

Documentation de conception — SSTV analogique JPEG ESP32-S3 + SX1278 + tinySA Ultra

Principes de transmission, chronogrammes, procédure détaillée de vérification et mise au point

Ce document complète la note précédente en ajoutant des illustrations et une procédure détaillée de vérification pratique. L'objectif est d'obtenir une émission SSTV Martin M1 propre, stable et parfaitement décodable, à partir d'un JPEG ou d'une mire interne, avec un contrôle rigoureux au tinySA Ultra.

1. Principe de transmission SSTV analogique

- Le fichier JPEG est décodé dans un framebuffer 320 × 256. Chaque pixel est donc disponible sous forme de composantes Rouge, Vert et Bleu.
- En SSTV analogique, la luminance instantanée d'un pixel est convertie en fréquence audio. Dans la pratique, 1500 Hz correspond au noir et 2300 Hz au blanc, avec une variation linéaire entre les deux.
- En mode Martin M1, une ligne n'est pas envoyée pixel par pixel en RGB simultanément, mais en trois passes successives : Vert, puis Bleu, puis Rouge.
- L'ESP32-S3 génère la séquence temporelle des fréquences SSTV, qui est appliquée au GPIO5 relié au DIO2 du SX1278.
- Le SX1278, configuré en FSK direct, transpose alors ce signal en excursion de fréquence autour de 433,600 MHz.

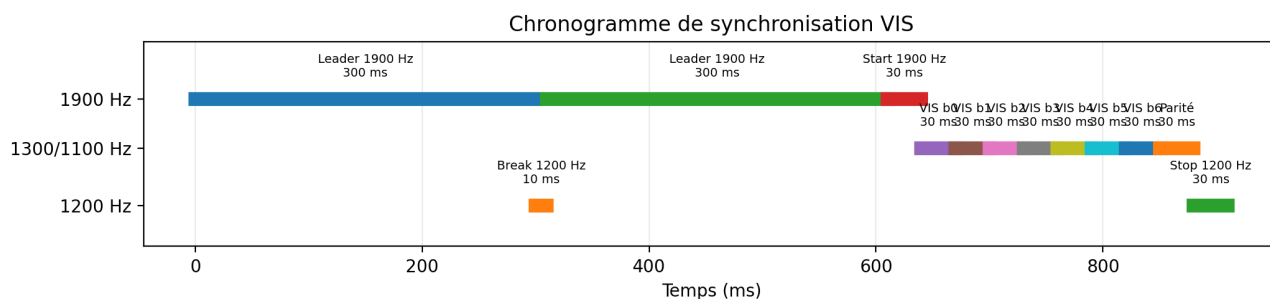
Loi de conversion pixel → fréquence : $f = 1500 + (\text{pixel} / 255) \times 800 \text{ Hz}$

2. Signaux de synchronisation et contenu d'une ligne

La transmission commence par une séquence VIS qui permet au logiciel de réception d'identifier le mode SSTV utilisé. Ensuite, chaque ligne Martin M1 est émise avec des timings fixes. Ces deux parties sont les plus utiles pour la mise au point au tinySA Ultra.

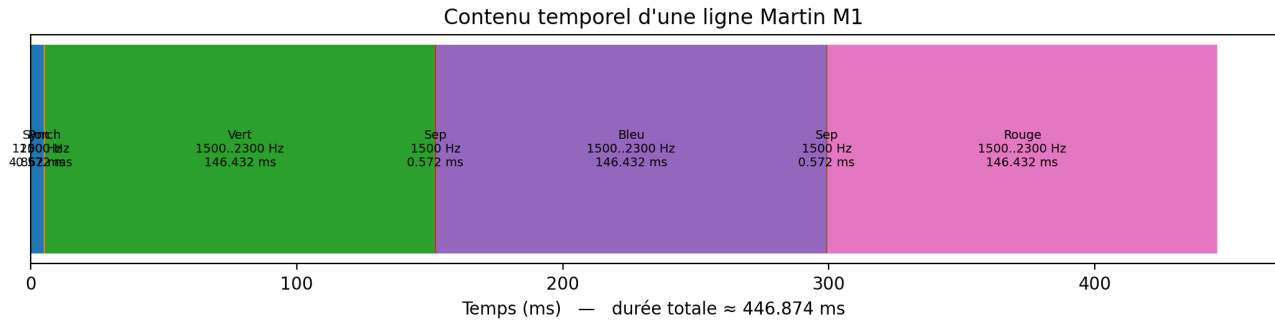
2.1 Séquence VIS

La séquence VIS comporte deux leaders à 1900 Hz séparés par un break à 1200 Hz, puis un start bit, les 7 bits du code VIS, le bit de parité et enfin le stop bit. Pour Martin M1, le code VIS est 44.



2.2 Contenu temporel d'une ligne Martin M1

Chaque ligne Martin M1 comprend un top de synchronisation à 1200 Hz, un porch à 1500 Hz, puis les trois plans couleur Vert, Bleu et Rouge, séparés par de courts paliers à 1500 Hz.



Élément	Durée	Rôle
Sync	4.862 ms	Repère de ligne
Porch	0.572 ms	Stabilisation avant image
Vert	146.432 ms	1er plan couleur
Séparateur	0.572 ms	Transition
Bleu	146.432 ms	2e plan couleur
Séparateur	0.572 ms	Transition
Rouge	146.432 ms	3e plan couleur

3. Réglages RF de départ

- Valeurs conseillées pour une première mise au point robuste :

Paramètre	Valeur initiale
Fréquence RF	433,600 MHz
Déviaton FSK	±2,7 kHz
Bitrate	9,6 kb/s
Puissance	+10 dBm
Correction SSTV	0,985

Ces valeurs constituent un bon point de départ pour vérifier la symétrie de déviation, la largeur de bande utile et la stabilité temporelle.

4. Procédure de vérification avec le tinySA Ultra

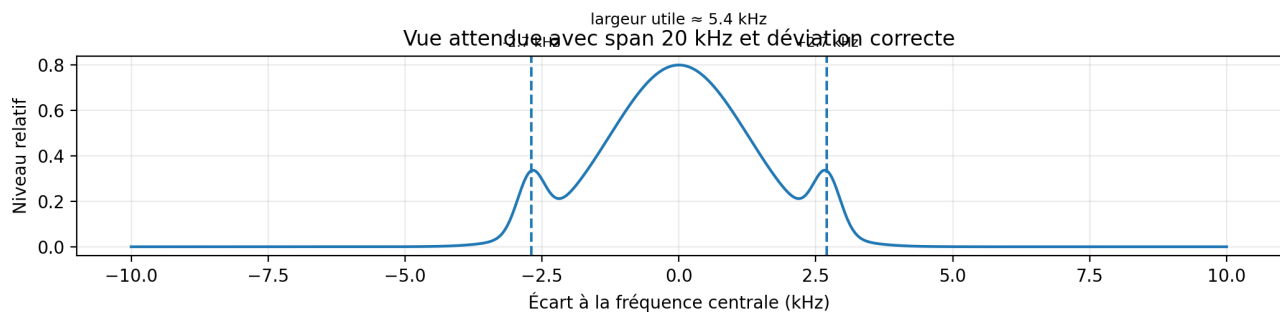
La mise au point doit être faite progressivement. L'idée est de valider d'abord la largeur spectrale, puis la stabilité temporelle en ZERO SPAN, et enfin l'alignement exact du timing de ligne.

Étape	Réglage tinySA	À observer	Correction
1. Connexion RF	Atténuateur 30 dB mini	Pas d'écrêtage entrée RF	Réduire P ou ajouter atténuation
2. Contrôle fréquence	Center 433,600 MHz Span 20 kHz	Signal bien centré	Corriger fréquence

3. Contrôle déviation	RBW 300 Hz Average 4	Largeur utile ~5,4 kHz	Ajuster Fdev
4. Contrôle propreté	Span 20 puis 5 kHz	Trace régulière sans paliers	Tester bitrate plus élevé
5. Contrôle timing	ZERO SPAN	Tops de synchro réguliers	Ajuster setCorrection()
6. Validation finale	QSSTV/MMSSTV	Image droite, couleurs stables	Reprendre étape 3 ou 5

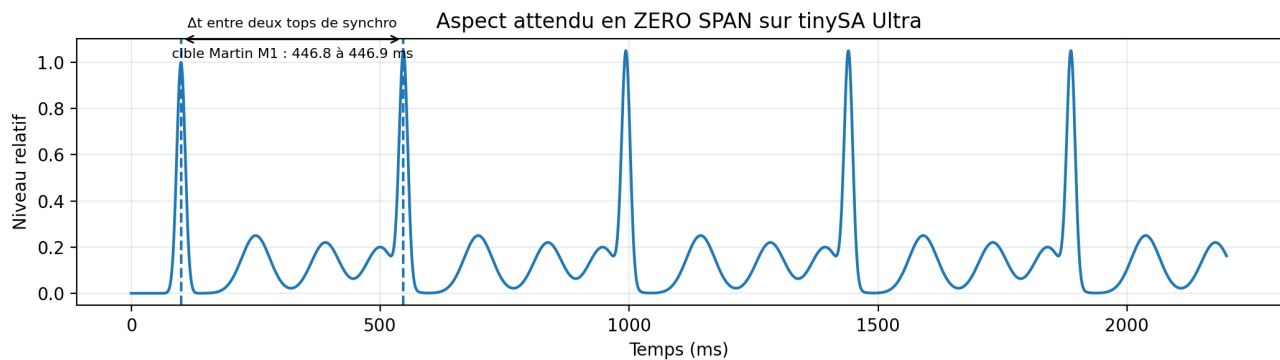
4.1 Vérification de la largeur spectrale

Avec Center = 433,600 MHz et Span = 20 kHz, on doit observer une occupation utile d'environ 5,4 kHz pour une déviation de $\pm 2,7$ kHz. Une largeur trop faible donnera une image terne et peu contrastée ; une largeur trop grande entraînera des bavures et des couleurs déformées.



4.2 Vérification en ZERO SPAN

Le mode ZERO SPAN transforme le tinySA en affichage amplitude/temps autour de la fréquence centrale. On visualise alors la répétition des lignes et surtout les tops de synchro. C'est l'outil principal pour régler finement le facteur setCorrection().



4.3 Procédure détaillée de mesure des lignes

1. Charger la mire interne plutôt que le JPEG pour les premiers réglages. Elle comporte des transitions franches et facilite l'analyse.
2. Placer le tinySA en ZERO SPAN, centre sur 433,600 MHz, durée de balayage suffisante pour afficher plusieurs lignes successives.
3. Repérer deux tops de synchro consécutifs. La mesure à effectuer est le temps Δt entre le début du sync de la ligne N et le début du sync de la ligne N+1.
4. La cible Martin M1 est de 446,8 à 446,9 ms environ par ligne. Pour améliorer la précision, mesurer 5 ou 10 lignes d'un coup puis diviser.

Calcul du nouveau facteur de correction : $C_{\text{new}} = C_{\text{old}} \times T_{\text{théorique}} / T_{\text{mesuré}}$

Exemple : si la correction actuelle vaut 0,985 et que la ligne mesurée vaut 449,0 ms, alors la nouvelle valeur devient $0,985 \times 446,874 / 449,0 \approx 0,980$. Après modification, refaire immédiatement une mesure en ZERO SPAN.

5. Lecture des défauts et corrections à appliquer

Symptôme observé	Cause probable	Correction
Image inclinée à droite	Ligne trop longue	Diminuer setCorrection()
Image inclinée à gauche	Ligne trop courte	Augmenter setCorrection()
Couleurs fades	Déviations insuffisantes	Augmenter légèrement Fdev
Bavures ou saturation	Déviations excessives	Réduire Fdev
Paliers visibles sur la modulation	Bitrate trop faible ou signal irrégulier	Tester 19,2 kb/s
Décodage instable	Synchronisation ou niveau RF imparfaits	Reprendre contrôles fréquence, Fdev et timing

6. Séquence pratique recommandée

1. Vérifier le centrage RF à 433,600 MHz.
2. Régler la déviation pour obtenir environ 5,4 kHz de largeur utile.
3. Passer en ZERO SPAN et mesurer la durée d'une ligne.
4. Ajuster setCorrection() jusqu'à 446,8–446,9 ms.
5. Valider avec la mire, puis seulement ensuite avec le JPEG.
6. Contrôler le résultat final dans QSSTV ou MMSSTV.

7. Conclusion

La méthode la plus efficace consiste à dissocier clairement les réglages fréquentiels et temporels. Le tinySA Ultra permet de valider d'abord la déviation et la symétrie de modulation, puis d'ajuster le timing au moyen du ZERO SPAN. Une fois ces deux points stabilisés, la réception SSTV devient très fiable.

9. Glossaire RF / SSTV avancé

Cette section complète le glossaire précédent avec les termes RF et d'analyse spectrale utilisés lors de la mise au point avec le tinySA Ultra, le SX1278 et les logiciels de décodage SSTV.

Terme avancé	Définition et usage pratique
RBW	Resolution BandWidth : largeur du filtre de résolution du tinySA.
VBW	Video BandWidth : filtrage vidéo appliqué à la trace affichée.
Span	Largeur fréquentielle totale affichée autour de la fréquence centrale.
Center Frequency	Fréquence centrale de l'analyse, ici 433,600 MHz.
Zero Span	Mode temporel à fréquence fixe utilisé pour mesurer le timing des lignes SSTV.
Jitter temporel	Fluctuation aléatoire du timing des tops de synchronisation.
Symétrie de déviation	Égalité des excursions RF de part et d'autre de la fréquence centrale.
Slew RF	Vitesse de variation de la fréquence RF lors des transitions rapides.
Occupation spectrale	Largeur totale du signal RF mesuré au tinySA.
Contraste SSTV	Différence visuelle entre zones sombres et claires liée à la déviation.
Linéarité de modulation	Fidélité de reproduction des niveaux de gris.
Drift fréquence	Dérive lente de la fréquence centrale pendant la transmission.

10. Annexe – Méthodes de mesure TinySA Ultra

Cette annexe regroupe les méthodes de mesure recommandées pour qualifier objectivement la transmission SSTV analogique : déviation RF, jitter temporel, linéarité des niveaux de gris et contraste RF versus image décodée.

10.1 Mesure de la déviation RF par marqueurs

5. Régler le tinySA sur Center = 433,600 MHz et Span = 20 kHz.
6. Activer deux marqueurs sur les excursions basse et haute observées pendant la mire.
7. Mesurer $\Delta f = f_2 - f_1$ puis calculer $F_{dev} = \Delta f / 2$.
8. La cible recommandée est $\pm 2,7$ kHz, soit une largeur totale d'environ 5,4 kHz.

10.2 Mesure du jitter sur 10 lignes

En ZERO SPAN, mesurer non pas une seule ligne mais 10 tops de synchronisation successifs afin d'améliorer la précision statistique.

Mesure	Valeur cible	Interprétation
Δt sur 10 lignes	4468,7 ms	Base Martin M1
Écart-type	< 0,5 ms	Très bon
Écart-type	0,5 à 2 ms	Acceptable
Écart-type	> 2 ms	Jitter visible sur image

10.3 Validation de la linéarité des niveaux de gris

Utiliser la rampe de gris de la mire interne et observer la variation de fréquence RF sur le tinySA. La progression doit être régulière, sans paliers ni zones compressées. Toute non-linéarité se traduira par des aplats ou des contrastes incorrects dans l'image reçue.

10.4 Contrôle du contraste RF ↔ image reçue

Comparer la largeur spectrale observée avec la dynamique visuelle reçue sous QSSTV/MMSSTV. Une faible excursion RF donne une image terne, alors qu'une excursion excessive provoque des bavures et une saturation des couleurs.

10.5 Checklist de validation finale

- ✓ fréquence centrale exacte
- ✓ déviation $\pm 2,7$ kHz
- ✓ jitter faible sur 10 lignes
- ✓ ligne Martin M1 = 446,8–446,9 ms
- ✓ rampe de gris linéaire
- ✓ image droite sous QSSTV