

Rapport 441

Le Minimix

Samuel Ogulluk
samuel.ogulluk@ens-paris-saclay.fr¹

¹ENS Paris-Saclay, DER Sciences de l'ingénierie électrique et numérique

11 janvier 2026

Introduction

L'objectif central de ce projet a été de concevoir et de rendre fonctionnelle une console de mixage numérique compacte en exploitant les capacités du microcontrôleur LPC804.

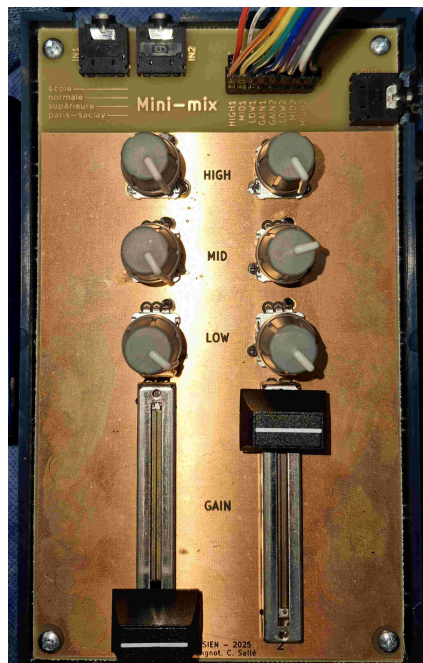


FIGURE 1 — Boîtier Minimix

L'ensemble du projet est disponible dans ce dépôt Github : [Minimix](#)

1 Présentation du Minimix

Le Minimix permet de combiner deux signaux d'entrée (IN1 et IN2) via des jacks 3,5 mm situés en haut à gauche. Chaque canal dispose de potentiomètres rotatifs pour l'égalisation des fréquences (**High**, **Mid**, **Low**) et d'un fader linéaire pour le contrôle des gains de sortie. Les signaux traités sont ensuite acheminés vers une sortie (OUT) ou transmis via le connecteur multibroches.

Il est à noter que les potentiomètres ne modifient pas directement le son : au niveau des broches, seule la valeur du potentiomètre est lisible (entre 0 et V_{DD}). Tout signal doit donc être envoyé au LPC804 afin d'effectuer un traitement, puis renvoyé dans le boîtier.

1.1 Objectifs

Ainsi, 3 objectifs étaient définis :

1. Faire fonctionner les convertisseurs ADC/DAC afin de pouvoir traiter le son
2. Faire varier le volume en sortie grâce aux gains sur le boîtier
3. Utiliser les potentiomètres rotatifs pour l'égalisation

1.2 Les difficultés

L'implémentation du traitement numérique a soulevé des défis majeurs, principalement liés aux contraintes de temps réel. À une fréquence d'échantillonnage de 40 kHz pour deux canaux et une horloge de 15 MHz, le processeur ne dispose que de 375 cycles par échantillon, soit environ 200 instructions assembleur. Cette limite a rendu l'usage des nombres à virgule flottante impossible.

Pour optimiser les ressources, les calculs lourds ont été déportés hors de la boucle critique ou effectués à basse fréquence (notamment lors des actualisations des gains toutes les 0.25 s). Les filtres ont été conçus comme des moyennes mobiles simplifiées, où les multiplications sont remplacées par des décalages de bits (bit shifts). Cette approche permet de gérer les trois bandes de fréquences (High, Mid, Low) et le gain avec une efficacité maximale. Les détails mathématiques de ces optimisations sont précisés en annexe.

2 Diagramme synoptique

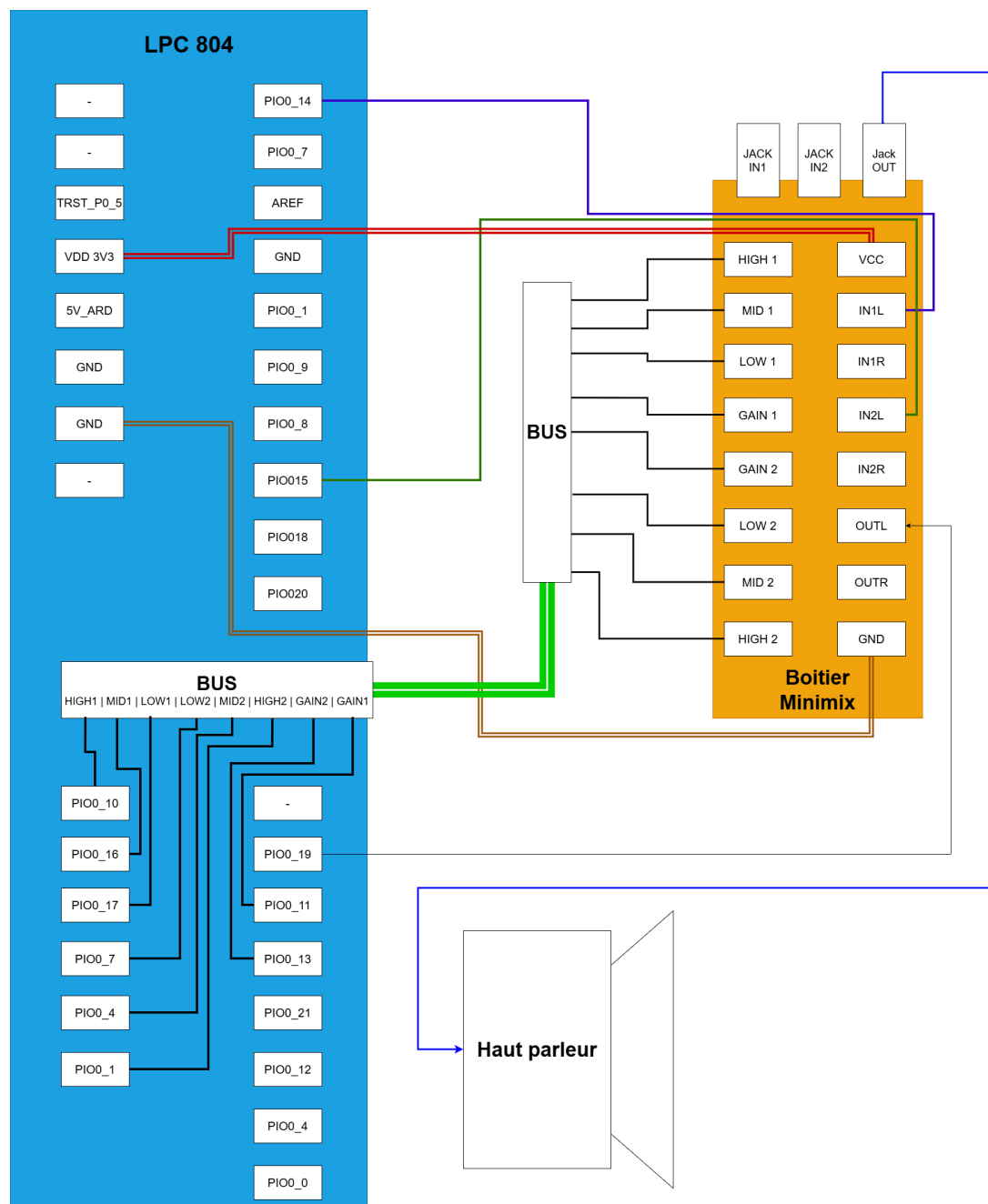


FIGURE 2 — Diagramme synoptique

Ainsi, la pin 19 a été utilisée comme DAC, tandis que toutes les autres ont été utilisées comme des ADC.

Conclusion

Ainsi, pour conclure, bien que le mini-mix fonctionne correctement, il est à noter que la fréquence de fonctionnement, ainsi que la qualité des ADC/DAC ne sont pas appropriés pour du traitement audio, ainsi, le bruit est très important, d'autant plus que les branchements n'étant pas soudés, un mouvement brusque peut lui aussi amener son propre bruit.

Une continuation de ce projet pourrait ainsi chercher un micro-contrôleur de plus haute fréquence nominale, des ADC/DAC prévus pour du traitement audio, ou bien la conception du boîtier directement autour d'une carte électronique dédiée, afin d'avoir des branchements pérenns et donc un facteur de bruit plus faible.

3 Annexe

3.1 Équations du traitement audio (LPC MRT ISR)

1. Centrage du signal d'entrée

Pour chaque voie $i \in \{1, 2\}$, le signal brut ADC_i est recentré sur zéro : $r_in_i = ADC_i - 2048$

2. Filtrage des bandes (IIR à décalage)

Les composantes fréquentielles sont extraites par des intégrateurs :

$$\begin{cases} f_low_{i,t} = f_low_{i,t-1} + \frac{r_in_{i,t} - f_low_{i,t-1}}{2^5} \\ f_wide_{i,t} = f_wide_{i,t-1} + \frac{r_in_{i,t} - f_wide_{i,t-1}}{2^2} \end{cases}$$

Calcul des signaux par bandes :

$$\begin{cases} r_mid_i = f_wide_i - f_low_i \\ r_high_i = r_in_i - f_wide_i \end{cases}$$

3. Coefficients et Gains

Les coefficients C sont le produit du niveau de bande et du gain maître (mis à jour périodiquement) :

$$C_{bande,i} = \left(\frac{raw_bande_i \times 100}{2^{12}} \right) \times \left(\frac{raw_gain_i \times 100}{2^{12}} \right)$$

4. Mixage et Sortie DAC

Sommation pondérée et mise à l'échelle finale :

$$Total = \sum_{i=1}^2 (f_low_i \cdot C_{L,i} + r_mid_i \cdot C_{M,i} + r_high_i \cdot C_{H,i})$$

Calcul du registre DAC :

$$\begin{cases} V_{out} = \text{clamp} \left(\frac{Total}{2^{14}} + 2048, 0, 4095 \right) \\ DAC_CR = V_{out} \ll 4 \end{cases}$$