



PULSAR

A Hybrid Digital-Analog Synthesizer for 21st Century Electronic Music

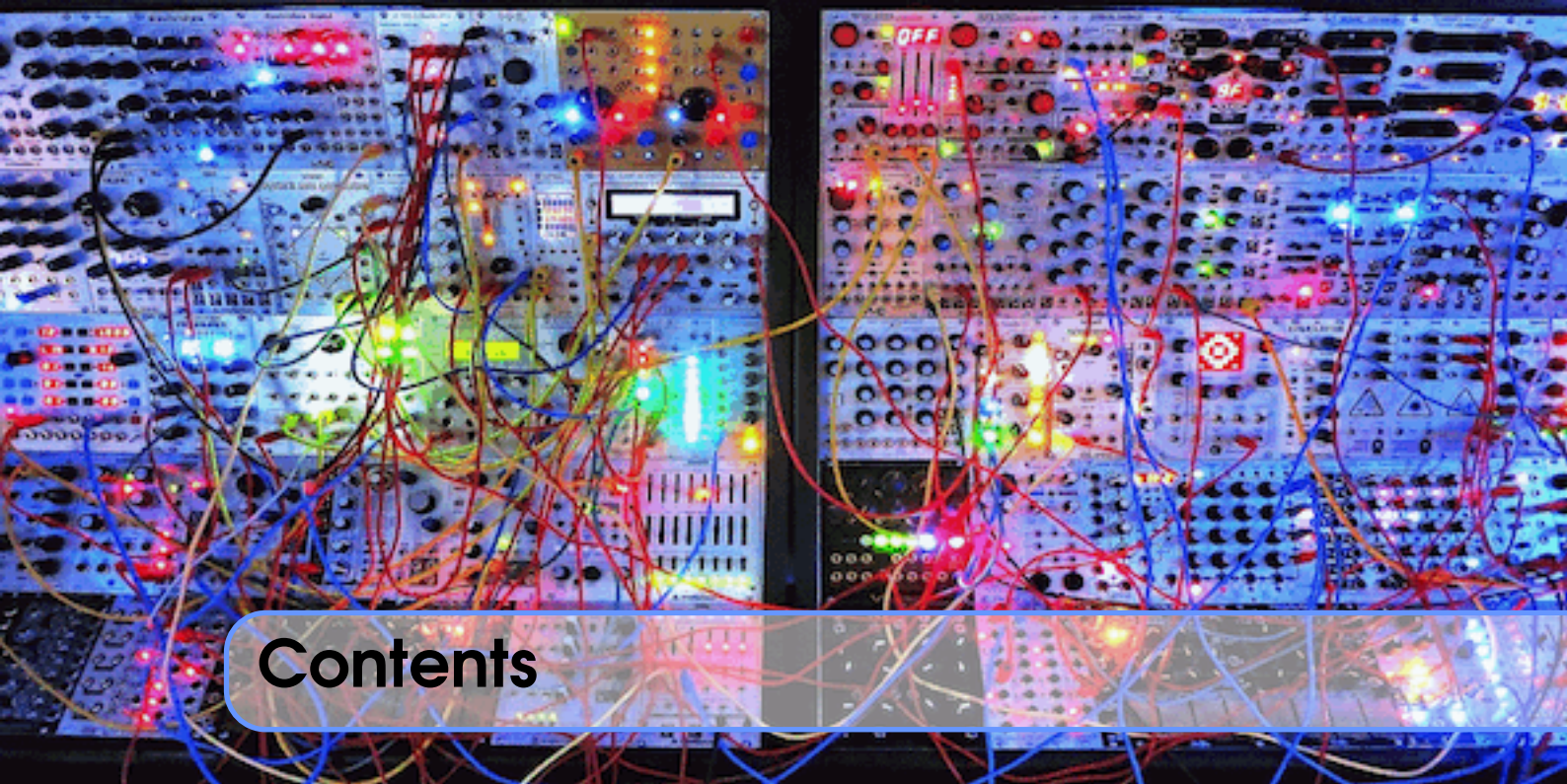
P.E. Barthelemy, V. Clabaux, C. Colart, A. Coniase, F. Dos Santos Simao, I. El Fatihi, M. Lighoudi, N. Meerun,

A. Moutawakil, H. Rivière, A. Rozière, A. Soler — Encadrement pédagogique et technique S. Reynal

ENSEA

Septembre 2017 - Avril 2018





Contents

I	Présentation du projet par l'encadrant	
1	Contexte et cahier des charges	9
1.1	Contexte historique	9
1.2	Pourquoi une approche hybride analogique-numérique ?	10
1.3	Cahier des charges initial du projet (Septembre 2017)	10
2	Architecture générale de l'instrument	13
2.1	VCO	13
2.2	VCF	15
2.3	VCA	15
2.4	Générateurs d'enveloppe ADSR	16
2.5	LFO et modulations	16
2.6	MIDI	17
2.7	Interface Homme-Machine	17
2.8	Module d'effet analogique	17
2.9	Module de distorsion à tubes	18

Modules réalisés par les étudiants en 2017-2018

3	Wavetable par N. Meerun et A. Moutawakil	21
3.1	Création des tables d'onde (N. Meerun)	21
3.2	Le rebouclage en C	22
3.3	Génération des ondes numériques "Wavetable", par A. Moutawakil	23
3.3.1	Choix de la forme d'onde	23
3.3.2	Choix de la note	24
3.3.3	Écriture de la forme d'onde sur le CNA	24
3.3.4	Code commenté	24
4	VCO analogiques par P.E. Barthélemy	29
4.1	Généralités	29
4.2	Étude théorique de l'amplificateur à transconductance	29
4.2.1	Principe	29
4.2.2	Montages de base	30
4.3	Étude du montage effectué : LM13700	33
4.4	Montage avec mélangeur	34
5	VCF par A. Rozière/F. Dos Santos	39
5.1	Généralités	39
5.2	Caractérisation des filtres	39
5.3	Conclusions sur l'implémentation des VCF	40
6	VCA par V. Clabaux	43
7	Guide d'utilisation des cartes prototypes	47
7.1	Carte analogique (V. Clabaux)	47
7.2	Carte convertisseurs (S. Reynal)	48
8	Générateurs ADSR par C. Colart	51
8.1	Principe	51
8.2	Génération des signaux numériques par la carte	52
9	Face avant par I. El Fatihi et M. Lighoudi	53
9.1	Principe	53
9.2	Pourquoi des Leds Bars ?	56
9.3	Qu'est ce qu'un expander MCP23017?	56

10	Interface MIDI par M. Lighoudi	57
10.1	Principe	57
10.2	L'interface Midi du PULSAR	58
11	Module distortion (A. Coniasso, H. Rivière)	63
11.1	Cahier des charges	64
11.2	Architecture du préamplificateur	65
11.3	Ecart au cahier des charges et améliorations du prototype	69
12	Module delay par A. Moutawakil et A. Soler	77
12.1	Fonctionnement Général	78
12.1.1	Ergonomie et utilisation	80
12.1.2	Cahier des charges	81
12.2	Fonctionnement du circuit	81
12.2.1	Schéma global et fonctionnement	81
12.2.2	Filtre amont - Passe bas Anti-aliasing	81
12.2.3	Filtre aval - De reconstruction du signal	82
12.2.4	Réinjection	82
12.2.5	Circuit de génération des horloges	82
12.3	Réalisation	82
12.3.1	Schéma Eagle - S. Reynal	82
12.3.2	Programmation des horloges	82
A	La Java Native Interface	81
B	Code C et Java produit en 2017-2018 (RPI3)	83
B.1	Code création des tables d'onde (N. Meerun)	83
C	Schémas et datasheets	87



Présentation du projet par l'encadrant

1	Contexte et cahier des charges .	9
1.1	Contexte historique	
1.2	Pourquoi une approche hybride analogique-numérique ?	
1.3	Cahier des charges initial du projet (Septembre 2017)	
2	Architecture générale de l'instrument	13
2.1	VCO	
2.2	VCF	
2.3	VCA	
2.4	Générateurs d'enveloppe ADSR	
2.5	LFO et modulations	
2.6	MIDI	
2.7	Interface Homme-Machine	
2.8	Module d'effet analogique	
2.9	Module de distorsion à tubes	

- 4.2 Etude theorique de l'amplificateur a transconductance
- 4.3 Étude du montage effectué : LM13700
- 4.4 Montage avec mélangeur

5 VCF par A. Rozière/F. Dos Santos 39

- 5.1 Généralités
- 5.2 Caractérisation des filtres
- 5.3 Conclusions sur l'implémentation des VCF

6 VCA par V. Clabaux 43

7 Guide d'utilisation des cartes prototypes 47

- 7.1 Carte analogique (V. Clabaux)
- 7.2 Carte convertisseurs (S. Reynal)

8 Générateurs ADSR par C. Colart 51

- 8.1 Principe
- 8.2 Génération des signaux numériques par la carte

9 Face avant par I. El Fatihi et M. Lighoudi 53

- 9.1 Principe
- 9.2 Pourquoi des Leds Bars ?
- 9.3 Qu'est ce qu'un expander MCP23017?

10 Interface MIDI par M. Lighoudi .. 57

- 10.1 Principe
- 10.2 L'interface Midi du PULSAR

11 Module distortion (A. Coniasse, H. Rivière) 63

- 11.1 Cahier des charges
- 11.2 Architecture du préamplificateur
- 11.3 Ecart au cahier des charges et améliorations du prototype

12 Module delay par A. Moutawakil et A. Soler 77

- 12.1 Fonctionnement Général
- 12.2 Fonctionnement du circuit
- 12.3 Réalisation

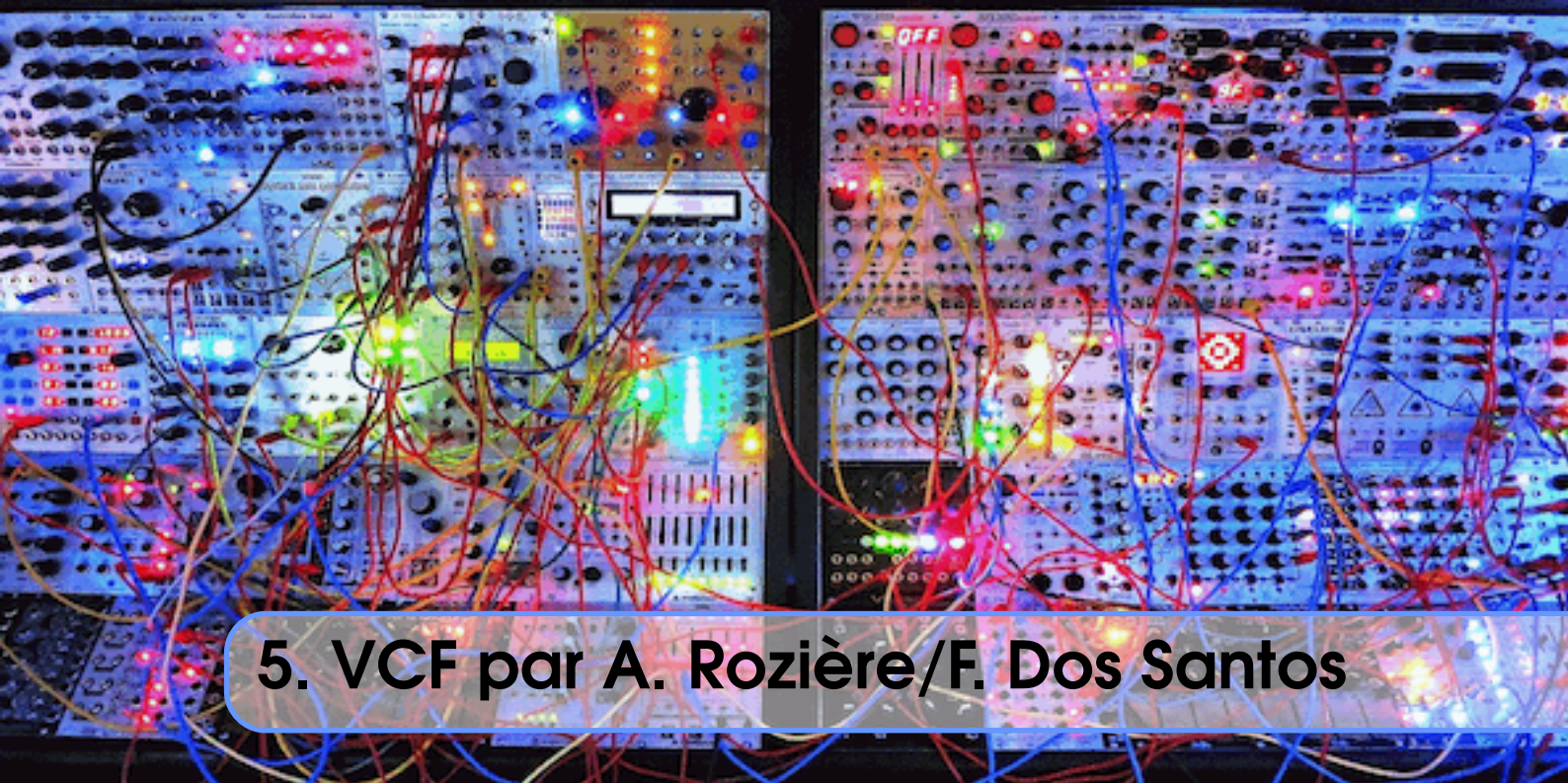
A La Java Native Interface 81

B Code C et Java produit en 2017-2018 (RPI3) 83

- B.1 Code création des tables d'onde (N. Meerun)

C Schémas et datasheets 87

Modules réalisés par les étudiants en 2017-2018



5. VCF par A. Rozière/F. Dos Santos

5.1 Généralités

Comme expliqué dans le cahier des charges, PULSAR se base sur une synthèse sonore soustractive : on crée un signal riche en harmoniques qu'on filtre selon notre convenance. Par exemple, si le signal produit par les oscillateurs est un signal carré, on peut le filtrer jusqu'à ne conserver que le fondamental.

Pour cela, nous avons choisi de concevoir des Voltage Controlled Filters (VCF), ce qui permet de commander plusieurs paramètres de nos filtres en changeant simplement les tensions de contrôle :

- la fréquence de coupure
- la fréquence de résonance

Les tensions de contrôles sont générées par des CNA pilotés par la carte Raspberry.

5.2 Caractérisation des filtres

Nous souhaitons pouvoir faire varier notre fréquence de coupure sur une plage de $[30Hz; 1500Hz]$. Quelque soit le montage, on utilise des filtres RC, on prend des condensateurs avec $C = 300pF$. Les composants actifs sont alimentés symétriquement en $+15V / -15V$.

Nous avons donc opté pour un nouveau composant : le CEM3320. Celui-ci était couramment utilisé dans les synthétiseurs des années 80.

Nous configurons nos filtres en passe-bas d'ordre 2 selon le schéma de la figure 5.1.

Avec ce montage, la tension de contrôle de la fréquence influe directement sur celle-ci selon la formule donné par la datasheet du composant:

$$f = \frac{Ae^{-V/Vt}}{2\pi RC} \quad (5.1)$$

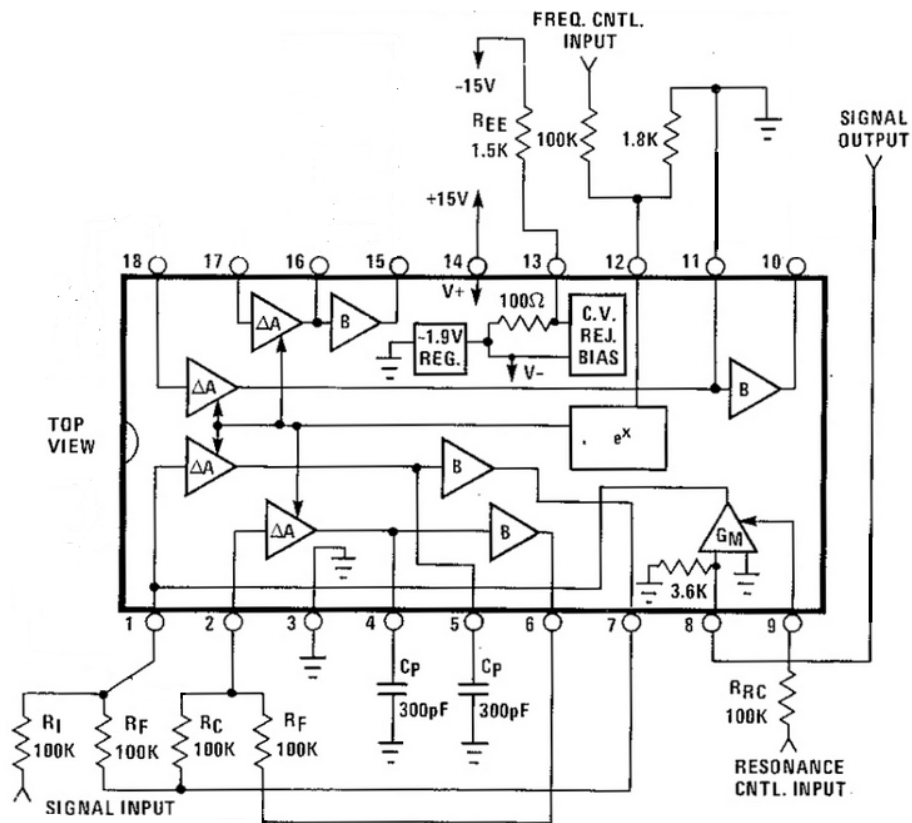


Figure 5.1: Filtre Passe-bas d'ordre 2 à partir d'un CEM3320

V étant la tension de contrôle de la fréquence (broche 12), $A = 0.9$ le gain en courant d'une cellule RC pour $V = 0$, $V_t = 25mV$ et R est la mise en parallèle de $R_f = 100k$ et d'une résistance de $1M\Omega$.

Le principe de ce projet étant de réaliser un synthétiseur hybride analogique-numérique, nous avons fait en sorte que le signal path soit entièrement analogique mais que ses différents paramètres soient commandés numériquement. En ce qui concerne les VCF, nous contrôlons numériquement leurs fréquences de coupure et leurs fréquences de résonance. Cette commande numérique est réalisée avec une carte Raspberry Pi 3. Cette carte pilote des CNA qui renvoient une tension comprise entre 0V et 2.048mV.

Il nous faut alors adapter cette tension à l'échelle de notre composant soit 0V à 13.6V. Nous avons donc mis en place un translateur réalisé avec un AOP :

Ce translateur étant un inverseur, nous l'avons cascadié dans un second ayant ses deux résistances égales à $1k\Omega$ pour compenser l'inversion de la tension. Un montage non inverseur aurait également pu être utilisé, mais aux vues des résistances disponibles, cette méthode était plus pratique pour contrôler avec précision notre tension de contrôle.

5.3 Conclusions sur l'implémentation des VCF

Nous avons obtenu de bons résultats quant au fonctionnement des VCF : la fréquence de coupure balayait bien la plage de fréquence [30Hz; 1500Hz] et était précisément contrôlable.

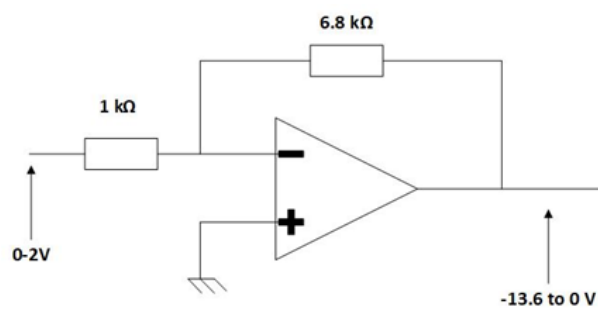


Figure 5.2: Schema du translateur