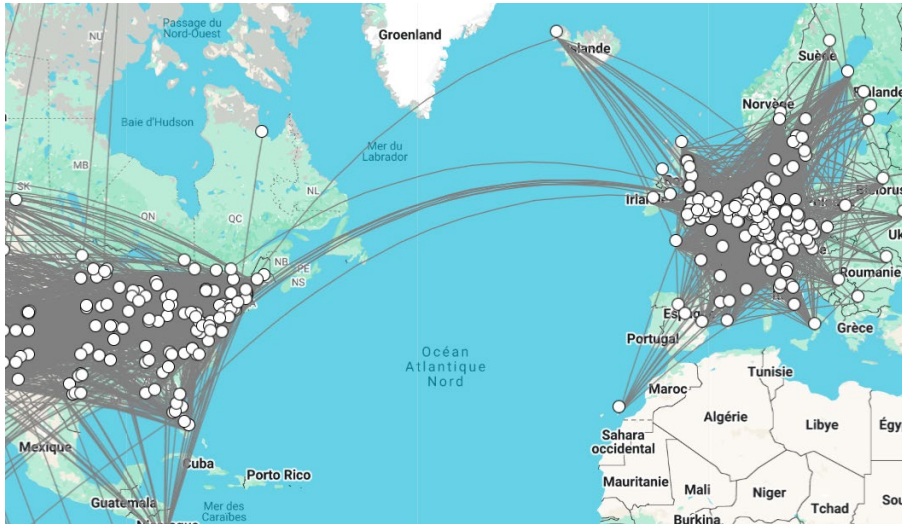
Contexte - Objectifs du projet

- Création d'un système électronique autonome
- Système embarqué sur une station de mesure en mer
- Exploitation d'un maillage de récepteurs existants
- Utilisation du protocole WSPR modifié



*Représentation 3D de la carte principale
(70x60 mm²)*

Contexte – Le protocole WSPR



Carte des communications WSPR en temps réel (wspr.rocks)

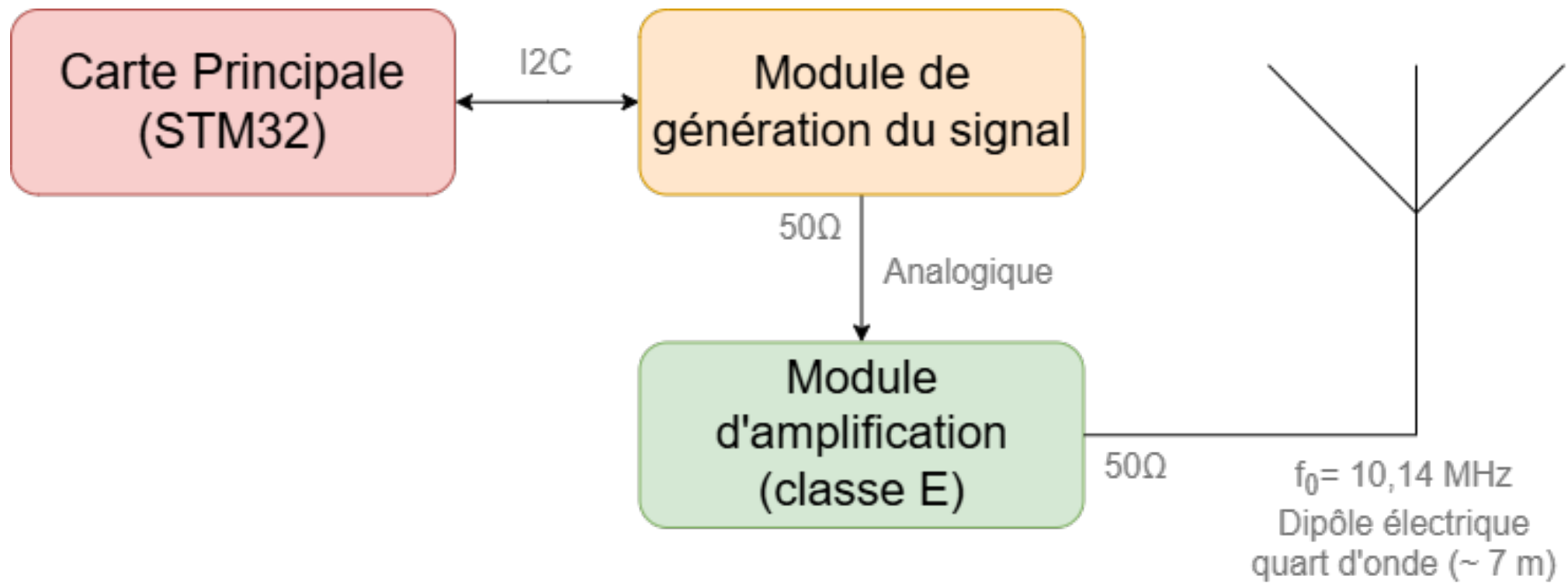
- **W**ea**k S**igna**L P**ropaga**t**ion **R**eporter
- Créé par Joe Taylor (2008)

- Bande HF ($F = 10,1398 \text{ MHz}$; $BW = 400 \text{ Hz}$)
- Modulation 4-FSK ($\Delta f = 2 \text{ Hz}$)
- Faible débit ($1,5 \text{ bit/s}$)



Représentation de propagation ionosphérique

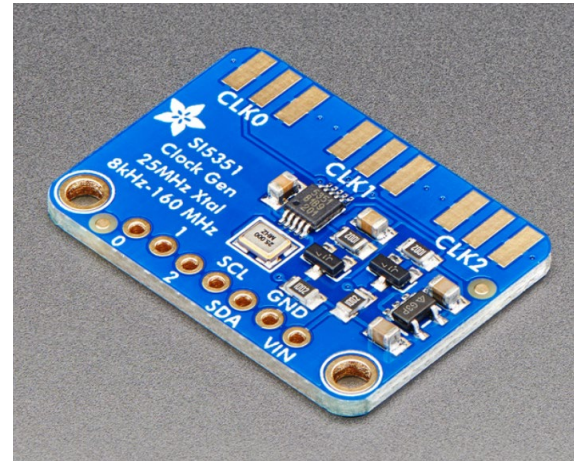
Contexte – Schéma bloc du système



Conception du module de génération du signal

Contraintes :

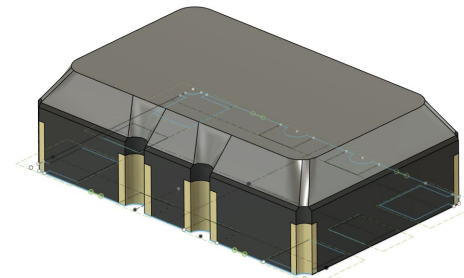
- Stabilité fréquentielle
- Faible déviation fréquentielle
- Faible consommation



Adafruit Si5351A (adafruit.com)
(30,48 x 21,59 mm²)

Conso. attendue :

- Repos → 10 mA
- Tx → 22 mA

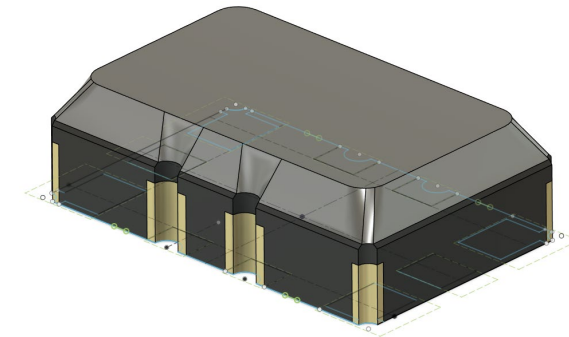
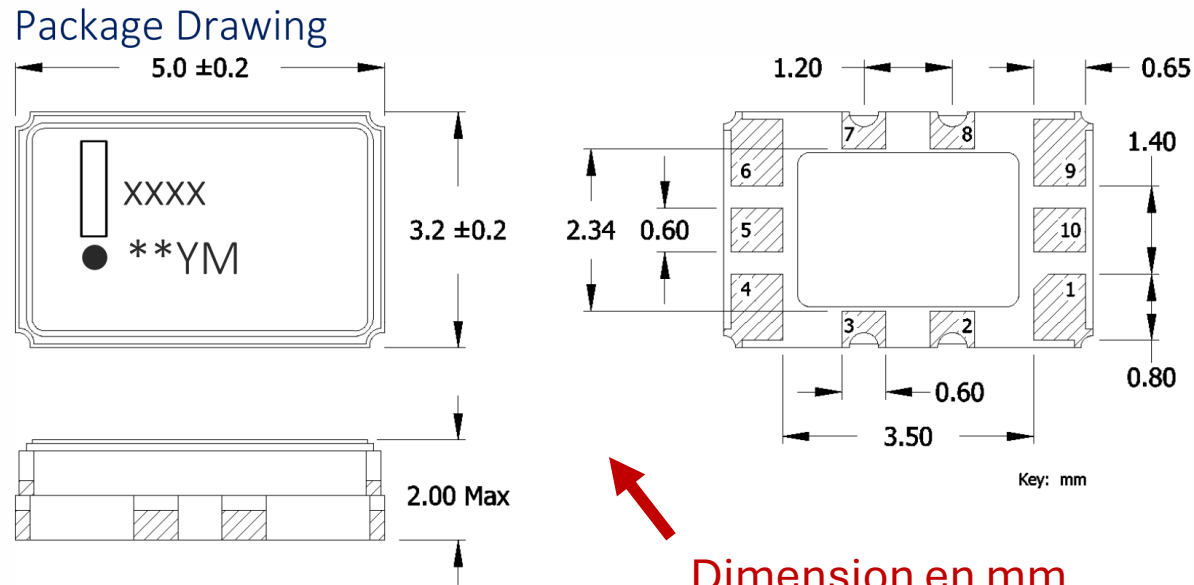


TCXO – 25 MHz – 536L25001IT50

Conception du module de génération du signal

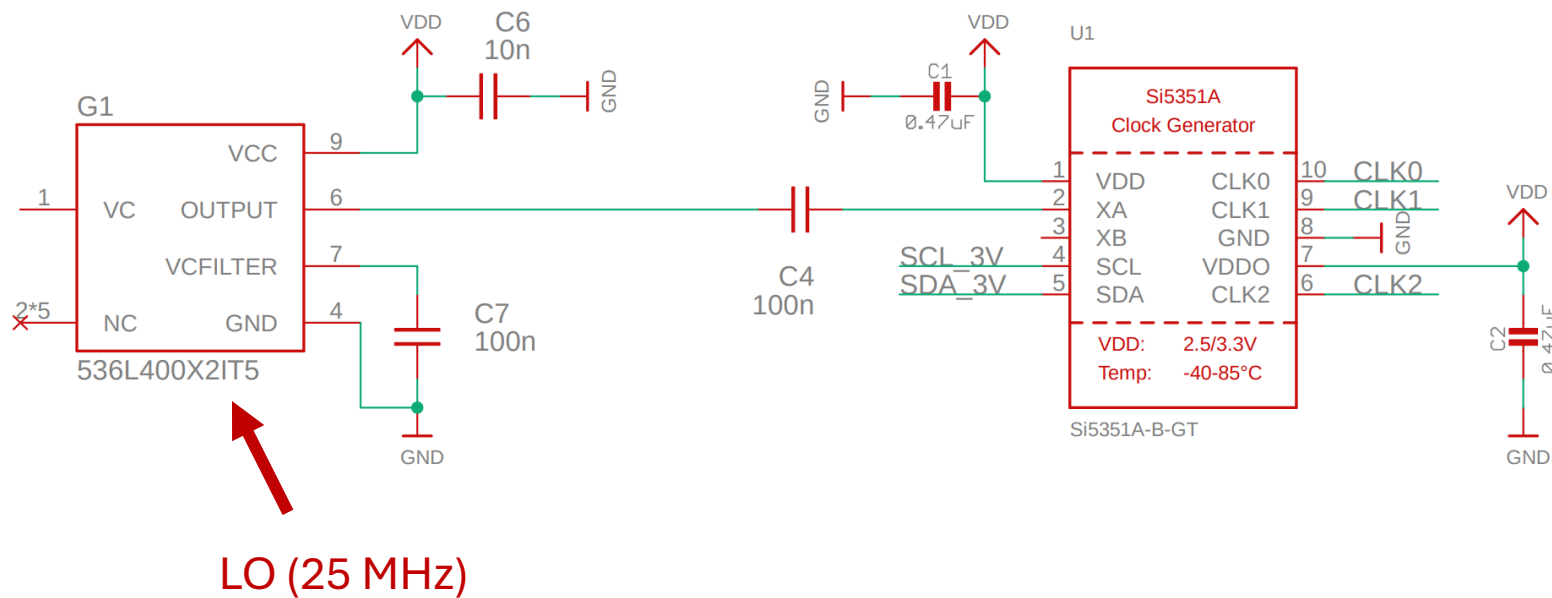
***Schéma d'encombrement du TCXO
(documentation constructeur)***

***Empreinte et encombrement en 3D
(Fusion 360)***

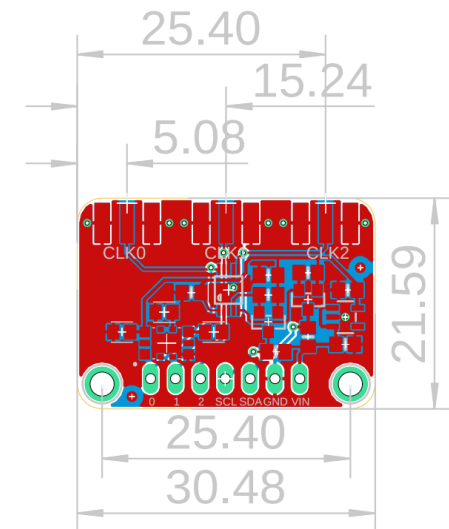


Conception du module de génération du signal

Schéma électrique du module PLL (avec TCXO)



Routage du module PLL



→ Dimension en mm

Création d'une librairie en C

Objectifs :

- Abstraire les aspects bas-niveau
- Fournir une couche d'abstraction pour le WSPR

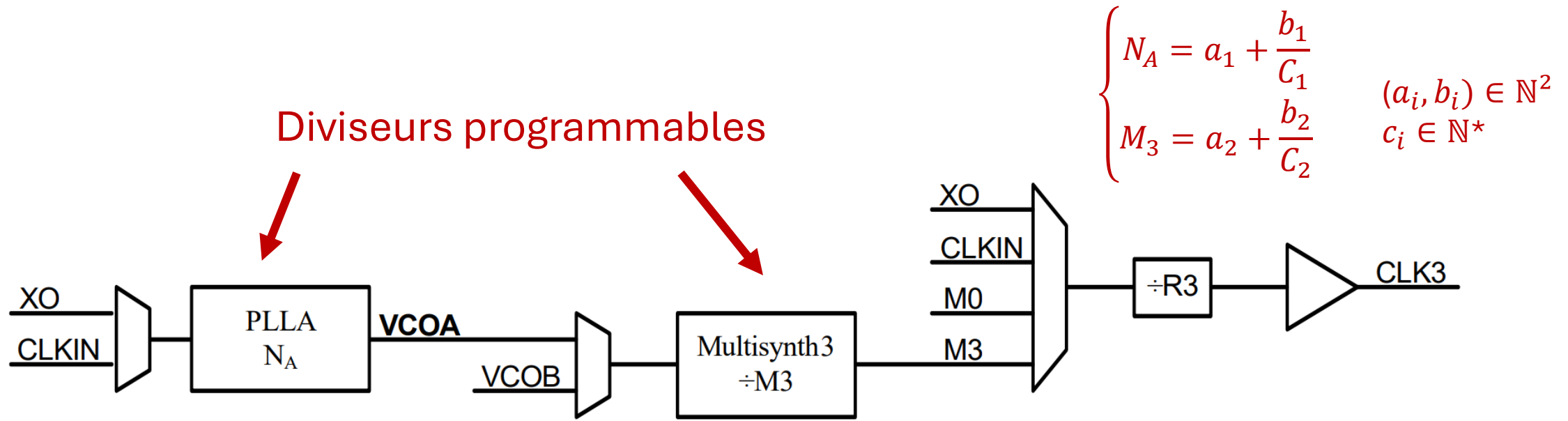
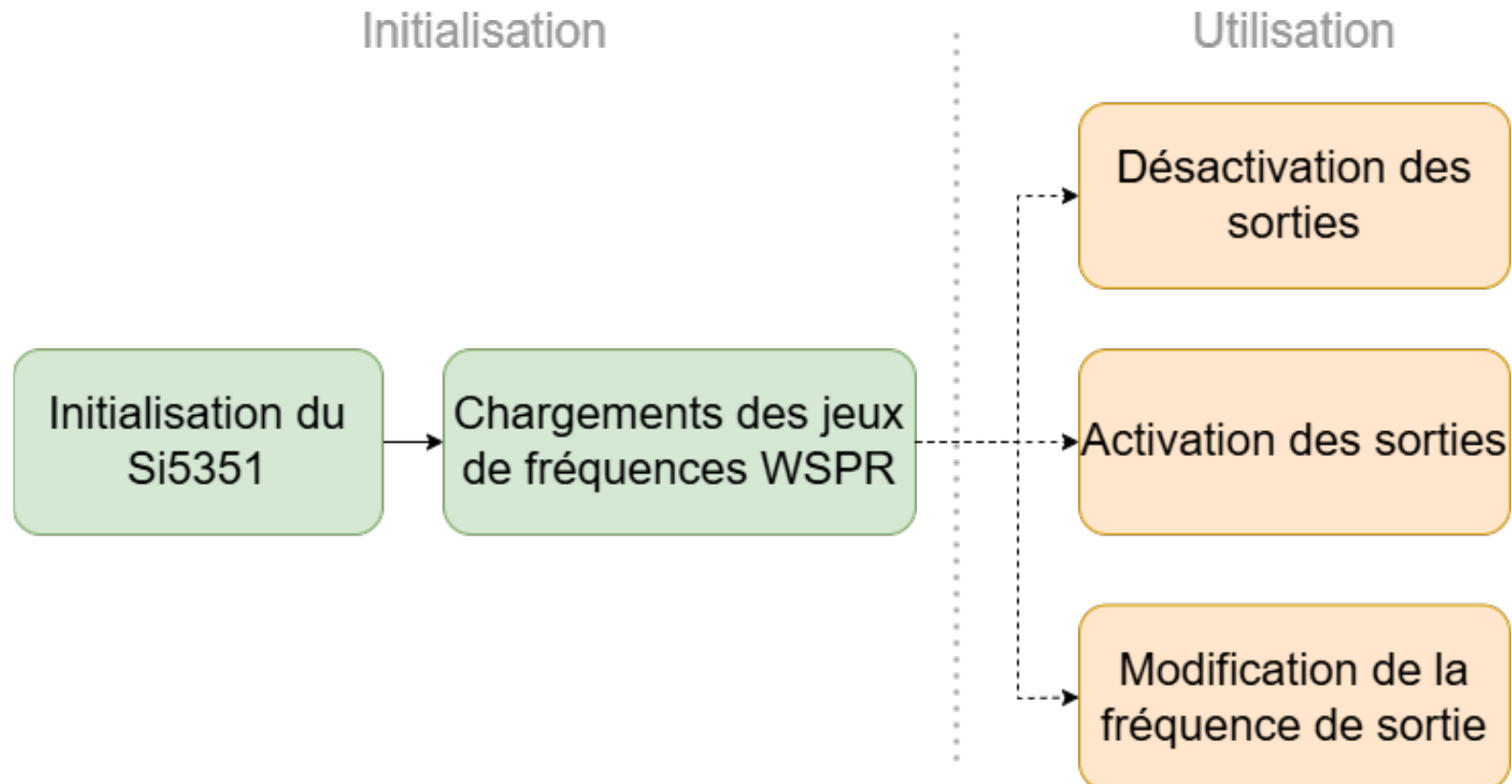


Schéma du synthétiseur de fréquence
(documentation du Si5351)

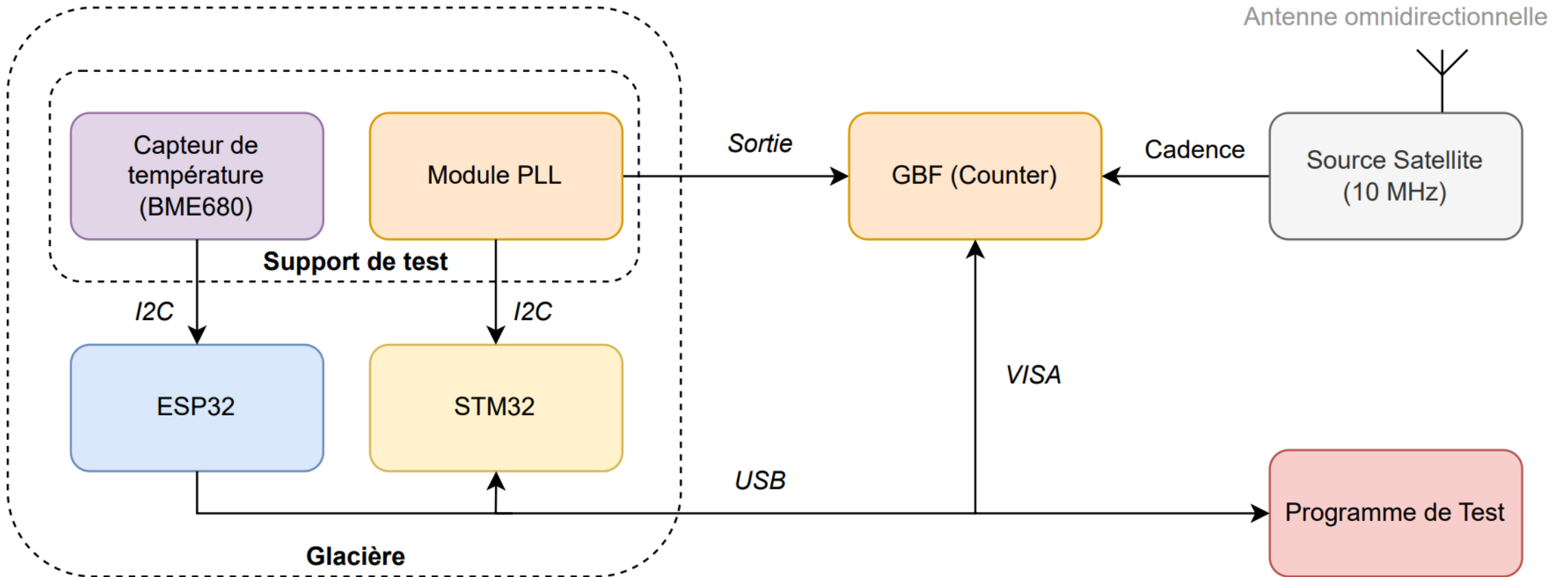
Création d'une librairie en C

Fonctionnement de la librairie



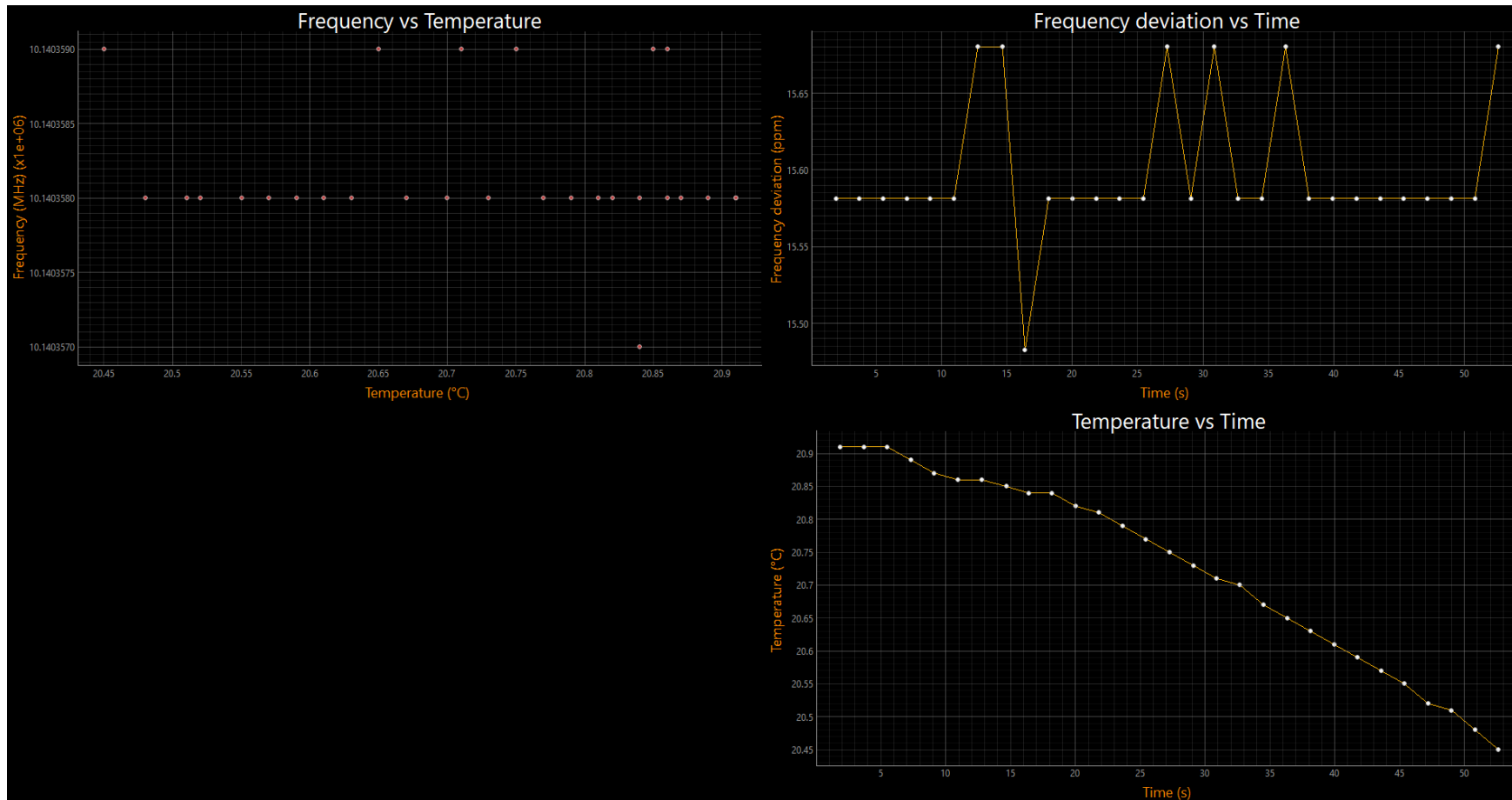
Analyse de stabilité en fréquence

Schéma bloc de l'environnement de test

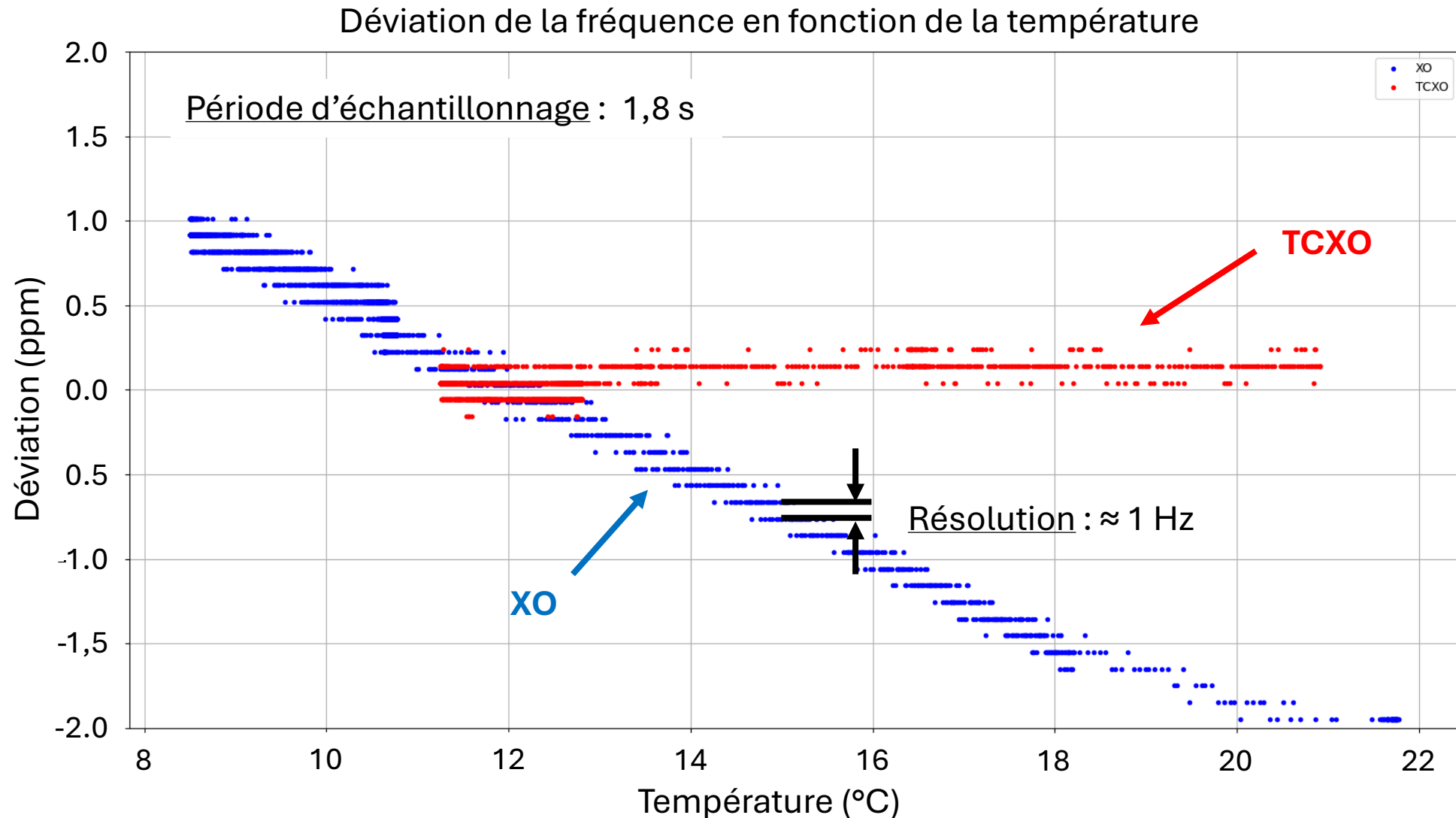


Analyse de stabilité en fréquence

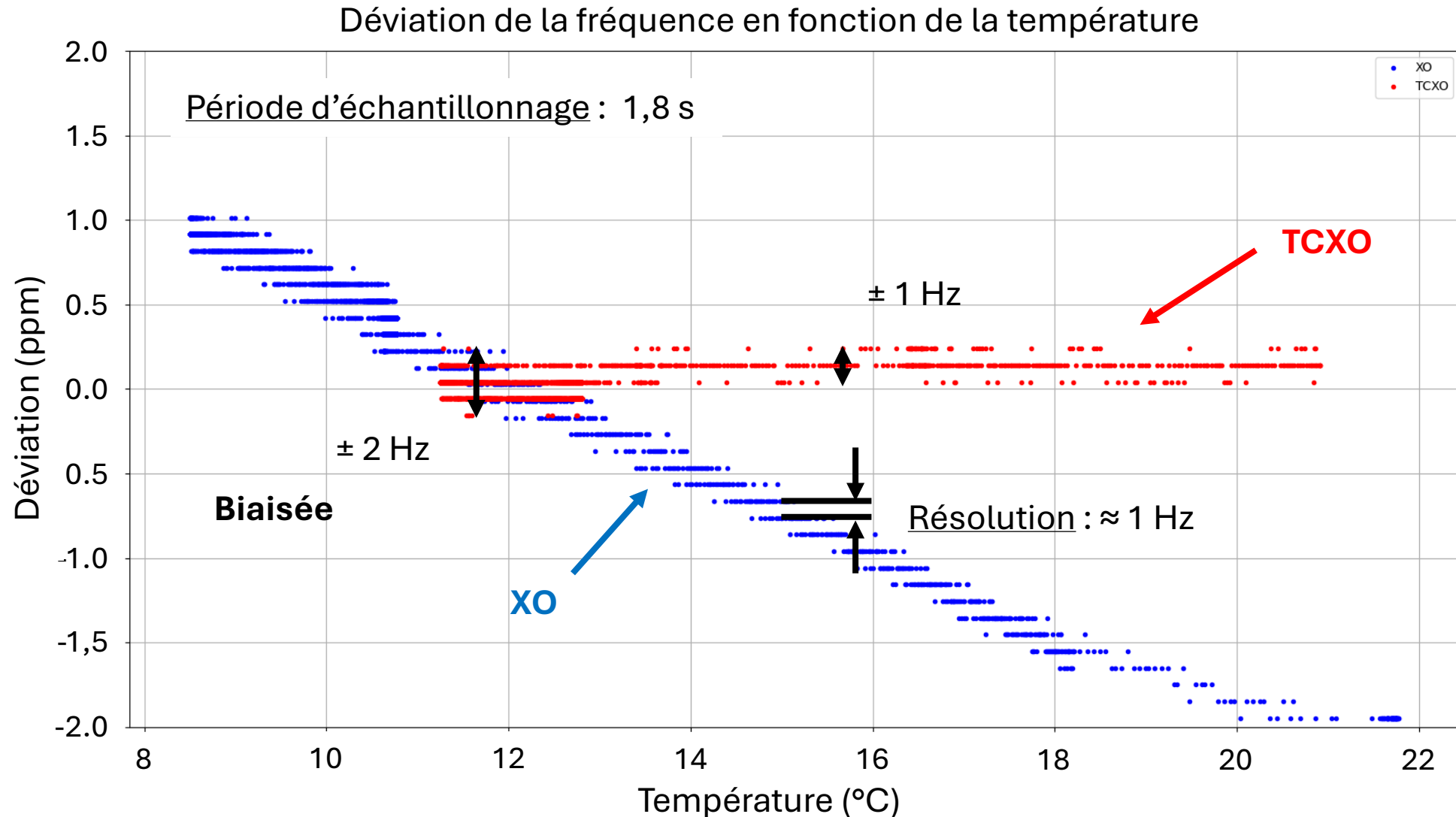
Interface graphique du programme de test



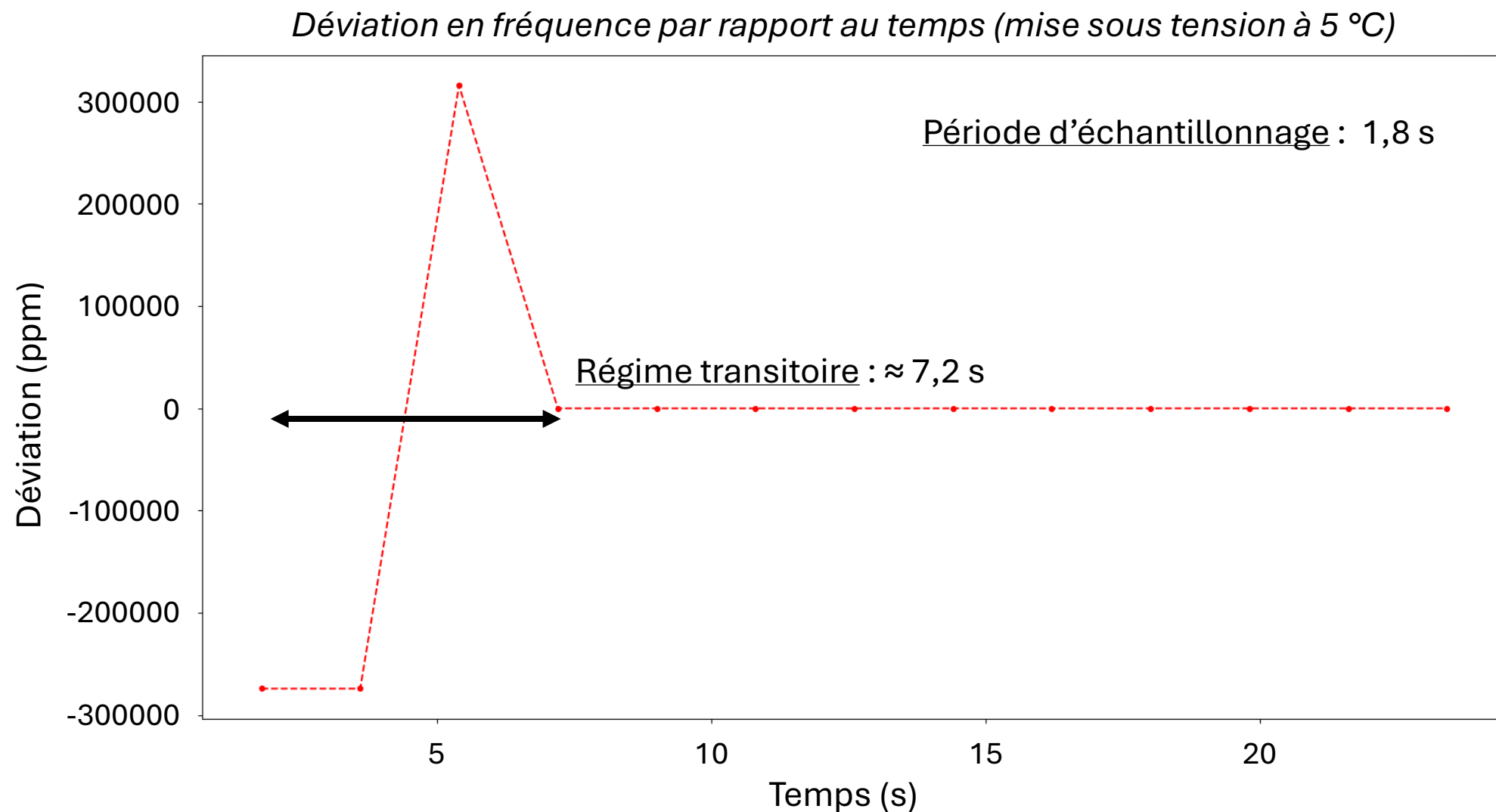
Analyse de stabilité en fréquence



Analyse de stabilité en fréquence



Analyse de stabilité en fréquence



Conclusion

Module de génération de signal :

- Précision nécessaire pour la discrimination des fréquences
- Basse consommation : 33 mW (repos) et 72,6 mW (en fonction)
- Temps de chauffe réduit

Système d'émission complet :

- Système autonome et basse consommation
- Réception mondiale du signal (jusqu'aux USA, 7 300 km)

Merci de votre attention