|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Charte et Logo de l’entreprise | | | |
| **PFE : « Traitement de signal audio embarqué temps réel sur carte STM32 »**  **FIPA 2021** | | | |
|  | ENSTA Bretagne  2 rue F. Verny  29806 Brest Cedex 9, France  JÉZÉGOU, Pierre-Yves,  [pierre-yves.jezegou@ensta-bretagne.org](mailto:pierre-yves.jezegou@ensta-bretagne.org) |  | Contact :  Reynet Olivier,  [olivier.reynet@ensta-bretagne.fr](mailto:olivier.reynet@ensta-bretagne.fr)  Probst Irvin,  [irvin.probst@ensta-bretagne.fr](mailto:irvin.probst@ensta-bretagne.fr) |

# Remerciements

# Résumé

# Abstract

Sommaire

[Remerciements 2](#_Toc87859308)

[Résumé 3](#_Toc87859309)

[Abstract 3](#_Toc87859310)

[Sommaire 4](#_Toc87859311)

[Introduction *(3e livrable, 2/3 de page)* 5](#_Toc87859312)

[1. Besoin/Attentes du projet 6](#_Toc87859313)

[2. Plateforme Cible 6](#_Toc87859314)

[2.1. STM32 ? 6](#_Toc87859315)

[2.2. Chaine de Capture 6](#_Toc87859316)

[2.3. Sortie Audio 6](#_Toc87859317)

[3. Conversion PDM -> PCM 6](#_Toc87859318)

[3.1. Les échantillons 6](#_Toc87859319)

[3.1.1. PCM 6](#_Toc87859320)

[3.1.2. PDM 7](#_Toc87859321)

[3.2. Chaine de filtrage 7](#_Toc87859322)

[3.3. Intégration au µ— contrôleur 7](#_Toc87859323)

[4. Les démonstrateurs 8](#_Toc87859324)

[4.1. Présentation des démonstrateurs : 8](#_Toc87859325)

[4.1.1. « Parrot » 8](#_Toc87859326)

[4.1.2. « Digital recorder » 8](#_Toc87859327)

[4.1.3. « Direct output » 8](#_Toc87859328)

[4.2. Configuration des périphériques de la carte 8](#_Toc87859329)

[Références Bibliographiques 9](#_Toc87859330)

[Glossaires des termes techniques 9](#_Toc87859331)

[Table des figures 9](#_Toc87859332)

[Annexe 1 : Titre de l’annexe… 10](#_Toc87859333)

# Introduction *(3e livrable, 2/3 de page)*

* Introduction générale du projet
* Présentation de la structuration du rapport

# Besoin/Attentes du projet

* Lever les incertitudes sur l’acquisition audio temps réel :
  + Implémentation sur cible STM32

Créer une chaine de capture -> recopie audio sur un microcontrôleur STM32

* + Réglages du Microphone PDM/ Filtrage du signal

Affiner les réglages des blocs de traitement audio du microcontrôleur. Se détacher de la librairie statique (non-open source) fournie par ST Micro pour la conversion PDM->PCM

# Plateforme Cible.

## STM32 ?

Ligne de microcontrôleurs 32 bit commercialisée par ST Microélectroniques basée sur l’architecture ARM Cortex-M

Carte cible

STM32f429XX

## Chaine de Capture

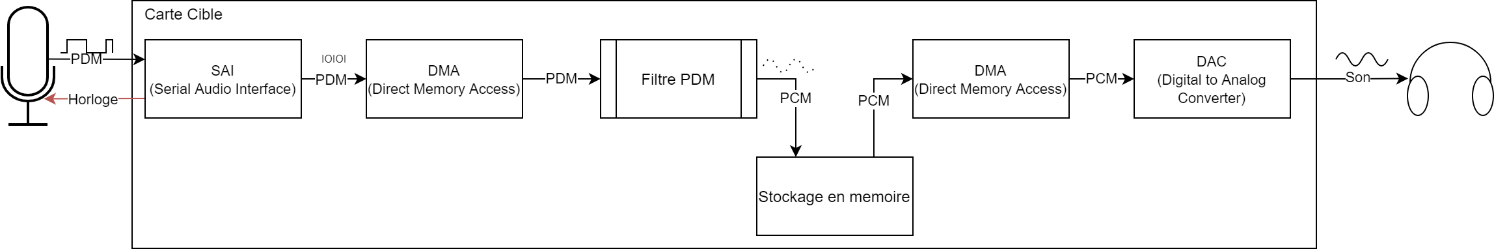


Figure 1 : Chaine de capture

## Sortie audio

Puissance de sorite du DAC + conception du câble

# Conversion PDM -> PCM

## Les échantillons

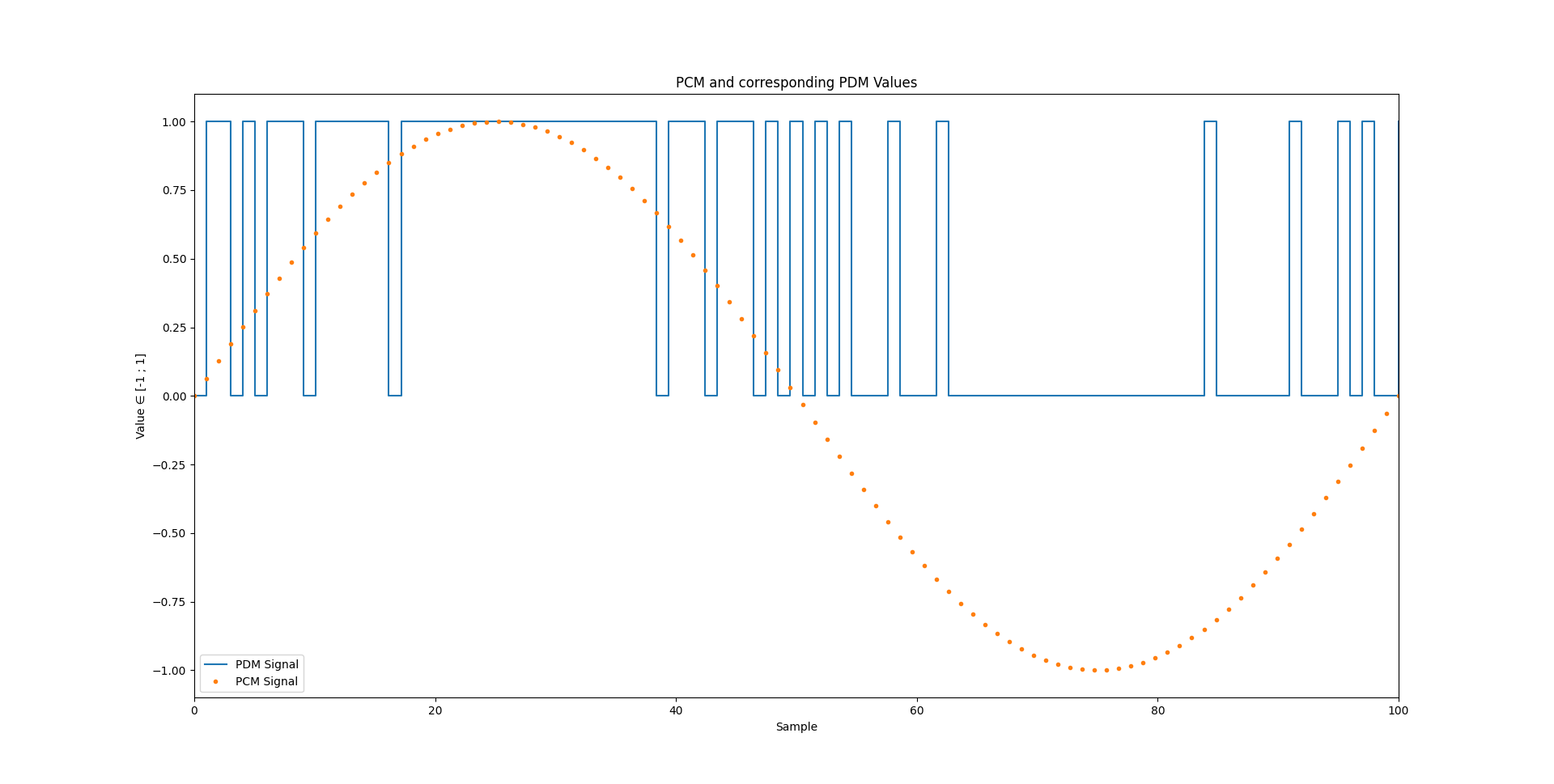
### PCM

Pulse code Modulation -> Signal numérique, où chaque échantillon encoder numériquement représente le niveau du signal a un instant donné

### PDM

*PDM is a form of modulation used to represent an analog signal in the digital domain. It is a high frequency stream of 1-bit digital samples. In a PDM signal, the relative density of the pulses corresponds to the analog signal's amplitude. A large cluster of 1s correspond to a high (positive) amplitude value, when a large cluster of 0s would correspond to a low (negative) amplitude value, and alternating 1s and 0s would correspond to a zero amplitude value.*

Pulse Density Modulation, Modulation numérique d’un signal, où la valeur de celui-ci est définie par la concentration de 1 dans le signal



## Chaine de filtrage

Le passage d’un signal PDM échantillonné à haute fréquence () vers un signal PCM échantillonné à plus basse fréquence () se fait par le filtrage du signal du signal PDM par un filtre Passe Bas ayant une fréquence de coupure maximale , une fois le signal PDM filtré, on rééchantillonne le signal afin de faire correspondre sa fréquence d’échantillonnage à celle recherché pour le signal audio (). Ce rééchantillonnage est fait avec un facteur de décimation . Généralement . On applique ensuite au signal un offset et un gain pour l’adapter l’amplitude désiré pour le signal PCM. Ce qui nous donne la chaine de filtrage suivante :

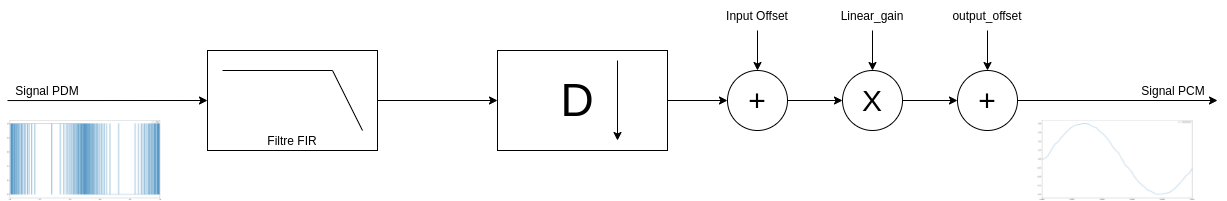


Figure 2 Chaine de filtrage PDM → PCM

Pour mieux comprendre le fonctionnement du filtre nous allons étudier un signal pendant sont passage dans cette chaine de filtrage. Nous utiliserons un signal en dent de scie suivant l’expression suivante :

Le signal que nous utiliserons dans cet exemple a les paramètres suivants :

|  |  |
| --- | --- |
| Paramètre | Valeur |
| Fréquence d’échantillonnage |  |
| Fréquence Fondamentale |  |
| Ordre de la série de Fourier |  |
| Durée du signal |  |

Ce qui donne le signal suivant (centré une période) :

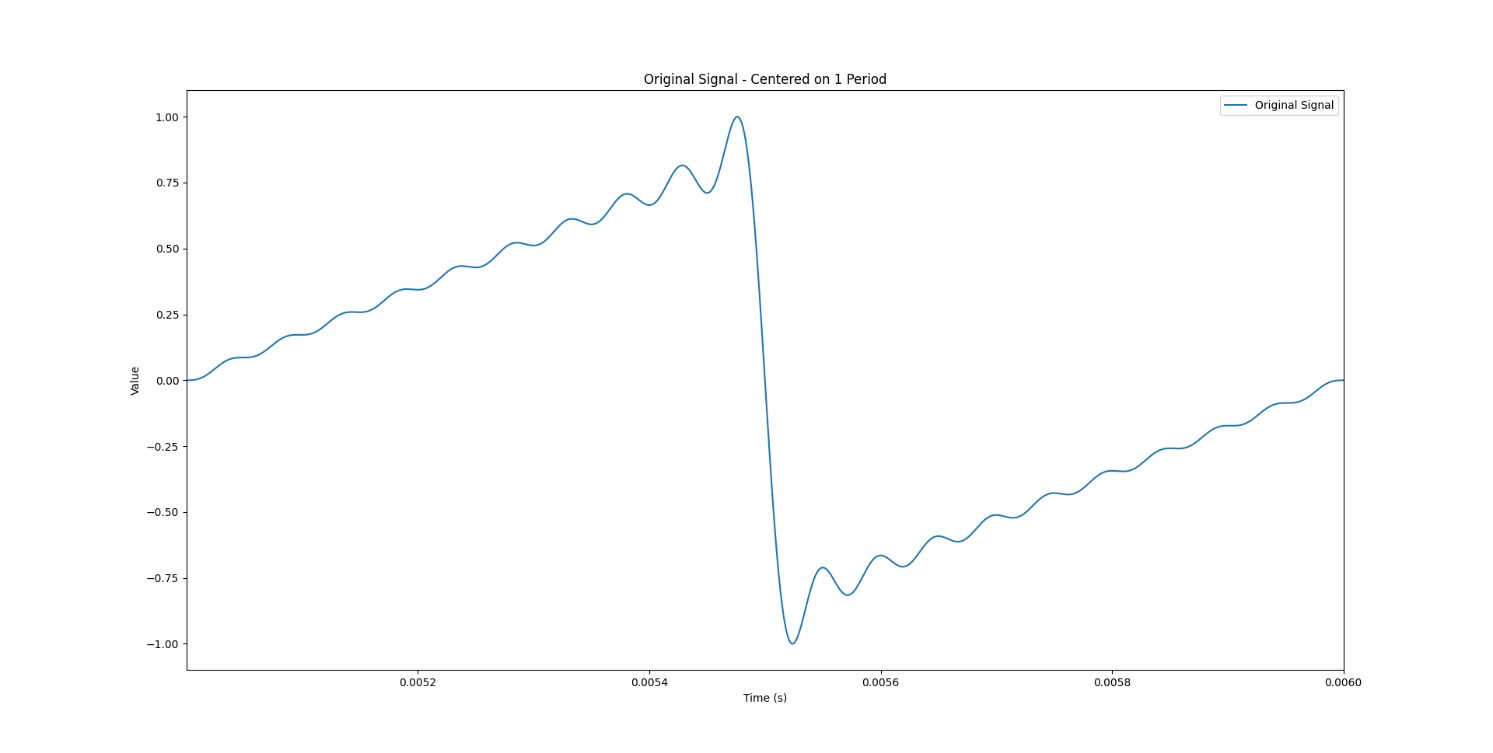


Figure 3 : Signal de Départ

*Avant d’envoyer le signal dans la chaine de filtrage on va le convertir en PDM ce qui nous donne le signal suivant :*

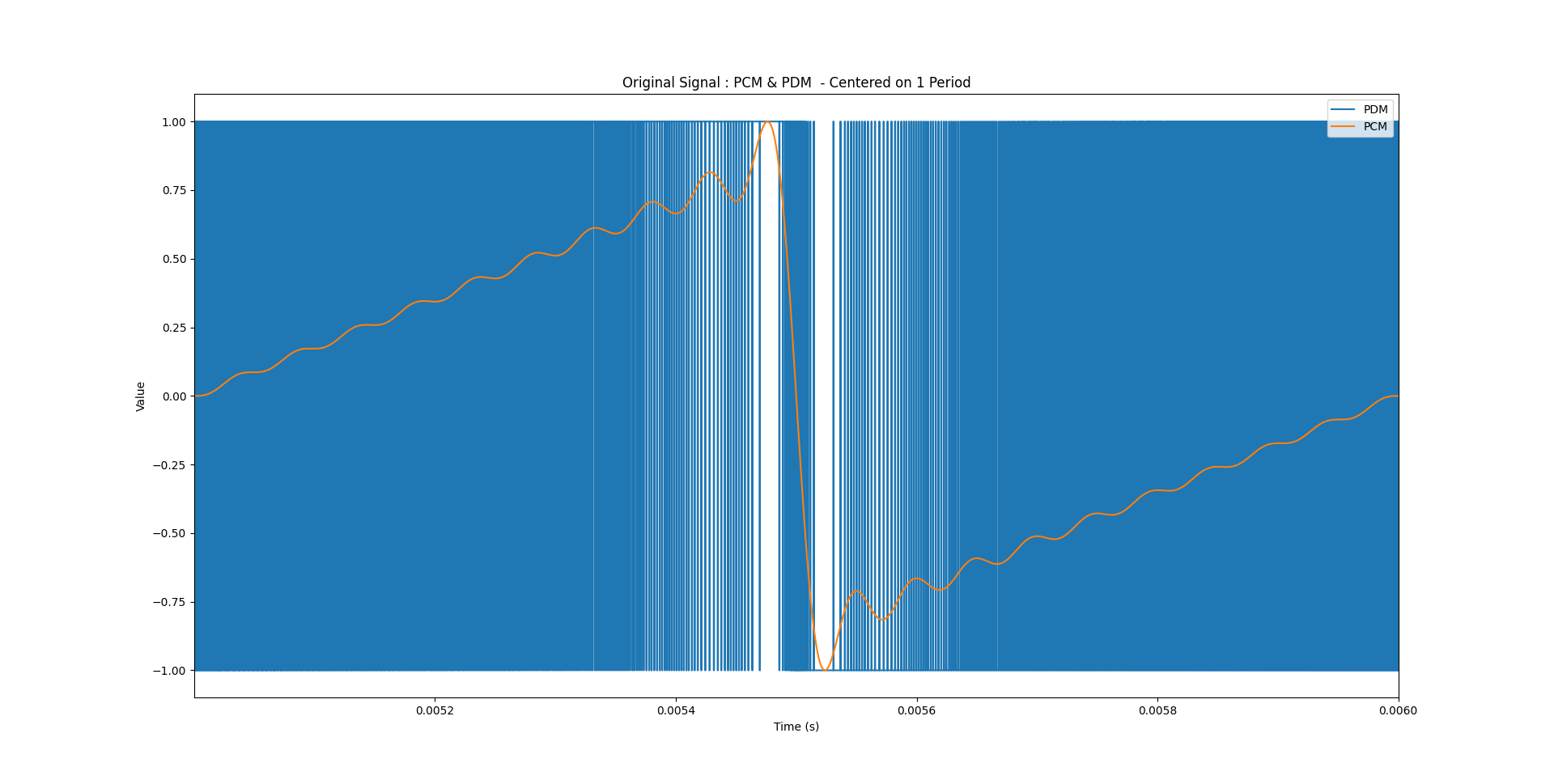


Figure 4: Conversion PCM (orange) → PDM (bleu)

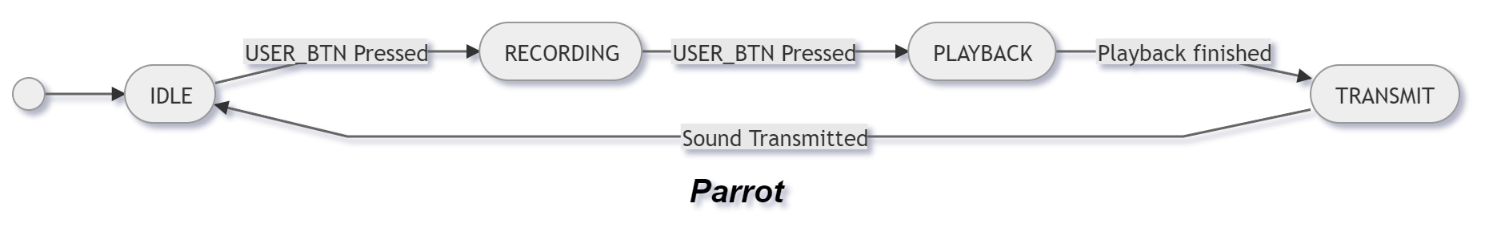
## Intégration au µ— contrôleur

Les échantillons PDM arrivent dans la mémoire RAM via le DMA qui charge en continue les données en provenance du périphérique SAI dans un buffer accessible par le programme. Ce buffer est circulaire, c’est-à-dire qu’une fois la fin de celui-ci atteinte le DMA revient au début pour stocker les échantillons suivants. Afin de notifier le programme de sa position dans le Buffer le DMA lève 2 interruptions, une première quand il passe la moitié du buffer la seconde à la fin de celui-ci. C’est interruption sont traitée par le programme dès que le lever via l’appel de fonction de "Callbacks". Ces fonctions agissent alors sur deux variable une première qui notifie le programme principal de la présence de nouvelles données dans le buffer et une seconde qui indique dans quelle moitié du buffer lire les données.

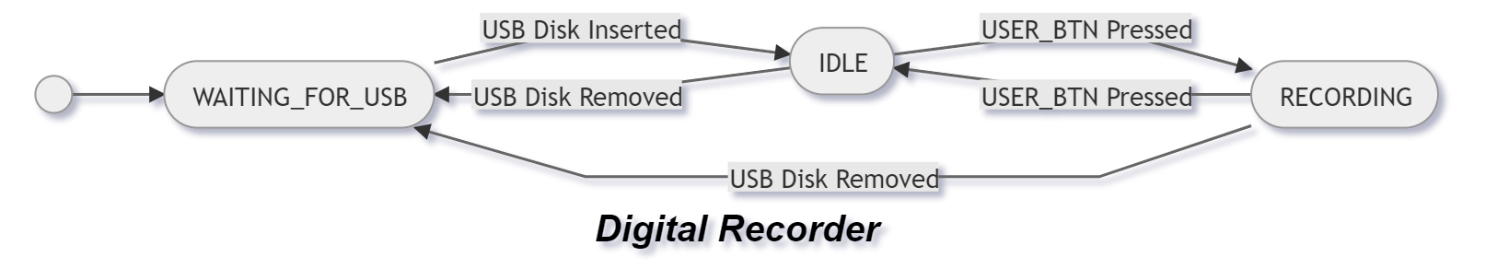
# Les démonstrateurs

## Présentation des démonstrateurs :

### « Parrot »



### « Digital recorder »



### « Direct output »

Une image contenant texte, périphérique, sombre, mètre

Description générée automatiquement

## Configuration des périphériques de la carte

# Références Bibliographiques

# Glossaires des termes techniques

|  |  |
| --- | --- |
| **Terme ou Acronyme** | **Définition** |
| Buffer | Espace mémoire tampon |
| DMA | "Direct Memory Access". Composant du microcontrôleur permettant l’échange de données entre la RAM et les périphériques sans impacter l’exécution du programme principal |
| PCM | "Pulse Code Modulation". Modulation d’un signal numérique ou chaque échantillon stocke le niveau du signal a un instant T |
| PDM | "Pulse Density Modulation. Modulation d’un signal numérique où le niveau du signal et définit par la densité d’échantillons à "1" |
| SAI | "Serial Audio Interface". Interface de numérique de transfert de signaux audio série |
|  |  |
|  |  |

# Table des figures

[Figure 1 : Chaine de capture 6](#_Toc87973916)

[Figure 2 Chaine de filtrage PDM → PCM 7](#_Toc87973917)

[Figure 3 : Signal de Départ 8](#_Toc87973918)

[Figure 4: Conversion PCM (orange) → PDM (bleu) 8](#_Toc87973919)

# Annexe 1 : Titre de l’annexe…

On doit au minimum trouver en annexe :

* Les documentations constructeurs des composants choisis sur étagère
* Le détail de certains calculs jugés « longs »
* Les comptes-rendus rédigés au fil des séances de projet