



Publison et l'*Early Digital* en France : mémoire et sauvegarde d'un patrimoine technologique

Mémoire de Master 2 - spécialité son
Soutenu le 1er Juillet 2025
Révisé pour publication, Février 2026

Valmont NAUDIN

Directeur de mémoire interne : **Eric Urbain**
Directeur de mémoire externe : **Jean Rouchouse**
Examineur : **François-Xavier Féron**
Réfèrent académique universitaire : **Laurent MILLOT**
Coordinateur des mémoires : **Corsin VOGEL**

Résumé

Les progrès scientifiques des années 1950 et 1960 ont permis l'émergence de nouveaux composants électroniques : circuits intégrés (logiques, linéaires), mémoires, convertisseurs et microprocesseurs. Au début des années 1970, l'utilisation de ces composants révolutionne le secteur de l'audio. Cette période est désignée rétrospectivement par l'appellation *Early Digital* (électronique numérique pionnière), une définition corrélant les technologies mises en œuvre dans ces machines à l'époque de leur réalisation (1972-1984). En France, cette transition s'accompagne d'un bouleversement du paysage industriel. Peu de fabricants survivent à la dissolution de l'ORTF, laissant la France en marge d'une mondialisation déjà active. C'est dans ce contexte qu'une société aux ambitions sans précédent naît : Publison. Emblématique de l'*Early Digital*, Publison s'est imposé comme un précurseur, révolutionnant les techniques et les méthodes de production. Pourtant, malgré sa présence sur le marché et son aura persistante à ce jour, l'histoire de cette société et de ses machines reste obscure. Ce corpus, d'une teneur inédite, vise à étudier son parcours, ses implications technologiques et la portée de ses innovations. Les enjeux de la préservation de ce patrimoine technologique seront également abordés au travers d'une rétro-ingénierie d'un processeur audio de cette période.

Mots-clés : Early Digital, Publison, numérique, effets, rétro ingénierie, électronique, microprocesseur, convertisseur, circuits logiques, TTL, CMOS, DHM, Infernal Machine

Abstract

The scientific breakthrough of the 1950s and 1960s led to the emergence of new electronic components : integrated circuits (logic, linear), memory, converters and microprocessors. In the early 1970s, the use of those components revolutionized the audio sector. This period is retrospectively referred to as the Early Digital era, a term that reflects the technologies implemented in these machines at the time of their creation (1972-1984). In France, this transition came with a major upheaval of the industrial landscape. Few manufacturers survived the dissolution of the ORTF, leaving France on the sidelines of an already active globalization. In this context, a new company with unprecedented ambition was born : Publison. Symbol of the Early Digital, Publison established itself as a true pioneer, revolutionizing both techniques and production methods. Yet, despite its presence on the market and its enduring legacy to this day, the history of the company and its machines remains obscure. This paper, offering original insights, aims at studying its trajectory, technological contributions and its innovating impacts. The challenges of preserving this technological heritage will also be addressed through a reverse engineering study of an audio processor from that era.

Keywords : Early Digital, Publison, digital, effects, retro engineering, electronics, microprocessor, converter, integrated circuit, logic circuits, TTL, CMOS, DHM, Infernal Machine

Remerciements

La réalisation de ce dossier n'aurait pas été possible sans le soutien précieux de plusieurs personnes. Je tiens à exprimer mes remerciements à Madame Dean, Rosine Petitdemange, Matteo Mannoni, Jonathan Prager, Camille Herzmann, Jean-Bernard Emond, Franck Jouanny, Mohammed Eллиq, ainsi qu'à mes encadrants de recherche, Jean Rouchouse, Eric Urbain, Corsin Vogel et Florent Fajole. Un remerciement tout particulier revient également à mes parents, pour leur aide logistique et leur présence constante durant cette période exigeante.

Sommaire

Partie I	1
Panorama des nouvelles technologies 1959-1979	
1.1 : Circuits logiques	
1.1.a : Le processus de miniaturisation	1
1.1.b : Balbutiements des logiques intégrées : DTL/RTL, ECL, TTL, CMOS...	8
1.2 : Convertisseurs	
1.2.a : Historique des convertisseurs	11
1.2.b : DACs	13
1.2.c : ADCs	15
1.3 : Microprocesseurs	
1.3.a : L'apparition du microprocesseur	16
1.3.b : Les phases de développement d'un microprocesseur dans les années 1970	19
1.3.c : Quelques microprocesseurs à l'origine de développements appliqués à l'audio	24
1.4 : Exemple pratique d'intégration : cas du RSF PolyKobol II	26
Partie II	30
L'épopée Publison : étude du fleuron de l'Early Digital français	
2.1 : Méthodologie	31
2.2 : Etat des lieux au sortir de l'ORTF	35
2.3 : Personnages-clés : le trio à Publison	
2.3.a : Philippe Petitdemange	38
2.3.b : Le couple Dean	42
2.4 : Un secret difficile à percer	43
2.5 : Ertel et Publison	46
2.6 : L'AES de New York, 1978	50
2.7 : Les machines Publison	
2.7.a : Le DHM89B2 / KB 2000	53
2.7.b : L'Infernal Machine IM90	59
2.7.c : Les consoles broadcast et les stations de travail	64
2.7.d : FullMost, CL-20 et quelques prototypes	68
2.8 : Le paradoxe de la mémoire, enjeux d'une démocratisation du savoir	72
Partie III	73
Etude pratique à travers la rétro-ingénierie d'un processeur audio Early Digital	
3.1 : L'objet d'étude	74
3.2 : Méthodologie, attendus et limites	77
3.3 : Mise en oeuvre	
3.3.a : Analyse des convertisseurs ADC et DAC	84
3.3.b : Analyse de l'étage de sortie	89
3.3.c : Analyse de l'ALU	90
3.3.d : Implantation des circuits sur la carte A	91
3.4 : Bilan du processus de rétro-ingénierie	92
Conclusion	94
Bibliographie	96
Annexes	100

Introduction

L'*Early Digital* désigne la phase de transition des technologies électroniques analogiques vers le monde numérique, marqué par l'utilisation de traitement de données.

Ce changement de paradigme bouleverse notamment l'industrie audio à la fin des années 1970, en amorçant une génération de machines d'un genre nouveau. Si cette mutation s'est incarnée à travers des figures bien identifiées aux États-Unis (E-Mu, Lexicon, Eventide) ou au Japon (Yamaha, Roland), la France s'est distinguée par l'émergence d'une société aux allures atypiques : Publison Audio Professional.

Fondée au milieu des années 1970, Publison incarne une culture non conformiste d'innovation et d'entrepreneuriat familial, dans un contexte de désert industriel au sortir de l'ORTF. Réputée pour avoir mis au point certains des processeurs sonores les plus avant-gardistes de son époque, cette entreprise demeure pourtant aujourd'hui largement méconnue : son parcours historique, ses implications technologiques et la portée de ses innovations restent difficiles à resituer avec précision.

Comment la société Publison a-t-elle participé au développement des premiers processeurs audio-numériques *Early Digital*? En quoi illustre-t-elle un renouveau technologique majeur dans les technologies audio ? Quels protocoles d'archivage et de documentation sont nécessaires pour assurer, au-delà de la restauration, la transmission et la maintenance de ce patrimoine technologique?

L'émergence de l'*Early Digital* s'inscrit dans un prolongement des avancées électroniques antérieures, dont la connaissance apparaît indispensable à la compréhension des innovations de cette période. En premier lieu, un état de l'art historico-technique des éléments ayant contribué à ces développements (**partie I**) sera dressé. Puis, nous nous attellerons à l'analyse des développements de la société française Publison, emblématique de l'ère *Early Digital* (**partie II**). Les défis et les enjeux actuels liés à la sauvegarde des machines de cette époque seront abordés concrètement dans une recherche appliquée (**partie III**) : nombre de ces machines souffrent aujourd'hui d'un manque de documentation, et beaucoup nécessitent des réparations et un entretien délicat. L'objet de cette recherche sera donc une rétro-ingénierie d'un processeur d'effets *Early Digital*, reposant sur les technologies abordées dans les parties précédentes. Cette machine présente des symptômes comparables aux machines Publison : composants anonymisés par "grattage", machine en panne, absence totale de schémas. Cette étude, ainsi que la restauration qui en découlera, permettront d'établir une méthodologie rigoureuse, répondant aux enjeux de sauvegarde de ce patrimoine technologique.

Partie I

Panorama des nouvelles technologies 1959-1979

La première révolution électronique repose sur l'avènement des circuits logiques intégrés. Jusqu'alors, les opérations logiques (Et, Ou, Non, Inverse, Exclusif) n'étaient réalisables qu'avec des tubes ou des transistors (Shannon, 1938). Dès la fin des années 1950, une série d'innovations survenues dans les domaines de la physique des semi-conducteurs et de la photolithographie a permis de miniaturiser puis de fiabiliser la construction abordable de composants logiques, ouvrant la voie à la conception de systèmes de plus en plus sophistiqués.

Il est dès lors aisé de comprendre que les circuits logiques et leurs technologies associées constituent la base d'une multitude de composants électroniques contemporains : convertisseurs, microprocesseurs, unités de calcul, mémoires, circuits programmables, interfaces, et bien d'autres. Cette partie sera ainsi consacrée à l'historique des techniques et à l'évolution des composants ayant permis le développement d'outils d'un genre nouveau dans les années 1970.

1.1.a : Le processus de miniaturisation

Au milieu des années 1960, alors que les circuits intégrés n'existaient pas encore, les circuits logiques étaient réalisés de façon discrète, c'est-à-dire avec des composants primaires¹ câblés pour former des fonctions fondamentales. La figure 1.1 présente un exemple-type d'une carte modulaire discrète issue d'un ordinateur IBM-1401 (figure 1.2) de 1959. Cette carte réalise trois fonctions logiques 'NAND' sous un format logique propriétaire, CTDL (*Complemented Transistor Diode Logic*).

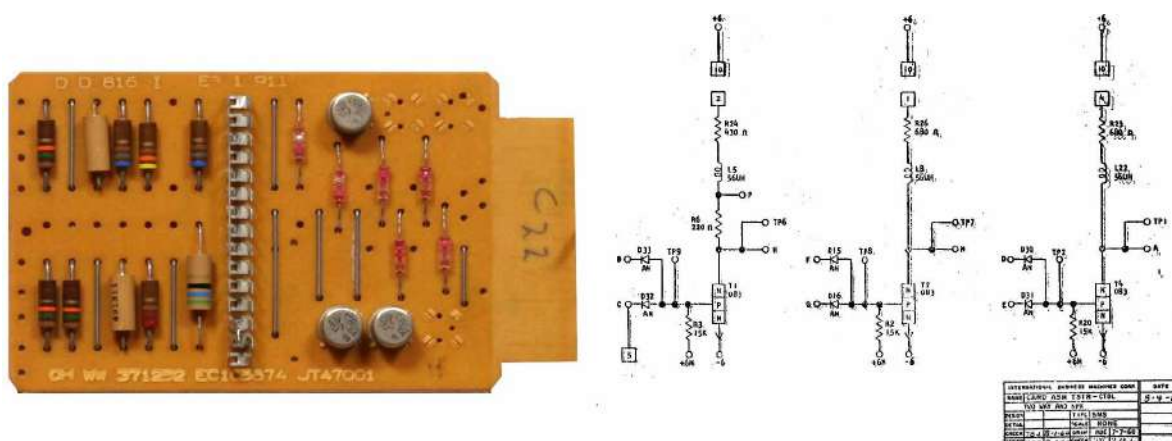


Figure 1.1 : Module "CHWW" d'un IBM-1401 (Shirriff, 2021)

¹ résistances, transistors, diodes, condensateurs

Une telle conception demandait une place conséquente sur les cartes, des coûts d'assemblage et de maintenance élevés. Les industriels, notamment de l'aérospatial, étaient ainsi impliqués à l'élaboration de circuits intégrant quelques dizaines voir une centaine d'éléments en un seul composant monolithique², simplifiant largement le design, la fiabilité et le fonctionnement des machines. Au début, les circuits intégrés n'étaient pas conçus dans du silicium, mais réalisés sous forme de modules hybrides dans de la résine (figure 1.3).



Figure 1.2 : *Mainframe* de l'IBM-1401
Crédit photo : Randall Neff, Henk Stegeman

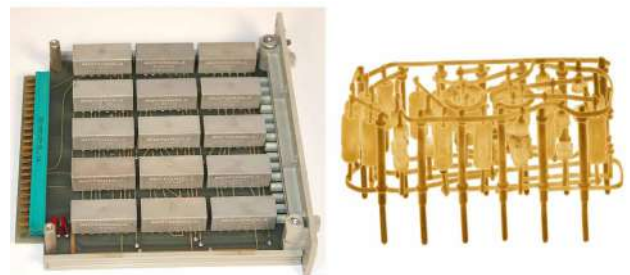


Fig 1.3 : Carte d'un module de test pour la mission Apollo.
Scan aux rayons X d'un des circuits (Shirriff, 2022)

A l'époque, les ingénieurs informaticiens se trouvèrent face à un nouveau défi, qu'ils nommaient "la tyrannie des nombres" (Morton & Pietenpol, 1958). Le nombre de composants nécessaires ne cessait d'augmenter, rendant les connexions des cartes de plus en plus complexes. Chaque circuit devait être relié manuellement aux autres composants par des soudures, mais à mesure que le nombre de fils augmentait, l'encombrement devenait tel que les machines atteignaient des niveaux de conception impossibles à dépasser. L'augmentation du nombre de composants compromettait également la fiabilité des circuits. Les transistors de l'époque (alors en Germanium) manifestaient en effet des contraintes notables en termes de réponse en fréquence, de la température de fonctionnement, des courants de fuite, ainsi que de stabilité (Kester, 2005).

La révolution des circuits intégrés arrive en 1958 avec l'invention du procédé planar par Jean Hoerni, chercheur à la Fairchild Semiconductor. Ce procédé ouvre la voie à la fabrication en grande série de transistors plus fiables et, plus tard, de circuits intégrés sur une unique tranche de silicium.

² Se dit d'un composant unique, le plus souvent rectangulaire et noir.

Le procédé *planar* repose sur une innovation clé : la passivation de surface au moyen d'une fine couche d'oxyde de silicium, une technique développée entre 1955 et 1958 par Mohamed Atalla des laboratoires Bell (Bassett, 2002). La passivation réduit les défauts du silicium, augmentant la fiabilité des transistors.

Le procédé *planar* introduit également une approche révolutionnaire de fabrication reposant sur des techniques de photolithographie. Une résine photosensible est exposée à la lumière au travers d'un masque (figure 1.4), définissant ainsi les motifs du circuit. Après l'exposition, des étapes de gravure chimique permettent de créer des zones conductrices (régions dopées) et isolantes (couches d'oxyde) (Hoerni, 1960). L'innovation de Hoerni ouvrit la voie à la métallisation, une technique permettant d'interconnecter les composants directement sur la tranche de silicium grâce à des couches métalliques isolées par jonctions PN. La même année, Jack Kilby (de Texas Instruments) démontre la faisabilité d'un circuit intégré en utilisant une technique dite de *Bond Wire* (Potthast, 2024) (Kester, 2005), technique qu'il dépose en Février 1959. C'est également en 1959 que Robert Noyce (chercheur à la Fairchild) perfectionne la métallisation en intégrant les connexions du composant à même le substrat de silicium : c'est la naissance du circuit intégré moderne.

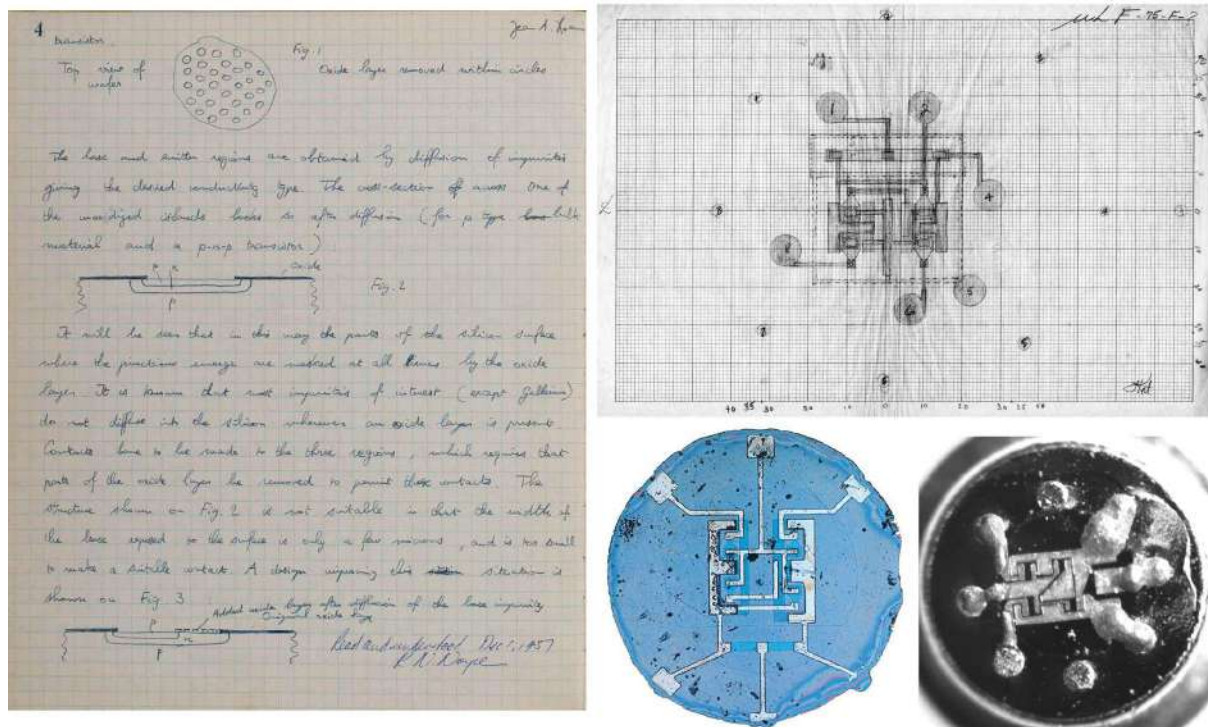


Figure 1.4 : Extrait du carnet de notes de Jean Hoerni. A droite, prototypes de 1960 utilisant le procédé *planar* pour la conception d'un FlipFlop par J. Last et Robert Noyce. (Laws & Riordan, 2011)

Grâce à l'ensemble de ces processus, plusieurs échelles de miniaturisation ont pu être atteintes (figure 1.5). On distingue les niveaux d'intégration suivants :

	SSI Small Scale (1961)	MSI (TTL) Medium Scale (1967)	LSI Large Scale (1971)	VLSI Very Large Scale (1978)
Transistors/circuit	100	1000	100.000	1.000.000

Figure 1.5 : Échelles de miniaturisation (Balch, 2003)

Les règles de dessin des masques pour la photolithographie étaient particulièrement restrictives afin d'essayer d'assurer la stabilité et l'homogénéité des circuits :

“Il existe plus de 50 règles visant à assurer la compatibilité entre transistors et résistances. [...] Parfois, ces règles s'appliquent efficacement. D'autres fois, elles semblent perdre leur validité. Il arrive même qu'elles se contredisent. Alors que faire?” (Pease, 2008)³

Dans certains circuits où la linéarité de fonctionnement présentait un caractère critique (dans les convertisseurs notamment), l'agencement des composants miniaturisés sur le *die*⁴ devenait déterminant afin de garantir un gradient de température minimal, et ainsi limiter les variations des composants (figure 1.6).

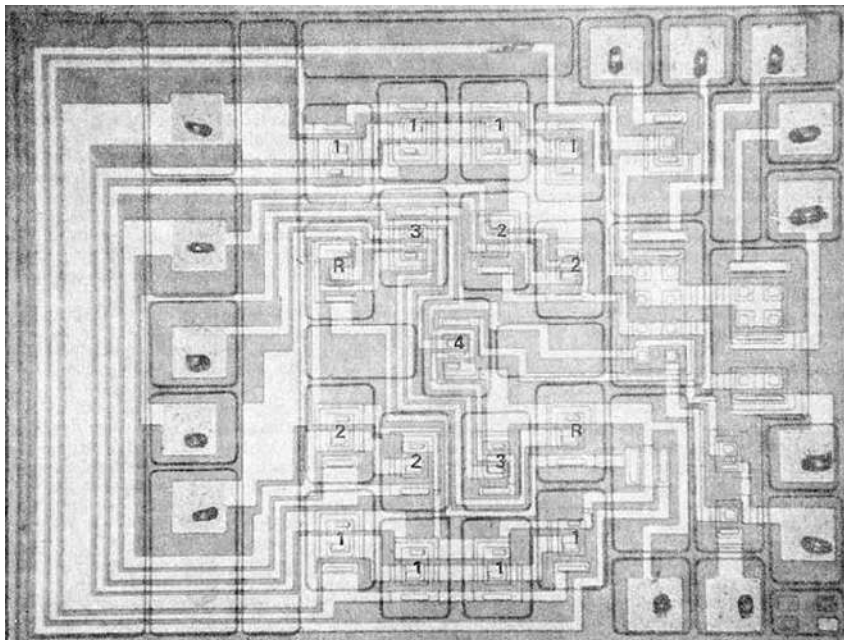


Figure 1.6 : agencement de transistors au sein d'un convertisseur Teledyne Philbrick 4 bits. Les transistors (regroupés par fonction de 1 à 4) sont répartis symétriquement afin de compenser les gradients de température. Les 8 transistors du bit 1 compensent l'ensemble de 4 transistors du bit 2 ; qui eux compensent les 2 transistors du bit 3. Le bit 4 est au centre, ce qui ne perturbe pas le gradient thermique à l'échelle du circuit. (Maddox, 1974)

³ “There are more than 50 rules for making transistors and resistors that match. [...] Sometimes these rules work well. Sometimes they seem to break down. Sometimes the rules contradict each other. Now what?” (Pease, 2008)

⁴ Rectangle microscopique en silicium, découpé à partir d'un *wafer* (galette de silicium). En d'autres termes, le *die* intègre les circuits miniatures gravés.

Nous avons analysé les implications du processus de miniaturisation, nous allons à présent examiner plus en détail l'intégration de composants universels à l'échelle du silicium, dans le but de mieux comprendre le fonctionnement interne des cellules logiques (*logic gates*) intégrées.

a) Résistance

Une résistance intégrée est réalisée en dopant une région de silicium, créant un chemin à haute impédance pour le signal électrique. La valeur de la résistance est proportionnelle à la longueur et à la section de cette région, ce qui explique l'utilisation de motifs en zigzag (figure 1.7) pour augmenter la résistance sur une surface réduite. Cependant, la précision des résistances intégrées est limitée du fait des fluctuations du processus de fabrication. Si les valeurs absolues sont sujettes à des écarts significatifs (jusqu'à 50%), les rapports des valeurs entre différentes parties d'un circuit restent en revanche stables. C'est pourquoi l'usage de ratios est généralement privilégié à celui de valeurs absolues. (Camenzind, 2005)

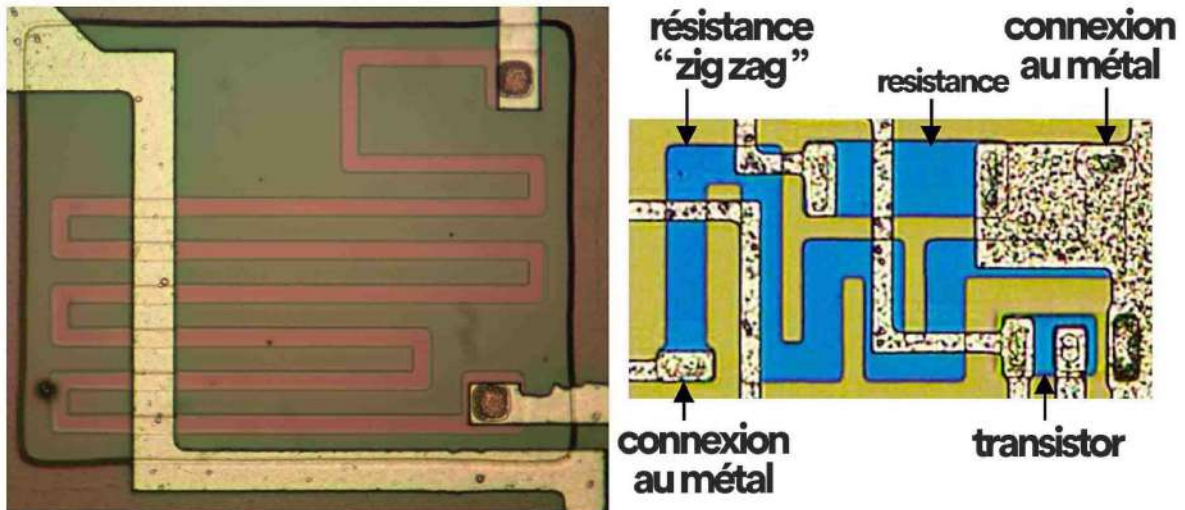


Figure 1.7 - A Gauche : agrandissement au microscope d'un 1347A8 NAND soviétique (Shirriff, 2020). A Droite : agrandissement d'un Quad-Comparator, ECL Philips (Shirriff, 2021)

b) Transistors bipolaires NPN/PNP

Un transistor bipolaire est un composant à trois électrodes : émetteur, base, collecteur. Il peut fonctionner comme un amplificateur (le courant entre le collecteur et l'émetteur est contrôlé par le courant injecté dans la base) ou comme un interrupteur (s'il est en mode saturé).

Les transistors sont formés en dopant du silicium sur différentes couches, réalisant des "sandwichs conducteurs" aux propriétés électriques différentes. (Balch, 2003)

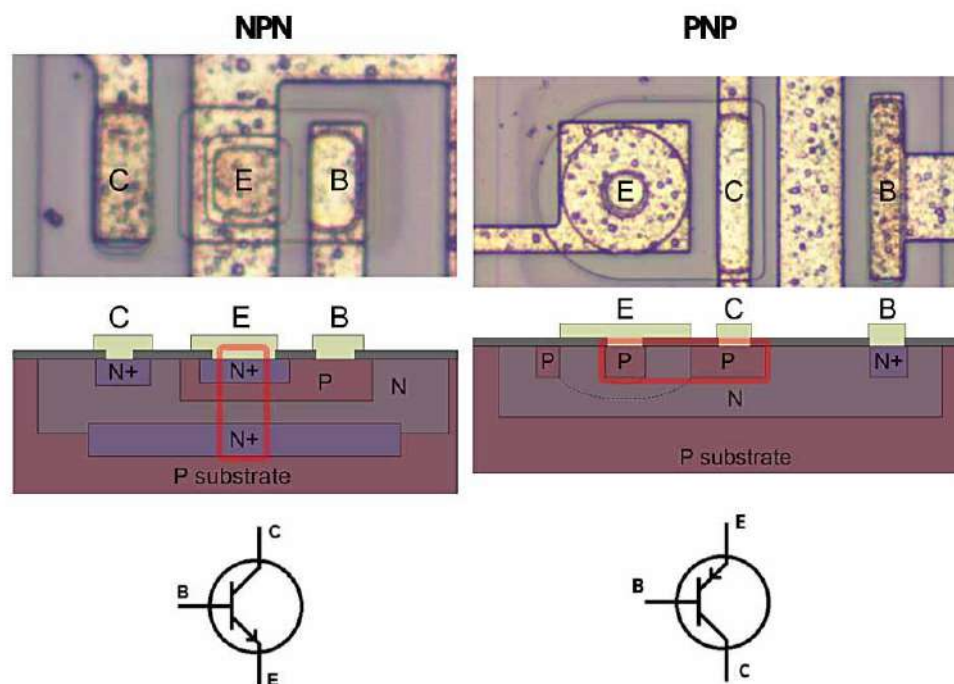


Fig 1.8 : Transistors intégrés (encadrés en rouge) dans un *timer* 555 (Photos : Ken Shirriff).

Les régions jaunes (figure 1.8) correspondent à des couches de métal au-dessus des couches de silicium, reliant collecteur, émetteur et base au reste du circuit.

- NPN : L'émetteur est connecté à une région N+ de silicium, la base est connectée à une tranche P, et le connecteur du collecteur est connecté en dessous, à une couche N+. Le transistor formé est entouré d'un anneau de substrat P afin de l'isoler des autres composants.
- PNP : L'émetteur est formé par une surface P circulaire, entourée d'un anneau N, celui-ci encadré par le collecteur P. Le transistor formé est visible horizontalement.

c) Transistors MOS (NMOS, PMOS / CMOS)

Un transistor MOS peut être assimilé à un interrupteur qui connecte ou non la source au drain, en fonction de la tension appliquée à la grille (*Gate*). Une couche d'Oxyde sépare la grille Métallique du substrat de Silicium, ce qui lui confère son nom de MOS. On en distingue deux types ; les NMOS où la source et le drain sont de type N, tous deux implantés dans un substrat type P ; et les PMOS à l'inverse (source/drain type P dans un substrat type N).

Les CMOS⁵ sont des circuits exploitant ces deux types de transistors en configuration complémentaire. Cette intégration de la logique permet de minimiser la consommation d'énergie, puisque seul l'un des transistors est activé à un instant donné. Les CMOS sont aussi bien adaptés à l'intégration à haute densité, grâce à la réduction du nombre de couches requises par rapport aux transistors bipolaires (Stern, 1972). Toutefois, leur fabrication était plus délicate : Les NMOS étaient facilement intégrables sur des plans de silicium car ces derniers étaient de type N, mais les transistors PMOS devaient être isolés dans un puit P (voir figure 1.9). Cette spécificité a ralenti la popularisation de la technologie MOS jusque dans les années 1980 (Kuhn, 2018).

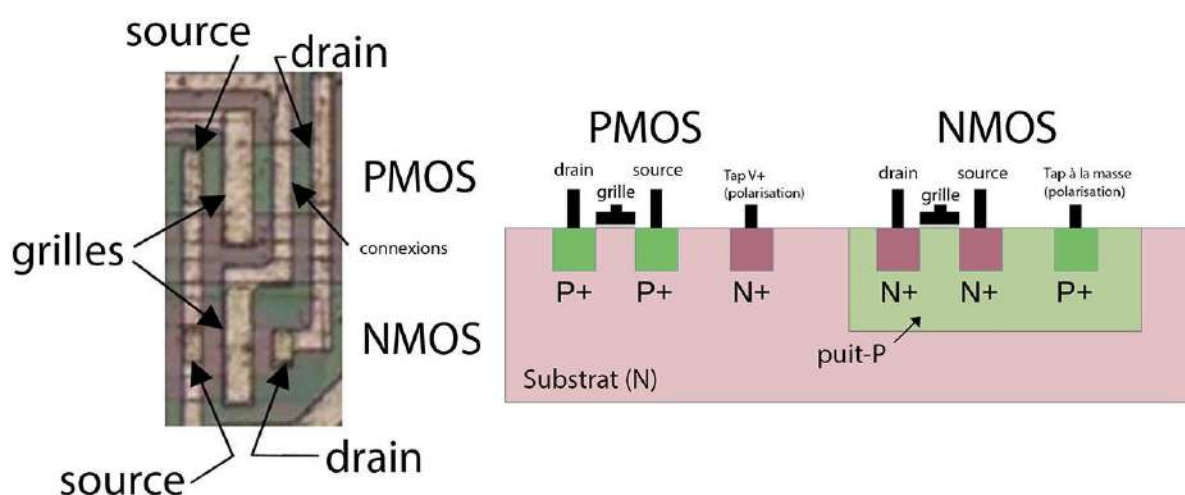


Figure 1.9 : transistor CMOS dans un compteur binaire 561NE11 soviétique (Shirriff, 2024)

⁵ CMOS : *Complementary MOS*

1.1.b : Balbutiements des logiques intégrées : DTL/RTL, ECL, TTL, CMOS...

Nous avons abordé les différents processus de miniaturisation, à présent nous allons étudier des formats de logiques utilisés dans les machines de la période *Early Digital*. Ces logiques utilisent des formalismes de communication entre les portes transistorisées (*gates*), permettant la bonne connexion entre les circuits intégrés.

Les premiers circuits logiques intégrés produits en masse furent de logique RTL (*Resistor Transistor Logic*), conçus à la Fairchild en 1961 (Laws *et al.*, 2016). Ils trouvèrent leur première utilisation sur l'Apollo Guidance Computer entre 1961 et 1966. Incidemment, le concept de la Logique Transistor-Transistor (TTL) fut formalisé par James Buie de la société TRW dès 1961. Thomas Longo, chez Sylvania, développa en 1963 la première famille commerciale basée sur le TTL, nommée Sylvania Universal High-Level Logic (SUHL) (Welling, 2007). Constatant le succès industriel de cette approche, Texas Instruments lança en 1964 une série TTL conçue selon les normes militaires : la TTL 5400. Une déclinaison plus grand public fut commercialisée en 1966 sous le nom de série 7400, qui devint rapidement un standard. Les avancées technologiques permirent d'intégrer de plus en plus de transistors par *die*. Les premiers à proposer des circuits complexes (tels que les compteurs ou les registres à décalage) furent Fairchild (Serie 9300) et Signetics (Serie 8200). Leurs design embarquaient jusqu'à 100 cellules logiques par circuit.

En parallèle, Motorola développa la technologie ECL (*Emitter-Coupled Logic*), une architecture non saturée⁶ permettant des fréquences de commutation supérieures à 1 GHz. Cependant, l'ECL souffrait d'une consommation énergétique élevée, à une tension très spécifique (-5.2V), ce qui compliquait son adoption face au TTL/CMOS. (Sedra & Smith, 2016). Toutefois, l'intégration du format ECL dans les premiers DSP permit la mise au point de calculateurs au rapport performances/consommation électrique intéressant. (Roads, 1996)

⁶ La forme traditionnelle de la logique TTL est une forme dite saturée : les niveaux logiques saturent complètement les transistors, ce qui provoque une accumulation importante de charges dans la base. Lors d'une commutation, ces charges doivent se dissiper. Ce temps de décharge provoque un délai, appelé temps de stockage, qui est en grande partie responsable du temps de propagation d'un circuit TTL. Pour accélérer ce processus, la technologie TTL Schottky fut introduite. Le TTL-S réduit le temps de propagation en utilisant des diodes Schottky en parallèle de la jonction Base-Collecteur (Katz, 2015). Cette diode a un seuil de conduction moindre (0.3V), empêchant le transistor d'entrer en saturation complète. Moins de porteurs de charges sont stockés dans la zone du collecteur, le circuit se décharge ainsi plus vite.

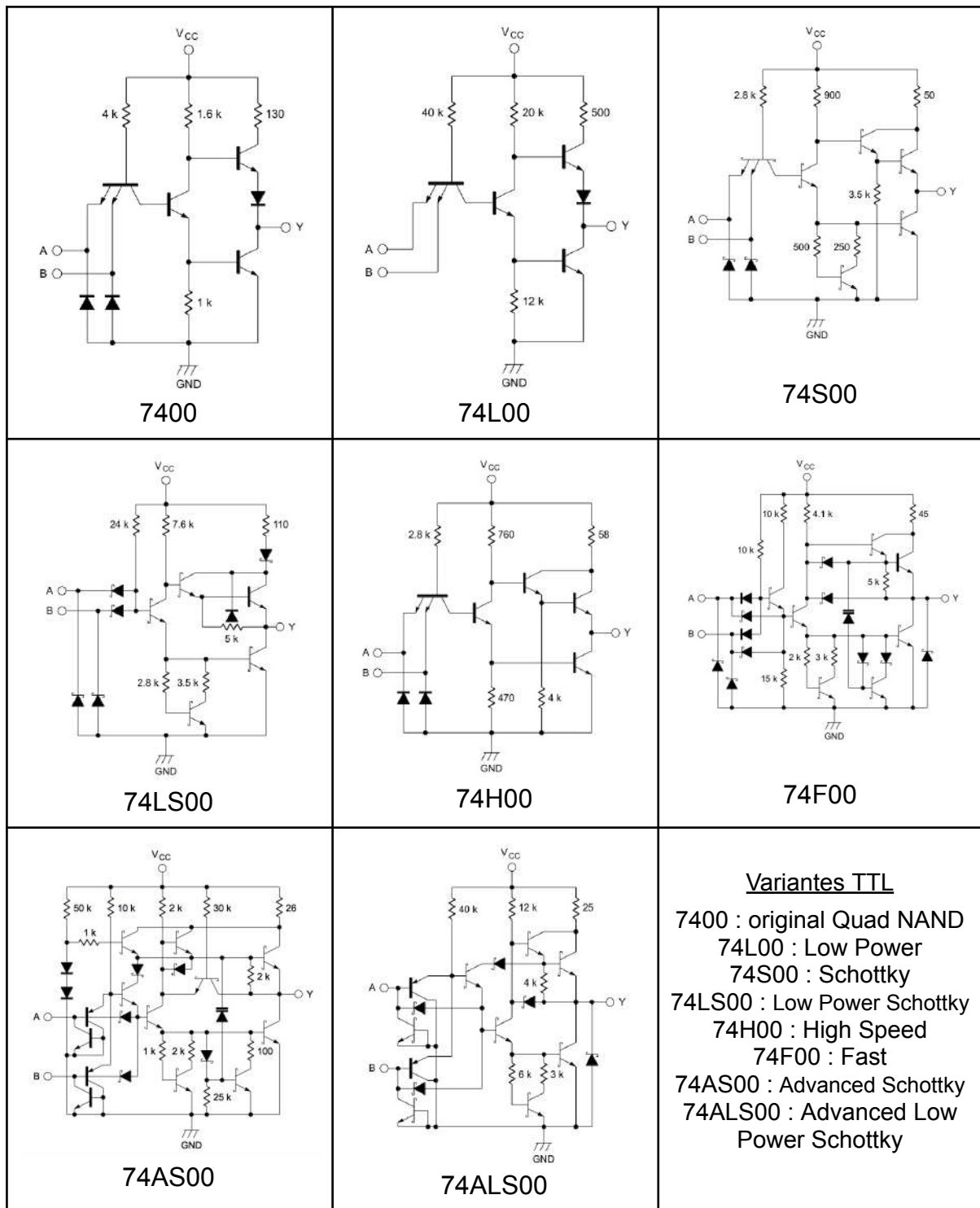
La série TTL ne s'est pas limitée à une première série en 1966, en réalité, multiples modifications technologiques (figure 1.10) furent mises en place afin d'améliorer la vitesse (temps de propagation) et la consommation de ces circuits (Balch, 2003). Ces variations de caractéristiques n'étaient pas seulement dépendantes de la technologie employée, mais aussi de la mise en œuvre de ces circuits par les fondeurs. Des composants de même fonctionnalité, de même technologie interne, pouvaient présenter des variabilités de performances, comme le rappelle Samuel Kaplan lors du développement du Digital Keyboard Synergy :

“En règle générale, les fabricants garantissent uniquement les délais de propagation maximaux, sans garantir que les versions ultérieures des puces mettront autant de temps à propager les signaux que les versions actuelles. Un problème sous-jacent réside dans la conception de circuits sensibles à certaines marques de composants. Il est tentant, lors de la conception de circuits haute performance, de se baser sur les performances observées des composants plutôt que sur leurs spécifications publiées. Cela peut conduire à des conceptions qui fonctionnent avec les puces d'un fabricant mais pas avec celles d'un autre, bien que les fiches techniques soient équivalentes. Dans un contexte de recherche, où l'on ne requiert que quelques exemplaires fonctionnels, cela ne pose pas de problème. En revanche, dans une production industrielle, cela peut conduire à écarter une proportion significative de composants coûteux - sans parler du besoin de les tester individuellement pour leurs performances réelles.” (Kaplan, 1981)⁷

Tandis que la Texas pousse le développement du TTL et Motorola celui de l'ECL, RCA commercialise de son côté les premiers circuits CMOS sous le nom de COS-MOS 4000 en 1968, dont l'appellation évoluera vers CD4000. (Lojek, 2007).

L'histoire n'aura retenu que les systèmes TTL et CMOS. Mais, à l'aube de la décennie 1970, on retrouvait encore nombre de variantes dans les catalogues constructeurs. Outre les formats ECL, nous pouvons citer les circuits CML/SCL [*Current Mode Logic / Source Coupled Logic*], CTL [*Current Transistor Logic*], HLL/HTL [*High Level Logic / High Threshold Logic*], DTL [*Diode Transistor Logic*], DRL [*Diode Resistor Logic*], RTL [*Resistor Transistor Logic*].

⁷ In general, the chip manufacturers warrant only maximum propagation delay times, so there is no guarantee that subsequent versions of the chips will take as long to propagate as current ones. A related problem is circuit design that is sensitive to particular brands of chips. There is an understandable temptation in designing high performance circuitry to make use of the observed performance of chips rather than their published specifications. This can result in circuit designs that work with one manufacturer's chips but not with those of another, although the published specifications are the same. In research environments where one or a few working examples are required this may not be a serious problem. In a production environment, however, it may require discarding a substantial proportion of expensive components, not to mention testing them for actual performance.



Quad 2-in NAND	7400	74L00	74S00	74LS00	74H00	74F00	74AS00	74ALS00
Consommation par cellule (mW)	10	1	19	2	22	5	8	1.25
Temps de propagation (ns)	10	33	3	9.5	6	2	3	3.5

Figure 1.10 : Différentes variantes technologiques (TTL) d'un Quad 2-NAND

1.2 : Convertisseurs

Le développement des circuits intégrés permet donc la construction d'ordinateurs plus complexes, plus puissants et moins coûteux (Weisbecker, 1974). Les centres de recherche et les grands industriels sont les premiers à s'en équiper. Rapidement, une nouvelle demande apparaît : interfacer des ordinateurs avec des capteurs. Des sociétés commencent à commercialiser une première génération de convertisseurs hybrides, conçus à l'aide de circuits intégrés.

Un convertisseur est un circuit permettant de transformer une grandeur analogique en une valeur numérique proportionnelle par un processus d'échantillonnage. En fonction du sens de conversion, on distingue les ADCs (*Analog to Digital Converters*) et les DACs (*Digital to Analog Converters*).

La maîtrise de la miniaturisation à haute densité (MSI, LSI) ouvre la voie à une deuxième génération de convertisseurs monolithiques, courant de la décennie 1970. Ces derniers permettent le développement de traitements audionumériques intégrés dans des machines commerciales (pitch-shifters, réverbérations algorithmiques), apportant une précision et une créativité jusque-là inatteignable.

1.2.a : Historique des convertisseurs

Jusqu'au début des années 1950, les ADCs étaient principalement développés à des fins militaires avec des tubes électroniques qui les rendaient coûteux, fragiles et énergivores. En 1953, Bernard Gordon⁸ fonde la Epsco Engineering et introduit en 1954 le tout premier convertisseur commercial de l'histoire : l'Epsco Datrac, un module d'acquisition 11 bits à 50kSPS⁹. Il dissipait 500 watts, pesait 68Kg et se vendait près de 9000 dollars (équivalent de 100.000 dollars actuels). Le dispositif employait un algorithme d'approximation successive par décalage (breveté) permettant une acquisition périodique, et via un circuit *Sample & Hold*¹⁰, l'échantillonnage de signaux alternatifs (Gordon & Talambiras, 1955).

⁸ Bernard Gordon avait également travaillé au développement de l'UNIVAC, le tout premier ordinateur à tubes commercial au monde.

⁹ 50kSPS : 50.000 échantillons par seconde

¹⁰ Littéralement, "Échantillonner-Et-Maintenir" : ce circuit assimilable à un interrupteur permet la mise en mémoire d'un unique échantillon entre deux périodes d'échantillonnage.

Il constitue le premier exemple connu d'un convertisseur utilisant une architecture R/2R (Kester, 2005), qui sera détaillée ultérieurement (**1.2.b**).

Parallèlement, l'émergence d'ordinateurs démocratisés, tels que le DEC PDP (à partir de 1959) ou l'IBM-360 (en 1965), accrût l'intérêt pour la conversion et l'analyse de données. Plusieurs secteurs tels que le contrôle industriel (General Electric), la recherche scientifique (NASA, radiotélescopes), les télécommunications (AT&T), ou le domaine militaire (Raytheon, Lincoln Labs), contribuèrent à l'investissement dans les technologies des convertisseurs. (Kester, 2005,)

La première réalisation documentée d'un convertisseur hybride intégré est attribuée aux travaux de Robert Bedingfield et John Eubanks aux Bell Labs, entre 1963 et 1965. Ils mirent au point un *ADC* 8 bits à 10 MSPS, destiné aux systèmes de défense américain Nike-X/Sentinel (Kester, 2005). Ce convertisseur, probablement fabriqué par la Western Electric, fut commercialisé en 1966 sous le nom de HS-810 par la société Computer Labs (Nelson, 2013). L'appareil consommait environ 150 watts et coûtait près de 10 000 dollars, équivalant à plus de 100 000 dollars actuels. À la fin des années 1960, de nombreuses entreprises spécialisées commencèrent à se positionner sur le marché des modules de conversion : Analogic (fondée par Bernard Gordon après Epsco), Radiation (développant des équipements pour les missions Apollo de la NASA), Adage (pionnière en 1964 avec son convertisseur 14 bits Voldicon VT13), General Instrument, RICO (Reeves Instrument Corporation), Sprague Electric, Perkin-Elmer, Datel, Zeltex, Teledyne Philbrick, Hybrid Systems, Computer Central et Pastoriza Electronic (figure 1.11), entre autres.

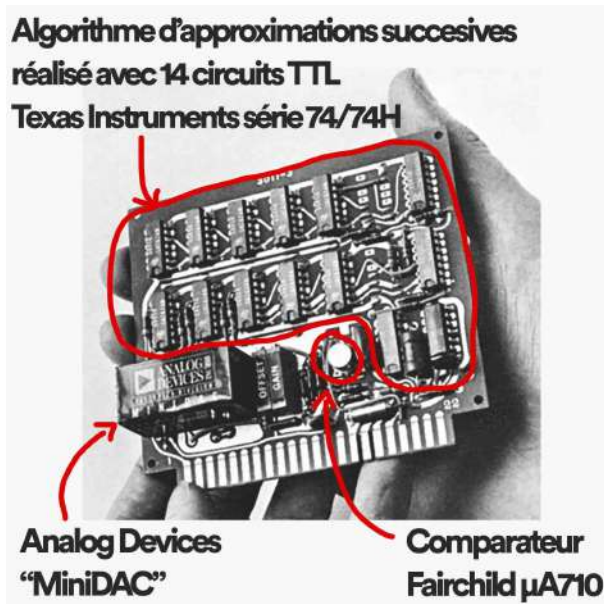


figure 1.11 : Pastoriza ADC-12U, convertisseur *ADC* 12 bits (1969). Il incorpore un *DAC* coulé dans de la résine, de fabrication Analog Devices ("MiniDAC") couplé à un comparateur 710 et une cascade de circuits TTL réalisant l'algorithme d'approximations successives, breveté par Bernard M. Gordon en 1954. (Kester, 2005)

Le fonctionnement d'un tel convertisseur est décrit dans la section **1.2.c**.

Le premier DAC monolithique autonome¹¹ fut développé par Dan Dooley et Jerry Bresee de chez Precision Monolithics Inc. (PMI). Ce premier modèle, le DAC01, offrait une résolution de 6 bits. Son successeur, le MonoDAC01 (1971), fut le tout premier convertisseur DIP¹² intégré et commercialisé (Kaye, 1973), précédé toutefois par le prototypique Fairchild μ A722 (1969), un convertisseur 10 bits nécessitant d'autres circuits périphériques pour fonctionner. L'émergence des premiers convertisseurs destinés au grand public coïncide donc avec l'apparition de la série de circuits logiques grand public TTL 7400. Les convertisseurs monolithiques commerciaux apparurent en 1973, avec notamment le DAC-12QZ d'Analog Devices, puis en 1974 avec les AMD AM2502/03/04 (ADC SAR¹³ 8/12 bits interfaçable TTL 7400), que l'on retrouvera dans moult processeurs *Early Digital*. Nombreux constructeurs s'impliquèrent à la conception de convertisseurs durant la décennie 1980, parmi lesquels Intersil, Motorola, National Semiconductor, Texas Instruments, Thomson Ramo Wooldridge (TRW), Harris, Sonny, Burr-Brown (leader du marché).

1.2.b DACs

La majorité des DACs utilisaient une typologie dite R/2R, fondée sur un réseau résistif (*resistive ladder network*) (Kaye, 1973). La conversion est réalisée par un diviseur de tension, dont la précision dépend du nombre de bits utilisés : plus le nombre de branches dans l'échelle est élevé, plus le nombre de niveaux de tension réalisables augmente, ce qui améliore la résolution du système. Chaque branche de l'échelle est commandée par un niveau logique, typiquement 0 V (bas) ou 5 V (haut), correspondant à la valeur binaire d'un bit. L'ensemble des niveaux appliqués aux branches se traduit par une somme pondérée de tensions, chaque bit ayant un poids déterminé par le rapport de résistance dans l'échelle. La figure 1.12 schématise un DAC R/2R 4 bits, commandé par les entrées V(A), V(B), V(C), V(D).

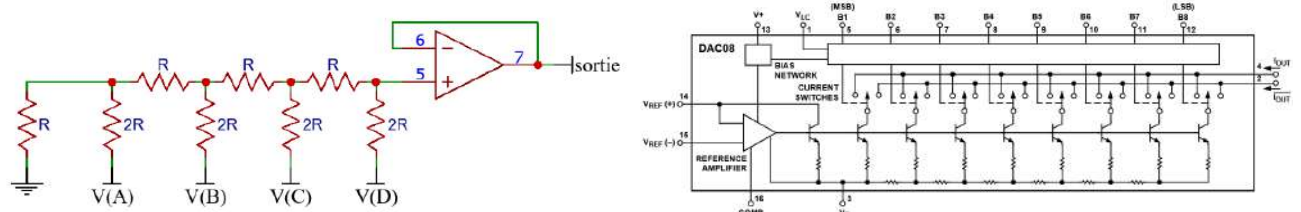


Figure 1.12 : Convertisseur R/2R 4 bits schématisé. A droite : exemple du DAC08 (8 bits)

¹¹ Sans condensateur de lissage, sans tension de référence externe, sans cristal (Naylor, 1983)

¹² Le format monolithique le plus courant, DIP : *Dual Inline Package*

¹³ voir 1.2.c : ADCs

Afin d'illustrer intuitivement le fonctionnement de ce type de convertisseur, deux scénarios sont considérés figure 1.13 : l'application d'un niveau haut sur V(A), bit de poids le plus faible¹⁴, et l'activation de V(D), bit de poids le plus fort¹⁵.

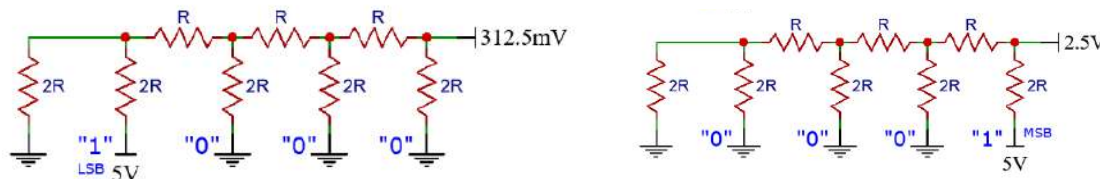


figure 1.13 : simulation du convertisseur sous l'actionnement des commandes A puis D

Le bit le moins significatif V(A) contribue ainsi à la plus petite variation du convertisseur, ici de 0.3125 V. À l'opposé, V(D) délivre la contribution maximale du système, avec une tension de 2.5 V. L'ensemble des bits A à D permet de coder une plage de tensions allant de 0 à 4.6875 V par incréments de 312.5 mV (figure 1.14).

code	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
tension (volts)	0.0000	0.3125	0.6250	0.9375	1.2500	1.5625	1.8750	2.1875	2.5000	2.8125	3.1250	3.4375	3.7500	4.0625	4.3750	4.6875

figure 1.14 : correspondance entre les mots 4 bits et la tension de sortie d'un convertisseur idéal 4 bits

Le bon fonctionnement d'un convertisseur R/2R repose sur la précision du rapport des résistances. Toute déviation du rapport $R : 2R$ induit des erreurs de linéarité différentielles (DNL¹⁶) et intégrales (INL¹⁷). A l'échelle d'un convertisseur 16 bits, la précision doit être de l'ordre de 0.001%¹⁸. Il devient alors nécessaire de recourir à des réseaux résistifs intégrés, ajustés par laser micrométrique - d'où l'apparition tardive de convertisseurs de haute précision : le premier DAC 16 bits date seulement de 1983, avec le Burr-Brown PCM53 / DAC700. (Naylor, 1983)

Certains fabricants audio ont exploité des architectures hybrides autour de ce procédé. Par exemple dans le processeur de réverbération Ursa Major Stargate 323 (1983), le DAC est constitué de trois modules DAC08 (8 bits) cascades, formant un système équivalent à un convertisseur par pondération 15 bits (voir figure 1.15).

¹⁴ *Least Significant Bit* - LSB

¹⁵ *Most Significant Bit* - MSB

¹⁶ INL : écart entre les paliers de quantification

¹⁷ DNL : écart cumulé entre la sortie réelle et la droite de transfert idéale du convertisseur

¹⁸ Précision d'un convertisseur d'ordre n : $1/2^n$. À $n=16$, $1/(2^{16})=0.0015\%$. (Maloberti, 2010)

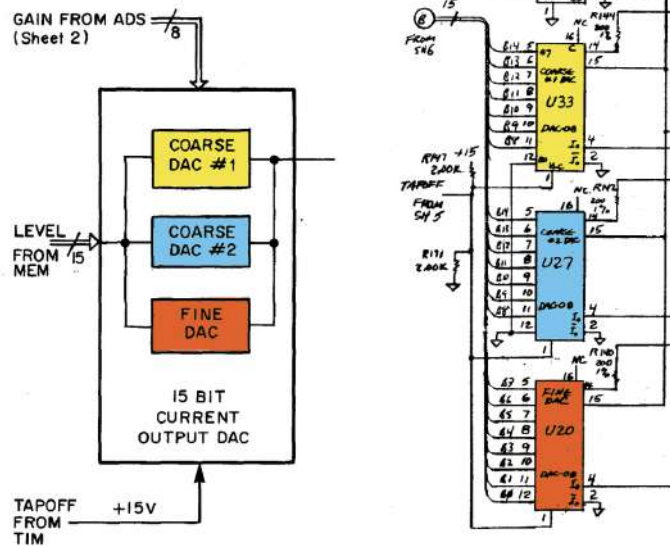


figure 1.15 : extraits des schémas de l'Ursa Major Stargate 323. Trois convertisseurs DAC08 (surlignés) contribuent à la conversion par pondération.

1.2.c ADCs

Nous allons uniquement étudier le SAR (*Successive Approximation Register*), méthode la plus couramment déployée dans les processeurs audio de l'époque.

La méthode d'approximations successives consiste en la comparaison bit à bit d'un signal analogique échantillonné-maintenu (S/H) à son image numérisée (via un DAC). Un SAR (figure 1.16) renvoie n bits en n conversions, quel que soit l'échantillon analysé (Bannister & Whitehead, 1985). Le premier bit (MSB) est mis à 1 et tous les autres à 0. Ce premier bit encode soit 0 soit la moitié de la plage dynamique. Il indique donc si l'échantillon se situe entre 0 et 0.5 (exclu), ou entre 0.5 et 1 (exclu). Le comparateur de sortie indique si l'échantillon est plus grand que la valeur numérique codée ou non. S'il est plus grand, le bit est maintenu à 1, sinon il est mis à 0. Au cycle suivant, le bit suit le même processus, en conservant la valeur précédente. La conversion est donc réalisée par comparaison successives (figures 1.17, 1.18). Une fois le mot entier encodé, celui-ci est envoyé aux registres de l'ALU.

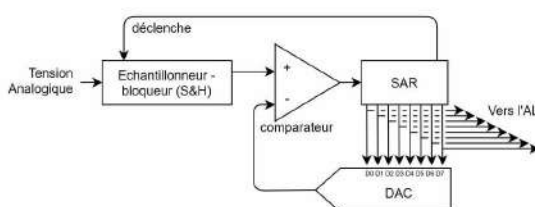


Figure 1.16 : synoptique d'un SAR 8 bits

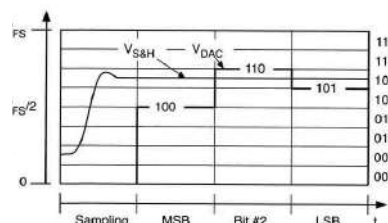


Figure 1.17 ADC 3 bits (Maloberti, 2010)

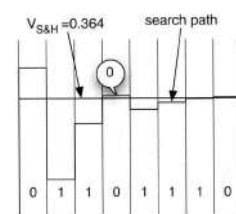


Figure 1.18 ADC 8 bits (Maloberti, 2010)

1.3.a : L'apparition du microprocesseur

Les microprocesseurs (CPU) sont des circuits à logique générale intégrant, à minima, une ALU¹⁹, une unité de contrôle et des registres²⁰, dans un seul composant VLSI (Toong, 1977). L'apparition des microprocesseurs a révolutionné l'approche et la diffusion de l'informatique, en permettant d'effectuer de grandes quantités d'opérations logiques complexes, via une intégration simplifiée.

Nombreux sont les débats (June, 2007) et les procès (Boysel, 1995) autour des brevets afin de déterminer l'antériorité du premier microprocesseur. Nous ne nous attarderons pas ici à essayer de démontrer quel circuit correspond au premier calculateur intégré, les définitions du mot microprocesseur étant floues à cette époque (Holt, 1998). Nous noterons cependant les développements "préhistoriques" tels que le Four-Phase AL1 de Lee Boysel (1968-1970), le Viatron 2101 (1968), ainsi que les travaux de Ray Holt sur le MP-944 pour le calculateur de vol CADC du F14 (1968-1970). Le premier microprocesseur commercial fut l'Intel 4004 (1972), un calculateur 4 bits conçu à la demande spécifique de la Nippon Calculating Machine Corporation Busicom en Janvier 1969 (Faggin *et al.*, 1996) (Mazor, 1995).

Le premier microprocesseur ouvrant la voie à la microinformatique fut l'Intel 8008 (8 bits), issu d'une commande parallèle pour la Computer Terminals Corporation. (Morse *et al.*, 1980). Cette dernière souhaitait construire un terminal programmable, le Datapoint 2200. En 1969, pendant le développement de la machine, l'entreprise propose à Intel (alors spécialisée dans les mémoires) de fabriquer des mémoires à pointeurs de piles²¹ intégrés. L'objectif était de réduire le nombre de composants afin d'abaisser la consommation, l'échauffement de l'alimentation et les pannes. Un des problèmes connexes était le *sourcing* de composants : plus une carte comporte de circuits différents, plus les complications de production sont à prévoir :

"Le marché des circuits intégrés est notoirement instable. Si un composant requis devient difficile à se procurer, la production peut être entièrement interrompue jusqu'à ce qu'un remplaçant adéquat soit identifié." (Kaplan, 1981)²²

¹⁹ Unité Arithmétique et Logique : composante dédiée à l'exécution d'opérations arithmétiques et logiques

²⁰ Micro-mémoire permettant de stocker temporairement des données/résultats entre des opérations

²¹ Registre indiquant le dernier élément ajouté (ou prêt à être supprimé) dans la pile mémoire

²² "The market for integrated circuits is notoriously volatile. If a component is required that becomes difficult to obtain, production may have to be completely halted until a replacement can be found"

La CTC souhaitait donc éviter les problématiques de production, quitte à inventer de nouveaux circuits. L'ingénieur d'Intel, Stanley Mazor, affirma alors que non seulement Intel était capable de construire le composant imaginé par la CTC, mais que leur équipe pourrait intégrer l'ensemble de la carte processeur du Datapoint 2200 en un seul circuit. Le développement aboutit en juin 1970 au microprocesseur 8008 (Electronic Design, 1970), fonctionnellement identique à la carte processeur du Datapoint (figure 1.19). Pendant ce temps, la CTC développait une alimentation à découpage²³ pour son terminal, résolvant ainsi les problèmes de surchauffe. Dès lors, elle lança la production du Datapoint avec une carte TTL, écartant le 8008, qui n'était pas encore entré en production.

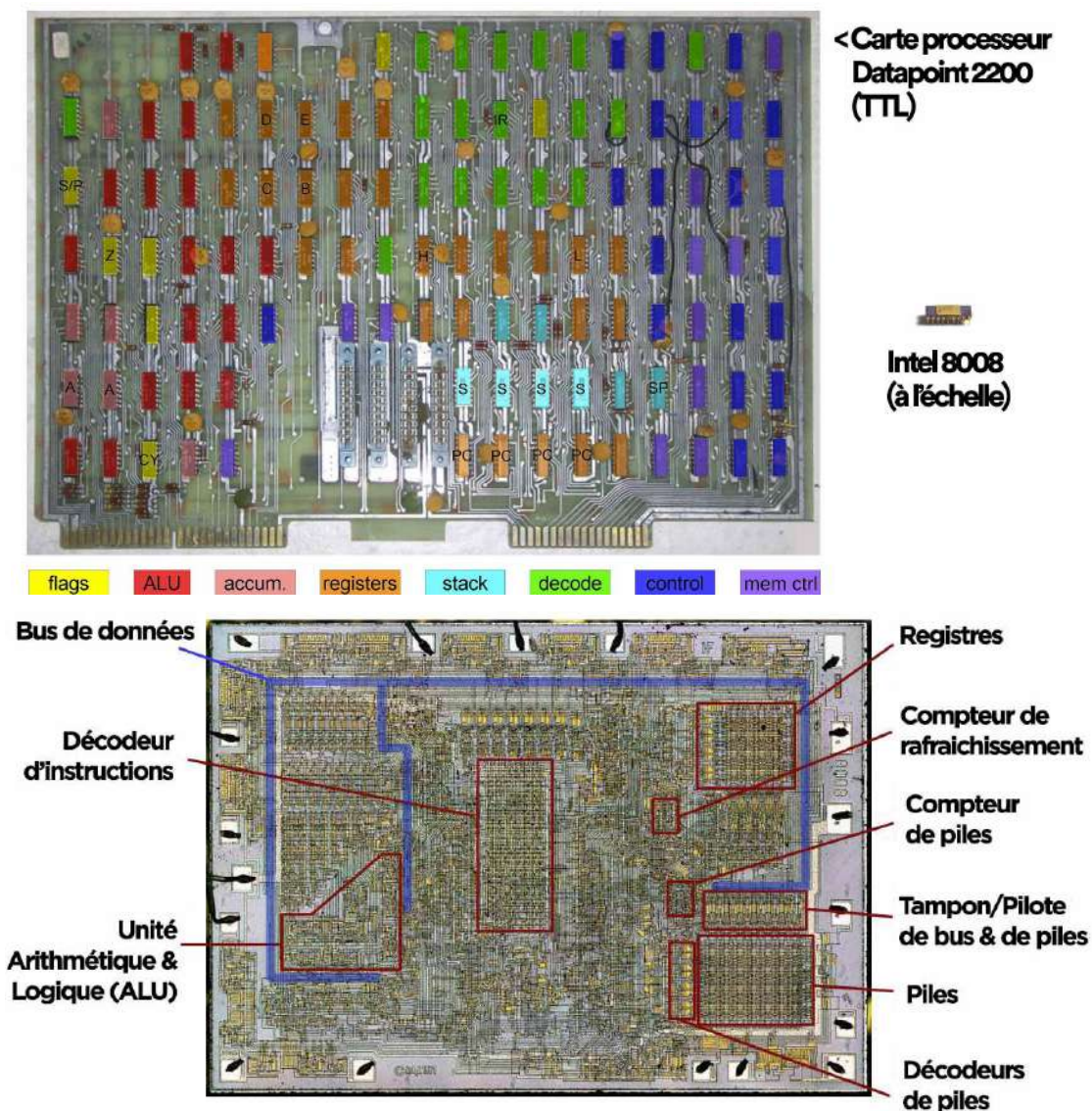


Figure 1.19. Au-dessus : carte du DataPoint. En-dessous : *die* du 8008 équivalent. (K.Shirriff)

²³ Voir le mémoire de Mickaël Diaz concernant cette topologie d'alimentations

En avril 1970, Texas Instruments (TI) remarque le travail d'Intel sur le 8008 et propose à la CTC de développer à son tour un processeur intégré, le TMX-1795. Texas Instruments obtint les avancées d'Intel par l'intermédiaire de la CTC, un espionnage industriel réfuté par l'ingénieur de TI de l'époque, Gary Boon. Toutefois, une erreur présente dans la documentation interne d'Intel se retrouva incorporée dans le brevet du TMX-1795 (Walker, 1995). Il ne se révéla jamais suffisamment stable pour être utilisé : il était sensible aux perturbations d'alimentation, trop coûteux à produire (son *die* étant peu compact) et nécessitait trop de composants externes. La CTC refusa donc le TMX-1795 - ce qui ne posait pas vraiment de problème à TI qui d'une part n'avait pas eu à couvrir l'intégralité du développement en amont, et d'autre part restait malgré tout le principal fournisseur des circuits TTL du Datapoint (Hendrie & Shustek, 2005). La CTC refusa également de façon définitive le processeur 8008, jugé trop lent par rapport à leur carte TTL. La CTC laissa les droits à Intel (qui sorti en avril 1972 le premier microprocesseur 8 bits intégré au monde) ; un acte commentée comme "l'une des pires décisions commerciales de toute l'histoire" :

"Gus Roche se rendit immédiatement après dans son bureau, le visage rouge et tremblant de colère. Frassanito comprit que Roche avait voulu payer pour conserver la propriété intellectuelle, mais qu'il avait été mis en minorité [...]. « Gus savait exactement ce qu'était cette puce, et à quel point elle était importante », déclara Frassanito. « Il était furieux - livide, à un degré extrême puisqu'ils ne conserveraient pas la propriété intellectuelle ». Ils ont donné les clés du royaume à Intel. Frassanito expliqua que CTC avait même engagé un avocat, non pas pour revendiquer la propriété, mais pour se protéger d'éventuelles poursuites d'Intel qui auraient pu les contraindre à payer pour la puce. En somme, ils avaient engagé un avocat pour s'assurer de ne pas finir propriétaires de la propriété intellectuelle du tout premier microprocesseur. Même une redevance de 1% sur les revenus de processeurs d'Intel en 2008 aurait représenté 275 millions de dollars - soit plus de 7 fois le bénéfice annuel le plus élevé jamais atteint par Datapoint"²⁴ (Wood, 2012).

Ironie du sort, la CTC fut liquidée en 1984 face à IBM et leur gamme PC basée sur des microprocesseurs Intel x86, processeurs qui reposaient donc sur un concept et un design originellement issus de la CTC.

²⁴ Gus Roche came to his office immediately afterwards, red-faced and shaking with anger. Frassanito understood that Roche had wanted to pay the money and retain the IP [Intellectual Property] but had been out-voted [...]. 'Gus knew exactly what the chip was and how important it was,' Frassanito said. 'He was so pissed off-livid to the extreme when they would not keep the IP'. [...] They gave Intel the keys to the kingdom. He said that CTC even hired a lawyer to fend off any lawsuits from Intel to force CTC to pay for the chip. In effect, he complained, they hired a lawyer to ensure they did not end up owning the Intellectual Property of the first microprocessor. [...] Even a one percent royalty on Intel's 2008 microprocessor revenues would have been about \$275 million, which is more than 7 times the profit that Datapoint rang up during its most profitable year.

1.3.b : Phases de développement d'un microprocesseur dans les années 1970

Au courant des années 1970, la conception assistée par ordinateur (CAD²⁵, VHDL²⁶) n'était pas encore au point. La miniaturisation et la densification des réseaux logiques a donc représenté une difficulté majeure, puisque ces microprocesseurs étaient conçus à la main pendant des années. Cette démarche va sans rappeler celle des premiers constructeurs audio, comme Publison : dessins des typons à l'encre, débogages *à la force de l'esprit*, prototypages d'une technicité remarquable. Nous pouvons tirer quatre grandes sections au sein d'un développement de microprocesseur à l'époque : réflexion, décomposition, simulation et intégration.

1. Réflexion autour des besoins du processeur

La première phase repose sur une analyse des besoins des industriels et des applications visées. Dans les années 1970, la demande en automatisation et en calcul embarqué était en pleine expansion, mais beaucoup de clients ne savaient pas encore précisément quels étaient leurs besoins techniques. Les ingénieurs devaient donc concevoir des architectures flexibles et modulaires, capables de s'adapter à divers usages. Parmi les premiers clients de microprocesseurs, l'industrie automobile motivait grandement les investissements (Betker *et al.*, 1997). Par exemple, le Motorola 6800, conçu en 1974, répondait en partie à un appel d'offres de General Motors, qui cherchait une solution pour ses calculateurs de gestion de carburant et de distance (House, 2007). L'Intel 4004 fut quant à lui développé pour répondre à la demande de Busicom et leur calculatrice 141-PF. De même, l'Intel 8008 fut initialement conçu en réponse à une demande de la CTC pour un terminal (cf partie 1.3.a). Chaque microprocesseur était pensé pour s'interfacer avec un ensemble de périphériques. Par exemple, pour l'Intel 4004 ces modules étaient le 4001 (ROM), 4002 (RAM), 4003 (registre à décalage), puis plus tard les 4008/4009 (interfaces mémoires).

²⁵ *Computer Aided Design* : Conception Assistée par Ordinateur

²⁶ VHSIC (*Very High Speed Integrated Circuit*) *Hardware Description Language* : Langage de description matérielle pour circuits intégrés à très haute vitesse

2. Décomposition de la logique et de l'architecture

Il s'agit du cœur du travail de conception d'un microprocesseur. Un découpage fonctionnel, cycle par cycle, est réalisé afin d'assigner les états logiques et les signaux de commande aux circuits correspondants (Ritter & Boney, 1979). Chaque opération arithmétique ou logique est définie à ce stade, avec ses équations associées. En parallèle, le jeu d'instructions (basé en partie sur les exigences des clients, mais aussi sur des choix techniques internes) est analysé pour déterminer les processus de lecture, décodage et exécution des instructions (Volk *et al.*, 2001). L'objectif est d'optimiser la flexibilité d'usage tout en minimisant le nombre de transistors nécessaires, un compromis crucial influençant à la fois le coût de fabrication et la performance du processeur. A cette époque, aucun synthétiseur de logique n'existe encore, il n'y a aucun outil de vérification automatique de cellules logiques. Les équipes étaient ainsi nombreuses, par exemple le Motorola 6800 nécessita une équipe de 42 ingénieurs entre 1972 et 1974 (House, 2007). Le premier simulateur de logique dédié chez Intel, nommé LOLA/LOCIS, fut développé en parallèle du 8086 et achevé en 1978. Ce système permettait d'exécuter des simulations logiques complexes.

Les schémas étaient dessinés à la main, généralement sur du papier vélin format D (559×864 mm), puis portés sur des masques photolithographiques. La figure 1.20 présente les calques de diagrammes du microprocesseur Intel 4004, dessinés par Federico Faggin. Il s'agit d'un des processeurs les plus simples au monde (4 bits), ne contenant que 2238 transistors (Kogut, 2014). Les machines actuelles dépassent largement le milliard de transistors sur architectures 64 bits.

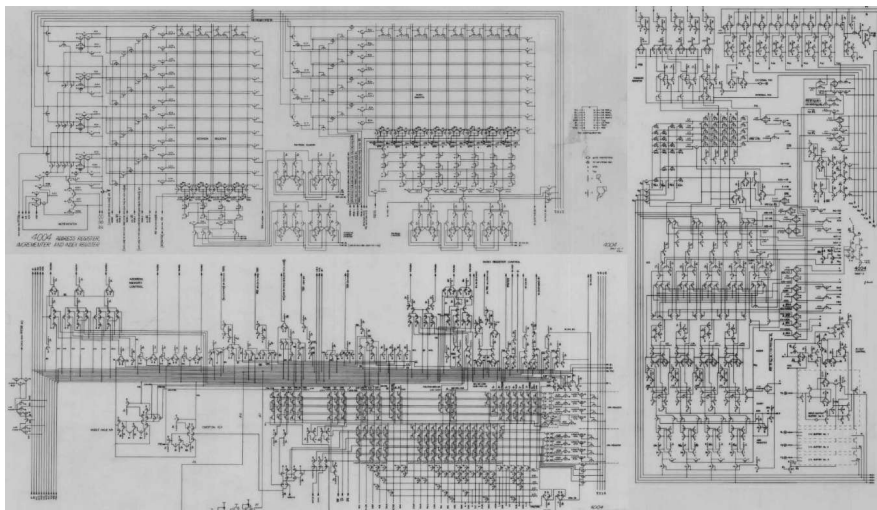


Figure 1.20 : Calques originaux de l'Intel 4004. Version agrandie en annexe p.100.

3. Simulation, prototypage et débogage

Lors du développement du microprocesseur 4004 (1969-1971), les ingénieurs d'Intel utilisaient un simulateur de circuits analogiques interne à l'entreprise, le SPULS (Volk et al., 2001). Il s'agissait d'un programme pour ordinateur PDP-10, contrôlé textuellement à travers des terminaux. Le logiciel pouvait interpréter un circuit de plusieurs dizaines de transistors, puis à l'aide de tables de signaux d'entrée manuscrites, le PDP-10 calculait les tensions en sortie. La communication de ces résultats se faisait par impression papier, d'une résolution d'entre 70 et 120 points par feuille. Outre l'aspect fastidieux de cette simulation, l'ordinateur plantait très fréquemment, ralentissant encore le processus de test.

Des cartes de test furent alors progressivement créées afin de valider certaines parties du microprocesseur avant leur intégration. Ces tests nécessitaient une émulation des signaux de commande et un calibrage temporel précis des stimuli, rendant le débogage complexe. Le microprocesseur était ainsi prototypé à l'aide de circuits logiques de haut niveau, la plupart du temps des circuits TTL (figure 1.21).

A ce stade, plusieurs dizaines de cartes étaient réalisées à la main pour former le microprocesseur complet, avec jusqu'à 80 circuits logiques par planche. (Ritter & Boney, 1979). Chaque planche devait être conçue de manière à pouvoir être testée indépendamment des autres - une étape cruciale du processus, connue sous le terme de débogage. Cette exigence imposait un temps de conception supplémentaire, difficilement accepté par les investisseurs bien qu'indispensable à la fiabilité de l'ensemble du développement (Kaplan, 1981).

Dans les années 1980, la complexité croissante des circuits intégrés rendit ces méthodes de prototypage progressivement obsolètes, au profit de simulateurs numériques avancés. L'un des derniers produits Intel dont le développement impliqua encore des planches de prototypage TTL fut le processeur graphique Intel 82730 (1982), avant que ces pratiques ne disparaissent avec l'essor des stations de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) et des outils de simulation SPICE.

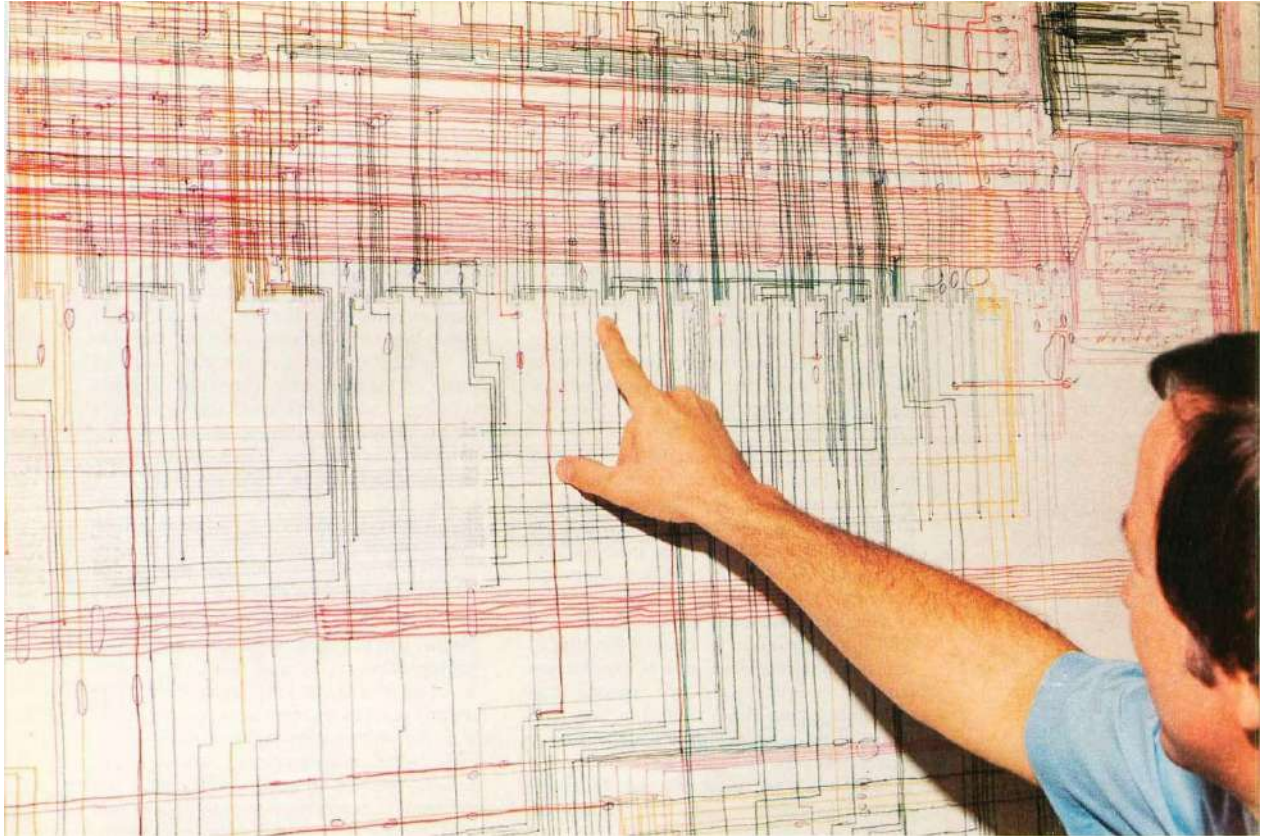


Figure 1.21 : L'ingénieur Wayne Harrington à l'œuvre sur la logique du microprocesseur Motorola 6809, 1977. Chaque couleur correspond à une planche prototype TTL.
(Ritter & Boney, 1979)

4. Intégration : dessin du *die*

Suite à cette étape, l'agencement des transistors et des conducteurs (lignes de polysilicone, plans de diffusion, connecteurs) est réalisé pour minimiser la surface d'occupation sur le *die*. La capacité parasite du *die* n'était pas prévisible en amont, ainsi tous les tests qui pouvaient fonctionner à l'échelle précédente (TTL/LSI) se retrouvaient sujets à des variabilités de stabilité une fois à l'échelle microscopique. La synchronisation des circuits était largement dépendante du "talent de l'ingénieur pour deviner les distances entre les parties du circuit" (Volk *et al.*, 2001). Des tests en laboratoire étaient réalisés pour estimer le temps de propagation par cellule, en fonction de la charge d'autres cellules voisines.

Une fois les dessins des cellules fondamentales réalisés - généralement sur du papier d'aluminium mylar - ceux-ci étaient découpés sur plusieurs épaisseurs de film Rubylith²⁷ 48'x60' (1219x1524mm²) avec un coordinatographe²⁸ (figures 1.22, 1.23).

²⁷ Film d'acétate translucide, constitué d'une double couche d'émulsion ambrée ou rouge

²⁸ Appareil de report de points par leurs coordonnées, à commande manuelle ou automatique

La traque d'erreurs de marges autour de traces (devant être les plus resserrées possible) était difficile à l'échelle d'un die de dizaines de milliers de transistors formés par accumulations de couches conductrices. Par exemple, pour l'Intel 8086 (1977), les deux ingénieurs en charge du développement passèrent deux semaines chacun à vérifier les quelques 20.000 transistors des cellules avant la mise en production, et trouvèrent (malgré tout le processus rigoureusement appliqué en amont) encore 20 erreurs dans le dessin. De façon similaire, le premier produit d'Intel (une RAM de 64 bits, la 3101) ne présentait à sa sortie en réalité que 63 bits, à cause d'une erreur de découpage de film (Volk *et al.*, 2001). Dès l'Intel 8008 (1972), ces dessins étaient portés sur des stations de travail numérique (figure 1.24), telles que le Calma GDS-1 - dont la configuration de base coûtait pas moins de 100.000\$ (eq. 760.000\$ de 2025) (Weisberg, 2023). Les dessinateurs pouvaient dupliquer les cellules par milliers, et ainsi former le die rapidement. Finalement, quelques mois après la sortie du 8086 (1978), le premier outil de développement et de vérification d'implantation vit le jour chez Intel, allégeant ce processus. On recense l'utilisation de Rubylith sur les Intel 4004, 8008, 8080, 8085, 8086 mais aussi le MOS 6502 ou le Zilog Z80.



Figure 1.22 : Coordinatographe (Bell Laboratories Record, 1966)

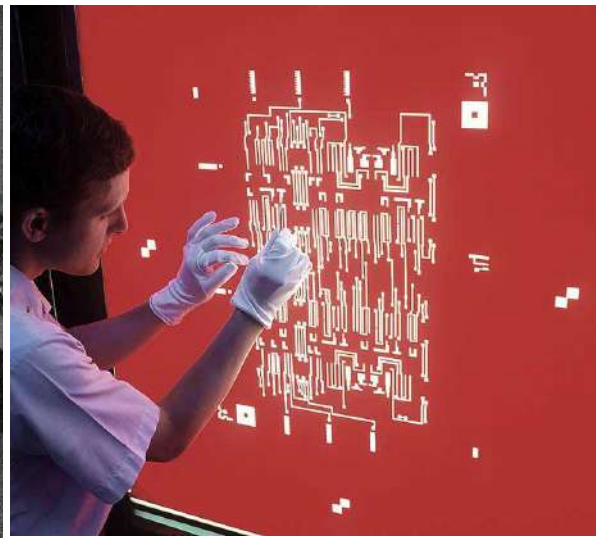


Figure 1.23 : Bob Wickley à la base militaire de Wright-Patterson (Mai 1980)



Figure 1.24
Station de conception de circuits intégrés Applicon Super VLSI Graphic System (Stine, 2019)

Une fois les strates de Rubylith vérifiées (LVS²⁹, DRC³⁰...), elles étaient envoyées à un laboratoire qui procédait à la photolithographie puis à la gravure sur tranches de silicium (les *Wafers*) (figure 1.25). Ceux-ci étaient finalement assemblés dans des boîtiers en céramique ou en plastique (processus de *Die Bond*, ou encore de *Wire Bond*), dans des usines dédiées.



Figure 1.25 : GCA - Mann 4800
(Source : The Chip History Center)

1.3.c : Quelques microprocesseurs à l'origine de nombreux développements

L'offre actuelle en microprocesseurs est particulièrement vaste, couvrant tous types d'applications à différentes échelles de performances. Mais au début de la décennie 1980, les développeurs disposaient de peu de choix pour répondre à leurs besoins. Cette limitation s'inscrivait dans un contexte où les technologies connaissaient des évolutions radicales, et ce à un rythme extrêmement rapide (Devine *et al.*, 1982). Cette variabilité imposait aux concepteurs une adaptation constante aux nouveaux standards. La figure 1.26 recense les principaux modèles commerciaux de microprocesseurs disponibles à cette période :

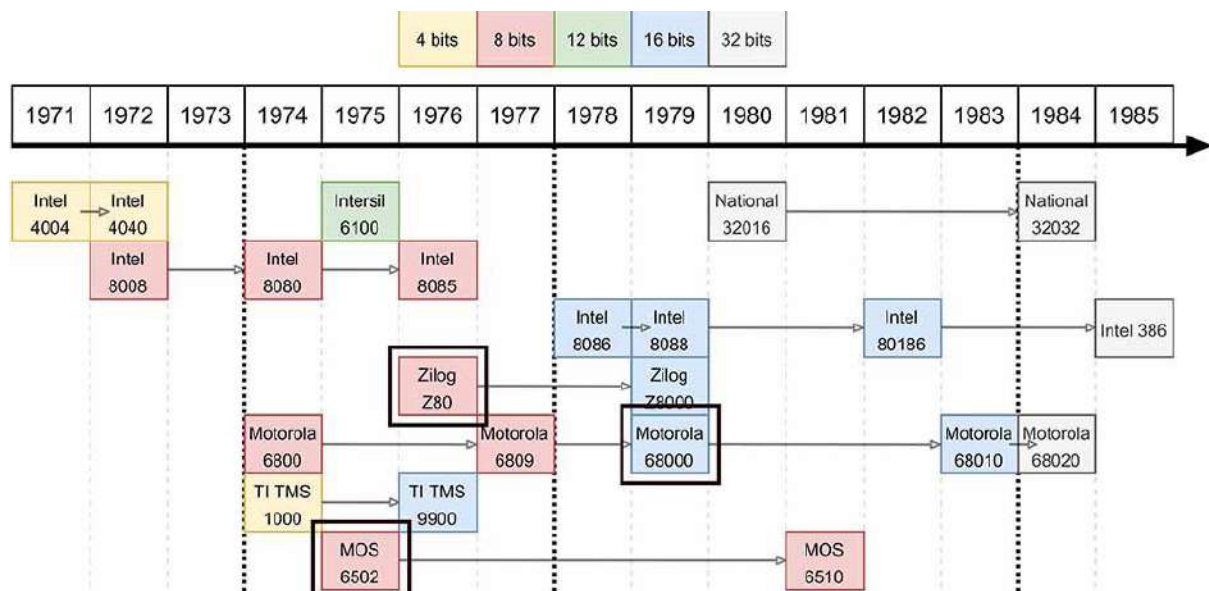


Figure 1.26 : principaux microprocesseurs disponibles entre 1971 et 1985

²⁹ Layout Versus Schematic : vérification de la correspondance entre le schéma et l'implantation

³⁰ Design Rule Checking : vérification des contraintes géométriques de l'implantation des composants

Les modèles encadrés en noir correspondent aux modèles de microprocesseurs les plus utilisés dans les machines audio de l'époque. La plupart des microprocesseurs 8 bits remplissaient aisément des fonctions de gestion et le contrôle de périphériques, qui eux pouvaient être conçus spécifiquement à l'aide de circuits TTL plus rapides, ou DSP, mieux optimisés. C'est ainsi que l'on retrouve presque systématiquement le modèle Zilog Z80 dans les machines des années 1980 : contrôle du routing et des mémoires d'un préamplificateur A/DA MP1 (1986), pilotage des sections analogiques du synthétiseur polyphonique Sequential Circuits³¹ Prophet 600 (1982), ou encore la gestion d'un processeur numérique de traitement du signal comme la Klark Teknik DN-780 (1984).

Certaines machines sophistiquées, notamment dans le domaine des échantillonneurs haut de gamme, avaient recours à plusieurs microprocesseurs 8 bits pour assurer la gestion des différentes sections de l'instrument. Par exemple, le Fairlight CMI II (1980) exploitait jusqu'à quatre microprocesseurs Motorola 6800 : 2 pour le processeur audio, et un par périphérique (Grant, 1984). Le Fairlight III (1985) pouvait employer jusqu'à 15 processeurs : deux 6809 pour le coeur audio, un 6809 par carte de 2 voix (jusqu'à 8 processeurs donc), un 68000 pour le traitement de la section de resynthèse, et un 68000 dédié à l'interface externe (MIDI, SMPTE).

A partir de la fin des années 1980, certaines architectures cascadées de microprocesseurs seront remplacées par des DSP, dont le fonctionnement dédié permet l'abaissement des coûts (intégration de multiplicateurs en interne) et une plus grande vitesse de traitement. A titre de comparaison, le Digital Music Systems DMX1000 de 1979, conçu autour d'un multiplicateur TRW MPY16 (5 millions d'opérations 16 bits par seconde), consommait 300 Watts. En 1990, le Motorola DSP96001 pouvait exécuter 60 millions d'opérations 32 bits flottant, pour moins d'un demi Watt (Roads, 1996).

³¹ On remarquera le nom de la société particulièrement à propos des technologies employées!

1.4 : Exemple pratique d'intégration : cas du RSF PolyKobol II

Les circuits logiques, les convertisseurs et les microprocesseurs ont profondément transformé le domaine de la lutherie électronique. En particulier, ces révolutions technologiques marquent l'avènement des premiers synthétiseurs polyphoniques à mémoire. Jusqu'alors, la polyphonie n'était réalisable que par des systèmes paraphoniques (à division d'horloge), soit par la duplication d'unités monophoniques, contrôlées manuellement (par exemple les modules SEM d'Oberheim). Cette méthode empirique limitait fortement la flexibilité et l'utilisation de ces instruments, reconnus pour être instables et fastidieux à programmer. Nous allons analyser un exemple illustrant l'impact de l'*Early Digital* sur les synthétiseurs de cette époque.

RSF était un fabricant d'instruments français³², originaire de la région toulousaine. Fondée par Ruben et Serge, la société produisit, entre 1976 et 1987, des synthétiseurs modulaires (série 11), expandeurs (Kobol), des synthétiseurs polyphoniques à mémoires (PolyKobol, BlackBox), ainsi qu'une série de tranches de console (TPU12, KM8). Vers la fin de son activité, RSF développa également des boîtes à rythmes numériques (DD14, DD30, SD140) (Grall, 2016). Si RSF illustre d'une certaine façon l'exploration des technologies *Early Digital* - notamment par une utilisation intensive de circuits électroniques dédiés à l'informatique musicale (figure 1.27) - les contraintes imposées par le cadre de ce mémoire m'amènent à me limiter ici à une simple évocation de ces développements.



Figure 1.27 : un des frères Fernandez devant un terminal EXORset30 de développement pour Motorola 6809, microprocesseur que l'on retrouve dans le RSF PolyKobol II (Verpeaux, 1985)

³² Du fait de la dimension microcosmique de l'industrie audio française de cette époque, je me suis interrogé sur l'existence d'éventuels échanges ou rencontres entre les entreprises Publison et RSF. Afin d'éclaircir ce point, j'ai demandé à Madame Dean, fondatrice de Publison, si elle avait eu l'occasion de rencontrer les frères Fernandez, ou si elle les avait déjà croisés lors d'événements tels que les salons AES. Elle m'a répondu ne les avoir jamais rencontrés personnellement, bien que l'équipe de Publison avait eu connaissance des travaux menés par RSF.

Dans le PolyKobol II (Figure 1.28), les différents éléments du synthétiseur sont pilotés par des circuits PIA (*Peripheral Interface Adapter*), circuits intégrés dédiés à la gestion des entrées/sorties parallèles dans des architectures à microprocesseurs. Conçus pour s'interfacer directement avec un bus de données, ces dispositifs permettent une communication bidirectionnelle 8 bits, simplifiant l'adressage logique et la synchronisation des modules de l'instrument.

L'examen des plans originaux du PolyKobol II³³ révèle la présence de deux microprocesseurs Motorola 6809, un modèle 8 bits commercialisé à partir de 1977. Pour l'interfaçage parallèle, RSF intégra une dizaine de circuits PIA 6821, chacun chargé de contrôler une section spécifique du synthétiseur. Le bus de données (représenté en rouge, figure 1.29) alimente simultanément tous les PIA, tandis que leur sélection individuelle est assurée par une combinaison d'un signal de sélection de puce (*Chip Select*) et d'une ligne d'adresse spécifique (A11). Le signal Chips Select "CS6" est généré via un décodeur d'adresses 74LS138 (vert, figure 1.30), qui, à partir de trois bits d'entrée (A12, A13, A14), sélectionne l'une des huit sorties possibles. Cette sélection est synchronisée par l'activation conjointe des broches d'activation du décodeur. Le signal d'adresse A11, issu directement du processeur, complète ce mécanisme de sélection. Ainsi, l'activation simultanée des signaux CS6 et A11 permet au PIA correspondant de lire les données présentes sur le bus de données D0–D7.



Figure 1.28 : RSF Polykobel II (1983)

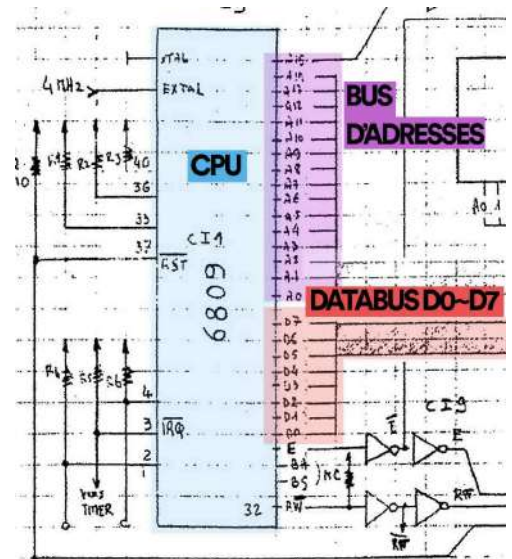


Figure 1.29

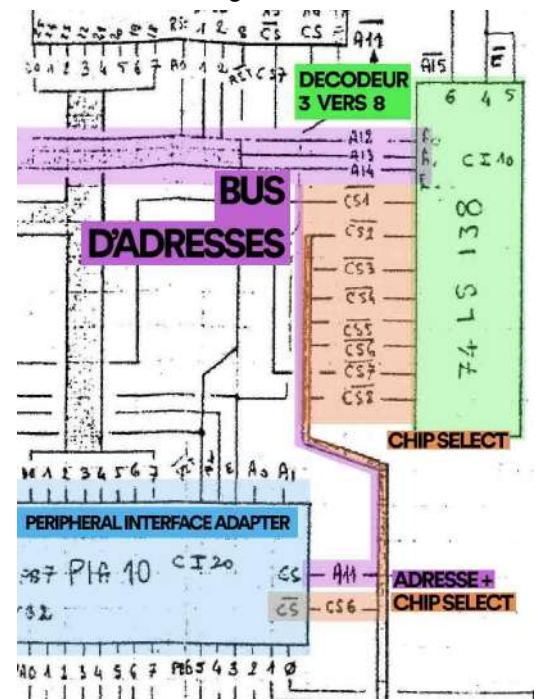


Figure 1.30

³³ Gracieusement fournis par Jean-Bernard Emond

Les données issues du PIA (en bleu) sont ensuite transmises à un DAC Analog Devices AD 7533 (représenté en fuchsia figure 1.31). Ce DAC 10 bits nécessite une gestion particulière ici, car l'environnement du système est en 8 bits. Le PIA 6821 offrant deux jeux de bus de sortie distincts (bus d'interfaçage A en jaune, bus B en gris), les deux bits restant (9 et 10, LSB) peuvent être transmis respectivement via les broches PB2 et PB7. La sortie différentielle du DAC est désymétrisée et mise en tampon à l'aide d'un AOP³⁴ (vert, figure 1.31), puis dirigée vers plusieurs circuits multiplexeurs CD4051 (en jaune figure 1.32). Ces multiplexeurs, commandés par des signaux issus du bus B du PIA, sélectionnent une des huit sorties possibles à partir d'un message de trois bits (pins 9, 10, 11) et d'un signal d'activation (*Enable*, en gris figure 1.32).

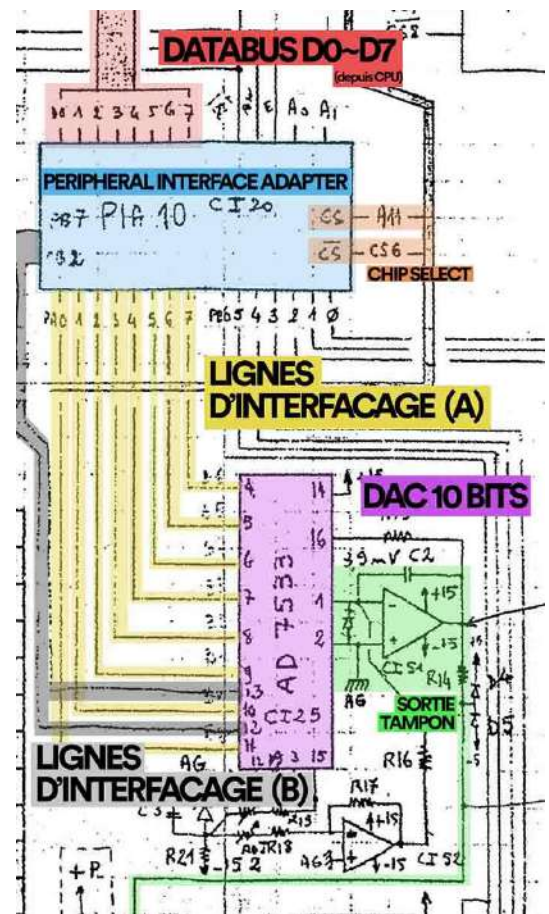


Figure 1.31

Les multiplexeurs fonctionnent en parallèle, sélectionnant simultanément une nouvelle sortie. Leur activation individuelle est assurée par un second décodeur 74LS138 (en violet), piloté par trois lignes supplémentaires issues du PIA (en bleu foncé). Chaque sortie des multiplexeurs est enfin linéarisée et mise en tampon via des AOP configurés en mode *Sample and Hold* (en bleu cyan, figure 1.32).

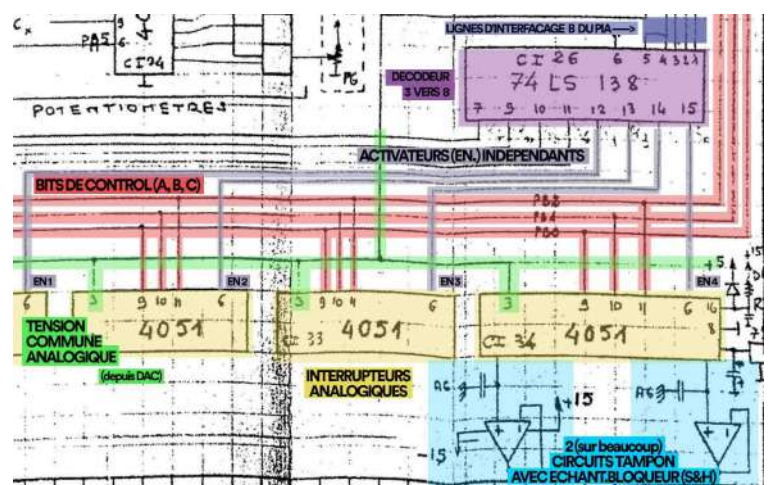


Figure 1.32

³⁴ AOP : Un Amplificateur Opérationnel est un circuit amplifiant la différence de potentiel à ses entrées.

À travers l'exemple du RSF Polykobel II, nous pouvons comprendre l'importance des circuits logiques dans le développement des instruments électroniques. Grâce au couplage analogique-numérique, le Polykobel permet le contrôle de plusieurs voies unifiées (polyphonie), ainsi que le rappel de mémoires. Puisque les tensions de commande sont générées à partir des données du microprocesseur, un simple rappel de valeurs mémorisées suffit à reconfigurer l'intégralité du fonctionnement du synthétiseur. Certains synthétiseurs vont encore plus loin dans l'intégration du microprocesseur et du convertisseur, par exemple dans le Sequential Circuits Prophet 600, le microprocesseur génère non seulement les enveloppes, mais également les sources de modulation (LFO), via le DAC. Cette intégration permet de réduire le nombre de composants, au prix d'une charge de calcul accrue et d'une optimisation nécessaire du programme de contrôle (gestion micrométrique des routines d'interruption...) (Rolnick, 1978). Le Polykobel II utilise une logique de bus évoluée grâce à l'emploi de circuits PIA dédiés aux périphériques, constituant un fonctionnement précurseur. En comparant le Polykobel à l'intégration du DAC dans le Prophet 5 (1979), cette optimisation devient visible dès l'analyse du synoptique :

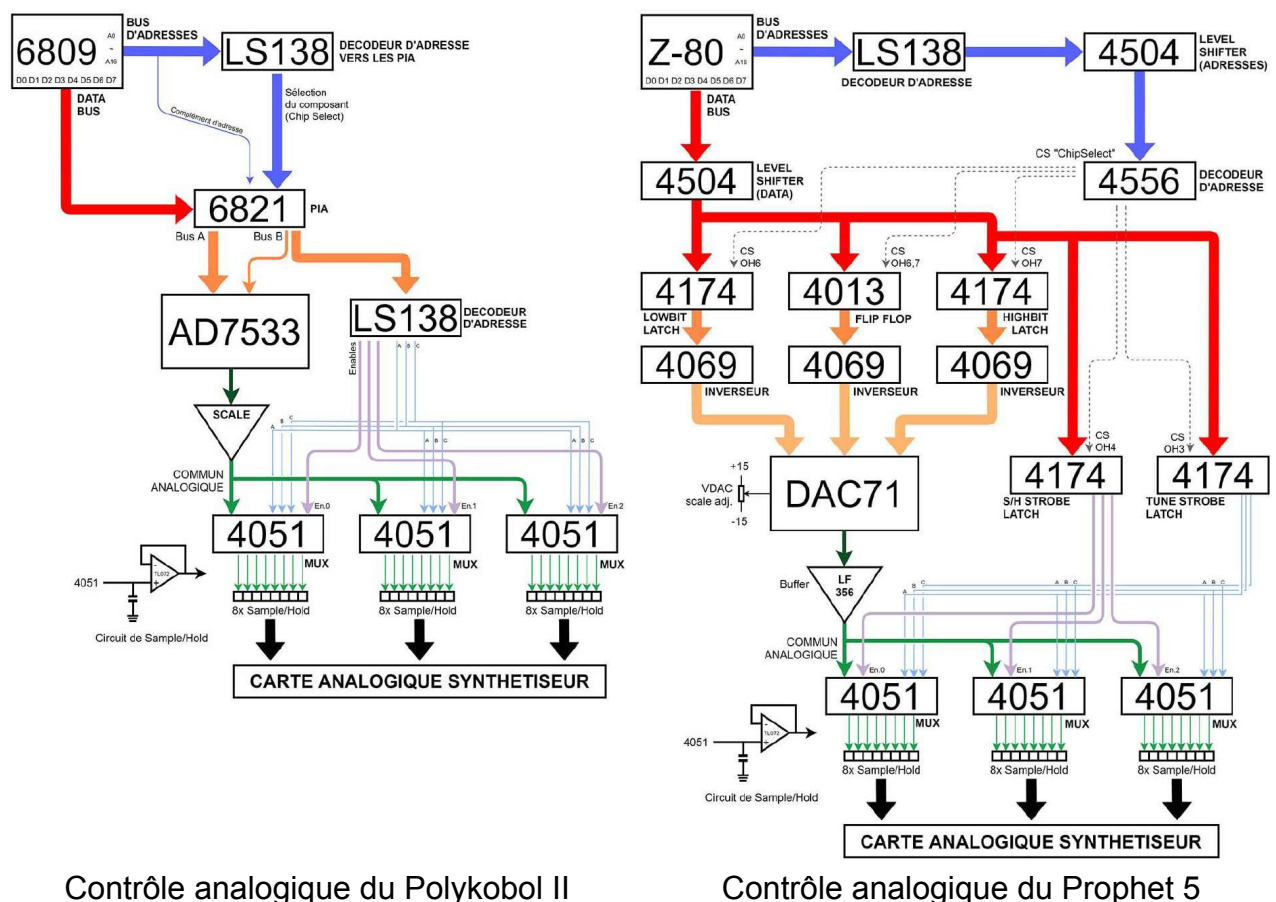


Figure 1.33 : implantations comparées. Agrandissements visibles en annexe p.101/102

Partie II

L'épopée Publison : étude du fleuron de l'*Early Digital* français

“Je ne comprenais pas dans les milieux du son en France, le tel désamour, l’inculture, l’ignorance, de cet équipement. A une époque - d’ailleurs, toujours aujourd’hui - on ne jurait que par ce qui était fait aux Etats-Unis, en Angleterre, en Allemagne évidemment, et au Japon. Mais en France, non seulement les gens ne connaissaient pas, mais avaient une vraie aversion pour ça ; pensant en fait qu’on avait rien fait de bien.”

Matteo Mannoni, entretien du 13 Février

Amorcée au courant de la décennie 1970, la transition des technologies analogiques vers le numérique constitue un moment charnière de l’histoire des techniques et des esthétiques sonores. En France, peu d’acteurs s’aventurent sur ce marché de l’*Early Digital*, alors en pleine expansion. Les institutions de recherche sont les premières à se confronter à ces nouvelles technologies : l’Ircam³⁵ avec la station 4X, le GRM³⁶ via le Studio 123 et le dispositif Syter³⁷, ou encore l’UPIC³⁸ au CEMAMu³⁹. De l’autre côté, on retrouve la société RSF (vue en partie 1.4), ainsi que la jeune entreprise Publison. Cette dernière, dirigée par Peter et Danny Dean, se distingue par ses ambitions internationales, ses innovations technologiques et sa présence marquée dans des domaines aussi variés que le cinéma, la musique et la télévision. La société se fait connaître dès 1978 avec le DHM89B2 - délai harmonisateur mémoire, puis avec le multieffets Infernal Machine 90, en 1984, révolutionnant les méthodes de production de l’époque. Ces machines, adoptées par des milliers de studios et de grands noms de la musique, assurent encore aujourd’hui à Publison une renommée quasi-légendaire. Malgré cette aura, l’origine, le fonctionnement et la ligne commerciale de l’entreprise restent entourés de zones d’ombre. L’absence sidérante de sources constitue le point de départ de cette investigation : les archives se révèlent sporadiques, et les rares documents disponibles peinent à situer rigoureusement l’historique, voire l’existence-même de ces machines. Couplé à l’opacité des faits, quelques fortes personnalités et rares utilisateurs cultivent une forme de mystère autour de Publison, société qui fut pourtant l’entreprise française d’audio professionnel la mieux exportée dans le monde. Les enjeux de la sauvegarde de ce patrimoine appellent donc à un recoupement et à une étude en contexte approfondie, à la croisée de l’histoire des techniques et de l’ethnographie des acteurs de l’industrie audiovisuelle.

³⁵ Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique

³⁶ Groupe de Recherches Musicales

³⁷ Système Temps-Réel

³⁸ Unité Polyagogique Informatique du CEMAMu

³⁹ Centre d’Études de Mathématique et Automatique Musicales

Deux traits techniques majeurs renforcent le mystère entourant Publison :

- documentation éparse : l'ingénieur en chef, Philippe Petitdemange (mort en 2019), n'a jamais consigné ses plans sous forme de schémas complets, tel que le ferait un cabinet d'ingénierie. Seuls subsistent des croquis manuscrits, incomplets ainsi que diverses traces de R&D - archives rachetées par Jonathan Prager lors de la fermeture du siège de Publison en 2019.
- effacement des références des circuits électroniques : à l'usine, chaque composant était « gratté » de son identifiant, empêchant toute reproduction ou contrefaçon, mais aussi toute réparation extérieure à la société.

Ces pratiques ont assuré à Publison une confidentialité extrême de ses savoir-faire, qui perdure plus de quarante ans après la conception des premiers prototypes.

2.1 : Méthodologie

Afin de restituer l'histoire de Publison et d'éclairer son rôle dans l'Early Digital à l'échelle internationale, une méthodologie pluridisciplinaire est mise en œuvre. Celle-ci s'appuie sur des entretiens semi-directifs menés auprès des acteurs clés, permettant de reconstituer les logiques d'innovation. Elle intègre également une recherche documentaire fondée sur l'étude corrélée et approfondie d'archives restaurées⁴⁰, ainsi qu'une analyse technique à travers des examens comparatifs et des relevés visuels des machines.

Les principaux contributeurs aux entretiens et au sourçage de documents sont :

- **Elisabeth Stoffels** (épouse Dean), rencontrée le 19 et 23 mai 2025, et entretenue au téléphone le 22 mai. Directrice générale de Publison et veuve de Peter Dean, ancien PDG de la société, mort en 2019.
- **Rosine Petitdemange**, rencontrée les 5 et 11 mars. Sœur de l'ingénieur en chef Philippe Petitdemange, décédé à la suite d'une agression en 2019.
- **Jonathan Prager**, rencontré le 9 avril. Réparateur, compositeur, enseignant et propriétaire des archives Publison depuis le décès de Peter Dean.
- **Matteo Mannoni**, entretenu au téléphone le 13 février puis rencontré du 28 au 31 Mars. Réparateur et spécialiste de l'époque RTF/ORTF. Il connaît les Dean depuis 1996. Il a coordonné le rachat des schémas/composants auprès de Jonathan Prager en 2019.

⁴⁰ J'ai réalisé les scans entre 4800 et 6400 DPI sur un Epson V700. Les documents étaient restaurés si leur couleur était dégradée, ou dans le cas de traces de colle, doigts, moisissures, déchirures...

Préparation

Avant chaque entretien, un guide préliminaire était élaboré puis ajusté en fonction du profil de l'interlocuteur et des informations déjà recueillies. Les premiers entretiens, menés avec Jonathan Prager (Automne 2023) et Matteo Mannoni (13 Février 2025), avaient pour objectif d'obtenir une vue d'ensemble du sujet. Ils ont donc été conduits selon une approche ouverte afin de constituer un premier socle d'informations. Un ensemble de questions plus analytiques fut rédigé pour les rencontres suivantes avec Rosine Petitdemange (5 Mars 2025) et Jonathan Prager (9 Avril 2025).

Entretien avec Rosine Petitdemange

L'entretien avec Rosine nécessitait une préparation particulière en raison du contexte : le procès en appel des assassins de Philippe Petitdemange venait de s'achever et l'évocation de ce dernier pouvait s'avérer délicate. Le guide d'entretien adoptait ainsi une progression graduée, passant de questions générales à des points plus personnels et biographiques. L'objectif méthodologique était de reconstituer un portrait psychologique, familial et professionnel de Philippe Petitdemange, notamment son évolution, son rapport au travail, sa relation aux Dean et son apprentissage technique. Les thèmes abordés incluaient notamment :

- la trajectoire personnelle et éducative de Philippe Petitdemange,
- ses débuts professionnels et les conditions de sa rencontre avec les Dean,
- ses motivations dans le domaine de l'électronique musicale,
- l'implication de son entourage dans ses premiers assemblages et prototypes,
- son équilibre entre vie familiale et activité de conception.

Entretien avec Jonathan Prager

L'entretien avec Jonathan relevait d'une approche plus technique, centrée sur les procédés de conception, de prototypage et de maintenance. Les questions visaient à préciser le fonctionnement interne de Publison ainsi que les choix technologiques mis en œuvre. Parmi les axes abordés figuraient :

- le processus de prototypage et de R&D de Philippe Petitedemange,
- la réalisation des typons et des PCB,
- les technologies du "proto-rompler" Natureboy,
- l'inventaire des schémas retrouvés à Bagnolet,
- l'organisation du service après-vente et le rôle exact de P. Petitedemange,
- la chronologie des premières étapes de développement de l'Infernal Machine,
- le fonctionnement du convertisseur à virgule flottante du DHM89B2.

Structuration progressive du corpus d'entretiens

Ces matériaux ont permis d'établir une structure en trois axes complémentaires :

- histoire et contextualisation de la société, apporté par Matteo Mannoni,
- technologies et innovations, approfondi avec Jonathan Prager,
- portrait de l'inventeur, documenté grâce à Rosine Petitedemange.

Entretien avec Madame Dean

L'entretien avec Madame Dean, conduit selon le même dispositif semi-directif, visait à croiser ces axes. Les questions se concentraient sur les orientations stratégiques et le contexte sociotechnique des développements. Parmi les sujets abordés :

- les circonstances de la rencontre entre Philippe Petitedemange et Peter Dean,
- l'influence des concurrents sur les orientations technologiques,
- La répartition des responsabilités au sein de la direction, notamment dans la relation professionnelle entre Madame Dean et son mari, Peter Dean,
- L'appréhension du rôle de directrice générale d'une société internationale dans un environnement industriel largement masculinisé,
- les raisons de l'abandon de certains prototypes (NatureBoy, Gold Pitcher),
- la réception publique lors de l'AES 1978,
- l'origine du nom Publison,
- la récurrence du terme "Infernal" dans la nomenclature des machines,
- les motivations derrière certains choix esthétiques des machines.

Analyse critique des sources orales

Au fil des entretiens, plusieurs erreurs chronologiques et variations narratives sont apparues. Les propos de Madame Dean, moins engagée dans une dimension technique, nécessitaient parfois une mise en perspective avec les propos de Jonathan Prager, tandis que l'éloignement temporel pouvait entraîner certaines approximations. De même, les informations provenant de Matteo Mannoni, bien que précieuses, étaient à considérer avec discernement : en tant qu'utilisateur passionné et non acteur direct, il avait pu entretenir ou relayer certaines interprétations issues de récits informels accumulés sur deux décennies d'échanges avec les Dean.

Apport des sources documentaires

Le recours à la presse spécialisée s'est révélé déterminant pour affiner la datation des machines et prototypes. Les reportages réalisés lors des salons, souvent accompagnés de photographies datées, ont permis d'établir des repères fiables. Toutefois, certains articles nécessitaient d'être relativisés là aussi : la compréhension succincte par certains journalistes des technologies Publison (peut-être parfois volontairement dissimulées), entraînait des descriptions approximatives.

Les documents internes fournis par Madame Dean (photographies, brochures, archives inédites) ont apporté un complément décisif. Leur caractère primaire et exhaustif a permis de relier et vérifier l'ensemble des informations collectées, depuis les débuts de Publison jusqu'à sa fin.

Retranscription

La retranscription intégrale des entretiens n'est pas incluse dans ce document, en raison de leur caractère intime et informel et de l'absence d'autorisation explicite des participants pour une utilisation exhaustive. En revanche, les informations essentielles ont été isolées, restituées fidèlement et mobilisées lorsque nécessaire afin d'étayer les analyses développées dans les sections spécifiques.

2.2 : Etat des lieux au sortir de l'ORTF

L'objectif de cette section ne sera pas d'analyser les modalités d'équipement des institutions françaises, mais plutôt d'examiner les fondements et les manifestations du nationalisme industriel tel qu'il s'est implanté au sein de la Radiodiffusion Télévision Française (RTF, 1949~1964), puis de l'Office de Radiodiffusion Télévision Française (ORTF, 1964~1975).

Plusieurs entreprises françaises s'étaient illustrées à cette période par leur capacité d'innovation et par la qualité technique de leur production. Dans le domaine de la diffusion sonore, nous pouvons notamment citer des fabricants de haut-parleurs et d'enceintes tels que Elipson/Multimoteur, Audax, Cabasse, Siare, Bouyer ou encore Princeps. Du côté des équipements électroniques, les sociétés telles que Bourdereau, Pierre Clément, Schlumberger, Lie Belin, Girardin, EAA (l'Electro Acoustique Appliquée), SAF (Société Artistique Française, figures 2.1, 2.2), Lafont ou Saje, étaient les acteurs de premier plan dans le secteur de la facture audio professionnelle. Ces sociétés travaillaient à la conception de matériel spécialisé, à la demande des institutions publiques. (Leyris, 2023)

Ce dynamisme contribua à forger une renommée d'excellence de la production française, à l'image des enceintes sphériques équipant tous les départements de l'ORTF⁴¹ (Pastor, 1989). Le cas de Elipson illustre en fait la conjoncture industrielle des fabricants de cette période : malgré son statut de référence, Elipson représentait encore une entreprise à échelle réduite, reposant majoritairement sur un mode de production manuel voire semi-artisanal, répondant aux commandes des institutions :

“Dans une poussière blanche et sous les verrières du classique atelier d'artiste, s'affairaient d'habiles mouleurs sous la direction de M. Nicolas [...]. Bien sûr, tout était artisanal. Un moule ne permettait que 150 exemplaires et une cinquantaine d'enceintes seulement sortait chaque jour de l'atelier. Parfois, des modèles aux dimensions imposantes - pièces uniques - mobilisaient la majeure partie de l'équipe.”
(Pastor, 1989)

“C'était vraiment artisanal, cela se passait dans une maison dans la banlieue de Paris. J'avais en face de moi le concepteur de ces boules qu'il testait une à une sur un qualisque pour ajuster le filtrage, c'était passionnant.”

(Deshays, 2019)

⁴¹ : Ces enceintes étaient conçues par Elipson en collaboration avec le service technique de l'ORTF

Le matériel français était pensé avec des contraintes de haut niveau, sans compromis ni économie sur le processus. La chaîne de reproduction sonore devait être la plus transparente du fait des allers-retours de montage et d'édition effectués dans les régies. Le matériel fonctionnait également sans relâche, ce qui, pour les technologies de l'époque, constituait un véritable défi. Les composants du matériel fabriqué étaient également issus des industries françaises, les boutons rotatifs étaient par exemple construits par Stöckli, les condensateurs par la Cogeco (Compagnie Générale des Condensateurs), les résistances par la Sfernice, la plupart des tubes par la RTC (Radiotechnique Compelec). Cette nationalisation du matériel s'étendait jusqu'à l'établissement d'une norme de connecteurs en France (Wuttke, 2012). L'équipement, s'il n'était pas français (notamment dans le cas des microphones), était démonté et recâblé afin de correspondre aux cahiers des charges de la RTF/ORTF :

“Pour te donner une idée du jusqu'au-boutisme de la RTF, la RTF avait imposé à chaque matériel des connecteurs propriétaires. Des connecteurs uniquement faits pour la RTF. Il y a deux marques françaises, Socapex, qui travaille avec le milieu militaire, et une autre marque qui s'appelle RADIAL qui a fait des connecteurs qu'on appelle SOGIE. L'équipement à la RTF se faisait intégralement retrofitter avec ces connecteurs. Ce sont des frais délirants. [...] L'idée c'était de faire travailler l'industrie française, la faire tourner à plein régime. Il n'y a que sur les microphones où... Les Allemands, les Autrichiens étaient clairement en avance sur les Français. Ça, c'est un vrai problème qu'on a eu. Et donc la RTF faisait des commandes auprès de Schoeps, Neumann, mais faisait changer tous les connecteurs, ce qui était un vrai casse-tête.”

(Matteo Mannoni, 13 Février)

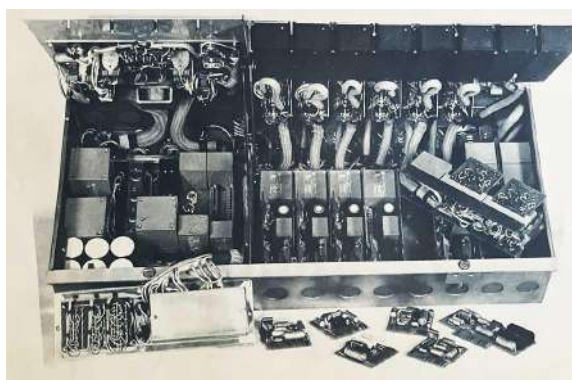


Figure 2.1 : SAF 1826 avec modules tirés, 1964
(Documentation issue du service technique de l'ORTF, collection de Matteo Mannoni)



Figure 2.2 : Console SAF à 6 modules, 1958
(Leyris, 2023)

La fin de l'ORTF en 1974 marque l'éclatement d'un système centralisé, où la fédération nationale des industries et des techniciens disparaît au profit d'une nouvelle forme de concurrence entre les chaînes, les contenus, les méthodes de production et les équipements. Jérôme Bourdon détaille le contexte de l'époque :

“L'organisation très centralisée d'une télévision soumise à une très grande instabilité de direction a entraîné très tôt (dès l'origine) la constitution de groupes professionnels puissants [...]. Au sein de ces groupes, a émergé [...] un corps professionnel très important, celui des ingénieurs de la radiodiffusion. Distincts des ingénieurs des télécommunications, contrôlant l'ensemble de la chaîne de production, munis d'un service des études en relation étroite avec les constructeurs, ces ingénieurs ont surveillé de près l'évolution technique et son application aux programmes. Personnel peu nombreux, très homogène, très stable, doté d'une conception forte du service public, ils constituent un groupe clé. En 1974, ce phénomène de maîtrise des groupes professionnels s'atténue. [...] Les ingénieurs de la télévision ont perdu, de loin, le plus de terrain. La majorité d'entre eux (notamment le service des études) se trouve désormais cantonné à la mission de diffusion, et ne peuvent donc plus influencer sur les chaînes. [...] Longtemps, "l'économie" n'a pas eu bonne presse à la télévision. Les considérations de "productivité", de "rentabilité"; la "rationalisation de la gestion", tout cela se traduisait en termes syndicaux par "l'asservissement de la télévision aux forces du marché". [...] Un dernier élément doit être pris en considération : l'internationalisation croissante des matériels. [...] Les solidarités nationales ou européennes jouent toujours, mais la concurrence entre chaînes, donc la nécessité de produire plus et plus vite, modifient les habitudes. Le nationalisme technique ne disparaît pas, mais il n'a plus valeur de dogme.” (Bourdon, 1987)

L'un des facteurs contribuant à la perte de la mémoire collective tire aussi son origine dans la destruction du matériel d'État. En effet, la quasi-totalité des ventes des constructeurs mentionnés précédemment étaient effectuées par les services de radiodiffusion. Lorsque le matériel était révoqué, celui-ci devait être détruit, car il ne pouvait pas être revendu :

“Toutes les consoles de la RTF ont été disquées, jetées, cannibalisées : souvent les consoles étaient construites au sein des studios et ne pouvaient plus sortir donc on était obligé de les disquer. Et comme c'est du matériel d'état, ce matériel ne pouvait pas se retrouver sur le marché de l'occasion. [...] Je connais des gens qui étaient payés, des intermittents du spectacle, pour casser le matériel dans des bennes pour ne pas que les gens s'en servent. Donc le patrimoine français, [...] qui est un patrimoine du milieu du cinéma, du milieu du broadcast, de certains premiers studios : ce patrimoine a été détruit à 80, 85%. C'est pour cela qu'aujourd'hui, de toutes ces marques [...], plus une seule n'existe. Quand les marchés se sont ouverts, c'était fini.”

(Matteo Mannoni, 13 Février)

C'est ainsi qu'à la fin des trente glorieuses, les marques qui avaient prospéré sous la protection des marchés nationaux étaient à présent sur le déclin. Restée en retrait d'une mondialisation déjà bien engagée dans le secteur de l'audiovisuel, la production française peine à suivre le rythme. C'est dans ce contexte qu'émerge un nouvel acteur s'apprêtant à rompre avec cette dynamique : la société Publison.

2.3 : Personnages-clés : le trio à Publison

2.3.a : Philippe Petitdemange

Philippe Petitdemange (figures 2.3, 2.4) est né en 1949 à Châlon-sur-Marne (Châlon-en-Champagne aujourd'hui). Avec sa sœur Rosine, il grandit dans le village de Thomery, puis de Vulaines. Vers ses 8 ans, Philippe s'intéresse de près à un poste à galène : c'est la première trace de son intérêt pour l'électronique. Afin de payer ses études, il travaille l'été dans un magasin de musique à Fontainebleau, 'Les Ondes Sonores'. Il était chargé de la maintenance des postes radios, ce qui nourrit probablement son intérêt pour l'électronique appliquée à l'audio, dès le lycée. Passé son bac, Philippe s'installe à Paris (le Plessis-Robinson) où il étudie à la Faculté des Sciences et décroche son diplôme Universitaire d'Etudes Scientifiques (DUES) section Maths/Physique, en 1970. Simultanément, Philippe entre dans le département électro-acoustique de la société EMI (Électronique Médicale et Industrielle), en 1969, sans formation d'électronicien au préalable. Il fonde le 1er Janvier 1974 la ERTEL et développe son premier appareil : le délai UD-180. Philippe croise la route de Peter Dean et Publison un peu plus tard la même année. Il abandonnera dès lors les projets en son nom. (voir partie **2.2.4**).



Figure 2.3 : Philippe Petitdemange



Figure 2.4 : Photomaton, vers 1974

Philippe n'était ni salarié, ni actionnaire à Publison⁴² - il était inscrit à l'URSSAF en tant qu'inventeur, et percevait des royalties pour chaque machine vendue⁴³.

Il n'apparaissait donc pas "officiellement" chez Publison, bien que l'essentiel de la conception et du service-après vente fut assurée par sa seule personne.

⁴² "Tout le monde était employé, sauf Philippe". Entretien avec madame Dean, 15 Mai

⁴³ "Philippe touchait des royalties sur les appareils qui se vendaient, il était inscrit à l'Urssaf en tant qu'inventeur". Entretien avec Rosine Petitdemange, 5 Mars

Un des traits de génie de Philippe Petitdemange résidait dans sa manière de développer ses machines. Peu de schémas complets ont été produits (voir **2.3**), la plupart se présentant sous la forme de bribes incomplètes et raturées à la main. En cherchant à recouper les différentes sources disponibles, Jonathan Prager a pu dégager une méthode-type employée par Philippe dans le processus de développement des premières machines Publison. Les composants nécessaires au prototype étaient d’abord placés sur du papier quadrillé. Philippe réalisait ensuite un typon de la carte au Mekanorma. À partir de ce typon, il produisait des calques d’implantation distincts, sur lesquels les composants étaient répartis par type (voir figure 2.5). Par exemple, les résistances au carbone figuraient sur un calque spécifique, celles en film sur un autre, les condensateurs tantale étaient regroupés sur un troisième, ainsi de suite pour chaque variété de composant. Jonathan rapporte ainsi avoir récupéré “des calques à la pelle, sans aucun schéma correspondant”, illustrant son cheminement à la fois expérimental et empirique.

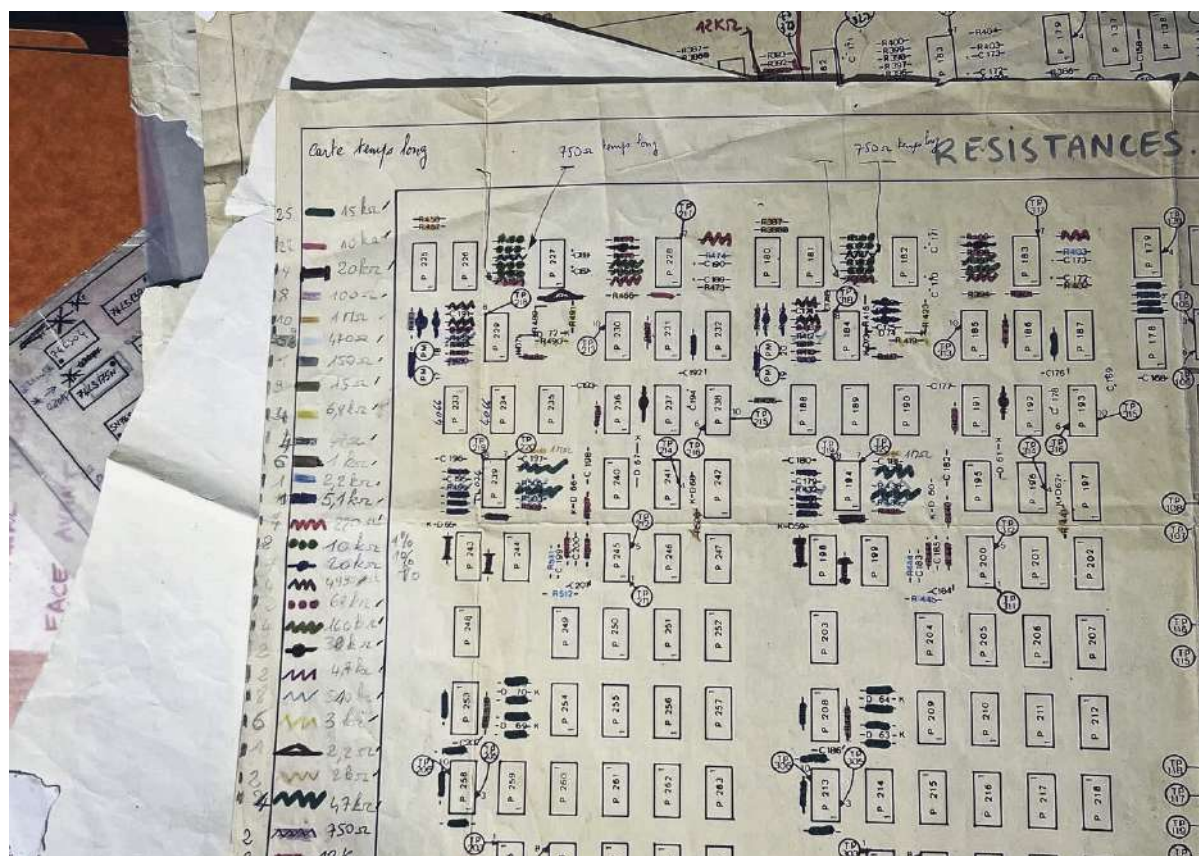


Figure 2.5 : photocopie d'un calque annoté des valeurs de résistances pour la carte de traitement version "Temps Long" du DHM. Chaque couleur correspond à une valeur de résistance.

Source : Jonathan Prager.

Un autre aspect singulier du développement de ces machines résidait dans la pratique du prototypage d'interface, réalisée avant même toute conception de schémas électroniques. Ces prototypes ne se limitaient pas à de simples esquisses : il s'agissait de véritables fabrications de panneaux de contrôle complets, intégrant boutons, potentiomètres et écrans, permettant ainsi de stimuler la créativité du trio et d'aboutir à un cahier des charges électronique précis. Quelques panneaux vierges furent retrouvés, témoignant d'idées restées à l'état de projet, tels que le DRM15 (un processeur de réverbération contemporain au DHM), The Gold Pitcher et The Blue Reverberation - deux projets issus d'une scission fonctionnelle de l'Infernal Machine. Petitdémange assumait non seulement la conception mécanique des machines (figure 2.6), mais également le développement logiciel (figure 2.7) et les mathématiques associées (figure 2.8), en plus de la réalisation des typons, démontrant ainsi une polyvalence intellectuelle unique. Il n'était toutefois pas seul à l'oeuvre chez Publison, Philippe développait les machines mais la recherche au préalable était également portée par plusieurs ingénieurs :

“Il y avait plusieurs ingénieurs quand même, Philippe ne faisait pas tout : il était le chef et il donnait les instructions à ses collègues, mais ils travaillaient en équipe. [...] On faisait tout le temps de la recherche, ils étaient quatre. [...] Il y avait Piotr, c'était un polonnais qui codait à merveille Philippe me disait. Il est resté chez nous très longtemps. Il y avait Daniel aussi...” (Madame Dean, entretien du 19/05)

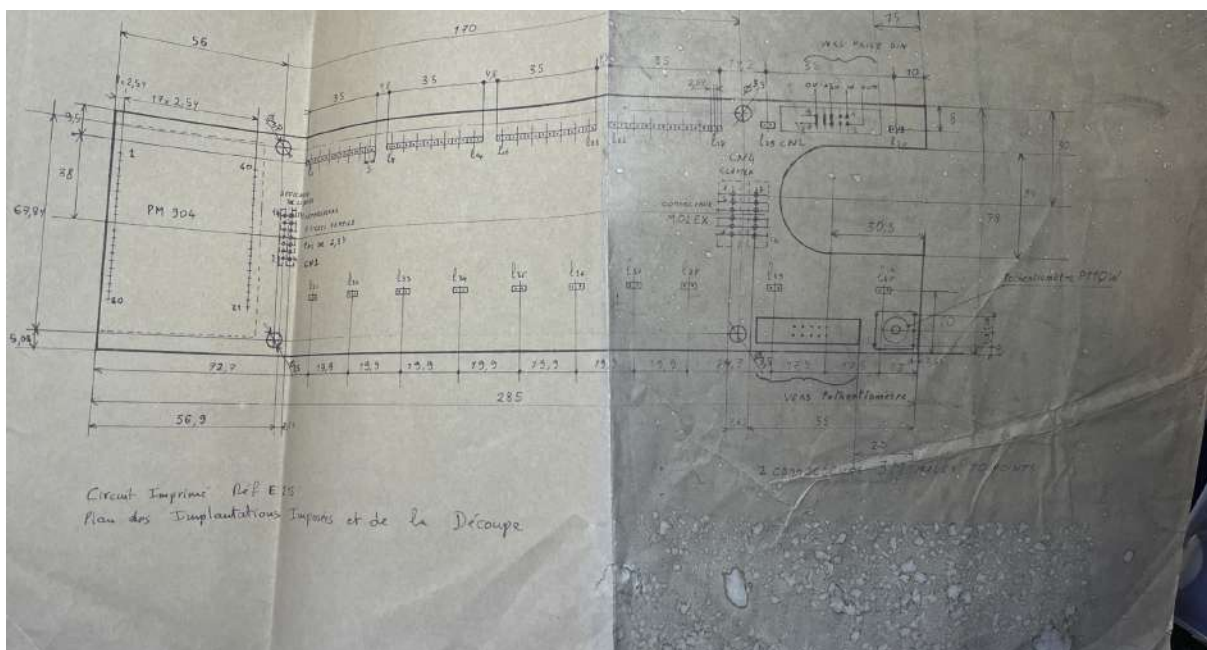


Figure 2.6 : dessin industriel de la carte télécommande E215 de l'IM90 (Source : Matteo Mannoni)

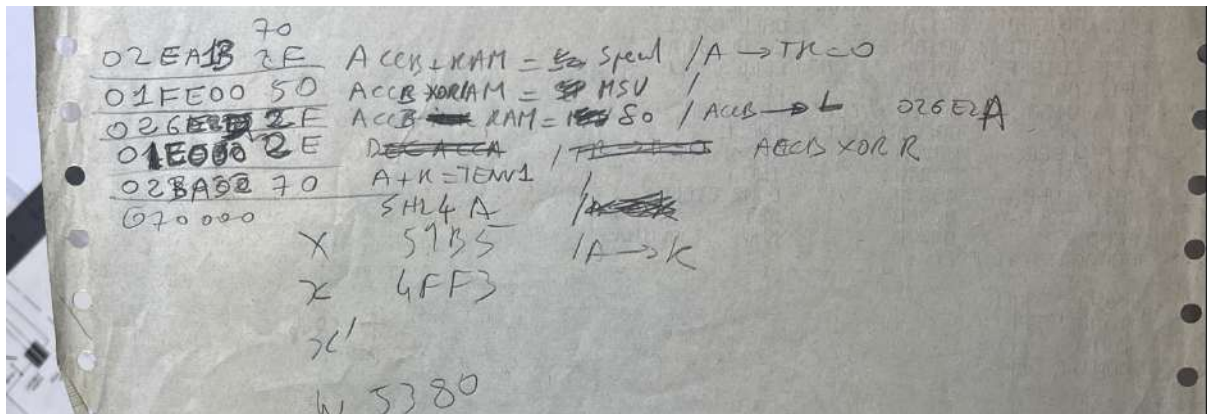


Figure 2.7 : extrait de brouillon de code par Philippe pour l'Infernal Machine (Source : M. Mannoni)

$$\begin{aligned}
 \textcircled{9} \Rightarrow 2f &= y_3 + y_5 - 2y_4 - 2(b+d) \\
 b+d &= \frac{1}{720} \{ y_1 - 6y_2 + 15y_3 - 20y_4 + 15y_5 - 6y_6 + y_7 \\
 &\quad + 5y_1 - 60y_2 + 195y_3 - 280y_4 + 195y_5 - 60y_6 + y_7 \\
 &= \frac{1}{720} \{ 6y_1 - 66y_2 + 210y_3 - 300y_4 + 210y_5 - 66y_6 + y_7 \\
 b+d &= \frac{1}{120} \{ y_1 - 11y_2 + 35y_3 - 50y_4 + 35y_5 - 11y_6 + y_7 \\
 \Rightarrow f &= \frac{1}{2} \{ y_3 + y_5 - 2y_4 - \frac{2}{120} \{ \} \} \\
 &= \frac{1}{2} \{ \frac{60y_3 + 60y_5 - 120y_4 - y_1 + 11y_2 - 35y_3 + 50y_4 - 35y_5 + 11y_6 - y_7}{60} \\
 f &= \frac{1}{120} \{ -y_1 + 11y_2 + 25y_3 - 70y_4 + 25y_5 + 11y_6 - y_7 \\
 \textcircled{3} + \textcircled{5} \quad -y_1 + y_5 &= 2a + 2c + 2e + 2g \\
 \textcircled{4} + \textcircled{6} \quad -y_2 + y_6 &= 256a + 64c + 16e + 4g \\
 \textcircled{1} + \textcircled{7} \quad -y_1 + y_7 &= 4374a + 486c + 54e + 6g \\
 \textcircled{5} \Rightarrow g &= y_5 - a - b - c - d - e - f - h \\
 g &= -a - c - e + y_5 - (b+d)f + h \\
 &= -a - c - e + y_5 - \frac{y_3 + y_5}{60} - a - c - e + y_5 - y_3
 \end{aligned}$$

Figure 2.8 : calculs d'interpolation au sein du DSP de l'Infernal Machine 90, fin-1985.
(Source : Jonathan Prager)

2.3.b : Le couple Dean

Peter Dean (1934-2019) est né en Algérie dans une famille de musiciens (figures 2.9, 2.11). Trompettiste de formation, il fonde au début des années 1960 une troupe itinérante en son nom. C'est à l'occasion d'un concert qu'il rencontre Elizabeth Dean, étudiante en médecine et mannequin pour la haute couture (figures 2.10, 2.12). Elizabeth devient chanteuse-danseuse pour l'orchestre de Pierre (qui se faisait appeler Peter), elle décide de changer de nom, le couple devient alors Peter et Danny Dean. A la création de Publison, Danny Dean en devient directrice tandis que Peter Dean occupe la fonction de Président Directeur Général. Ce dernier était connu pour sa personnalité marquante, le terme 'extravagant' et 'volubile' étant les adjectifs les plus fréquents qu'on m'aie donné lors de mes entretiens. Plus discrète, Danny Dean s'était néanmoins forgée une réputation solide dans le secteur des industries audiovisuelles, en particulier pour ses aptitudes de leadership et de stratégie décisionnelle. À cette époque, la présence de femmes dans ce secteur était particulièrement marginale, et celles occupant des postes de direction l'étaient davantage encore. La position de Madame Dean apparaît ainsi comme exceptionnelle : elle dirigeait des conseils d'administration et animait des réunions réunissant parfois plus de 30 responsables issus des plus grandes entreprises et institutions.



Figure 2.9 : Pierre Dahan / Peter Dean, années 1960



Figure 2.12 : Danny Dean, mannequin durant les années 1960



Figure 2.10 : madame Dean en concert avec l'orchestre de Peter Dean



Figure 2.11 : Photographie promotionnelle de Peter Dean, fin des années 1950

2.4 : Un secret difficile à percer

Le mystère Publison puise son origine dans le fonctionnement interne de l'entreprise. D'une part, Philippe qui était à l'origine des développements des machines était isolé de son plein gré :

“Il était avec nous à toutes les expos, il pouvait parler librement. C'était sa volonté à lui de ne pas se mettre en avant. Je ne sais pas pourquoi... Jonathan avait appelé à l'époque, pour avoir une discussion avec Philippe concernant la réparation des machines, et Philippe a dit non je ne veux personne. Personne ne s'occupe de ce que je fais.” (entretien avec Madame Dean, 19/05)

Aussi, Publison grattait systématiquement les composants de ses machines, en particulier tous les circuits intégrés. De cette façon, il devenait impossible de retrouver facilement leurs références, ce qui permettait de se protéger de l'espionnage industriel, à une époque marquée par la pression industrielle japonaise. Des entreprises comme Yamaha, Korg ou Roland adoptaient un modèle économique visant à proposer des machines concurrentes aux modèles américains, en s'appuyant sur des technologies japonaises (composants maison Roland IR, puce Yamaha YM Yamaha Music, IG Integrated Gate). Cette autonomie technologique (Noyce & Wolff, 1986), combinée à l'industrialisation massive du pays alors en pleine croissance (Koshiro, 1986), rendait les marques japonaises menaçantes⁴⁴. Il était donc essentiel aux yeux de Publison de s'en prémunir. Madame Dean se rappelle avoir été avertie par un de ses revendeurs que Yamaha s'attelait à comprendre le fonctionnement de leurs machines.⁴⁵ Un employé était dévoué à la lime des circuits : il récupérait les cartes en fin de chaîne et rappait tous les circuits intégrés avec un stylo rotatif.⁴⁶ Mais l'espionnage industriel n'était pas la seule raison de cette protection ; en grattant tous les circuits, la marque assurait également la sécurisation de son service après-vente. En effet, puisque personne au monde ne disposait des schémas, des notes techniques ni des références des circuits, les machines devaient être renvoyées à Publison Paris pour être réparées par Philippe.

⁴⁴ Il est difficile de fournir une preuve formelle de l'inquiétude qui régnait parmi les constructeurs à l'égard de l'industrie japonaise. Toutefois, l'orientation générale du discours médiatique de l'époque témoigne d'une préoccupation manifeste à ce sujet (Bouissou, 1994)

⁴⁵ “On était au courant que Yamaha avait acheté plusieurs Infernal Machines” (Madame Dean, 19/05)

⁴⁶ “Il y avait un câbleur qui grattait toute la journée” (Entretien du 19/05 également)

Cette démarche, bien que critiquée, était particulièrement audacieuse d'un point de vue commercial. De plus, centraliser la réparation des machines accaparait probablement une grande partie du temps du seul ingénieur de la société, déjà occupé à développer, prototyper et inventer de nouvelles machines. Matteo se souvient de sa première confrontation au mystère :

“Un jour j’ai récupéré pas mal de matériel Publison. Et évidemment j’ai ouvert! Je te dis ça, c’est 1996 environ. J’ouvre, et quand j’ouvre... [...] Tout est noir. Je me dis wow. Les mecs ont peint, et en me rapprochant j’ai compris - Non! Ils ont gratté tous les CI. [...]. J’ouvre la deuxième machine, pareil. Toutes les machines sont grattées. Évidemment la première question que j’ai eu pour Peter Dean c’est : Pourquoi avez-vous gratté tous les CI? Et il me dit pour deux raisons, la première : nous conservons l’intégralité du SAV... Pas sur la France, sur la planète. Les mecs avaient décidé qu’il n’y aurait aucun réparateur possible agréé, pas d’agrément. [...] Ça, commercialement, faut quand même avoir une *énorme paire de balls* alors que la plupart des marques avaient des sous-traitants. Et deuxième raison, c’est parfaitement compréhensible, c’est pour ne pas que les japonais copient, car les japonais allaient proposer une machine au quart du prix, avec leur technologie. Donc voilà c’était un truc très particulier.”

Ce mystère fut d’autant plus renforcé par le décès de Philippe Petitdemange, qui emporta avec lui les secrets de conception de ses machines. En effet, il n’avait jamais documenté avec rigueur les plans de ses créations. Les différentes versions des cartes n’étaient pas détaillées, et lors du rachat des archives Publison par Jonathan Prager, il ne restait pratiquement aucune trace complète ou ordonnée du développement des machines⁴⁷. La plupart des croquis n’étaient pas réalisés dans un format conventionnel, mais griffonnés sur des bouts de papier (figure 2.13), de petits cahiers (une cinquantaine⁴⁸), ou des notes dépourvues de contextualisation. (figures 2.14, 2.15). A la mort de Philippe, le mystère s’est donc opacifié, laissant un travail de taille à Jonathan Prager, détaillé dans la partie **2.7**.

Cette volonté de centraliser le service après-vente fut néanmoins justifiée par un soutien assidu sur plusieurs décennies. En effet, certaines machines, bien que commercialisées au début des années 1980, bénéficiaient encore d’une prise en charge pour leur réparation au cours des années 2000 :

“C’était en 1984, et aujourd’hui nous continuons encore à la réparer [L’Infernal Machine, N.D.R], et nous ferons de même dans les vingt prochaines années sans problème.”

Peter Dean en Février 2000 (Blasquiz, 2000)

⁴⁷ Jonathan m’a rapporté qu’il n’y avait même jamais eu de schéma complet pour le KB 2000

⁴⁸ “Il y en avait dans tous les sens, je crois que je lui ai donné [à Jonathan Prager] plus de 50 cahiers” - entretien avec Madame Dean.

[illegible][illegible]

Figure 2.15 : extrait d'un schéma du calculateur de phase du DHM, daté du 28 Mars 1980. Plusieurs éléments illustrent les caractéristiques des archives Publison : certains composants sont ajoutés, d'autres raturés. Les nodes de connexions aux autres parties du circuit ne sont pas détaillées. Il faut ensuite établir la correspondance de cette version du schéma aux différents typons, eux-mêmes présentant de nombreuses modifications. (Source : Jonathan Prager)

2.5 Ertel et Publison

Avant Publison, Philippe avait monté avec son ami Alain Dubrisay (figure 2.16) une entreprise au nom de ERTEL, distribuée par la Société EMI (Électronique Médicale et Industrielle). EMI était l'entreprise dans laquelle Philippe travaillait depuis 1969, et où il avait rencontré Alain. L'idée d'une structure indépendante remonte à Juillet 1973, le projet de société portait alors le nom RCE (Recherches et Constructions Electroniques) avant de se préciser en Société d'Études et Recherches Technologiques et Électroniques (Société ERTEL), voir l'entrée manuscrite de Philippe figure 2.17.



Figure 2.16 : Philippe et Alain Dubrisay vers 1974 (Archives de Rosine)

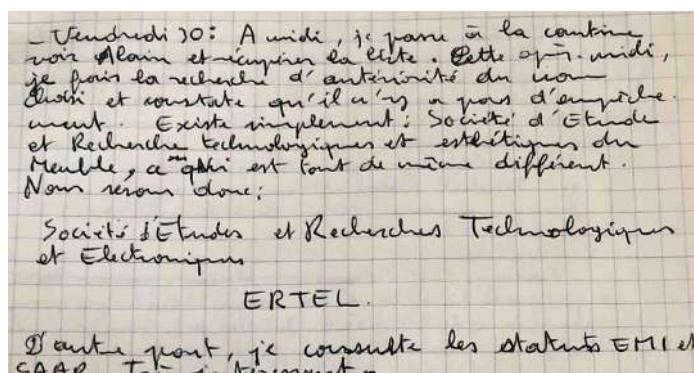


Figure 2.17 : Note dans le carnet personnel de Philippe, en date du 30 Novembre 1973. "Cette après-midi, je fais la recherche d'antériorité du nom choisi et constate qu'il n'y a pas d'empêchement. Existe simplement : Société d'Étude et Recherche Technologiques et Esthétiques du Meuble, ce qui est tout de même différent. Nous serons donc : Société d'Études et Recherches Technologiques et Électroniques. ERTEL." (Archives de Rosine Pettdemange)

Il s'agissait d'une entreprise à échelle humaine (figure 2.18). Rosine se rappelle des premiers exemplaires :

"Il [construisait ses premières machines] vraiment manuellement. Il achetait les plaques, il avait les produits pour les décaper. Je me souviens je l'aidais moi, parce que j'avais un petit peu de temps libre. Alors il fallait couper les petits ronds en noir là, les pastilles, il fallait que ça trempe dans un bain pour décaper une première fois, après on enlevait les pastilles ça trempait dans un autre bain je ne sais plus. Il y avait plusieurs bains pour arriver à avoir le circuit. Fallait faire les petits trous à la perceuse, après il m'avait appris les couleurs de résistances les valeurs... Et puis il fallait les mettre avec des petites tiges, faire de belles soudures avec la tresse à dessouder si c'était moche et puis couper les petites pattes... C'était tout artisanal, comme ça." (Entretien avec Rosine, 5/03)

Le seul produit d'ERTEL fut l'UD-180 (Unité de Délai 180), un délai numérique conçu entre 1973 et 1974 (figure 2.20). Parmi les acheteurs de l'ERTEL UD-180, les ingénieurs du son de Claude François et de Danyel Gérard furent les premiers acquéreurs. Le rack se composait d'un module d'alimentation et de trois à six modules offrant chacun un retard ajustable de 30 ms.

Ces modules se connectaient au fond de panier sur un bus commun. Une seule entrée alimentait les six modules, chacun disposant d'une sortie indépendante. Les délais étaient cumulés à chaque module si aucune sortie n'était connectée à l'arrière. L'UD-180 n'intégrait pas de RAM, mais reposait sur un ensemble de registres à décalage, une méthode primitive de retard que l'on retrouve également dans le Lexicon Delta T Model 101 (1972) ou l'Eventide DDL-1745 (1972). Chaque registre à décalage reçoit en entrée un bit et un signal d'horloge. À chaque tic, le bit est transféré au transistor suivant, et ainsi de suite plusieurs centaines de fois. Finalement, le bit ressort à l'issue de la chaîne de retard ; il ne s'agit donc pas à proprement parler d'une mémoire, mais d'un système de retard par décalage de données. Grâce à un convertisseur logarithmique à virgule flottante (préfigurant le convertisseur du Publison DHM...), l'UD-180 affichait une dynamique de 100 dB pour un taux de distorsion aussi bas que 0,2 %. La machine fut terminée en Mai 1974 (figure 2.19). Son synoptique peut être trouvé en annexe, page 103.

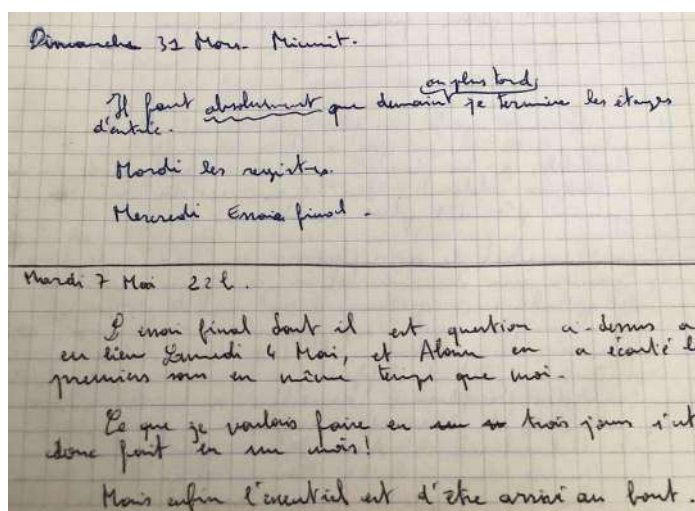


Figure 2.19 : "Dimanche 31 Mars. Minuit. Il faut absolument que demain, au plus tard, je termine les étages d'entrée. Mardi les registres. Mercredi essais finaux. // Mardi 7 Mai 22h : L'essai final dont il est question ci-dessus a eu lieu Samedi 4 Mai, et Alain en a écouté les premiers sons en même temps que moi. Ce que je voulais faire en trois jours s'est donc fait en un mois! Mais enfin l'essentiel est d'être arrivé au bout." (Cahier personnel de Philippe, 1974)



Figure 2.18 : Alain Dubrisay à la ERTÉL. On remarque une version demi-rack (3 unités) de l'UD 180. (Diapositives issues des archives de Rosine)

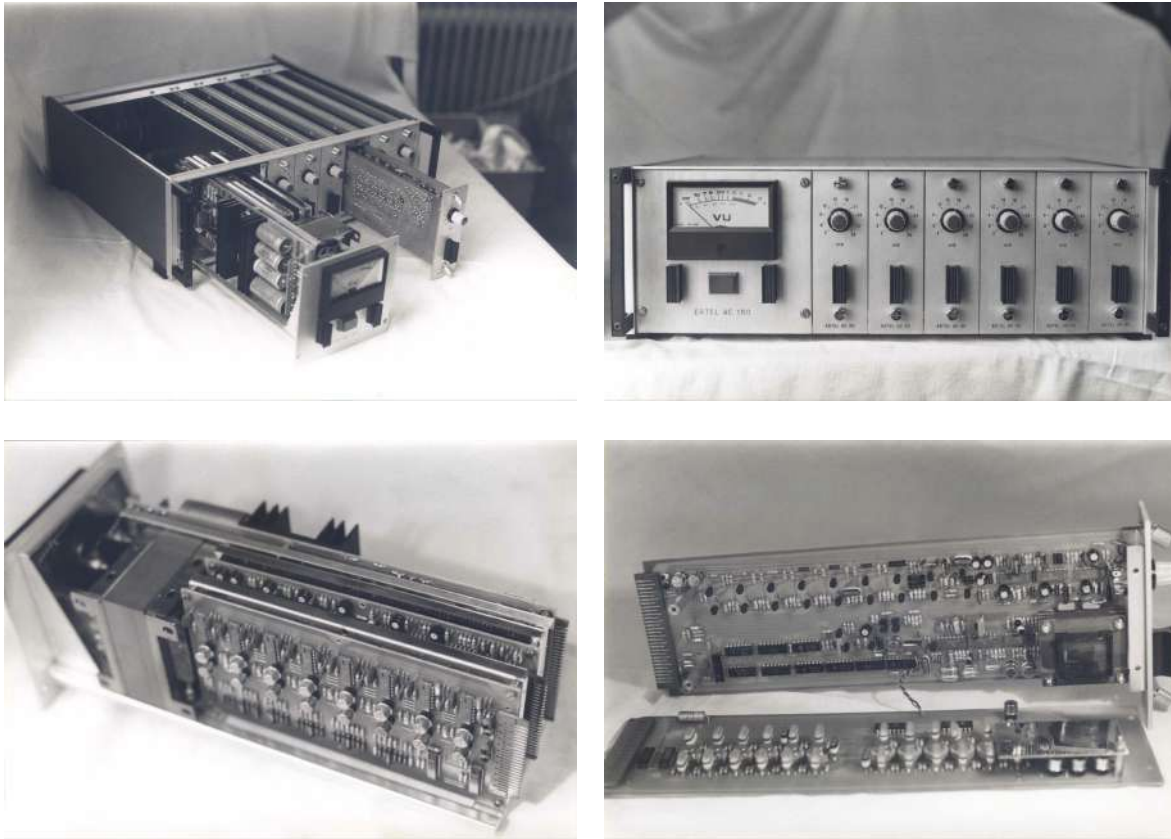


Figure 2.20 : ensemble de photos de l'UD-180 prises à Vulaines dans la maison familiale par Philippe. Il procédait au développement/tirage avec des machines de sa fabrication. Le composant visible le plus récent est daté de la dixième semaine de 1974 (début Mars), il s'agit donc probablement du tout premier exemplaire abouti. (Source : archives de Rosine)

Enchaînant les rencontres avec son orchestre (Figures 2.21, 2.22) au travers de quelques 3000 galas, Peter Dean croise la route de Philippe Petitdemange vers 1974⁴⁹. Philippe souhaitait vendre une machine à Peter Dean. Il lui propose alors de construire une extension électronique pour sa trompette. Ce dernier accepte et commande l'instrument à Philippe, qu'il adaptera sur une de ses trompettes (figure 2.23). La troupe Dean continuera de promouvoir leur activité en mettant en lumière cet instrument unique.

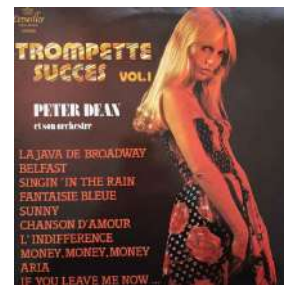


Figure 2.21. disque de l'orchestre avec Danny Dean sur la pochette. "Trompette Succès vol. 1", 1978



Figure 2.22 : L'orchestre Dean à la fin des années 1960 (archives de madame Dean)



Figures 2.23 : Trompettes de Peter Dean. On remarque l'emplacement dédié au capteur de Philippe.

⁴⁹ A minima, à partir de Juillet 1974. Le journal personnel de Philippe s'arrête sans avoir parlé de sa rencontre avec Peter Dean, ce qui aurait été étonnant.

En parallèle, le couple Dean fonde leur société PUBLISONG en développant une nouvelle activité : l'édition et la distribution de leur musique - d'où le nom Publi-Song - et la distribution d'équipement audiovisuel sous le nom Publison (Publi-Son) à partir de 1973. La troupe continue de tourner, mais les Dean ralentissent le rythme jusqu'à arrêter en 1980⁵⁰. C'est ainsi que Publison commence à mener des opérations d'achat-revente, de salon en salon. (figures 2.24, 2.25).



Figure 2.24 : salon en Belgique, présentant le studio nomade Publison vers 1978. A droite un 3M 24 pistes, A gauche un Otari 7308. On distingue une petite Ertel au centre, ainsi qu'une AKG BX10 à ressorts au sol. (Archives de Rosine Petittedemange, scanné & restauré)

A travers cette activité d'achat/revente, Peter Dean constitue également un studio mobile intégrant au choix jusqu'à 110 micros, 10 magnétophones (jusqu'à 24 pistes), plusieurs consoles API, Neve, entre autres. C'est ainsi que la Publison Mobile (figure 2.26) enregistre Sylvie Vartan (palais des congrès), Michel Fugain (à l'Olympia), Jacques Higelin (chez lui), ou encore Michel Sardou (Olympia).



Figure 2.26 : logo de la Publison Mobile, conçu par Peter Dean. Selon les confidences de Madame Dean, il n'aura jamais véritablement convaincu personne d'autre que son créateur. (Source : brochure commerciale Publison, 1976)

PUBLISON AUDIO PROFESSIONAL 9, rue Crespin du Gast 75011 PARIS Tél. : 357.64.07/00.57 Tél. : 250303 PUBLI PARIS		TARIFS INDICATIFS CONSOMMATEUR AU 01.03.1983	
ALLEN & HEATH.			
C O D E	D E S I G N A T I O N	P R I X H. T.	P R I X T. C.
010584	16.4.2. MIXING CONSOLE	15.320	17.932
016632	24.4.2. MIXING CONSOLE	23.760	26.082

Figure 2.25 : extrait d'un document interne fixant le prix de revente de consoles (1983)

⁵⁰ "Il y a quelques années, j'étais passionné par la musique et mon orchestre, j'ai abandonné pratiquement cette voie pour entièrement me consacrer au DHM" - Peter Dean à l'AES67, 1980.

2.6 : L'AES de New York, 1978

L'émergence de Publison, en tant que fabricant établi de machines, peut être attribuée à sa présentation du DHM à la convention AES (Audio Engineering Society) tenue à New York, en 1978. Cette date était difficile à établir avec certitude. En réalité, Publison participa, en à peine 12 mois, à 4 conventions AES : la 61ème AES (New York, 3~6 Novembre 1978), la 62ème AES (figure 2.27, Bruxelles, 13~16 Mars 1979), la 63ème AES (Los Angeles, 15~18 Mai 1979) et la 64ème AES (De nouveau, New York, 2~5 Novembre 1979) ; d'où une certaine confusion historiographique. De nombreux documents d'archives, articles de presse et témoignages oraux mentionnent des démonstrations de Publison sans spécifier avec exactitude le numéro d'édition de convention à laquelle ils se réfèrent. Ce flou contribue à la difficulté de reconstituer précisément la chronologie des premières apparitions publiques de la marque. Le premier salon auquel Publison prit part fut celui de Hambourg en 1978. La société présenta le CL-20 et le Fullmost, deux appareils finalisés, ainsi qu'un exemplaire du DHM (83 vraisemblablement) ; qui n'était alors qu'une "boîte vide" destinée à illustrer le concept en développement. Lors des premières présentations du DHM89B2, ce dernier était également vide de ses circuits, mais fonctionnel : les cartes, encore à l'état de prototypes, étaient déportées en coulisses et raccordées par des câbles à la façade de la machine.

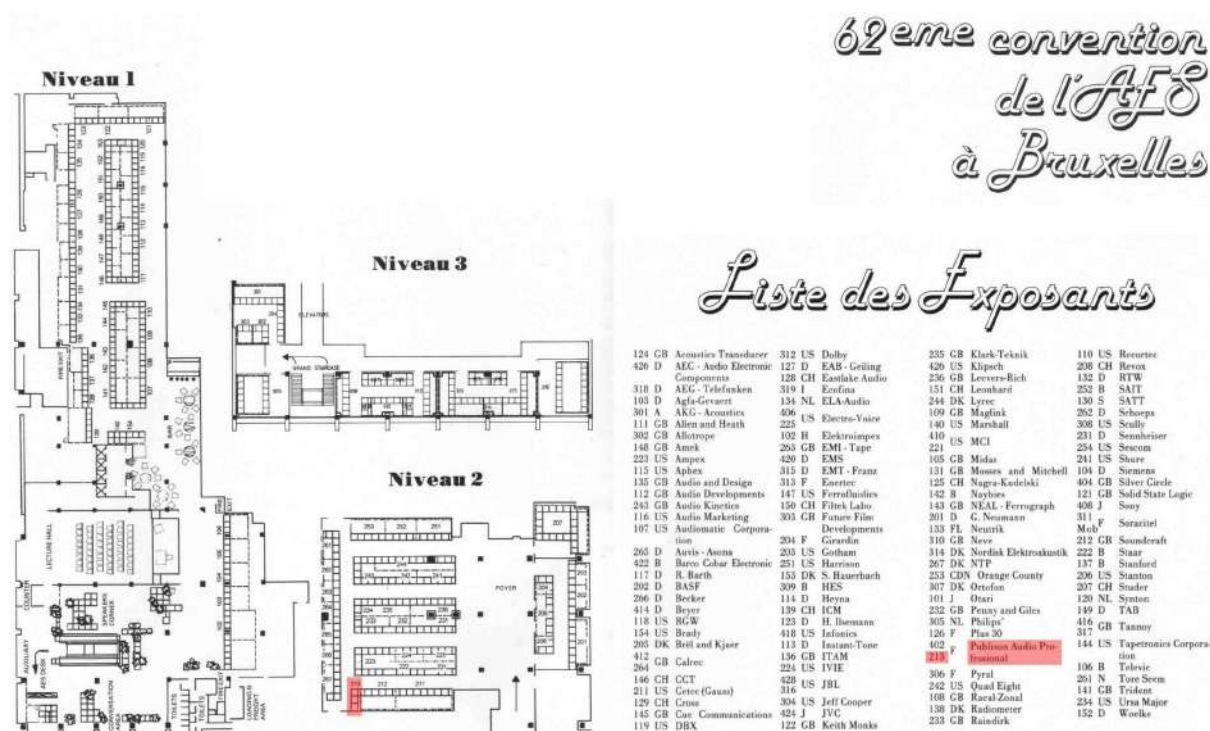


Figure 2.27 : Publison à l'AES 62 (Blanc-Francard, 1979)

Le premier AES pour Publison prit place au Waldorf Astoria, Manhattan, où se présentaient quelque 150 constructeurs. Madame Dean raconte,

“On avait un petit atelier où Philippe et deux/trois câbleurs commençaient à travailler, et un jour on a trouvé que notre appareil était assez abouti. Il y a un copain de mon mari qui s'appelait Alain Français [fondateur de la société DePréférence, NDR], on lui a fait écouter et il a dit, c'est formidable, tu devrais exposer [...]. Il y a l'AES là, à la fin de l'année, tu devrais y aller. Alors j'ai téléphoné et on m'a dit ben... tout est complet. J'ai dit, écoutez c'est la première fois c'est notre chance! Et il a répondu, je vous rappelle s'il y a un désistement. Peut-être un mois avant, il nous appelle en nous disant qu'ils ont 9m², mais c'est à côté des toilettes. C'était à New York, au Waldorf Astoria. J'ai dit bon ben je prends. J'ai pensé, les gens qui vont aux toilettes ils finiront bien par nous voir! Bon et donc on est allé là-bas, il y avait Alain Français avec nous, il y avait Philippe, quelques gars quoi! On s'est installé dans nos 9m² la veille. 9m² c'était une table et pas grand chose! On avait loué des enceintes pour pas emmener tout ça, et le matin il y a le directeur de l'AES New York qui vient et qui me dit est-ce que vous pourriez déménager? J'ai dit déménager pourquoi, où? On nous a donné ce stand j'ai les lettres - j'étais en colère déjà! Et il me dit non, on a un souci je vais vous expliquer vous nous rendez service : on a le stand API, Automated Process, ils ont fait faillite, ils étaient en plein milieu du Waldorf Astoria... Et ils ne venaient pas. C'était la catastrophe pour eux. On a donc déménagé, [...] c'était la pagaille, mais ils nous ont bien aidé, ils nous ont mis des fleurs - parce que nous n'avions rien! On avait prévu 9m², là on avait 40m² je crois! On s'est installé, on a loué plein de trucs, on a mis des machines supplémentaires si jamais il arrivait quoique ce soit aux protos. Le matin ça ouvre [...], mais tout le monde passait, personne ne s'arrêtait. Les gens passaient et disaient, *pff... it's French*. Surtout c'était à l'époque où vous savez, si vous n'étiez pas Anglais, Japonais ou Américain, tout le reste de l'électronique ne valait rien. Les gens passaient mais ne s'arrêtaient même pas! On essayait de faire un peu de bruit pour qu'ils entendent qu'il y avait des harmonies enfin bref! Puis il y a un gars qui est venu écouter, qui a posé son truc et nous a dit, est-ce que demain il y aurait un moment où il n'y aurait personne sur le stand? [...] On voudrait passer le plus inaperçu possible. [...] Et le lendemain, il y a Stevie Wonder qui est venu avec ses musiciens, vers 14 heures. Ils sont restés jusqu'à la fin [toute la journée, N.D.R.]. On aura vendu en tout dix machines à Stevie Wonder!”

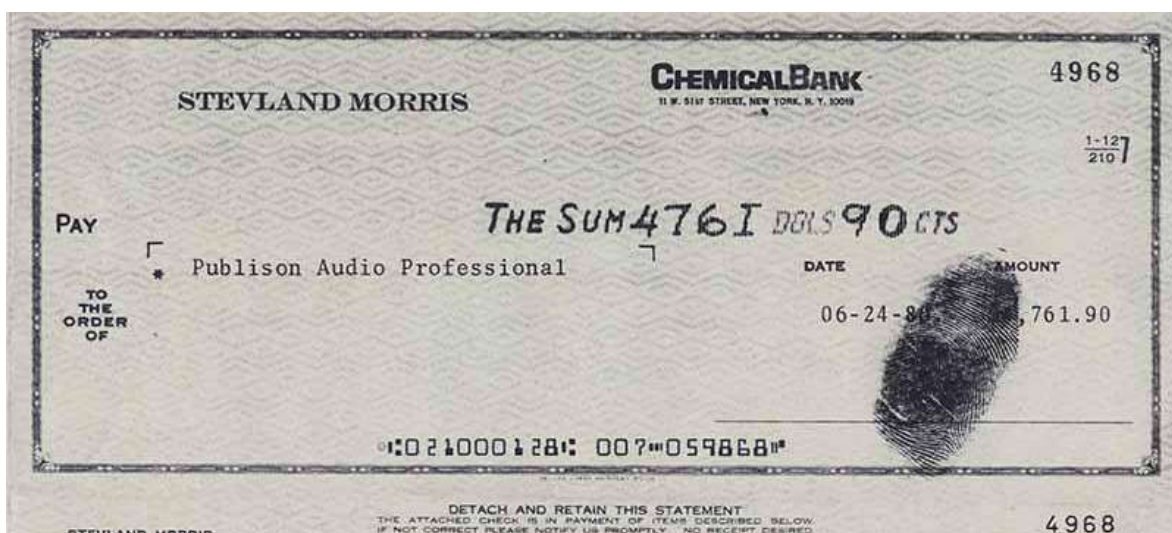


Figure 2.28 : Chèque de Stevie Wonder, signé de son pouce. Il ne s'agit pas de la toute première commande de Stevie, le montant correspondant à l'achat d'un unique DHM. Sa date replace son achat après la deuxième venue de Publison à l'AES New York (Novembre 1979). Il y eut bien un AES à Los Angeles (ville où habitait Stevie Wonder) en Mai 1980. Je n'ai pas réussi à trouver de preuve de la présence de Publison à ce salon mais l'existence de ce chèque laisse supposer que Stevie Wonder avait recommandé des machines aux salons suivants. (archives de Madame Dean)

La marque enregistre une cinquantaine de commandes à ce salon, ce qui poussera la société à la recherche d'un espace plus grand. A défaut d'un site industriel, les Deans achètent les appartements dans la rue où ils habitent, débutant par l'enseigne du boulanger en bas de chez eux⁵¹, ce qui explique l'adresse alambiquée de l'époque : 5, 7, 9, 11 rue Crespin du Gast (Paris 11).

C'est par la présence sur ces salons (figures 2.29, 2.30) que Publison s'impose immédiatement sur la scène internationale. Cette stratégie de présence à l'étranger explique en partie le manque de visibilité de l'entreprise en France. Cette polarisation du marché était encore manifeste en 2001 :

“On a commencé à vendre aux Etats-Unis, on vendait au Japon, avant de vendre en France”
(Entretien avec Madame Dean, 19/05)

“Peter Dean refuse de communiquer son C.A, mais indique commercialiser ses machines dans plus de 40 pays [...]. La proportion France/Etranger est d'environ 15/85” (Ernould, 2001)



Figures 2.29 : Salon à Tokyo (probablement le Japan Audio Fair), Décembre 1981



Figure 2.30 : Michel Polnareff, probablement en 1980 : le DHM est une révision 1, et le KB 2000 est présenté à côté (archives de madame Dean)

⁵¹ “On a eu 50 commandes d'un coup à l'AES, comment on fait? On n'avait pas de locaux, on ne pouvait pas engager de câbleurs, on n'avait que trois personnes... Alors on a commencé à acheter tous les appartements qui se vidaient au fur et à mesure, [...] même dans l'immeuble à côté!”

2.7 : Les machines Publison

2.7.a : Le DHM89B2 / KB 2000

Le premier produit iconique de Publison fut le DHM89B2, un processeur temporel permettant des fonctions de délai et de transposition harmonique. Le DHM était vendu pour 25.000 francs (2500£ au Royaume-Uni, 4700\$ aux Etats-Unis - presque 20.000 euros en 2025). Avant d'analyser cette machine, il convient de souligner que le DHM dépassait de loin les standards numériques de son époque : il est stéréo, *quasi*-16 bits, d'une bande passante processée de 20kHz, et déglitché⁵². Jusqu'au milieu des années 1980 (avec l'apparition du premier DAC 16 bits intégré en 1983, voir **1.2.b**), la plupart des machines ne fonctionnaient qu'en 8 ou 12 bits linéaires, avec une fréquence d'échantillonnage bien inférieure aux 52,91 kHz du DHM. Le Fairlight CMI IIX (1983), *workstation* des plus chères et abouties de la première moitié des années 1980, ne fonctionnait qu'en 8 bits à 30.22kHz - 5 ans après la sortie du DHM (Fuchs, 2022). L'origine du nom "DHM89B2" reste un mystère. Peter Dean expliquait l'origine du nom, non sans une certaine mysticité :

"Nous avons sorti le DHM89B2 (Delay, Harmonizer, Memory, huitième mois de 1979, deuxième version du modèle B!)" (Blasquiz, 2000)

Cette explication peut être remise en doute car on retrouve la trace d'un prototype 'DHM83' en 1978. Puisque Philippe travaillait encore sous le nom de Ertel en 1974, il ne pouvait s'agir d'une machine de 1973, comme laisserait penser l'explication de Peter Dean pour le DHM89B2. Aussi, madame Dean se rappelle avoir présenté pour la première fois le DHM à l'AES de Hambourg (Mars 1978). L'explication rétrospective de Peter Dean ne s'appliquerait donc pas non plus ici.

Le DHM emploie une conversion discrète 12 bits à virgule flottante, un procédé se distinguant à l'époque par sa complexité, tant sur le plan fonctionnel que par sa mise en œuvre technique⁵³. L'emploi 'virgule flottante' (maladroïtement traduite par "*flying coma*" et non "*floating point*" sur les publicités internationales) décrit un processus d'encodage où la quantification est ajustée dynamiquement (Lee & Lipschutz, 1976). L'acquisition s'effectue sur 8 bits de mantisse linéaire et 4 bits d'exposant : la plage de dynamique est découpée en 16 sections. L'échantillon entrant est attribué à l'une de ces régions par les 4 bits d'exposant ($2^4=16$).

⁵² Par déglitché, on entend le fait que les artefacts indésirables des effets sont gommés

⁵³ Les contradictions des journaux spécialistes de l'époque démontrent d'une forme d'incompréhension et/ou de secret pratiqué par Publison. Certaines explications sont même fausses, par exemple celle dans le Disc International, Sept. 1979, n°50, pages 167-171 (voir en annexe p.104)

La conversion est exécutée simultanément sur 8 bits normalisés à cette section. La valeur échantillonnée correspond alors au produit de la mantisse (8 bits) par 2^{exposant} (4 bits). Les pas de quantification entre les échantillons du convertisseur 8 bits ne sont donc pas linéaires, mais lograithmiquement “étirées” en fonction de la plage. Ce convertisseur n’a pas la même définition brute qu’un convertisseur 16 bits (16536 valeurs fixes, contre $8 \times 16 = 4096$ dynamiques), sa quantification est différente. Il est plus précis pour les faibles niveaux, mais moins bon dans les niveaux élevés. L’oreille humaine étant logarithmique, le rendu psychoacoustique reste comparable voir meilleur.

La mémoire du DHM89B2 est constituée de 212.992 bits ; cette mémoire fut étendable en 852kbits (via la carte “Temps Long” 5s, rajoutée en *piggyback* sous la carte existante). A la fréquence d’échantillonnage de 52.91kHz, le DHM peut emmagasiner jusqu’à 0.31 seconde d’audio dans sa mémoire.⁵⁴ Plusieurs fréquences d’échantillonnage sont débrayables, permettant une bande passante de 5kHz (1.2 secondes par canal) 10kHz (0.6s) et 20kHz (0.3s). En mode quasi-stéréo, les deux entrées sont sommées pour cumuler les deux espaces de mémoire (doublant donc la RAM), mais les deux canaux de traitement délai/transposition restent indépendants. La prouesse du DHM réside dans la qualité de sa transposition. Les échantillons en mémoire peuvent être transposés, avec une fidélité au timbre qui dénote des *octavers*⁵⁵ alors proposés par des fabricants de pédales. Pour réaliser la transposition du timbre, les échantillons sont lus à une vitesse différente de la vitesse d’écriture. Lorsque le son est transposé vers le grave (jusqu’à 2 octaves, ratio 0.25), la lecture en mémoire est ralentie : des échantillons sont sautés de façon régulière afin de maintenir une cohérence temporelle avec la tête d’écriture. A l’inverse, si le son est transposé vers l’aigu (jusqu’à 1 octave, ratio 2), la lecture est accélérée. Ce désalignement entre la tête de lecture et la tête d’écriture soulève une problématique : le pointeur de lecture dépasserait le pointeur de mise mémoire dans certains cas de transposition. Pour pallier ce conflit, la lecture doit donc constamment être retardée par rapport à l’écriture. Le DHM résout brillamment ce problème en dédoublant la lecture des échantillons. Le signal est lu deux fois, à intervalle très rapproché. Les échantillons décodés de la mémoire sont alors mis bout à bout par fondus, séquentiellement (figure 2.31).

⁵⁴ $52910 \times 13 = 687830$, $212992 / 687830 = 0.3096$

⁵⁵ Les octavers utilisent des bascules à niveaux logiques, le signal transposé est alors carré - il n’y a donc aucune correspondance de timbre entre le signal d’origine et le signal harmonisé.

Le génie technique mis à l'œuvre dans ce procédé ne s'arrête pas là : un calculateur de phase⁵⁶ (un “déglitcheur”) estime, à chaque extrusion, le point d'entrée et de sortie de raccord des deux têtes de lecture. Cela permet d'éviter les sauts de phase, qui se traduiraient par des ‘clac’ audio (figure 2.32). Cette détection est d'autant plus délicate lorsque le signal complexe franchit plusieurs fois le seuil du 0. La mise en phase ne suffit plus, et la corrélation des transients locaux devient nécessaire pour effacer les artefacts de sommation (figure 2.33). C'est pourquoi le premier modèle du DHM89B2 proposait un bouton ‘Envelope Synchro’, modifiant le comportement du calculateur (Gilotiaux, 1980). La disparition de cet interrupteur dans la révision 2 laisse supposer que l'algorithme fut optimisé, de sorte à ne plus avoir à proposer à l'utilisateur la fonction (figure 2.34). Il faut garder à l'esprit que tout cet algorithme est réalisé “analogiquement” : le DHM n'intègre aucun microprocesseur ou de code.

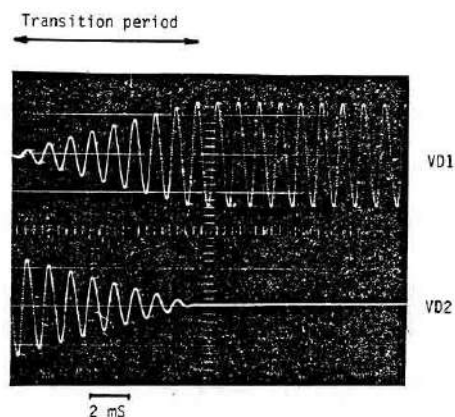


Figure 2.31 : dédoublement de la tête de lecture (VD1/VD2). La somme est reconstituée par fondu. On remarque la mise en phase entre les deux régions du signal d'entrée

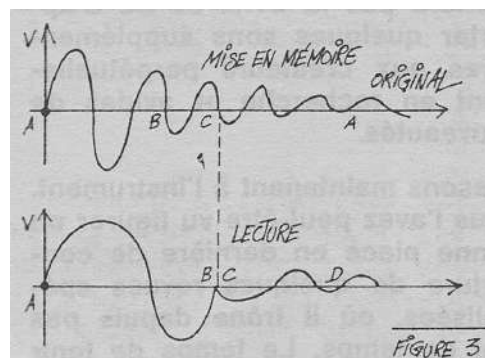


Figure 2.32 : problème de phase inhérent au bouclage (Lémery, 1979)

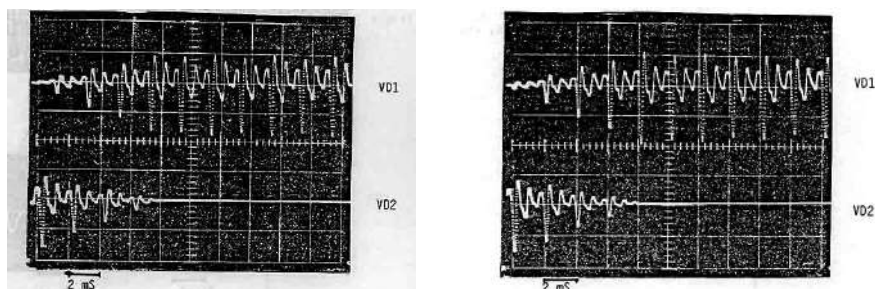


Figure 2.33 : remise en cohérence par analyse des transients locaux : Synchro Envelope (manuel DHM)



Figure 2.34 : révision 1 (gauche), révision 2 (droite) : disparition de l'interrupteur ‘Envelope Synchro’

⁵⁶ “Phase-Tracking Computer”

Des commandes de croisement permettent d'ajuster les rapports entre le délai et la transposition. En mode Pitch-Shifter, le premier potentiomètre ajuste un taux de délai (permettant le bon fonctionnement de l'algorithme de recouvrement, vu plus tôt). En mode Memory-Latch (entrée débrayée), les deux *Crosspoint*⁵⁷ ajustent le point d'entrée et de sortie de la boucle en mémoire. Ces points d'entrée ne sont pas fixes, mais micro-ajustés en permanence par le calculateur de phase, permettant d'éviter tout 'clac' dans l'audio quelque soit la fenêtre temporelle. Si le point d'entrée et de sortie sont inversés, la lecture de la mémoire est inversée ce qui permet de lire les sons à l'envers. Dans ce mode, la transposition est toujours possible, mais elle n'est plus temporellement cohérente (transposer vers l'aigu accélère la boucle, à l'inverse transposer vers le grave ralenti la lecture).

Une fonctionnalité de feedback permet de reboucler (à taux contrôlé) le canal sur lui-même. Si le canal est transposé, le feedback crée alors un escalier de transposition, tel un arpégiateur. On comprend dès lors pourquoi les américains de l'AES 1980 le qualifiaient d'"*infernal*" (donnant le nom à la machine suivante) : on peut par exemple injecter un son stéréo cohérent, transposer la gauche et la droite différemment, avec deux temps de délai différents. Le DHM démontre ici une qualité d'instrument, plus que d'effet.

Les PCBs étaient construits par la société française⁵⁸ SPCI ("monsieur Brenot"⁵⁹). Cette société était également responsable de la soudure des *sockets*⁶⁰ des composants : les cartes étaient expédiées pré-assemblées, il ne restait qu'à souder les composants discrets (résistances, condensateurs, connecteurs...) et placer les circuits sur les sockets selon les plans de Philippe. Les PCB étaient en verre époxy à trous métallisés, technique utilisée à l'époque dans les domaines de l'aérospatial (Lémery, 1979). La tôlerie était sous-traitée par la société Billon, à Villejuif. A l'AES de New York (Novembre 1980), Peter Dean affirmait passer les 300 unités vendues :

"Je prévois, et sans grand risque de me tromper de beaucoup, qu'à la fin de 1980, j'en aurai vendu près de 300, ce qui correspond à mes capacités de production actuelles. Je pense être à même de faire mieux l'an prochain, avec des méthodes de production plus rationnelles et plus efficaces aussi, dans des locaux plus grands et avec les machines qu'il faut pour augmenter les cadences."

(Poincignon, 1981)

⁵⁷ Point de recouvrement entre l'entrée et la sortie de la lecture

⁵⁸ Tous les fournisseurs de Publison étaient français

⁵⁹ Entretien avec madame Dean, 23 Mai

⁶⁰ Connecteur rectangulaire permettant d'accueillir un circuit intégré DIP

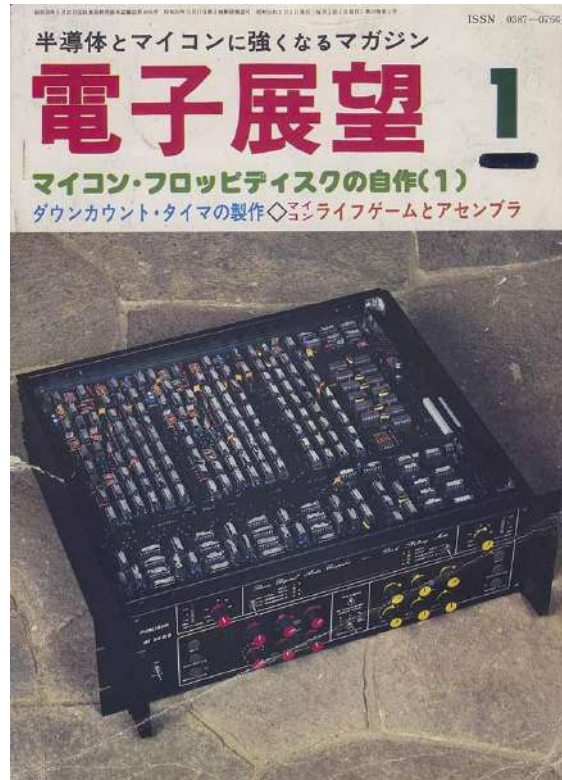
C'est également à cet AES que Dave Rossum et son équipe à E-Mu Systems découvrent le DHM, dont le mode *Memory-Latch* les inspirera pour la conception des fonctionnalités de leur instrument iconique, l'Emulator I en 1981 (dont le premier client sera là aussi... Stevie Wonder) (Keeble, 2002).



Le premier DHM complété par l'équipe Publison, vers 1978. On reconnaît Philippe et D. Dean au premier plan. Les autres employés sont les câbleurs qui assemblaient les premières cartes.



Figure 2.35 : DHM89B2 révision 3 avec un KB 2000



Une d'un journal japonais malicieux : la machine est présentée en première page, mais capot ouvert : les lecteurs voyaient tout de suite que la machine était grattée à l'intérieur. Cette photo avait rendu les Dean furieux, devinant qu'il s'agissait d'une stratégie de déstabilisation des japonais, voir 2.3. (Shinkosha, 1980)

Le compagnon du DHM, le KB 2000 (vendu 2.990 DM, environ 7000 francs) fut conçu comme une unité périphérique du processeur DHM89B2, sous la forme d'un clavier 3 octaves (figure 2.35). Toutes les versions du DHM (13 versions de la carte principale) ne sont pas compatibles avec tous les KB 2000. Outre les modifications lourdes du côté DHM (Env. synchro, vibrato, carte "temps long"), le KB 2000 a vu la transition de Publison vers une logique programmable (intégration d'un RCA CDP1802⁶¹), à la place d'une logique câblée⁶² (Poincignon, 1981). La première révision était sans processeur, seules les révisions B, avec *trigger* externe, et C, sans *trigger* mais avec pédale d'expression, furent commercialisées.

⁶¹ Le 1802 était le premier microprocesseur CMOS au monde, sorti en 1976.

⁶² Une logique câblée consiste en un assemblage de circuits logiques préétabli, ne pouvant effectuer que la fonction pour laquelle le système a été conçu (on parle de "State Machine", Automate Fini). Il n'est pas reprogrammable, à l'inverse d'un DSP ou d'un microprocesseur (Roads, 1996)

Le KB 2000 offre notamment la possibilité de contrôler des accords à deux voix : les canaux de délai-transposition peuvent être bouclés et commandés par le clavier (tel un véritable échantillonneur). Le KB 2000 permet également la lecture inverse d'un échantillon transposé avec control temporel ajustable via un circuit de synchronisation et une fonction "speed" modifiant la vitesse de lecture - premier cas commercial⁶³ de *time-stretch/elastic-time* (Fuchs, 2022). Le KB 2000 incorpore enfin un glide et deux générateurs d'enveloppe qui, combinés à un matériau échantillonné-transformé, permettent de créer une matière sonore entièrement nouvelle. Le DHM et le KB 2000 comptent parmi les équipements les plus atypiques des studios de l'époque, tant sur le plan musical que technique. L'absence de microprocesseur dans le DHM (conception discrète, figure 2.36), ses convertisseurs quasi 16 bits et son mode quasi stéréo témoignent d'une certaine façon de l'ingéniosité de Petitemange, qui dépasse les standards de son temps malgré des outils limités et des contraintes techniques importantes.

Le DHM sera utilisé par des artistes tels que The Alan Parson Project (The Turn Of A Friendly Card), Cyndi Lauper (Time After Time), ABBA, Pat Benatar (Invincible), Madonna (Like A Virgin), Daryl Hall & John Oates (Private Eyes), Tangerine Dream (Exit), Jean-Luc Ponty (Civilized Evil), ou Kraftwerk, en figure 2.37. (Fuchs, 2022)



Figure 2.36 : cartes partiellement peuplées, mettant en lumière le nombre exceptionnel de circuits TTL (source : Jonathan Prager)



Figure 2.37 : Florian Schneider, du groupe Kraftwerk, en visite à Publison. Il tient une carte du DHM. (archives de madame Dean)

Plus de documents concernant le KB 2000 en **annexe page 110**.

⁶³ Le premier processeur de compression/expansion temporelle fut le Lexicon Varispeech, dont la fonction était réservée à des fins médicales ; tout comme les autres premiers produits de la société

2.7.b : L'Infernal Machine

“A New York, on avait surtout le DHM. Quand les gens l'écoutaient, ils disaient “It's Infernal”, tous les Américains l'ont dit au moins dix fois. Mon mari a dit, ça va nous porter bonheur, on va l'appeler l'Infernal.”

(Madame Dean, 19/05)

C'est ainsi que le produit commercial suivant prit le nom évocateur “Infernal Machine 90”. Développé à partir de 1983 sur la base du prototype de l'ordinateur de contrôle du NatureBoy (voir 2.6.e), ce multi-effets 16 bits s'est orienté au fil des mises à jour vers une station de travail autonome. Cette machine marque l'ouverture d'un bureau aux Etats-Unis, sur le Sunset Boulevard (voir annexe p.105), ainsi que le déménagement de Publison à Bagnolet, site acheté fin-1982 et investigué peu avant 1984 (voir annexe p.106). Cet espace de 3000m² donne à la société la possibilité d'implémenter des moyens de production jusqu'alors impossible à mettre en œuvre. L'IM90 témoigne de ce changement d'échelle : elle sera produite à 5000 exemplaires, dont 3000 aux Etats-Unis (Blasquiz, 2000). Par ailleurs, il s'agira de la première machine où l'intégralité des schémas fut documentée. Bien que son nom renvoie l'image d'une machine chaotique voire diabolique, sa construction est au contraire d'une rigueur inédite pour la société, notamment par sa construction modulaire (figure 2.40).



Figure 2.38
Infernal Machine 90 et sa télécommande

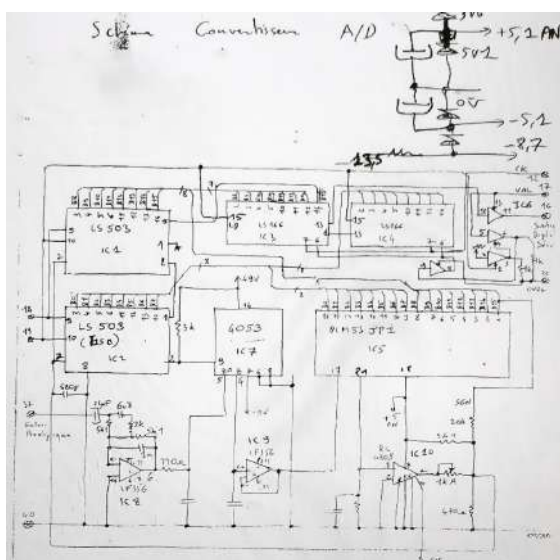


Figure 2.39 : Section ADC 16 bits de l'IM90, datée du 02/07/1985. Il s'agit d'un SAR : on repère un DAC PCM53 ainsi qu'une paire de LS503, registres à décalage 8 bits et un comparateur. Source : J. Prager



Figure 2.40 : construction modulaire de l'IM90. Les cartes sont plus petites que sur le DHM et rangées sur des rails, facilitant les mises à jour, le travail de maintenance et la robustesse globale du système (photo d'un exemplaire en vente au Retro Gear Shop)

L'Infernal Machine 90 fut déclinée dès sa sortie en plusieurs versions : la standard (pour 77.000 francs HT⁶⁴, 5.2s de mémoire par canal), l'option 1 (cartes de 21 secondes, 20.000 HT), et en option 2 (des cartes de 42 à 83 secondes, jusqu'à 5 minutes cumulées par canal). Furent également développées une carte multi-sampling (avec compression/expansion temporelle), permettant de diviser les allocations mémoire tel un échantillonneur dédié (10.000 HT), une interface SMPTE (1987), mais aussi une télécommande (conçue dès 1985, commercialisée en 1986).

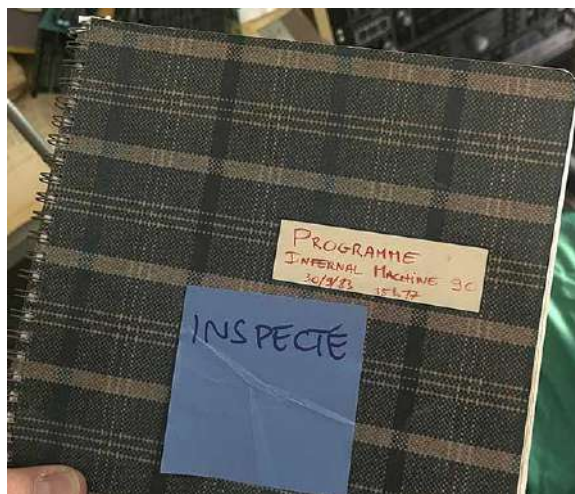


Figure 2.41 : une des plus anciennes traces de développement de l'Infernal Machine, datée du 30 Septembre 1983 (Source : Jonathan Prager)

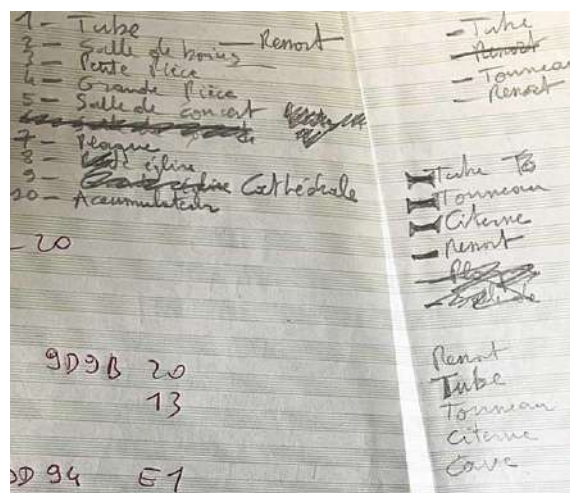


Figure 2.42 : idées d'algorithmes de réverbération, sur du papier *listing* informatique (Source : Matteo Mannoni)

Sur le modèle standard, la machine pouvait cumuler deux effets stéréo parallèles parmi lesquels un délai/écho, un vibrato, un transpositeur tonal (via 4 algorithmes), un inverseur temporelle, un échantillonneur avec déclenchement externe, et une réverbération multimode (figures 2.42, 2.43, 2.44) à 52 programmes⁶⁵.

A sa sortie, l'IM90 est la seule station audio multitâche 16 bits du marché, rivalisée au loin par le Synclavier PSMT (20 fois plus cher : 200.000\$, soit plus de 620.000\$ actuels). Matthias Fuchs décrit l'effet de sa sortie dans le monde du studio :

“Elle est arrivée comme une bombe et s'est imposée comme une arme secrète, malgré son nom plutôt terrifiant. L'IM90 peut être considérée comme l'un des *gamechangers* de l'époque, offrant une méthode de travail radicalement innovante dans les studios.”⁶⁶ (Fuchs, 2022)

⁶⁴ Tarifs en date du 15 Mars 1985 (source : communication interne des tarifs aux distributeurs)

⁶⁵ 52 variations des programmes suivants : Spring, Tube, Cask, Tank, Cellar, Bath-Room, Small Room, Large Room, Plate, Concert Hall, Church, Cathedral, Sound Hoarder

⁶⁶ It went off like a bomb and established itself as a potent 'secret weapon', despite its rather terrifying name. [...] The IM90, can be regarded as one of the major game changers of that era, a contraption that would allow an entirely new kind of workflow and approach in a studio environment.

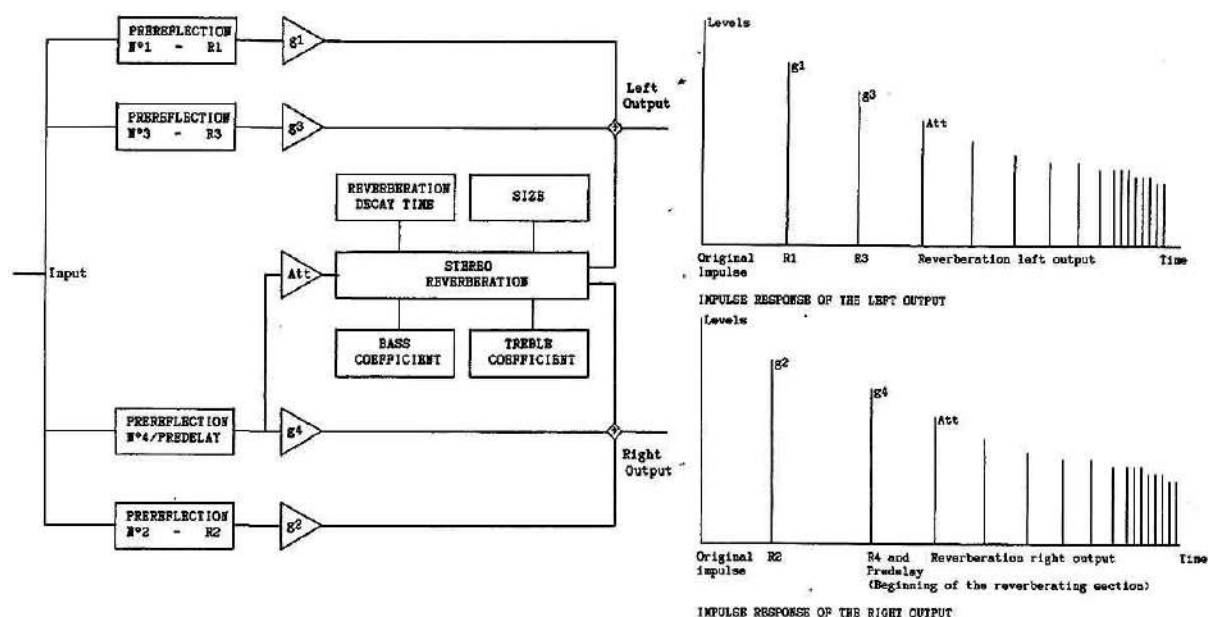


Figure 2.43 : Algorithme de réverbération universel au sein de l'IM90 (manuel utilisateur de 1987)

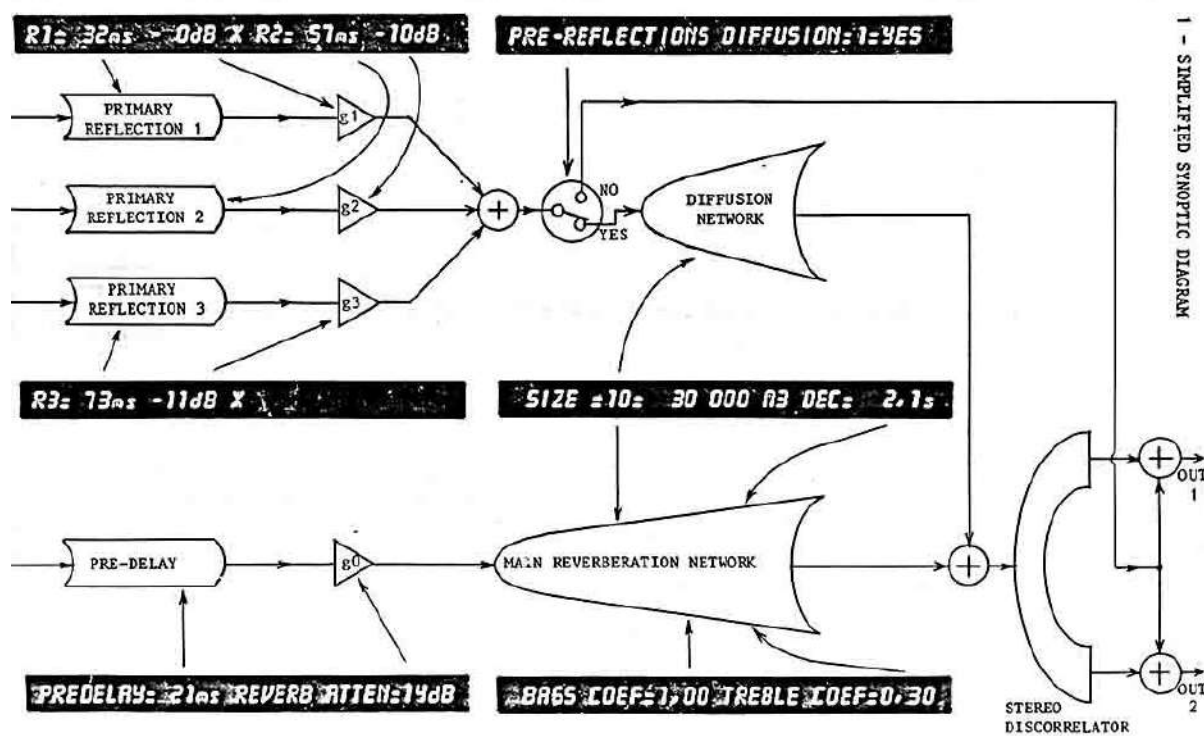


Figure 2.44 : Autre présentation, quelque peu différente, de l'algorithme de réverbération. Cette présentation fait mention d'un "Stereo Disccorrelator", en plus d'un réseau de diffusion dédié aux premières réflexions (mono) (manuel américain, 1985)

Le caractère avant-gardiste de l'Infernal Machine se manifeste également par sa conception électronique, avec l'utilisation d'un DSP NEC μ PD7720 16 bits au lieu d'une architecture exclusivement TTL. En 1984, il s'agit d'un choix encore rare ; la majorité des machines fonctionnaient sur des dispositifs câblés ou dédiés (comme les cartes de 4A/4M/4R de l'Ircam 4X). Par rapport à ses concurrents, ce DSP présentait de nombreux avantages. Il intégrait, entre autres, un multiplicateur combinatoire 16x16- $\rightarrow$ 31 bits, une ALU 16 bits (indépendante), un double accumulateur (permettant une opération parallélisée des calculs complexes sans surcharge) et un jeu multi-instruction (permettant l'exécution et le déplacement de données en un seul cycle machine, augmentant donc le débit de calcul). Par ailleurs, la mémoire vive de l'appareil était largement supérieure aux stations de travail de l'époque, embarquant 128 circuits intégrés de RAM 256KB.

Si l'Infernal Machine s'est imposée dans les studios, c'est non seulement grâce à ses capacités de multi-effets, mais aussi grâce à sa mémoire étendue⁶⁷ et à un échantillonnage d'une qualité et d'une ergonomie sans équivalent à l'époque. Avec l'ajout d'une interface SMPTE et de protocole MIDI, l'Infernal s'imposait comme un choix de premier plan dans les environnements professionnels les plus avancés. Les journaux spécialisés de l'époque rapportent de nombreux cas d'usage de la fonction de sampling à des fins pratiques, préfigurant les futurs développements chez Publison dans les années 1990 :

"Pour l'intro, nous avons utilisé une machine française, la Publison Infernal Machine. Nous y avons échantillonné deux sections de chant provenant de la fin de la chanson [...], et nous les avons modifiées jusqu'à ce qu'elles rentrent dans l'intro. Le Publison permet de compresser le temps, ce qui signifie que l'on peut conserver la même hauteur de ton, mais allonger la durée de la phrase. [...] Je crois que c'est la seule machine capable de faire ça."⁶⁸

Paul Humphreys de *Orchestral Manoeuvres in the Dark* (Goodyer, 1986)

"Nous avons finalement utilisé [...] un truc appelé l'Infernal Machine, de Publison. Il n'en existe que deux dans le pays pour le moment, il peut échantillonner jusqu'à 26 secondes, en stéréo pleine bande passante - on peut y stocker des refrains entiers... Chaque machine contenait une [...] phrase de base, et l'ensemble était déclenché exactement au moment voulu [...]. On pouvait tout faire sans avoir besoin de passer par un enregistreur 24 pistes."⁶⁹

Larry Steinbacek de *Bronski Beat* (Reed & Holland-Hill, 1986)

"Je leur avais fait jouer qu'un seul refrain, un seul couplet et un solo par chanson, j'ai ensuite loué une Infernal pour le mix final en montant leur parties où je voulais"⁷⁰

Martyn Ware de *Heaven 17* (Reed, 1986)

⁶⁷ Jusqu'à plusieurs minutes sur disque dur Winchester dans la version IM90 HD de 1987

⁶⁸ "For the intro we used a French sampler, the Publison Infernal Machine. We fed in two phrases of the vocals from the end of the song [...], and kept spinning it in until it fitted into the intro. The Publison does time compression so you can keep the same pitch, but extend the length of the phrase. [...] I think it's the only machine around that will do it."

⁶⁹ "For the record, though, we ended up using [...] a thing called the Infernal Machine, by Publison. It's one of only two in the country at the moment, and can sample up to 26 seconds, full bandwidth, in stereo - you can store whole choruses on it... So each machine would have a [...] basic phrase, with the whole lot triggered just where we wanted [...]. We could do the whole thing without going up to 24-track"

⁷⁰ "I got them to play just one chorus, one verse and one solo per song, and then hired a 24-second Publison sampler for the mix down, spinning their parts in wherever I wanted"

Certains utilisaient les fonctionnalités de compression temporelle pour rattraper des prises ou pour échantillonner des phrases et les retravailler sur des rythmes différents - pratique courante dans les productions Hip Hop :

“Pour les boucles, nous utilisons l’Infernal Machine, qui permet de modifier le timing sans changer la hauteur, ou de changer la hauteur sans modifier le timing. Tout ce que vous entendez en boucle sur mon album a été fait avec le Publison”⁷¹

KRS One (Trask, 1989)

Bien qu’il ne soit pas pertinent de consacrer une section à la réception critique de ces machines - les sources disponibles étant essentiellement anecdotiques et non scientifiques -, quelques témoignages suffisent à témoigner de l’aura que conserve encore aujourd’hui l’Infernal Machine auprès de ses utilisateurs :

“C’est ma réverbération et mon pitch shifter préférés de tous temps. La quatrième dimension, à tous les niveaux. Je n’avais jamais trouvé de réverbération qui me plaisait, à part emmener mon matériel dans des cathédrales, jusqu’à ce qu’on me la fasse découvrir. Un véritable phénomène sonore.”⁷²

‘MonkeyMarc’ sur Gearspace, le 18 février 2011

“Dans mon souvenir, elle sonnait comme une machine faite de la main de Dieu. [...] Les réverbérations étaient superbes, et le pitch shifting bien meilleur que celui d’Eventide à l’époque. Un son neutre, agréable, sans artifices. Parfois, on tombe sur une machine qui a simplement ce petit quelque chose.”⁷³

‘Auddoc’ sur Gearspace, 18 Octobre 2007

L’Infernal occupait une position incontestablement haut de gamme sur le marché de l’audio professionnel, se vendant à un prix deux fois supérieur à celui des principaux processeurs de réverbération de l’époque : l’AMS RMX16 à 5.382 \$, l’Eventide SP2016 à 4.500 \$ et la Quantec QRS à 4.700 \$. En parallèle, le marché voyait l’arrivée de solutions japonaises bien plus abordables, vendues à un quart du prix de leurs homologues occidentales, comme la Yamaha SPX-90II à 699 \$ ou la Yamaha REV-7 à 1.259 \$ (Jenkins, 1987), justifiant la précaution de Publison et leur grattage de composants quasi-systématique. Ce prix élitiste n’empêchera pas l’IM90 de devenir le produit Publison le mieux vendu, on le retrouve sur des disques de Paul McCartney, Siouxsie and The Banshees, Prince, Brian Eno, Queen, Frank Zappa, Pink Floyd, Ministry, Run DMC, Quincy Jones, Tangerine Dream, Depeche Mode, Michael Jackson, Tony Visconti, pour n’en citer que quelques uns (Fuchs, 2022).

Plus de documents concernant l’Infernal Machine 90 en **annexe page 109**.

⁷¹“For looping we use the Publison Infernal Machine, which allows you to change the timing without changing the pitch, or the pitch without changing the timing. Everything you hear that’s looped on my album is looped on the Publison”

⁷² “Just about my favorite reverb and pitch shifter ever. 4th dimensional in every sense. I never found any reverb I liked apart from taking my gear into old cathedrals until I was luckily introduced to this. A true sound phenomenon”

⁷³ “As I recall it sounded God-like, seriously good [...] The verbs were great and the pitch shifting way better than Eventide at the time. Just a great neutral, pleasant, non-hyped sound. Once in a while, you run across a piece of audio gear that just has it”

2.7.c : Les consoles broadcast et les stations de travail

Au début des années 1990, une nouvelle tendance s'installe chez les anciens concurrents de Publison. AMS annonce à l'AES n°77 de Hamburg (1985) le premier enregistreur sur disque dur : l'AMS AudioFile. AMS continua sur ce secteur avec en 1988 la première console numérique autonome au monde, dérivée de son enregistreur : l'AMS Logic 1. Simultanément, on observe de nouvelles plateformes telles que l'AudioFrame WaveFrame en 1987 ; la Lexicon Opus en 1989, ou l'AKG DSE-7000 la même année. Publison voit donc le marché évoluer et cherche à adapter ses technologies au secteur du broadcast, pour des clients comme FR2, FR3, RFO mais aussi des régies étrangères (RAI⁷⁴, RTBF⁷⁵, Deutsche Rundfunk...).

- Infernal Workstation (1990/91)

L'Infernal Machine 90 HD, de par ses fonctionnalités d'enregistrement appréciées⁷⁶, fut alors déclinée sous un format d'enregistreur/éditeur multipiste appelé Infernal Workstation au début des années 1990 (Ernould, 2001). Cet enregistreur, sur disque dur, était disponible d'abord en 4 pistes (IW4000 vers 1991, images en annexe), puis amélioré en 8 et 16 pistes (IW8000, IW16000 vers 1994 figures 2.45, 2.46). Cette période marque l'arrêt total de la production d'IM90. Une déclinaison sur disque optique fut mise au point, la Publison Oceane II (Prix SatisFetis 1994), qui permettait des fonctions de compression / expansion temporelle et de transposition sur chaque piste. Publison équipa ses machines des protocoles les plus utilisés dans les environnements broadcast de l'époque. Ces machines pouvaient gérer le TCP/IP et transférer des fichiers par Ethernet (100Mbps/s), voire même être contrôlées sur un terminal d'un réseau externe.



Figure 2.45 : Infernal Workstation 16.000 complète.
Le logo (une Tour Eiffel) était une idée de madame Dean.
La fille sur l'écran Publison est d'ailleurs la fille des Dean!

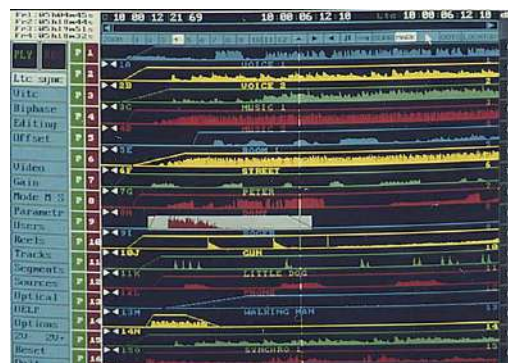


Figure 2.46 : agrandissement sur la fenêtre d'édition. Plus de captures d'écran en annexe page 111.

⁷⁴ Radiotelevisione italiana

⁷⁵ Radio-télévision belge de la Communauté française

⁷⁶ A l'AES de New York 1988 (n°83, Janvier), Publison annonçait une extension sur disque dur pour l'Infernal Machine 90 permettant jusqu'à 7 minutes d'enregistrement (Anderton, 1988)

- TotalStation (1997)

Publison franchit le cap de la série Infernal Workstation en développant une nouvelle ligne de machines, utilisant le savoir-faire acquis avec les circuits à logique programmable de la génération IW16000. La TotalStation (figure 2.47) était une station de travail couplée à une console télécommande (figure 2.48) incluant 32 pistes audio et une piste vidéo - d'où son appellation de console 33 pistes. La piste vidéo dédiée permettait de remplacer un magnétophone pour le montage synchrone à l'image, une fonctionnalité (en plus du Jog⁷⁷ intégré) ayant à l'esprit le secteur du cinéma. Elle était dotée de convertisseurs 20 bits en entrée, 24 bits en sortie (asymétrie extrêmement rare) ; le calcul interne était effectué en 32 bits flottants via l'intégration de DSP Sharc. Sa particularité réside dans l'architecture modulaire des cartes : les processeurs des baies, indépendants, pouvant être modifiés en fonction des améliorations technologiques. Au départ, les consoles étaient fournies de Pentium Pro 200 MHz, puis progressivement les cartes pouvaient intégrer des Pentium III (1GHz). De même, les disques durs des baies de stockage (Publison AudioBank) pouvaient être remplacés par des disques 10.000 tours 36Go en configuration RAID - une technologie rare à l'époque puisque les premiers RAIDs aussi rapides remontent qu'à 1996. (Farrance, 2006)



Figure 2.47 : console télécommande de la TotalStation (Octobre 1997)



Figure 2.48 : diapositive présentant le terminal couleur, couplé à la tablette graphique

⁷⁷ Molette rotative particulièrement adaptée au contrôle d'une timeline ou d'un curseur de montage

- Digital Film Console, abrégée D.F.C (2000)

La première console à proprement parler chez Publison fait suite à une commande de Frédéric Echelard des studios Dubbing Brothers.

Ces studios de postproduction cinéma cherchaient une console 128 voies à mélangeur SDDS⁷⁸, dédiée à leur audit de mix. Publison s'orienta d'abord vers une télécommande pour sa TotalStation, puis compris l'intérêt d'un format plus flexible afin d'intégrer plus facilement les différents marchés (musique, cinéma, télévision). L'équipe a alors fait la démarche inverse : la DFC fut conçue comme une unité autonome, pouvant se connecter à une TotalStation (via une fibre optique, technologie encore une fois en avance sur son temps). Cette console demanda 4 ans de développement à l'équipe de 17 chercheurs menée par Philippe. Peter Dean explique :



Figure 2.49 : DFC aux studios Dubbing Brothers

“Comment faire, ça ne s'apprend pas dans des livres! Quand on a commencé à vouloir faire une console, on est partis, naïvement, du principe d'y intégrer le PC. Ce n'était pas ce qu'il fallait faire, on s'en est aperçus au bout de 8-9 mois, mais on ne pouvait pas le savoir avant.”

(Ernould, 2001)

La première console (surnommée DFC 2500, figures 2.49, 2.50) fut installée à Dubbing en Septembre 2000, et une seconde identique fut construite dans la foulée pour le studio 2 de CinePhase. La console fut annoncée à l'AES de Paris en 2000 et se déclinait en version 64 ou 128 pistes. La version 128 comprenait pas moins de 60 DSP Sharc (32 bits flottants) sur 18 cartes, mettant à disposition entre autres (pour chaque piste) un égaliseur paramétrique 10 bandes - fonctionnalité encore inégalée - une interface MADI, des bus reprogrammables (jusqu'à des formats 8 pistes) et une automation généralisée de la console. Les 128 pistes n'étaient qu'une limitation logicielle, l'architecture de la console permettait d'accueillir en tout 96 entrées/sorties analogiques ainsi que 128 supplémentaires en MADI (Blasquiz, 2000).

⁷⁸ Sony Dynamic Digital Sound, format multicanal 5/2.1 incluant 8 pistes : 5 canaux avant, 2 surround et un canal LFE. Les consoles Publison permettaient la sommation en 8 bus de 8 canaux SDDS.



Figure 2.50 : Extrait d'une brochure commerciale des studios Dubbing Brothers, 2001

- Total Edimix/NewsMix (2000)

Simultanément, Publison proposa une version diminuée de sa DFC : La Total Edimix, aussi nommée NewsMix (figures 2.51, 2.52), qui ne gardait que la section de contrôle de la DFC interfacée à une Total Station. L'Edimix était une station de travail concurrente à la Fairlight Prodigy (Pélaprat, 2000). Elle comprenait une baie programmable de 20 faders, 48 voies, appairée à une plateforme de montage/édition/mixage 32 pistes administrée par un Windows NT. L'Edimix fonctionnait sur disque dur, une technologie peu répandue à l'époque mais issue de la recherche de la décennie précédente chez Publison (Total Workstations, disques optiques...). L'édition était améliorée par l'adjonction d'une tablette graphique, caractéristique des machines broadcast Publison.



Figure 2.51 : NewsMix à France 3 (Antennes, n°166 Avril 2003, p.27)



Figure 2.52 : Philippe démontrant la Total Edimix, vers 2000 (archives de Madame Dean)

2.7.d : Fullmost, CL-20 et quelques prototypes

- Fullmost (commercialisé en 1978)

Le Fullmost (figure 2.53) était un processeur d'excitation harmonique stéréo, décrit sous le terme '*relief enlarger*' sur sa sérigraphie. Il s'agit de la première machine commercialisée de Publison, aux côtés du compresseur CL20 (décrit page suivante).



Figure 2.53 : Publison Fullmost



Figure 2.54 : blocs contenant les circuits actifs

Cette machine, tout comme le CL20, n'était pas grattée à l'intérieur. Pourtant, le DHM89B2 qui leur était contemporain était complètement anonymisé.

Madame Dean explique:

"[Q: Mon Fullmost n'est pas gratté...] Non. [vous avez commencé à gratter quand?] Dès le début, mais en fait pour nous le Fullmost ce n'était pas grand chose. C'était un truc que l'on faisait comme ça, en plus, parce que l'on nous avait demandé de faire un Aphex⁷⁹... C'était le concurrent direct. On avait fait ça, mais enfin on n'en faisait ni pub, ni rien du tout. Les gens qui avaient tout de Publison, toute la chaîne, ils achetaient ça en plus." (entretien du 19/05).

Le Fullmost incorporera malgré tout une part de secret : les modules de détection et de filtrage du signal sont moulés dans de la résine époxy (figure 2.54). Ainsi, le cœur du processeur est protégé contre toute tentative de rétro-ingénierie. Aphex intentera un procès contre Publison, sans succès du fait de l'authenticité technologique mise à l'œuvre dans le FullMost. En effet, le processeur ne fonctionne pas en saturant le signal, comme dans la plupart des exciteurs, mais en procédant à de la compression multibande et une cascade de filtres passe-tout. Ce fonctionnement obscur n'était pas mieux détaillé lors de ses présentations aux salons. A l'AES n°62, il était simplement présenté ainsi :

"Fullmost : Relief Enlarger. Le Fullmost est un effet spécial qui apporte une plus grande précision de l'image sonore en jouant sur la phase de certaines fréquences. Il est destiné à apporter une meilleure définition, une plus grande clarté à l'image sonore." (Blanc-Francard, 1979)

⁷⁹ Madame Dean fait allusion à l'Aphex 402 Aural Exciter (1975), un processeur américain améliorant le contenu harmonique grâce à une cascade de saturations finement contrôlées

- CL20 (Commercialisé en 1978)

Le compresseur CL20 (figure 2.55) est un compresseur stéréo à circuit de détection optique. La version A ne fut jamais commercialisée ; on retrouve toutefois de rares versions B sur le marché. Fait curieux, à l'AES de 1978, Publison présentait le CL20 révision "C". Cela signifie donc que Publison vendait déjà des machines avant 1978.



Figure 2.55 : Compresseur CL20 révision C (1978)

- ECL20A (proto, 1978) : expandeur, compresseur, limiteur, noise gate stéréo.

Bien que cette machine (figure 2.56) reprend la dénomination du CL20, il semble que celle-ci ne partage que peu d'éléments. En effet, la brochure de l'AES note un circuit VCA contrôlé numériquement, au cœur des fonctions dynamiques. Le terme numérique ici reste particulièrement flou. Nous pourrions supposer un convertisseur intégré, échantillonnant l'enveloppe du signal (*env. follower*) ou bien un circuit d'approximation par PWM⁸⁰. On note ici (comme pour son ami le DHM83) l'utilisation de trois couleurs de boutons. Ce petit détail montre que Publison n'était pas encore fixé sur sa signature bicolore emblématique. Toutefois, les potentiomètres et le châssis seront bien ceux des produits commercialisés les années suivantes.



Figure 2.56 : Prototype du processeur de dynamique ECL20 (1978)

⁸⁰ Pulse Width Modulation : l'enveloppe du signal audio est échantillonnée par une horloge à largeur d'impulsion variable. La tension aux bornes du circuit de *Sample And Hold* renseigne alors sur les propriétés dynamiques de la plage intégrée. Ce circuit simple pouvait être qualifié de numérique, car il employait des circuits logiques séquentiels, mais restait à priori analogique.

- Le DHM83 A et B (prototypes, 1978) : délai stéréo + transpositeur spectral
Concurrencé par l'AMS 15-80S, le DHM83A (figure 2.57) fut actualisé en un prototype du nom de DHM83B (vers 1979, figure 2.58), qui était une version uniquement quasi-stéréo à mémoire réduite du DHM89B2 (Eisenberg, 1980). La plus ancienne preuve de l'existence du DHM83A remonte à l'article de Novembre 1978. Sur le DHM83A, les deux canaux de délai dénotent du fonctionnement stéréo de l'algorithme, tandis que l'unique section Harmonizer laisse penser que la transposition tonale ne fonctionnait qu'en Quasi-Stereo (mémoire mono-partagée). Cette photo est utilisée jusqu'en Février 1979 (Studio Sound And Broadcast Engineering volume 21 n°2), dernière trace du DHM83A avant le DHM83B.



Figure 2.57 : DHM83A (Studio Sound And Broadcast Engineering, Novembre 1978).



Figure 2.58 : DHM83B (Studio Sound And Broadcast Engineering, Juin 1979).

- Le NatureBoy (Proto, 1982) : lecteur d'échantillons pré-enregistrés sur ROM. Au départ appelé "Human Voice" puis "Mnemotron", cette machine était dotée d'un clavier 73 touches (figure 2.59, 2.60) et de 6 voix de polyphonie. Deux exemplaires auraient été construits (Jonathan Prager a découvert une version bleue inaboutie, figure 2.61). La dernière trace dans les journaux du NatureBoy remonte à 1983.⁸¹ La construction en modules ne va pas sans rappeler celle de l'Ertel UD-180.



Figure 2.59a : négatifs originaux du seul exemplaire construit

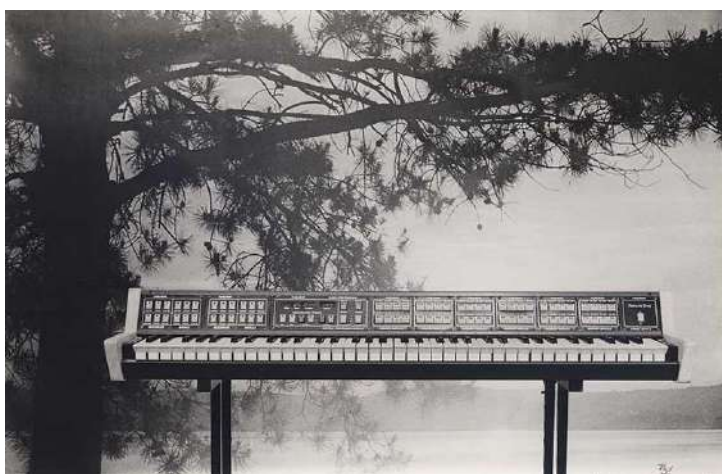
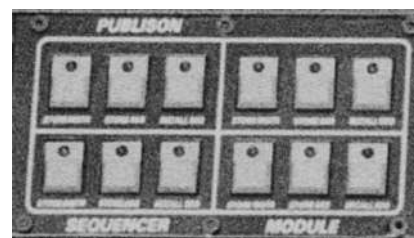


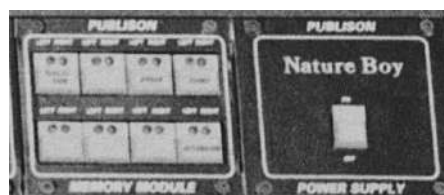
Figure 2.59b : agrandissement d'un des négatifs



Module Séquenceur



Unité centrale



Module mémoire + Module alimentation



Figure 2.60 : Brochure distribuée au 9ème Salon de la Musique - 19/21 Sept. 1982. On remarque l'attribution vedette à Peter Dean, qui se place en lieu du nom de la société dans le slogan introductif.

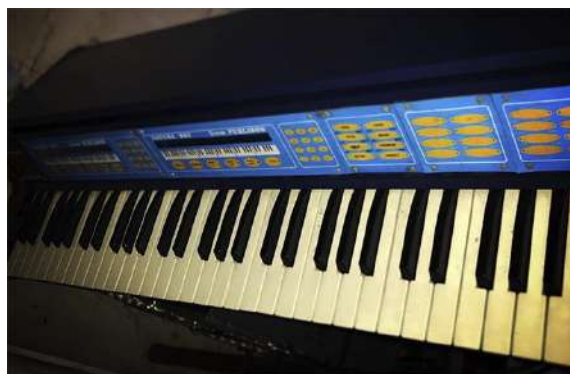


Figure 2.61 : Prototype n°2 du NatureBoy, collection privée de Jonathan Prager. Il s'agit d'une version avec non plus des boutons-poussoirs mécaniques (comme jusqu'alors), mais un panneau tactile. On retrouvera ce style de sérigraphie sur l'Infernal, produite entre 1984 et 1990.

⁸¹ "Publison are soon going to be bringing out this type of instrument with a 72-note keyboard that has 72 samples - one sample per note!" Traduction : "Publison compte sortir bientôt un instrument du genre avec un clavier 72 touches intégrant jusqu'à 72 échantillons - un échantillon par note!" propos tenus par Bernard Xolotl, interviewé par Mike Beecher dans Electronics & Music Maker, Mars 1983.

2.8 - Le paradoxe de la mémoire, enjeux d'une démocratisation du savoir

Ce mémoire met en lumière une transmission complexe autour d'une forme de l'héritage de la société Publison. À la suite des décès de Peter Dean et Philippe Petitdemange en 2019, l'ensemble des plans et du stock de l'entreprise ont été acquis par Jonathan Prager. Propriétaire des vestiges matériels du R&D⁸², Jonathan Prager a rétabli une corrélation systématique entre toutes les versions de toutes les machines. Au-delà d'une rétro-analyse sur les documents existants, certains schémas manquants ont été redessinés à partir des exemplaires construits. Ce processus relève d'une méthodologie implacable et nécessaire d'archivage, laquelle a vu aboutir après plusieurs années de travail un inventaire technique exhaustif de la société. Toutefois, l'ampleur de ce travail s'accompagne d'une centralisation exclusive. Les archives sont restées inaccessibles, protégées par leur nouvelle valorisation. De rares communications liées à l'histoire de Publison se limitent qu'à quelques extraits floutés, pixelisés ou recadrés sans qu'aucun détail substantiel ne puisse y être associé, même dans le cadre universitaire de ce mémoire. Les données de ma recherche n'ont ainsi pu être corroborées qu'au moyen de recoupements entre documentations et entretiens.

Cette protection des informations illustre un paradoxe dans la conservation de la mémoire technique. La préservation de ces machines se retrouve progressivement limitée par ce processus commercial, en dépit de l'urgence et de la nécessité d'archivage des manifestations d'une Histoire encore jeune, et de fait, souvent déconsidérée. En ce sens, et d'une façon plus générale, la spéculation autour de ces instruments ne devrait pas empiéter sur la sauvegarde de leur mémoire. Ces machines, dont les brevets industriels ont expiré depuis plus de vingt ans, suscitent par ailleurs un intérêt croissant de la part de nouveaux acteurs. Des sociétés s'intéressent notamment à l'émulation de ces machines iconiques, voire de leur reproduction. Nombre de constructeurs avaient contourné cette problématique en diffusant aux débuts d'internet leurs schémas, à des fins collaboratives et mémorielles. À l'inverse, la centralisation de ces archives suscite une interrogation légitime : qu'advierait-il si ces documents venaient à disparaître ?

Le patrimoine de Publison reste donc encore confiné par des logiques de secret et d'élitisme technique, alors même que le temps efface les dernières traces des derniers témoignages directs et authentiques.

⁸² Implantations, typons, plans de connexions, codes et programmes, équations, calques de sérigraphie, dessins mécaniques, protocoles de calibration, composants de rechange et pièces détachées ; en plus des prototypes.

Partie III

Etude pratique à travers la rétro-ingénierie d'un processeur audio *Early Digital*

L'objet de la partie pratique de mon mémoire consiste en l'application d'une méthode rigoureuse de rétro-ingénierie. Aux origines de cette démarche, un constat. Les machines Publison étaient notoirement connues pour avoir été limées à l'usine. Toutes les références de circuits intégrés étaient effacées, rendant impossible le diagnostic et la réparation d'une machine, sans passer par Philippe Petitdemange de Publison. Aujourd'hui, Jonathan Prager, légataire technique de la marque, s'occupe de ce travail de refonte de schémas et "d'enquête électronique" afin de retrouver les références des composants, ultimement lui permettant de réparer ces machines. Ce travail d'enquête aujourd'hui est parfois de mise sur des machines obscures dont les documentations se sont perdues avec le temps. A ce titre, j'ai parfois essayé de contacter des marques encore existantes, toutes me répondant que ces documents furent détruits dans les déménagements successifs des locaux.

Deux problématiques apparaissent :

- Comment préserver ces instruments ?
Et plus précisément ici,
- Comment réparer une machine Early Digital en panne, aux composants limés (comme pour les Publison), sans les schémas?

Nous avons vu dans les parties précédentes les éléments de base des machines de cette époque : microprocesseurs, circuits logiques, convertisseurs. A l'aide de ces connaissances, je vais montrer qu'il est possible de démystifier intégralement une machine *Early Digital* - identification des composants, reconnaissance des structures des circuits, établissement de schémas et restauration de la machine.

3.1 : L'objet d'étude

La Model 191 (aussi appelée "01") est un processeur de réverbération du constructeur américain MXR. Cette société, fondée en 1973 par Keith Barr (figure 3.1), Michael Laiacina et Terry Sherwood, était centrée sur le secteur de pédales d'effets pour guitare. Avec la démocratisation des technologies digitales et la reconsidération des effets analogiques au début de la décennie 1980, MXR se lance dans la course de l'Early Digital avec la 01 (vendue à 2183£). L'année de sa sortie, deux ingénieurs de MXR partirent chacun pour fonder d'une part Alesis (Keith Barr) et d'autre part *Applied Research Technologies* - ART (Terry Sherwood). On retrouvera l'année suivante deux processeurs similaires à la 01 (figure 3.2), l'Alesis XTC et l'ART DR1 (réverbères que je possède également, mais que je n'avais jusque là pas comparé), machines issues d'un potentiel transfert de technologies.



Figure 3.1. Gauche : Keith Barr en 1984 à la création d'Alesis. Droite : brochure pour la MXR 01



Figure 3.2 Brochures publicitaires pour l'Alesis XTC (Gauche) et l'ART DR1 (Droite), 1985.

A l'origine du Model 191, Keith Barr écrit :

"Après avoir prototypé une machine monstrueuse construite avec une série de SRAMs et une puce multiplicatrice 16x16 (de 100\$! [*NDR, 400 dollars actuels*]), j'ai découvert qu'il n'y avait pas vraiment de secret à la réverbération, seulement quelques opérations simples nécessaires. J'ai mis de côté ce monstre, ainsi que mes rêves de me tenir aux côtés de Lexicon, et je suis retourné à la boutique de musique modeste. J'ai décidé qu'au lieu de créer la réverbération la plus cool du monde, je créerais la moins chère. De toute façon, je n'ai jamais été à l'aise avec les grandes envolées. Le multiplicateur à 100 \$ me révoltait ! Et même si je n'aimais pas vraiment la bière, je n'aimais pas non plus le champagne... En tant que gamin pauvre, j'avais appris à faire beaucoup avec des bouts de bois et de la ficelle. [...] J'ai collé du ruban sur du Mylar, sur ma table lumineuse faite d'une vieille fenêtre abandonnée, soutenue par un seul néon à l'arrière, le tout fixé avec une pince en C à ma table à dessin blanche. J'adorais cette façon de faire les choses. C'était manuel, ancré dans la terre, plein d'âme ; c'était de l'art."⁸³ (Costello, 2010)

Keith ajoute :

" Nous avons vu une opportunité sur le marché de la réverbération numérique, alors j'ai conçu la MXR 01, qui était une implémentation matérielle assez simple. Mais malheureusement, je ne comprenais pas vraiment les aspects logiciels à l'époque, donc ce n'était pas la meilleure conception qui soit. Cette entreprise a finalement échoué, alors j'ai suivi ma propre voie pour fonder Alesis, tandis que les autres sont partis pour créer ART"⁸⁴ (White, 1986)

J'avais acquis une MXR 01 (figure 3.3) auprès d'un autrichien, qui l'avait achetée à un américain en 110V. Je n'étais pas averti de cette spécificité, alors j'ai alors entrepris de la modifier pour l'alimenter en 230V. Après un rapide test au déballage, j'ai retiré son transformateur 110V, les transistors de régulation (7805, 7912...), les diodes et les condensateurs de redressage. Je les ai remplacés par une alimentation à découpage, délivrant directement les tensions requises dans le circuit. Malheureusement, je n'avais pas remarqué le 'Power Sense' manquant. Le Power Sense est un circuit parallèle à l'alimentation principale, qui une fois sous tension, permet de réinitialiser les circuits logiques de la machine. Il s'agit ici en fait d'une tension délivrée par une Zener 5.1V non régulée issue du transformateur. J'ai alors simplement ponté le 12V du rail analogique sur la Zener, et finalement la machine démarrait.

⁸³After playing with a monster machine I built with a bank of commercial SRAM and a 16 X 16 multiplier chip (\$100!), I found that there didn't seem to be a secret to reverb, just the need for a few simple operations. I put the monster aside, along with my dreams of standing at the side of Lexicon, and returned home to the down and dirty music store... I decided instead of making the world's coolest reverb; I'd make the world's cheapest one. I never felt comfortable with the swells in the first place. The \$100 multiplier offended me! Although I never really liked beer, I didn't like Champaign either... As a poor kid, I had learned to make much from sticks and string. [...] I immediately put tape to Mylar on my rigged up light table, a discarded old window propped up by a single tube fluorescent light at the back, C-clamped to my white drafting table. God, I loved that way of doing things. It was with your hands, earthy, soulful; it was art.

⁸⁴ We saw a market for digital reverb and so I designed the MXR 01 which was a pretty simple hardware implementation, but unfortunately, I didn't really understand the software at that time, so it wasn't the best design ever. That business ultimately failed, so I went my own way to start Alesis and the others went on to become ART.

Mais la réverbération ne fonctionnait plus correctement : outre une sonorité devenue métallique, elle pouvait entrer en auto-oscillation si le temps de décroissance dépassait 3 secondes. Au bout d'une dizaine de secondes en auto-oscillation, la machine saturait : afficheurs noirs, plus de réponse. J'ai déduit qu'une décharge électrostatique avait peut-être eu raison d'un composant lors de ma manipulation.⁸⁵

La machine présentait donc une panne. Une solution aurait été de sonder à l'oscilloscope à la recherche d'une porte logique muette quelque part sur le circuit. Le problème étant, tous les circuits étaient limés (figure 3.4) et je n'avais pas les schémas (telle une machine Publison!). Il me fallait refaire les schémas de la machine pour établir un diagnostic.



Figure 3.3 : MXR01 (Model 191)

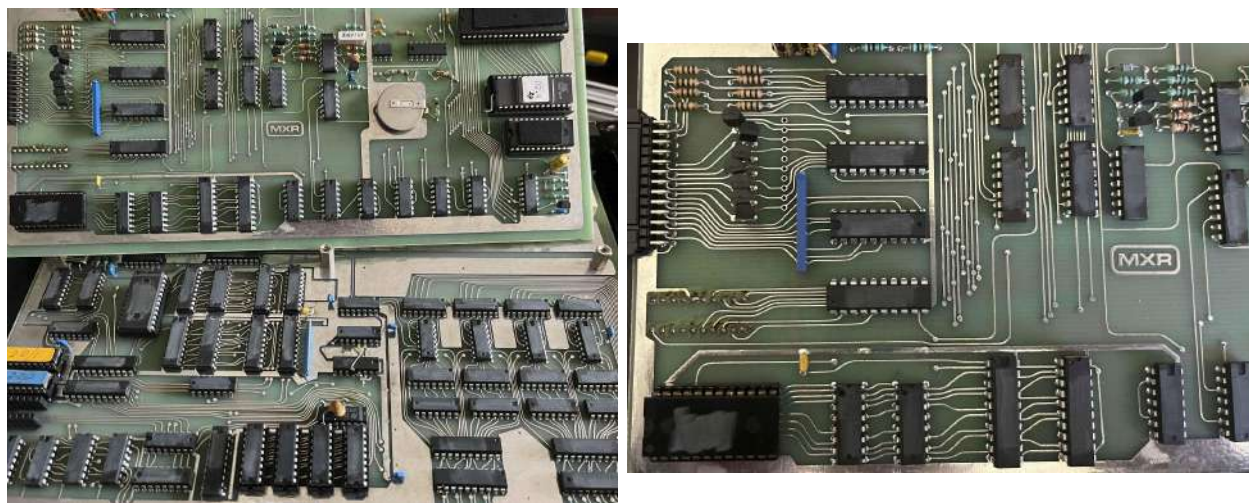


Figure 3.4 : MXR 01 - photographies des cartes aux composants limés

⁸⁵ Ayant la mauvaise habitude de travailler sur mes machines en robe de chambre!

3.2 : Attendus, limites et méthodologie

En recoupant la Partie 2 (panorama technologique) avec la fiche technique du Model 191 ainsi que des propos de Keith Barr, nous pouvons nous attendre à trouver dans la machine :

- Une logique construite sur des éléments TTL-7400

Les CMOS étaient probablement trop lents et les circuits programmables dédiés (DSP, PAL...) auraient été trop chers, en regard de la volonté de MXR de construire la réverbe la plus accessible de l'époque.

- Un convertisseur PCM intégré

La plupart des processeurs audio à bas coûts utilisaient les circuits les plus largement diffusés par les revendeurs, ce qui permettait de se fournir en quantité (prix de revient moins cher) et d'assurer une stabilité de production. A l'époque, le fabricant le plus établi dans le domaine de l'audio était Burr-Brown avec ses convertisseurs linéaires PCM, il serait logique d'en trouver un dans la MXR.

- Un microprocesseur 8 bits

Les gammes 8 bits étaient utilisées depuis plus longtemps que les architectures 16 bits, rendant leur intégration moins chère et mieux supportée dans des développements. La plupart des circuits logiques de l'époque s'interfaçant sur des bus de largeur 8 bits, doubler la largeur de bus aurait complexifié le design de façon injustifiée pour un simple processeur tel que le 01.

- Une ALU 16 bits

Au premier regard sur la carte mère, un bloc constitué de 4 sections saute aux yeux. La structure laisse penser qu'il s'agit d'un calculateur spécialisé, une ALU. Puisqu'il contient 4 sections identiques, j'en suis venu à supposer que l'ALU serait $4 \times 4 = 16$ bits, dès lors il serait logique de trouver un convertisseur PCM 16 bits.

- Une similitude explicite avec l'Alesis XTC et l'ART DR1

En effet, ces deux modèles partageaient probablement une même technologie à l'origine. Il est peu probable qu'en moins d'un an un ingénieur redessine intégralement une nouvelle architecture pour un processus si spécifique. En d'autres termes, il paraîtrait surprenant que l'XTC et la DR1 ne partagent rien de la MXR-01.

Pour mener à bien la tâche de rétro-ingénierie, une rigueur exemplaire doit être de mise - la moindre inattention pouvant détruire des composants, ou bloquer la mise en relation des indices. J'ai établi le processus suivant :

- Photographies

Avant de démonter la machine, il me faut la photographier sous tous ses angles. A n'importe quel moment du processus, le besoin de recouper le positionnement initial des composants peut se présenter. Par exemple si je dessoude un "strap" (modification câblée d'un circuit : une trace est coupée au cutter et pontée avec un fil soudé à la place), il me faut pouvoir le replacer sans ambiguïté plus tard dans le processus de dessin des schémas et de réassemblage.

- Marquage

Les composants étant limés et le PCB muet (aucune information relative au placement des circuits), chaque composant doit être estampé d'un numéro arbitraire pour pouvoir le distinguer des autres. J'ai nommé la carte principale A, celle montée par dessus B, et j'ai appliqué une numérotation de A1 à A51, et B1 à B25. Si un autocollant se décolle, ou qu'une écriture s'estompe, le processus de rétro-ingénierie peut échouer. En effet, il n'y aurait plus aucun moyen de distinguer un circuit anonyme d'un autre. Aussi, les orientations des composants sont marquées par un trait. Parfois les composants sont des monolithes parfaits, il n'y a pas d'encoche d'orientation. Il faut donc repérer au testeur des rails d'alimentation, standardisés pour le TTL : masse sur dernier pin de la première colonne, alimentation +5V sur le dernier pin de la deuxième colonne.

- Dessoudage

Une fois les cartes démontées de la machine, il faut dessouder chaque circuit. J'ai plutôt l'habitude de retirer les composants avec une petite pompe traditionnelle, mais dans le cas présent, les pattes étaient limées (elles aussi!). Cette procédure évite les court-circuits si les cartes sont rapprochées, ainsi que l'accumulation de poussières. Cela entrave également la réutilisation d'un composant dessoudé (par exemple, le remettre sur un *socket* peut être impossible). Cela rend d'autant plus fastidieux le processus de dessoudage car le bec de l'outil ne peut pas se placer parfaitement au-dessus, il y a aussi très peu de matière donc la chauffe est plus lente. Dans ce cas, l'usage d'une pompe automatique est indispensable.

- Identification

Une fois tous les composants retirés, les cartes sont scannées à plat. Cela permet d'obtenir une vue recto/verso des traces, et d'appliquer des masques de travail sur Photoshop. Les composants sont vérifiés à l'aide d'un testeur logique. Il s'agit d'une petite machine qui émet des stimuli logiques sur l'IC, et qui écoute en retour les réponses du circuit. En comparaison avec une LUT (Look-Up Table), le testeur peut supposer le type de circuit testé. Ce n'est pas un processus infaillible, parfois le testeur ne connaît pas le circuit. Si le composant est en partie non fonctionnel, il ne peut pas le reconnaître non plus, il lira certaines portes mais sera induit en erreur par celles devenues muettes. Les variantes ne sont pas reconnues par ailleurs : nous ne pouvons pas savoir (avec le testeur utilisé) s'il s'agit de TTL Schottky, Low Power, Fast,... Dans un circuit, cela peut avoir une conséquence sur le fonctionnement de la machine : si certains circuits ne respectent pas les temps de propagation avec lesquels la machine fut pensée à l'origine, les opérations peuvent se désynchroniser et planter la logique globale. Certaines tolérances de seuil de basculement logique peuvent changer en fonction du type de circuit, par exemple un TTL LS opère sur des niveaux Low ($<0.8V$) / High ($>2.0V$) alors qu'un TTL HC opère entre Low ($<2.1V$) / High ($>2.4V$). Remplacer un composant par un mauvais substituant technologique peut avoir de graves effets sur l'écosystème logique. Parfois aussi, le testeur hésitera entre plusieurs variétés de circuits. Exemple : le testeur repère que les portes inversent le niveau logique. Il peut s'agir d'un 7404 (*Hex Inverter*), d'un 7405 (*Hex Inverter w. Open Collectors*), d'un 7406 (*Hex Inverter Driver*), d'un 7414 (*Hex Schmitt-Trigger Inverter*), d'un 7416 (*Hex Inverter Driver w. Open Collectors*) ou encore d'un 7419 (*Hex Schmitt-Trigger NAND or Inverter*). En résumé, le testeur nous aidera à cibler les fonctions de chaque circuit, parfois même à les identifier (à la technologie près) mais cette étape n'est pas suffisante.

- Mise en relation

Les références des composants (sous index arbitraires) sont regroupées dans un tableur et reportées sur les scans des circuits. Cela permet de dégager les blocs fonctionnels des circuits et de segmenter le sondage des traces par région. Par comparaison avec l'Alesis XTC et l'ART DR1, certains composants non identifiés à la phase précédente peuvent être retrouvés. Les composants muets peuvent être aisément recoupés en fonction de leur placement par rapport aux autres.

- Dessin des plans

Une façon d'aborder le dessin des schémas consiste à se contraindre à une région du circuit (une région dense d'interconnexions) et d'effectuer le report des connexions de tous les pins composant par composant. Cela se fait au testeur sonore, couplé à une étude visuelle sur les masques de Photoshop. Les composants sont placés sur KiCAD et les connexions recto/verso "démêlées" à mesure du déchiffrement des régions. Certains schémas de connexion peuvent être aussi simplifiés, c'est ici que l'on détermine des 'nodes' ou les 'tags' récurrents, comme le DataBus (DB0~7) ou les strobes (exemple : ALU_S)

- Déchiffrement

Une fois toutes les pièces assemblées sur le schéma, il faut retrouver les circuits manquants : ceux que ni le testeur, ni les analyses croisées des cartes ART/Alesis ont permis d'identifier. Pour cela, les entrées/sorties doivent être repérées, la fonction du circuit est estimée en fonction de sa place dans une logique locale.

- Restauration

Tous les circuits retrouvés sont remplacés. En effet, ces derniers sont effacés (ce qui ne va pas dans le sens d'aider l'entretien futur de la machine), et les processus de chauffe pour le dessoudage ainsi que les nombreuses manipulations peuvent avoir fragilisé les circuits. Aucun risque n'est à prendre, ces circuits étant abordables - de l'ordre de 1€/pièce - ils seront remplacés par des modèles neufs de technologie identique à celle trouvée dans l'ART ou l'Alesis (à savoir : des série TTL-LS). Tous ces circuits seront montés sur sockets. Ainsi, une future panne pourra être facilement pointée et évincée par simple changement de composant, à la main. La chimie sera également refaite afin de garantir le filtrage efficace des rails et une transparence audio optimale. Finalement, le remplacement de l'alimentation sera effectué d'une façon plus propre : les transistors de +12/-12 pour l'audio seront réinstallés, alimentés par un courant DC +15V et -15V de l'alimentation à découpage. C'est une méthode souvent réalisée afin de se passer d'un transformateur (difficile à remplacer) tout en garantissant une génération de tension linéarisée. Les alimentations à découpage tendent à être de qualité variable, quand cela est possible je préfère utiliser des régulateurs linéaires.

3.3 : Mise en oeuvre

J'ai d'abord procédé à un scan recto/verso des cartes avec les composants, puis à des photos sous plusieurs angles. J'ai ensuite repéré (figure 3.5) puis dessoudé les circuits (figure 3.6) en les identifiant systématiquement au testeur (figure 3.7, 3.8). Le sens des diodes, les références des transistors, les valeurs des condensateurs et des résistances sont toutes des informations que j'ai repéré avec des photos. Une fois la carte vidée de ses habitants, j'ai procédé à un décapage des résidus de flux, puis à un lavage à l'eau. Enfin, j'ai scanné les faces recto/verso, et sur Photoshop aligné les deux (Figures 3.9, 3.10).

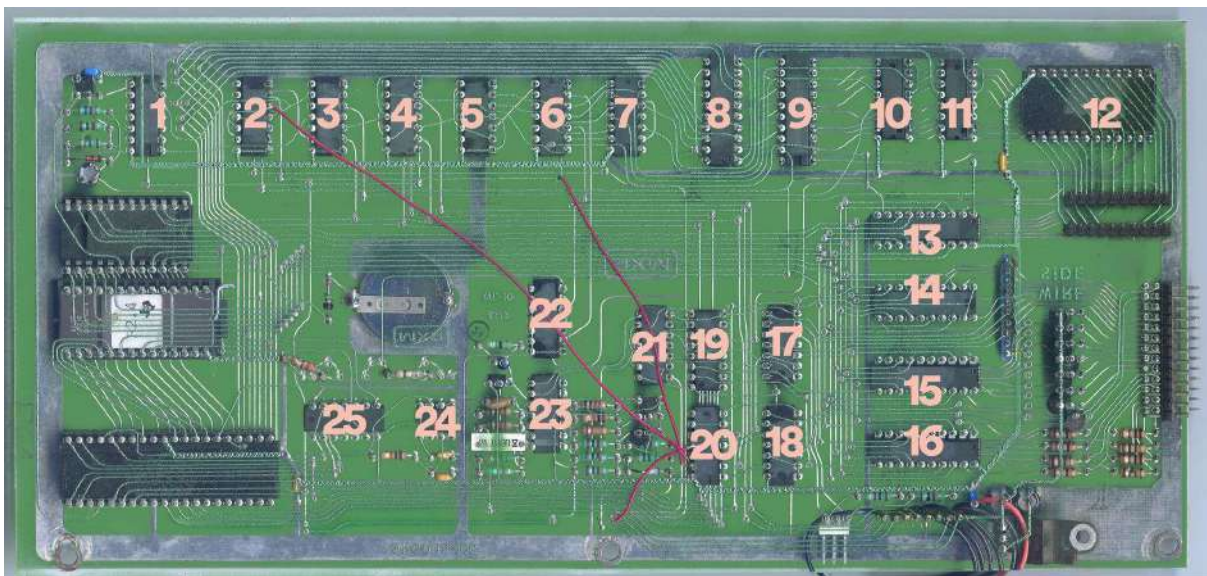


Figure 3.9 : Scan avec les composants, indexés. Traces recto/verso alignées en transparence.

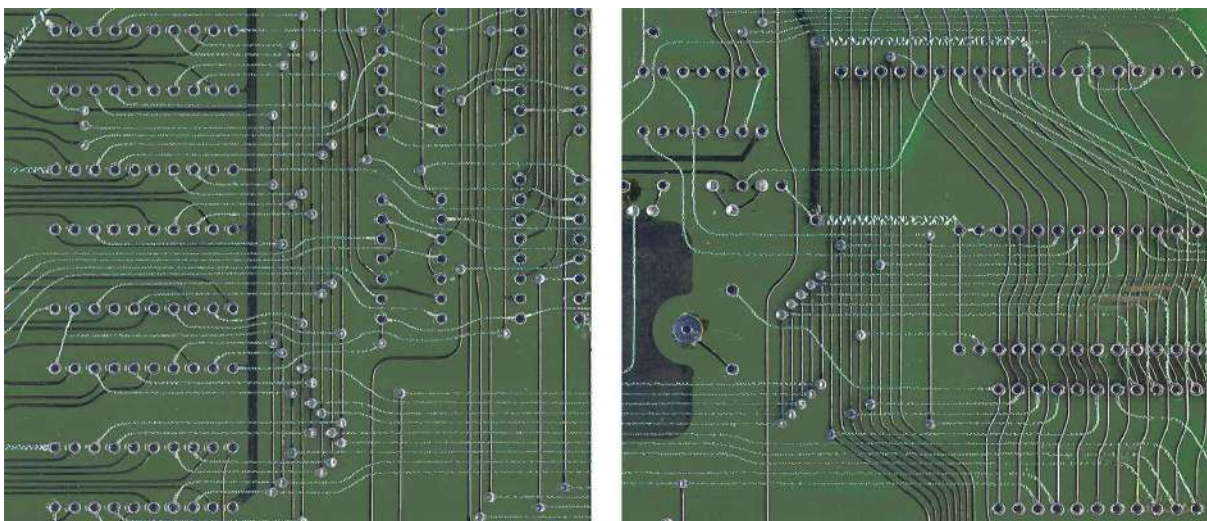


Figure 3.10 : détail de la superposition des couches

INDEX	TESTEUR LOGIQUE	DESCRIPTION
A1	7404 (plus probable par comparaison avec l'ART DR1), ou 7405, 7406, 7414, 7416, ou encore 7419	Hex-Inverter, ou Hex Inverter w. open collector outputs, ou Hex Inverter Buffered, ou Hex Schmitt-trigger Inverter, Hex Inverter Buffered w. open collector outputs, ou encore 4-Bit Parallel-Access Shift Register
A2	INCONNU	
A3	74161 ou 74163	Synchronous Counter
A4	74161 ou 74163	Synchronous Counter
A5	INCONNU	
A6	74244	Octal 3-State Buffer/Line Driver
A7	74244	Octal 3-State Buffer/Line Driver
A8	Cassé, mais d'après son placement : 74364 ou 74374	Latch 8 bits ou Flip-Flop D 8 bits
A9	74364 ou 74374	Latch 8 bits ou Flip-Flop D 8 bits
A10	74153	Dual 4-Line to 1-Line Data Selectors/Mux
A11	74244	Octal 3-State Buffer/Line Driver
A12	74244	Octal 3-State Buffer/Line Driver
A13	74364 ou 74374	Latch 8 bits ou Flip-Flop D 8 bits
A14	74364 ou 74374	Latch 8 bits ou Flip-Flop D 8 bits
A15	74364 ou 74374	Latch 8 bits ou Flip-Flop D 8 bits
A16	74364 ou 74374	Latch 8 bits ou Flip-Flop D 8 bits
A17	7402 (plus probable) ou 7428, 7433, 74128	Quad 2-Input NOR Gate ou Quad 2-Input NOR w. totem outputs ou Quad 2-Input NOR w. open collector outputs ou 2-Input NOR Line Drivers
A18	74393	Dual 4-Bit Binary Counter
A19	74393	Dual 4-Bit Binary Counter
A20	74157	Quad 2-Line to 1-Line Data Selector/Mux
A21	74157	Quad 2-Line to 1-Line Data Selector/Mux
A22	74283	4-Bit Binary Adders w. Fast Carry
A23	74283	4-Bit Binary Adders w. Fast Carry
A24	74364 ou 74374	Latch 8 bits ou Flip-Flop D 8 bits
A25	74074	Dual D-Type Positive Edge Triggered Flip-Flops with Reset and Clear
A26	7402 (plus probable) ou 7428, 7433, 74128	Quad 2-Input NOR Gate ou Quad 2-Input NOR w. totem outputs ou Quad 2-Input NOR w. open collector outputs ou 2-Input NOR Line Drivers
A27	74195	4 Bits Shift Register
A28	74195	4 Bits Shift Register
A29	74195	4 Bits Shift Register
A30	74195	4 Bits Shift Register
A31	74283	4-Bit Binary Adders w. Fast Carry
A32	74283	4-Bit Binary Adders w. Fast Carry
A33	74283	4-Bit Binary Adders w. Fast Carry
A34	74283	4-Bit Binary Adders w. Fast Carry
A35	74157	Quad 2-Line to 1-Line Data Selector/Mux
A36	74157	Quad 2-Line to 1-Line Data Selector/Mux
A37	74157	Quad 2-Line to 1-Line Data Selector/Mux
A38	74157	Quad 2-Line to 1-Line Data Selector/Mux
A39	74086 ou 74136	86: Quad 2-Input XOR totem pole OU 136: Quad 2-Input XOR w. open collector outputs
A40	74086 ou 74136	86: Quad 2-Input XOR totem pole OU 136: Quad 2-Input XOR w. open collector outputs
A41	74086 ou 74136	86: Quad 2-Input XOR totem pole OU 136: Quad 2-Input XOR w. open collector outputs
A42	74086 ou 74136	86: Quad 2-Input XOR totem pole OU 136: Quad 2-Input XOR w. open collector outputs
A43	74273	Octal D-Type Flip-Flop w. Clear
A44	74273	Octal D-Type Flip-Flop w. Clear
A45	74244	Octal 3-State Buffer/Line Driver
A46	74244	Octal 3-State Buffer/Line Driver
B1	7400 ou 7403, 7424, 7426, 7437, 7438, 74132	Quad 2-Input NAND, Quad 2-input Positive NAND, Quad Schmitt-trigger NAND, Quad 2-Input NAND w. Open-Collector outputs, Quad 2-input Positive NAND Buffered, Quad 2-input Positive NAND Buffered w. Open-Collector outputs, Quad 2-input Schmitt-trigger NAND
B2	74074	D-Type Flip-Flop
B3	74074	D-Type Flip-Flop
B4	74074	D-Type Flip-Flop
B5	74074	D-Type Flip-Flop
B6	7400 ou 7403, 7424, 7426, 7437, 7438, 74132	Quad 2-Input NAND, Quad 2-input Positive NAND, Quad Schmitt-trigger NAND, Quad 2-Input NAND w. Open-Collector outputs, Quad 2-input Positive NAND Buffered, Quad 2-input Positive NAND Buffered w. Open-Collector outputs, Quad 2-input Schmitt-trigger NAND

Figure 3.8 : Extrait de la table des composants identifiés. En vert : références sûres, en jaune : références à tester, en rouge : absence d'info il faut extrapoler à partir du circuit.

3.3.a : Analyse des convertisseurs ADC et DAC

De prime abord, j'ai supposé que le DAC de la MXR01 serait 16 bits, car l'ALU était, en première estimation visuelle, 16 bits (4 blocs). La présence d'un composant DIP24 Wide (en orange, figure 3.11) me laissait deviner qu'il s'agissait d'un Burr-Brown PCM53, que l'on trouvait dans la plupart des processeurs de l'époque, mais aussi dans l'ART DR1 et l'Alesis XTC. Mes premières analyses se sont donc tournées sur cette hypothèse, mais très vite le brochage s'est révélé être incohérent. On remarque que le bus 16 bits parallèle censé alimenter le circuit est illogique. Les supposés bit 2, 10 et 15 seraient non connectés ; les bit 13 et 16 proviendraient d'une source toute autre et les bits 1 et 12 seraient court-circuités. Ce composant ne pouvait pas être un DAC car son brochage ne correspondait à aucune logique de convertisseur. J'ai noté que la plage dynamique mentionnée sur la brochure de la MXR indiquait 75dB. Un rapide calcul⁸⁶ indique que la plage de dynamique 12 bits linéaire serait égale à 72dB (contre 96dB pour 16 bits). Je suis donc parti sur cette hypothèse à 12 bits, plus cohérente. En analysant les composants inconnus voisins (figure 3.12), j'ai remarqué un circuit à 20 pins (en rouge) dont les connexions émanaient des 74LS244 (circuits tampon, en bleu), typiques d'un interfaçage de bus. Le pin 24 est connecté à +12V. Les pins 13 et 15 sont à la masse. L'hypothèse d'un Burr Brown DAC80 était impossible, puisque son brochage indiquait au pin 15 la sortie du convertisseur et l'alimentation au pin 22 (non 24). Cela ne pouvait pas être un AD7541 (Sorties pins 1 et 2, alimentation en 16, masse en 3). J'ai également écarté l'hypothèse du National DAC1200, car il ne pourrait pas supporter les pin 13 (VDD) et 15 (V.Dac) à la masse. Ne trouvant pas quel composant ce DAC pouvait être, j'ai décidé d'élargir mes recherches.

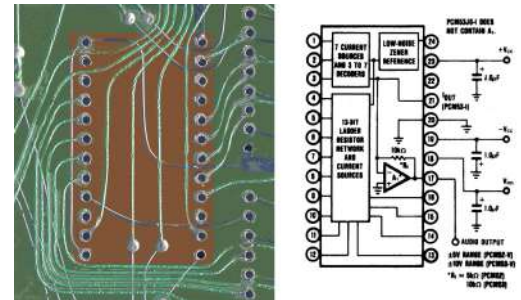


Figure 3.11 : comparaison entre l'empreinte inconnue et Burr-Brown PCM53, composant commun à l'ART et l'Alesis

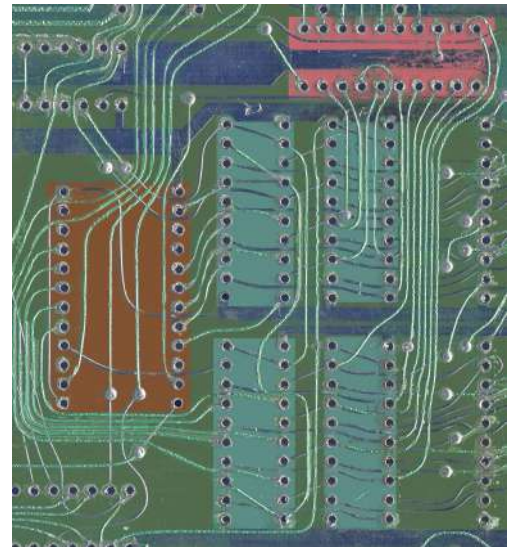


Figure 3.12 : composants voisins

⁸⁶ Plage dynamique = $20\log(\text{amplitude max} / \text{amplitude min})$. Amplitude minimale de conversion : $1/2^n$, amplitude maximale : 1. Ainsi, dynamique = $20\log(2^n)$. À $n=12$ bits, dynamique = 72.25dB.

J'ai remarqué sur mon schéma d'implantation (figure 3.13) la présence de 2 circuits à 8 connecteurs : des amplificateurs opérationnels ou des comparateurs.

Le circuit “?” du composant en bas présente ses pins 1 et 2 courts-circuités, typique d'un montage suiveur⁸⁷. La potentielle entrée positive de ce circuit remonte jusqu'au CD4053, un interrupteur multiplexeur⁸⁸ typique de circuits ADC/DAC. Il m'apparaissait concevable qu'il s'agisse alors d'un buffer audio. Si ce circuit était un amplificateur opérationnel double, on

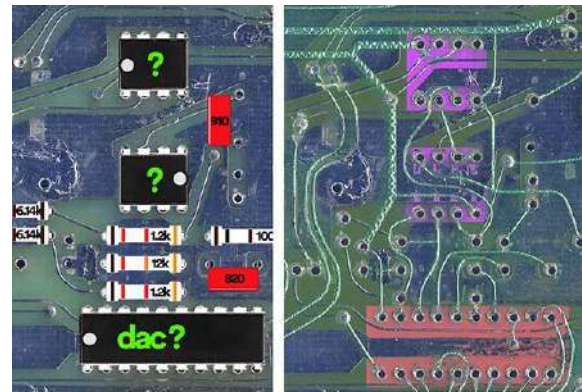


Figure 3.13 : présence de deux circuits DIP8 notés “?”

retrouverait deux autres entrées en 5 et 6. Et effectivement, ces deux connexions remontent jusqu'au convertisseur supposé. La sortie 7 est isolée de ses entrées, c'est donc un suiveur différentiel. Par hypothèses successives, j'ai donc supposé les pins 18/19 du convertisseur comme des sorties audio différentielles. J'ai alors cherché un convertisseur 12 bits 20 pins, alimenté au pin 20 à +12V, avec les pins 13 et 15 à la masse, et les pins 18/19 en sortie différentielle. Je ne trouvais aucun composant cochant ces cases. Finalement, j'ai saisi le problème autrement : les ADC de l'ART et de l'XTC sont des SAR AM25L03 (par paires, $2 \times 8 = 16$ bits). Dans la mesure où ces convertisseurs fonctionnent avec le DAC pour les fonctions de comparaison en boucle (voir 1.2.c), je me suis demandé si dans la documentation de ces circuits certains modèles n'étaient pas recommandés par le constructeur. J'ai ainsi trouvé un exemple de configuration pour l'AM2502/3/4 avec un AM6012 :

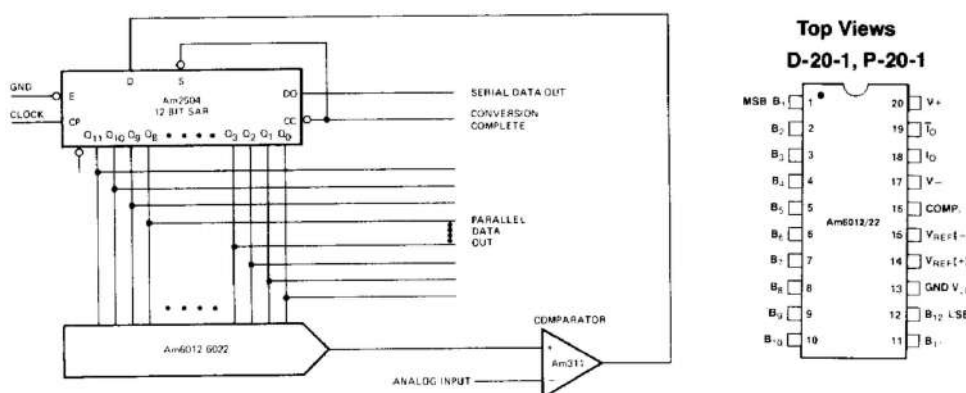


Figure 3.14 : notes d'application dans la documentation de l'AMD2502/3/4

⁸⁷ Sortie = Entrée (-) par contre-réaction

⁸⁸ Un multiplexeur est un circuit permettant de commuter plusieurs entrées vers une seule sortie par contrôle logique. Voir l'exemple du RSF Polykobil II en partie 1.5.

Le pin 13 correspond bien à la masse. Le pin 20 est bien celui de l'alimentation positive, 18 et 19 forment une paire différentielle pour l'étage de sortie. Les pins 1 à 12 forment bien un bus 12 bits parallèle. Ce composant ne pouvait être que le 6012.

- Localisation du comparateur

Il restait le composant “?” du haut (figure 3.13) à repérer. Je supposais fortement la présence d'un comparateur au niveau du convertisseur, puisque les SAR fonctionnent par approximations successives. En premier indice, les pins 5 et 6 étaient connectés entre eux. Cela ne pouvait pas être un comparateur double, les entrées étant les pins 5 et 6, cela aurait bloqué le fonctionnement du comparateur. S'il s'agissait d'un comparateur simple, le pin 1 serait à la masse ; c'est bien le cas. Il ne pouvait s'agir d'un amplificateur opérationnel, le pin 1 correspondrait à la sortie, et ne pourrait pas être à la masse. Les deux composants “?” étaient donc vérifiés.

- Un DAC séparé est-il intégré au sein de la boucle SAR ?

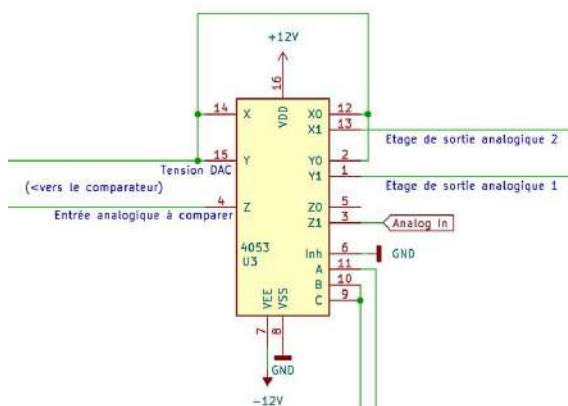


Figure 3.15 : présence de deux circuits DIP8 notés ‘?’

Un processeur tel que la KlarkTeknik DN-780 emploie deux DAC PCM53, un premier pour l'ADC et l'autre pour les sorties. La MXR emploierait-elle, elle aussi, deux DAC? Les entrées du comparateur SAR (localisé à l'étape précédente) m'indiquaient quelles portes du CD4053 (multiplexeur des flux audio) correspondaient à quelles entrées et

sorties. X et Y (figure 3.15) étaient reliées à la sortie du 6012, et la connexion Z (constituant la deuxième entrée du comparateur SAR) devait être une copie du signal d'entrée, à comparer. La sortie du convertisseur connectait également X0, Y0, tandis que X1 et Y1 étaient bien connectés au reste de la section analogique (étages de sortie). Ainsi, Z1 correspondait par déduction à l'entrée du signal analogique, multiplexée par le 4053 et renvoyé vers Z (vers le comparateur) - le 4053 agit ici comme un interrupteur bilatéral entre l'entrée et les deux sorties. Le DAC AM6012 est ainsi en réalité à la fois le DAC pour la conversion ADC/SAR, mais aussi le convertisseur des sorties : DAC, comparateur SAR, CD4053, entrées et sorties analogiques sont interconnectés. Il n'y a donc qu'un seul DAC dans la 01.

- Localisation du composant SAR

Le SAR devait être matérialisé en un seul composant, l'usage de 16 bits aurait impliqué une paire de SAR 8 bits, or nous avons vu que la MXR fonctionnait en 12 bits. L'AM25L04, suggéré dans la notice du DAC 6012, est un composant DIP24 Wide. Était-il possible que le composant à 24 broches soit le SAR? Les deux seules autres options auraient été qu'il s'agisse d'un multiplexeur ou un DAC, mais nous avons vu en premier lieu qu'il ne pouvait pas s'agir d'un tel composant. S'il s'agissait d'un multiplexeur, celui-ci occupait une place étrange, à l'intersection du bus parallèle. Multiplexer un bus parallèle aurait pour seul intérêt de le sérialiser, mais d'une part l'utilité ici aurait été obscure puisqu'il n'y avait pas de DSP, d'autre part le seul multiplexeur potentiel aurait été un CD4067, dont la présence du pin 1 (commun) à la masse compromettrait l'hypothèse. Sur un SAR AM25L04, le pin 1 "Enable" à la masse impliquerait une conversion sans extension périphérique - c'est notre cas, notre conversion utilise 12 bits et pas plus (il aurait été étonnant une conversion en entrée différente de celle de sortie, quoique ce fut le cas sur les consoles Publison, comme nous avons vu!). L'entrée pour la résultante du comparateur sur l'AM25L04 se fait au pin D(11) ; ce qui était exactement notre cas. Les pins 10, 15 et 22 sont non-connectés sur le 25L04, encore une fois, c'était le cas sur la carte aussi. La MXR utilise donc une simple conversion SAR 12 bits via un AM6012 et un AM25L04 appairés. La figure 3.16 ci-dessous présente un synoptique simplifié du circuit de conversion, la figure 3.17 détaille l'interfaçage du DAC au SAR, via le comparateur.

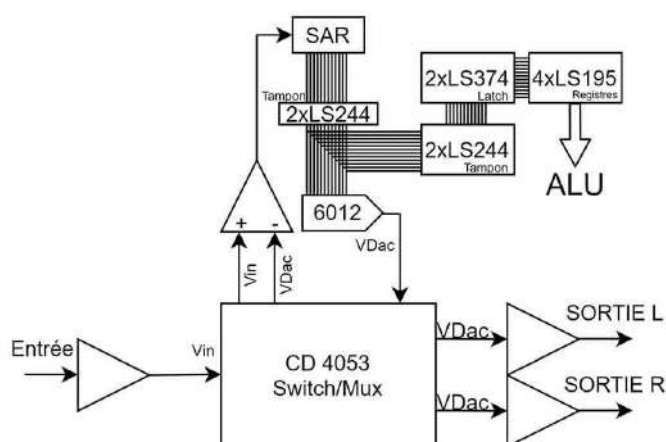


Figure 3.16 : Synoptique du convertisseur au sein des entrées / sorties du processeur audio. Le bus de données entre le SAR et le 6012 est mis en tampon par des LS244, chargé en "micro-mémoire" par les LS374 et envoyé dans les registres de l'ALU (4x LS195), à partir desquels les opérations sur les échantillons seront effectuées

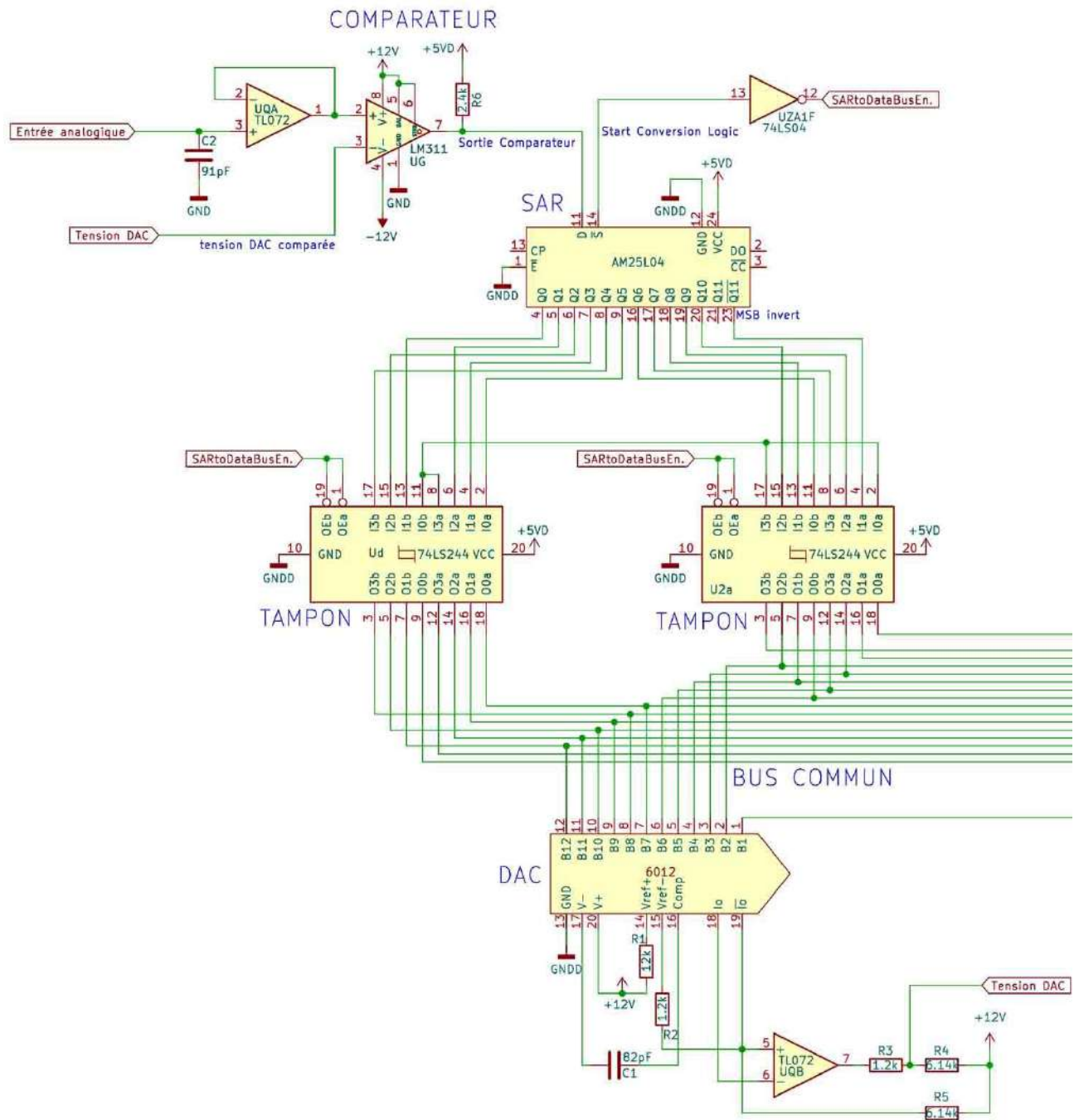


Figure 3.17 : détail des connexions liant DAC, SAR, Comparateur

3.3.b : Analyse de l'étage de sortie

Ayant pointé les sorties du convertisseur à travers le CD4053, j'ai pu remonter le chemin du signal analogique jusqu'aux sorties. Les deux canaux sont identiques, la figure 3.18 présente le circuit de ces étages.

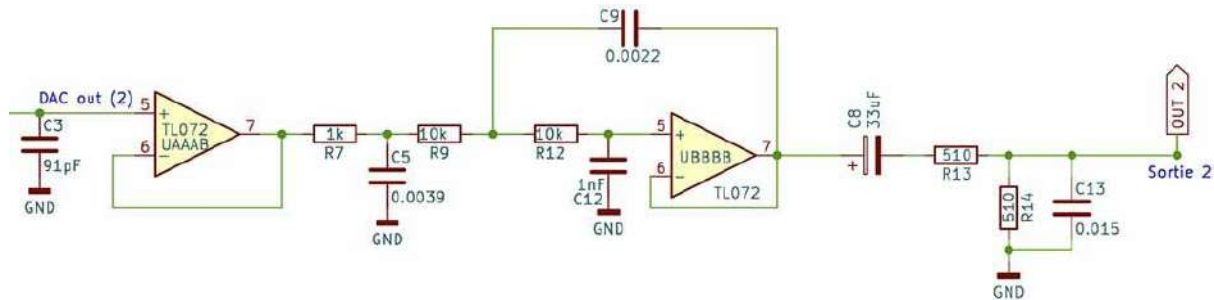


Figure 3.18 : étage de sortie analogique du canal droit (identique au canal gauche)

Si l'on suit le chemin du signal, dès l'entrée du circuit, C3 forme un filtre passe bas à haute fréquence, permettant d'atténuer les résidus de commutation du DAC. Le signal est ensuite mis en tampon par un montage suiveur (AOP étage 1), isolant le DAC des sorties. Le tampon délivre le signal à travers un filtre passe-bas du 2ème ordre, formé par R7/R9/R12, C5/C12. Un filtre actif par contre réaction partielle est formé par l'AOP suivant (étage 2), via C9. Cela permet d'accentuer la pente formée par le premier filtre, et de mieux contrôler le comportement global du système via l'AOP. C8 est un condensateur de liaison, bloquant l'éventuelle composante DC résiduelle des étages précédents. Enfin, R13 sert à fixer l'impédance de sortie, et R14/C13 forme un filtre anti-EMI.

3.3.c : Analyse de l'ALU

Dans cette partie du circuit, nous pouvons distinguer un assemblage s'apparentant à un ALU (Unité Arithmétique Logique) 16 bits discrète (4x4 bits). Sa profondeur laisse penser que les échantillons entrants sont 0-paddés⁸⁹. Les calculs pourraient être réalisés en 16 bits mais tronqués en 12 bits à la sortie (le convertisseur étant 12 bits). Grâce à l'identificateur de composant, j'ai pu trier les références suivantes :

- 74LS283 (Adder 4 bits) : additionneur binaire 4 bits avec propagation de retenue. Pour un additionneur 8 bits, on cascade deux 74LS283 : le premier gère les bits 0–3 et le second les bits 4–7, en connectant la sortie de retenue (carry-out) du premier à l'entrée de retenue (carry-in) du second.
- 74LS86/LS136 (XOR Gate) : Les portes XOR peuvent être utilisées pour inverser les bits d'un opérande dans le cas d'une soustraction (via le complément à 2). Par exemple, pour effectuer $A-B$, on peut inverser les bits de B ($A+(B \text{ XOR } 1111)+1$) et utiliser l'additionneur. Le testeur logique ne peut pas déterminer s'il s'agit d'un 86 ou un 136. Le 136 nécessite des Pull-Up à ses sorties (collecteurs ouverts) là où un 86 non (sorties Totem Pole). Il n'y a pas de résistances connectées, on en déduit qu'il s'agit de 74LS86.
- 74LS157 (Multiplexeur 2:1 4 bits) : Ces multiplexeurs servent à sélectionner les différentes opérations arithmétiques.
- 74LS195 (Registre à décalage 4 bits) : Ces registres pourraient être utilisés pour temporiser ou aligner les données, ou encore pour réaliser des fonctions complémentaires (extraction de flags ou gestion d'états).
- 74LS273 (Registre D 8 bits) : Ils servent typiquement à stocker les résultats intermédiaires ou les opérandes. Par exemple, on pourrait utiliser un 74LS273 pour enregistrer l'opérande A et un autre pour le résultat final.
- 74LS244 (Buffer octal) : Ces buffers protègent et conditionnent les signaux, en fournissant une isolation entre les circuits de l'ALU et le reste du système.

Leur assemblage est décrit dans les figures 3.19 et 3.20.

⁸⁹ 0-padding : ajout de '0' à la fin d'un mot binaire dont on souhaite convertir l'échelle, par exemple 12 vers 16 bits. Les 4 derniers bits d'un mot 16 bits sont ceux de poids le plus faible (chiffres significatifs en d'autres termes), les réduire à 0 ne change pas la précision des 12 premiers bits.

3.4 : Bilan du processus de rétro-ingénierie

À ce jour, seule la carte A a été schématisée, et seule la carte B a été reconstruite à l'identique. Une démonstration fonctionnelle de la machine lors de la soutenance représenterait un objectif ambitieux mais pertinent pour conclure ce projet.

La panne initialement constatée a été éliminée au travers du processus de restauration : le composant A8 n'était pas reconnu par le testeur logique, alors qu'il s'agissait d'un LS374 d'après son emplacement dans le circuit. Le 374 est une bascule FlipFlop interfaçant avec le bus de données de l'ALU. Une défaillance d'une de ses 8 portes logiques impliquerait un dysfonctionnement - non critique, mais observable toutefois à l'échelle du système. Sans ce processus de refonte des schémas, la panne serait restée invisible parmi les composants : seule la remise en contexte du circuit intégré a permis la démystification de sa fonction.

Ce travail m'a en outre permis d'apprécier l'optimisation du câblage pour une intégration sur PCB double-face. En effet, le câblage des circuits est réalisé de sorte à éviter les croisements de routes, et non de façon à conserver une fidélité théorique au schéma. Cette approche, centrée sur l'intégration mécanique, a progressivement été abandonnée au profit de circuits câblés 'droit', au détriment parfois de la lisibilité du PCB associé. Au sujet des traces, nous pouvons également remarquer que le typon de la MXR 01 est réalisé à la main (typiquement, à l'encre de chine). Ses successeurs, l'ART DR1 et l'Alesis XTC, auront été conçus intégralement sur ordinateur. Ayant été amené à effectuer des comparaisons entre les modèles, j'ai pu établir une corrélation très forte entre les 3 cartes principales, figure 3.22 :

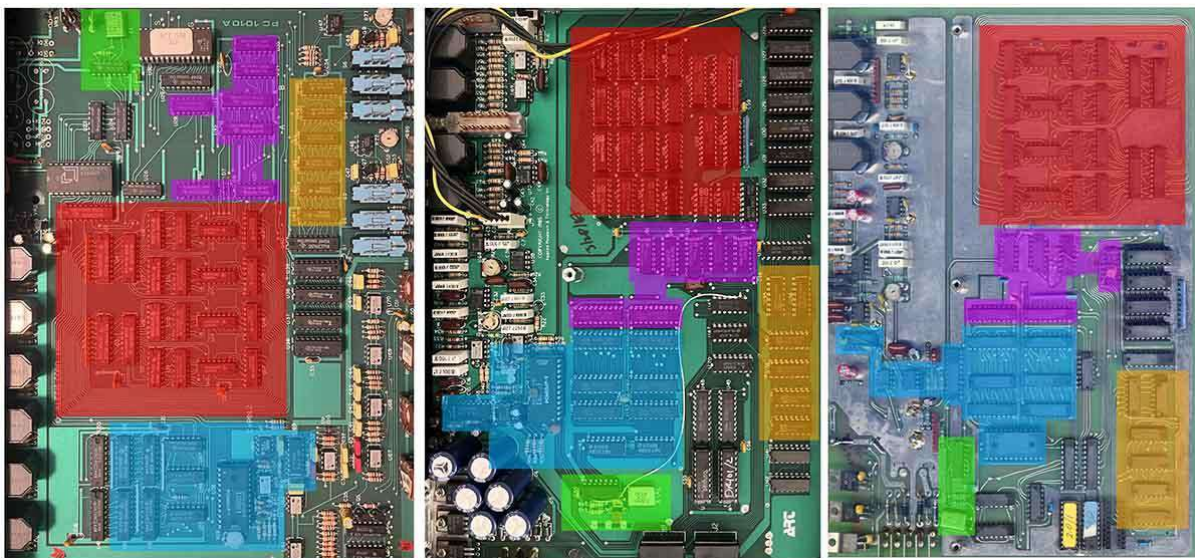


Figure 3.22 : Alesis XTC, ART DR1 et MXR 01. En rouge : ALU, en vert : horloges, en bleu : DAC / ADC, en orange : contrôleur mémoire, en violet : contrôleur du système (figure en annexe p.114)

La méthode de pointage employée s'est avérée être très efficace. Bien que certaines erreurs de report aient dû être corrigées, le protocole s'est montré robuste face à la complexité du réseau (plusieurs centaines de connexions). Pour fluidifier le processus de rétro-ingénierie, le recours à l'intelligence artificielle pourrait s'avérer pertinent. On pourrait envisager un algorithme permettant de détecter automatiquement les traces, générant ainsi une liste de nœuds et un schéma optimisé par topologie.

Certaines limites subsistent dans la mise en œuvre de cette rétro-ingénierie, notamment par le fait que l'analyse est fondée sur des images et non des vecteurs. Si l'on souhaitait reproduire une carte (clone pour remplacer une carte cannibalisée dans une autre machine par exemple), il faudrait reprendre un *gerber* à zéro.

Une autre limitation réside dans l'absence de circuit de test. La mise en place d'un circuit dont on pourrait contrôler les stimuli et observer le comportement du circuit incriminé à l'oscilloscope permettrait de confondre les références données par le testeur logique.

Les objectifs de cette rétro-ingénierie sont remplis : les schémas sont tracés, la plupart des composants sont référencés. La MXR Model 191 pourra être réparée et entretenue à terme. Son analyse permet par ailleurs d'appréhender plus facilement la réparation de l'ART DR1 et de l'Alesis XTC, dont il n'existe pas de schéma.

À l'heure de la révision de ce document en vue de sa publication (janvier 2026), j'ai acquis une deuxième MXR Model 191, portant le numéro de série 00001. Elle aussi en panne, elle présente toutefois des symptômes différents de ceux du modèle disséqué pour les besoins de ce mémoire. À l'aide des deux machines, et en tenant compte des différences entre leurs révisions respectives, j'espère parvenir à en assembler une complète et fonctionnelle.

Conclusion

L'ère dite *Early Digital* apparaît, à l'issue de cette recherche, non comme une simple étape entre deux régimes technologiques, mais comme un moment fondateur dont les implications dépassent le cadre de l'innovation technique. Elle cristallise une convergence des avancées scientifiques, des mutations industrielles et des pratiques sonores. Les machines de l'*Early Digital* ne relèvent ni tout à fait de l'électronique analogique, ni pleinement du numérique contemporain : elles constituent une articulation logique des techniques, une hybridation dont la compréhension exige une lecture à la fois historico-technique et culturelle.

L'étude du cas Publison met en lumière cette spécificité. À contre-courant d'une industrialisation polarisée entre le Japon et les Etats-Unis, l'entreprise incarne une forme d'artisanat technologique de très haut niveau, où la conception des machines découle autant d'une maîtrise fine des composants que d'une vision esthétique du son. Ces dispositifs ne sont pas de simples outils de traitement : ils agissent comme des instruments, façonnant des gestes, des usages et des signatures sonores inédites. En ce sens, Publison s'inscrit dans une lutherie électronique émergente, où le numérique devient matière à interprétation, détournement et invention.

Cette dimension instrumentale rend d'autant plus aiguës les questions de sauvegarde. La disparition progressive des documentations, l'entretien des circuits et l'évolution naturelle des techniques placent certaines machines dans une situation de fragilité extrême. Leur préservation ne peut se limiter à une conservation muséale ou à une restauration superficielle : elle suppose une réappropriation des savoirs techniques qui les sous-tendent. La rétro-ingénierie apparaît alors comme un outil heuristique central permettant de prolonger la vie fonctionnelle et culturelle de ces instruments.

À travers l'étude pratique menée dans ce mémoire, il apparaît que la réparation et la documentation des machines *Early Digital* relèvent d'une démarche proche de l'archéologie des techniques. Décrypter ces systèmes, c'est exhumer un patrimoine fait de logiques de conception, de contraintes industrielles et de savoir-faire aujourd'hui menacé de disparition. Cette démarche engage également une responsabilité contemporaine : celle de transmettre ces connaissances, non seulement pour maintenir des machines en état de fonctionnement, mais aussi pour nourrir les pratiques actuelles de la création sonore et de la lutherie électronique.

Si nombre de principes techniques ont été absorbés, simplifiés ou invisibilisés dans les machines numériques modernes, leurs évolutions demeurent la clé de compréhension des outils actuels. Elles témoignent d'une période au cours de laquelle les contraintes matérielles constituaient un moteur de l'innovation, incitant les concepteurs à repousser sans cesse les limites techniques par des dispositifs d'une complexité croissante, porteurs de nombreux paris technologiques. La frontière entre ingénierie et création artistique se révélait ainsi particulièrement perméable. Préserver ces machines, c'est préserver une manière de penser le son et la technique, une mémoire active éclairant les pratiques actuelles et futures.

Bibliographie

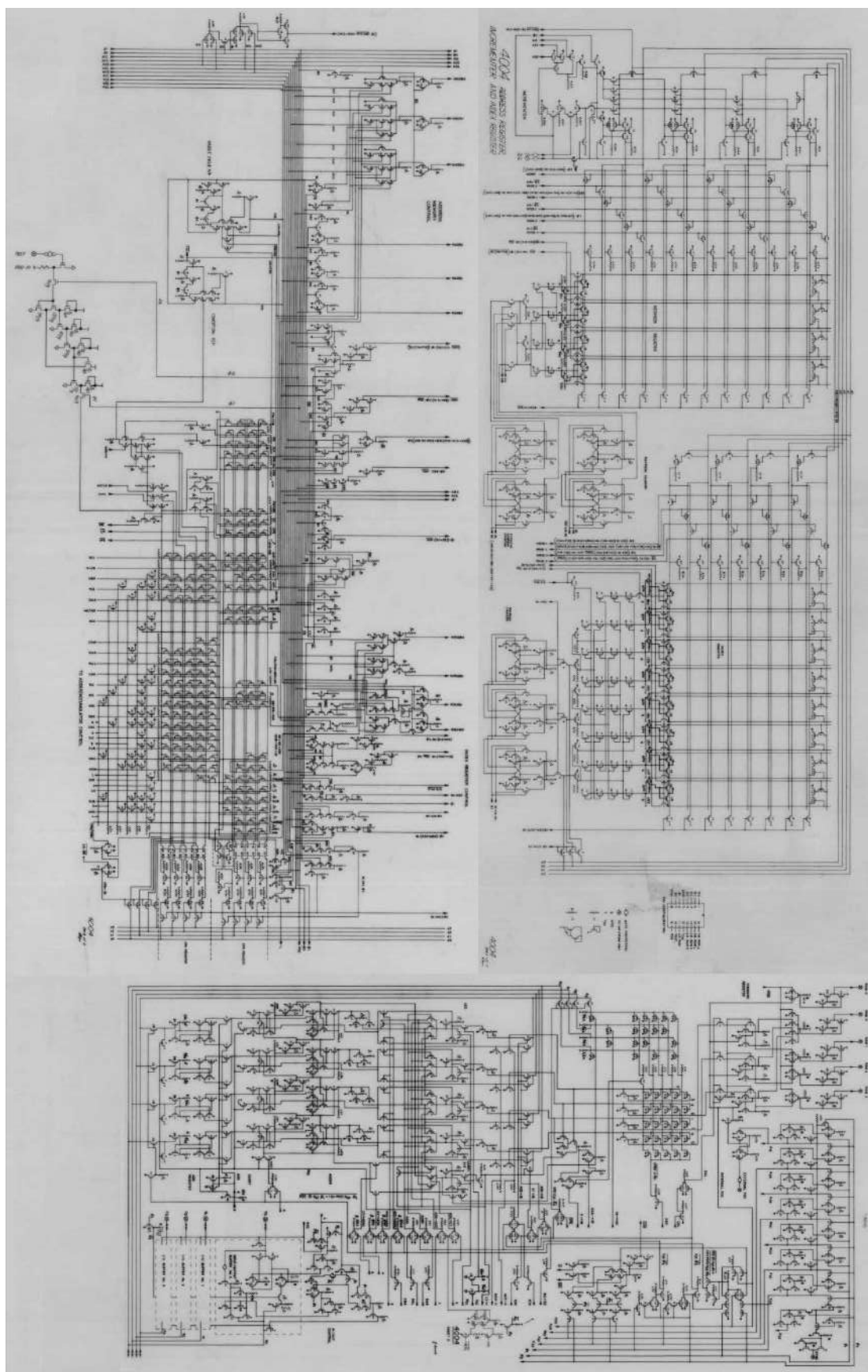
- Alles, H. (1976). A Portable Digital Sound Synthesis System. *Computer Music Journal*, 1(3), 5-9.
- Alles, H., & di Giugno, G. (1977, Novembre). A One-Card 64 Channel Digital Synthesizer. *Computer Music Journal*, 1(14).
- Anderton, C. (1988). AES New York. *Sound On Sound*, 3(3), 32.
- Balch, M. (2003). *Complete Digital Design*. McGraw-hill.
- Bannister, B., & Whitehead, M. (1985). Some Applications. In *Interfacing the BBC Microcomputer* (pp. 76-101). Macmillan. <https://doi.org/10.1007/978-1-349-07374-0>
- Bassett, R. K. (2002). *To the Digital Age: Research Labs, Start-up Companies, and the Rise of MOS Technology*. Johns Hopkins University Press. <https://doi.org/10.1093/es/khg066>
- Betker, M. R., Fernando, J. S., & Whalen, S. P. (1997). The History of the Microprocessor. *Bell Labs Technical Journal*, 2(4), 29-56. <https://doi.org/10.1002/bltj.2082>
- Blanc-Francard, D. (1979). Liste des Exposants. *Zero Vu*, 14, 6-7.
- Blasquiz, K. (2000). Infernales. *Sonovision*, 437, 119-122.
- Bouissou, J.-M. (1994). La représentation du Japon et son évolution à travers l'iconographie des hebdomadaires français (1979-1993). *Mots. Les langages du politique*, 41, 99-115.
- Bourdon, J. (1987). Les techniques de production et les professionnels à la télévision française depuis 1974. *Réseaux*, 5(24), 77-97.
- Boysel, L. (1995). *Court Room Demonstration System, 1969 AL1 Microprocessor*.
- Buie, J. L. (1961). *US PATENT 3283170A*. TRW Semiconductors, Inc.
- Camenzind, H. (2005). Resistors in IC Processes. In *Designing Analog Chips* (pp. 29-32). EETech. <http://www.designinganalogchips.com/>
- Costello, S. (2010). *RIP Keith Barr*. Retrieved Mars 23, 2025, from <https://valhalladsp.com/2010/08/25/rip-keith-barr/>
- Deshays, D. (2019). Régie et archivage au quotidien des représentations. *Sciences/Lettres*, 6. <https://doi.org/10.4000/rsl.1829>
- Devine, T. E., Dunbar, T. L., Littlejohn, M. B., & White, K. (1982). JOVIAL/ADA Microprocessor Study. In *RADC-TR-82-61* (Final Technical Report). Software Engineering Associates, Inc.
- di Giugno, G., & Kott, J. (1981). *Présentation du système 4X, Processeur numérique de signal en temps réel* [Rapport Ircam 32/81]. Centre Georges-Pompidou.
- Eisenberg, N. (1980). The Product Scene. *Modern Recording*, 5(6), 30.
- Electronic Design (Ed.). (1970). News Scope : Central processor made on single MOS chip. *Electronic Design*, 18(22), 30.
- Ellis, D. (1983). Macromusic, Part 4 : Beyond the Groove. *Electronics & Music Maker*, 64-67.
- Ernoult, F. (2001). Sonostory. *Réalisa-Son*, 13, 54-57.
- Faggin, F., Hoff Jr., M. E., Mazor, S., & Shima, M. (1996). The History of the 4004. *IEEE Micro*, 16(6), 10-20. <https://doi.org/10.1109/40.546561>
- Farrance, R. (2006). *Timeline: 50 Years of Hard Drives*. PCWorld. Retrieved 05 20, 2025, from https://web.archive.org/web/20120910003806/http://www.pcworld.com/article/127105/timeline_50_years_of_hard_drives.html
- Fuchs, M. (2022). *Vintage FX: Close Encounters with 68 Classic Studio Effects Devices from the Days of Yore*. Matthias Fuchs.
- Gilotaux, P. (1980). Générateur d'Effets Spéciaux Publison DHM89B2. *Revue du Son Professionnel*, 7, 37-40.
- Goodyer, T. (1986). Dawn of a New Age. *Music Technology*, 1(2), 100-105.
- Gordon, B. M., & Talambiras, R. P. (1955). *US Patent 3108266A* [Signal Conversion Apparatus]. Epsco, Inc.
- Grall, O. (2016). *Historique RSF*. RSF Officiel. Accédé le 27 Avril 2025, from http://rsf-synth-official.com/pages/history/history_fr.html
- Grant, J. (1984). The Fairlight Explained : Part II. *Electronics & Music Maker*, 86-88.

- Hendrie, G., & Shustek, L. (2005). *Oral History of Victor (Vic) Poor* [Enregistré le 8 Décembre 2004]. Computer History Museum. Retrieved Mars 23, 2025, from https://archive.computerhistory.org/resources/text/Oral_History/Poor_Victor/102658337.05.01.pdf
- Hoerni, J. (1960). *Handbook #3* (Fairchild Semiconductor Corporation, Ed.).
- Holt, R. (1970). *Central Air Data Computer 944113 SLF* [Déclassé le 21 Avril 1998]. Aircraft Manufacturing Company, AiResearch and American Microsystems.
- Holt, R. M. (1998). *The F14A Central Air Data Computer and the LSI Technology State-of-the-Art in 1968*. Accédé le 23 Mars 2025, <https://firstmicroprocessor.com/wp-content/uploads/2020/02/lsistate-97.pdf>
- House, D. (2007). *Oral History Panel on the Development and Promotion of the Motorola 68000* [Enregistré le 23 Juillet 2007]. Computer History Museum. Retrieved Mars 23, 2025, from https://archive.computerhistory.org/resources/text/Oral_History/Motorola_68000/102658164.05.01.acc.pdf
- Jenkins, M. (1987). Digital Reverb Guide. *Sound On Sound*, 2(9), 59-60.
- June, C. (2007). *Lee Boysel: the early history of microprocessing*. University of Michigan. Retrieved Mars 23, 2025, from <https://ece.engin.umich.edu/stories/lee-boysel-the-early-history-of-microprocessing>
- Kaplan, S. J. (1981). Developing a Commercial Digital Sound Synthesizer (The MIT Press, Ed.). *Computer Music Journal*, 5(3), 62-73. <https://doi.org/10.2307/3679988>
- Katz, J. (2015). *Oral History of Robert Ted Jenkins* [Enregistré le 10 Mars 2015]. Computer History Museum. Retrieved Mars 23, 2025, from <https://archive.computerhistory.org/resources/access/text/2015/12/102740086-05-01-acc.pdf>
- Kaye, D. N. (1973). Focus on A/D and D/A converters. *Electronic Design*, 21(1), 56-63.
- Keeble, R. (2002). 30 Years Of Emu. *Sound On Sound*.
- Kester, W. (2005). *Data Conversion Handbook* (W. Kester, Ed.). Elsevier Science.
- Kogut, S. (2014). *The Birth, Evolution and Future of Microprocessor*. San Jose, California, USA. Accédé le 23 Mars 2025, <https://www.sjsu.edu/people/robert.chun/courses/CS247/s4/M.pdf>
- Koshiro, K. (1986). Japan's Industrial Policy for New Technologies. *Journal of Institutional and Theoretical Economics*, 142(1), 163-177.
- Kuhn, K. (2018). *High Mobility Materials for CMOS Applications : CMOS and Beyond* (N. Collaert, Ed.). Woodhead Publishing.
- Laborde, M. F., Pouvreau, B., Furio, A., Couronne, M., Desmarres, M., Lohr, E., Tordeux, C., Chraïbi, J., & Rousset, C. (2006). Contribution au diagnostic du patrimoine de la commune de Bagnolet. Patrimoine en Seine-Saint-Denis. <https://patrimoine.seinesaintdenis.fr/IMG/pdf/plubagnolet.pdf>
- Laws, D., & Riordan, M. (2011). Making Micrologic: The Development of the Planar IC at Fairchild Semiconductor, 1957–1963. *IEEE Annals of the History of Computing, Volume 34 Issue 1*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6109204>
- Laws, D., Riordan, M., & McClure, J. (2016). 1963: *Standard Logic IC Families Introduced*. Computer History Museum. Retrieved 03 23, 2025, from <https://www.computerhistory.org/siliconengine/standard-logic-ic-families-introduced/>
- Lawson, J., & Mathews, M. (1977). Computer Program to Control a Digital Real-Time Sound Synthesizer. *Computer Music Journal*, 1(4), 16-21.
- Lee, F. F., & Lipschutz, D. (1976). Floating Point Encoding for Transcription of High Fidelity Audio Signals. *AES Convention*, 55(1190).
- Lémery, E. (1979). La Machine à Démonter le Temps. *Disc International*, 50.
- Leyris, T. (2023). *La Société de radiodiffusion de la France d'outre-mer. Naissance d'un empire radiophonique franco-africain au temps des décolonisations (1939-1969)*. Université de Lille.
- Lindemann, E., Dechelle, F., Smith, B., & Starkier, M. (1991, Janvier). The Architecture of the IRCAM Musical Workstation. *Computer Music Journal*, 15(3), 41-49. <https://doi.org/10.2307/3680764>
- Lojek, B. (2007). *History of Semiconductor Engineering*. Springer Berlin Heidelberg.

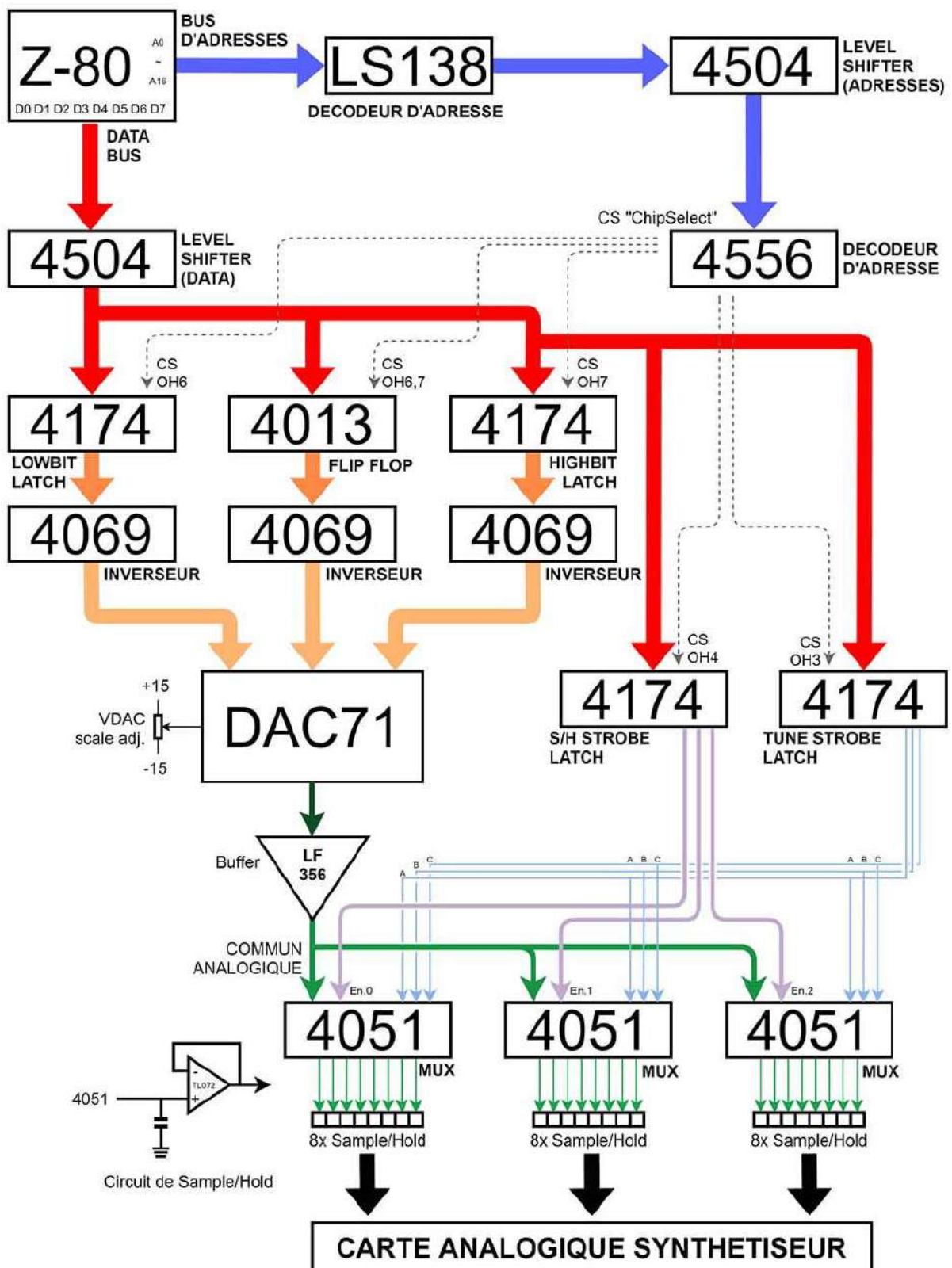
- Maddox, E. (1974). Current-steering chip upgrades performance of D-A converter. *Electronics*, 125-130.
- Maloberti, F. (2010). *Data Converters*. Springer.
- Mann, S. (1982). Synthesizers grow into digital keyboard instruments. *InfoWorld*, 22.
- Mazor, S. (1995). The History of the Microcomputer - Invention and Evolution. *Proceedings of the IEEE*, 83(12), 1601-1608.
- Morse, S. P., Ravenel, B. W., Mazor, S., & Pohlman, W. B. (1980). Intel Microprocessors - 8008 to 8086. *IEEE Computer*, 13(10), 42-60.
- Morton, J. A., & Pietenpol, W. J. (1958). The Technological Impact of Transistors. *Institute of Radio Engineers*, 955.
- Naylor, J. R. (1983). A Complete High-Speed Voltage Output 16-Bit Monolithic DAC. *IEEE Journal Of Solid-State Circuits*, 18(6), 729-735.
- Nelson, T. (2013). *Computer Labs, Inc.* Analog Footsteps. Retrieved April 26, 2025, from <https://analogfootsteps.blogspot.com/2013/11/computer-labs-inc.html>
- Noyce, R. N., & Wolff, A. W. (1986). High-Tech Trade in the 1980s: The International Challenge and the U.S. Response. *Issues in Science and Technology*, 2(3), 61-71.
- Pastor, E. (1989). Hommage A Joseph Leon. *L'Audiophile*, 47(4), 17-22.
- Pease, R. A. (2008). What's All This Layout Stuff, Anyhow? *Electronic Design*.
<http://www.introni.it/pdf/Bob%20Pease%20Lab%20Notes%20Part%207.pdf>
- Pélaprat, P. (2000). RFO sur Edimix de Publison. *Broadcast*, 122(11), 14-15.
- Poincignon, J.P. (1981). Un français à New York. *SONO*, 34, 40.
- Potthast, J. B. (2024). *The 'Big bang' of microelectronics*. Deutsche Patent und Markenamt. Retrieved 04 15, 2025, from https://www.dpma.de/english/our_office/publications/milestones/computerpioneers/65yearsintegratedcircuit/index.html
- Real, M. (1984). *A Revolution in Progress : A History of Intel to Date*. Glynnis Thompson Kaye.
- Reed, T. (1986). Just Seventeen. *International Musician & Recording World*, 12(13), 26-29.
- Reed, T., & Holland-Hill, C. (1986). Buzz. *International Musician & Recording World*, 12(4), 35-37.
- Ritter, T., & Boney, J. (1979). A Microprocessor for the Revolution : The 6809. Part 1 : Design Philosophy. *BYTE Magazine*, 4, 14-42.
- Roads, C. (1996). Internals and Interconnections. In *The Computer Music Tutorial* (pp. 913-1048). MIT Press.
- Rolnick, N. B. (1978). A Composer's Notes on the Development and Implementation of Software for a Digital Synthesizer. *Computer Music Journal*, 2(2), 175-184.
- Sedra, A. S., & Smith, K. C. (2016). *Microelectronic Circuits*. Oxford University Press.
- Shannon, C. E. (1938). A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits. *Transactions American Institute of Electrical Engineers*, 57.
- Shinkosha, S. (1980). 電子展望, 1856(1).
- Shirriff, K. (2013). *Reverse-engineering the Z-80: the silicon for two interesting gates explained*. Retrieved Mars 23, 2025, from <https://www.righto.com/2013/09/understanding-z-80-processor-one-gate.html>
- Shirriff, K. (2017). *Inside the 74181 ALU chip: die photos and reverse engineering*. Retrieved 03 23, 2025, from <https://www.righto.com/2017/01/die-photos-and-reverse-engineering.html>
- Shirriff, K. (2019). *OP Amp on the Moon: Reverse-engineering a hybrid op amp module*. Ken Shirriff's Blog. Accédé le 27 Avril 2025, <https://www.righto.com/2019/02/op-amp-on-moon-reverse-engineering.html>
- Shirriff, K. (2020). *Looking inside a vintage Soviet TTL logic integrated circuit*. Ken Shirriff's blog. Accédé le 27 Avril 2025, <https://www.righto.com/2020/03/looking-inside-vintage-soviet-ttl-logic.html>
- Shirriff, K. (2021). *Germanium transistors: logic circuits in the IBM 1401 computer*. Ken Shirriff's Blog. Accédé le 29 Mai 2025, <https://www.righto.com/2021/03/germanium-transistors-logic-circuits-in.html>

- Shirriff, K. (2021). *Reverse-engineering a vintage comparator chip*. Ken Shirriff's Blog. Accédé le 27 Avril 2025, <https://www.righto.com/2021/04/reverse-engineering-vintage-comparator.html>
- Shirriff, K. (2022). *Reverse-engineering a 1960s cordwood Flip Flop module with X-ray CT scans*. Ken Shirriff's blog. Accédé le 27 Avril 2025, <https://www.righto.com/2022/08/lumafield-flip-flop.html>
- Shirriff, K. (2024). *Reverse engineering CMOS, illustrated with a vintage Soviet counter chip*. Ken Shirriff's Blog. Accédé le 21 Mai 2025, <https://www.righto.com/2024/01/reverse-engineering-cmos.html>
- Snell, J. (1977). High Speed Multiplication. *Computer Music Journal*, 1(1), 38-45.
- Stern, L. (1972). Semiconductors With Muscle. *Motorola Monitor*, 10(1), 5-26.
- Stine, K. (2019). Critical Hardware: The Circuit of Image and Data. *Critical Inquiry*, 45(3), 762-786.
- Toong, H.-M. D. (1977). Microprocessors. *Scientific American*, 237(3), 146-161.
- Trask, S. (1989). The Blueprint of Hiphop. *Music Technology*, 3(9), 34-38.
- Verpeaux, J.-P. (1985). *Technique complète des synthétiseurs: volume 1. volume 2*. MMusicom.
- Volk, A. M., Stoll, P. A., & Metrovich, P. (2001). Recollections of Early Chip Development at Intel. *Intel Technology Journal*, Q1. <https://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/research/2001-vol05-iss-1-in-tel-technology-journal.pdf>
- Walker, R. (1995). Interview with Marcian (Ted) Hoff [Enregistré le 3 Mars 1995. Archive du 31 Octobre 2014]. In *Silicon genesis : oral histories of semiconductor technology*. Los Altos Hills, California, USA. <https://web.archive.org/web/20141031202520/https://web.stanford.edu/dept/SUL/library/prod/depts/hasrg/histsci/silicongenesis/hoff-ntb.html>
- Waser, S. (1979). LSI Arithmetic Devices For Real Time Digital Signal Processing. *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers*, 180, 197-204. <https://doi.org/10.1117/12.957331>
- Weisbecker, J. (1974). A Simplified Microcomputer Architecture. *Computer*, 7(3), 41-47.
- Weisberg, D. (2023). *History of CAD : CALMA*. Retrieved Mars 23, 2025, from <https://www.shapr3d.com/history-of-cad/calma>
- Welling, B. (2007). *Fairchild Oral History Panel: Bipolar Digital Products* [Enregistré le 5 Octobre 2007]. Computer History Museum. <https://www.computerhistory.org/siliconengine/standard-logic-ic-families-introduced/>
- White, P. (1986). The Alesis File. *Home & Studio Recording*. <https://www.muzines.co.uk/articles/the-alesis-file/12861>
- Wood, L. (2012). *Datapoint: The Lost Story of the Texans Who Invented the Personal Computer Revolution*. Hugo House Publishers, Limited.
- Wuttke, J. (2012). The Analog Microphone Interface and its History. *Journal of the Audio Engineering Society*, 60(7773), 735-741.

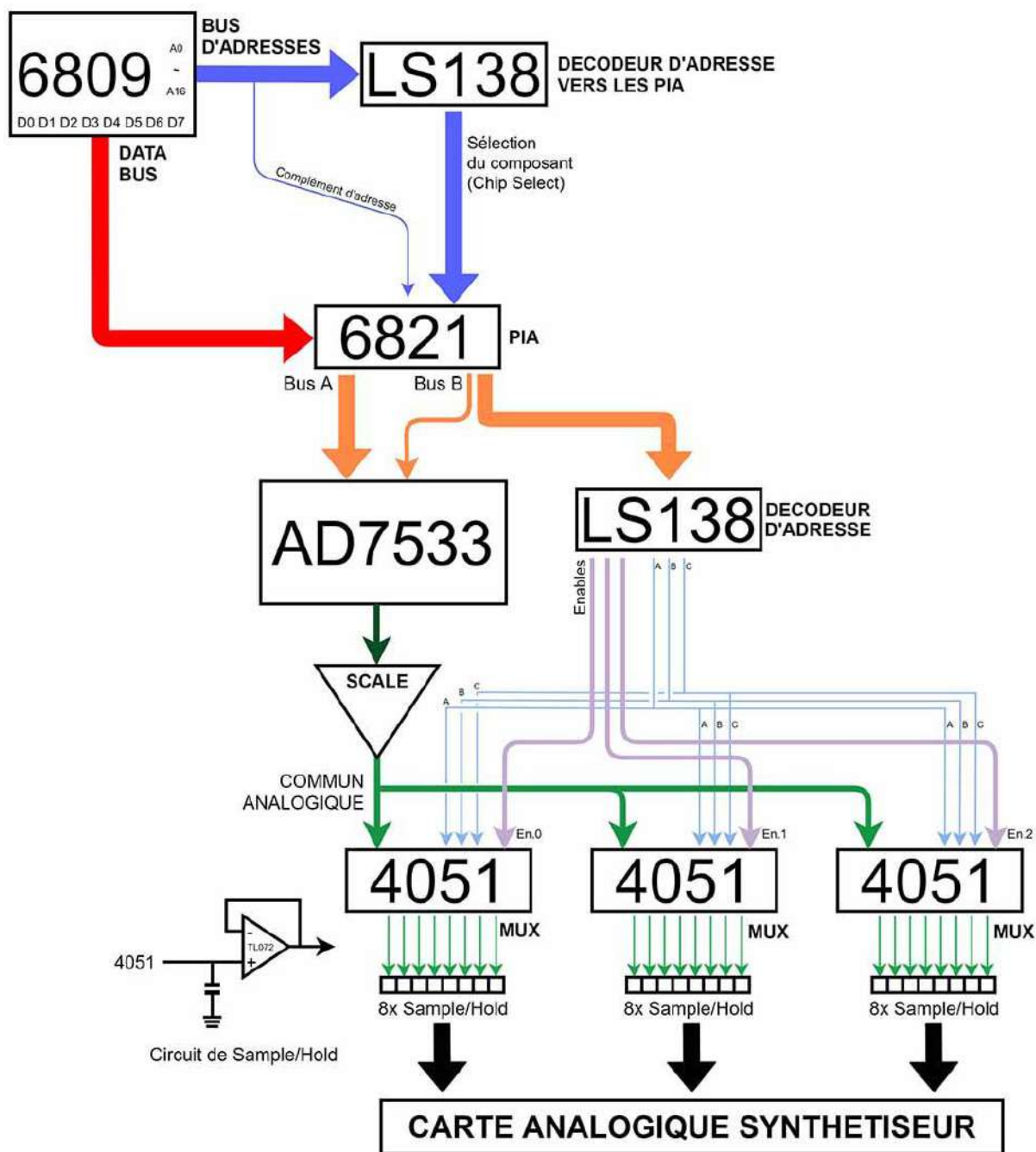
Annexes



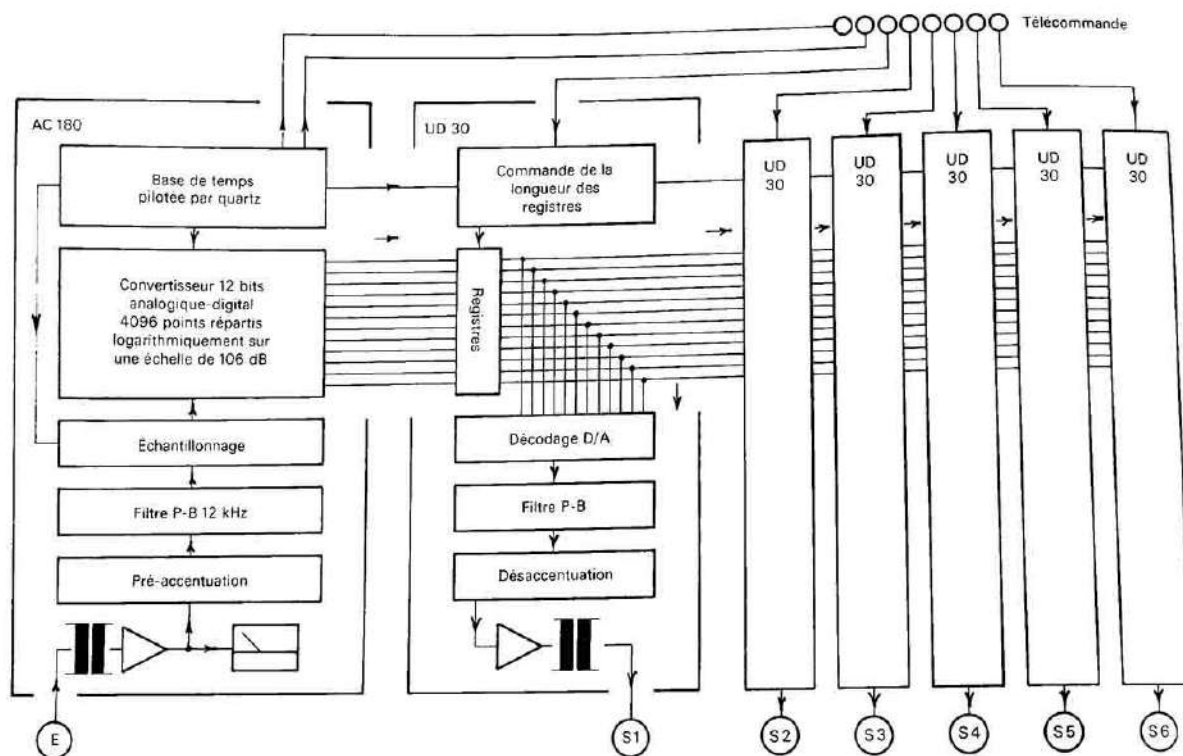
Microprocesseur 4 bits Intel 4004 (1972), incluant 2238 transistors. Schéma signé par F. Faggin.



Contrôle des sections analogiques du Sequential Circuits Prophet 5 (1978)



Contrôle des sections analogiques du RSF Polykobel II (1983)



Synoptique de fonctionnement de l'Ertel UD-180 (Source : Jonathan Prager)

La conversion numérique.

Chaque impulsion se voit attribuer une valeur : 1, 1/2, 1/4, etc. Si toutes les impulsions sont présentes, nous aurons 1,99999999 V

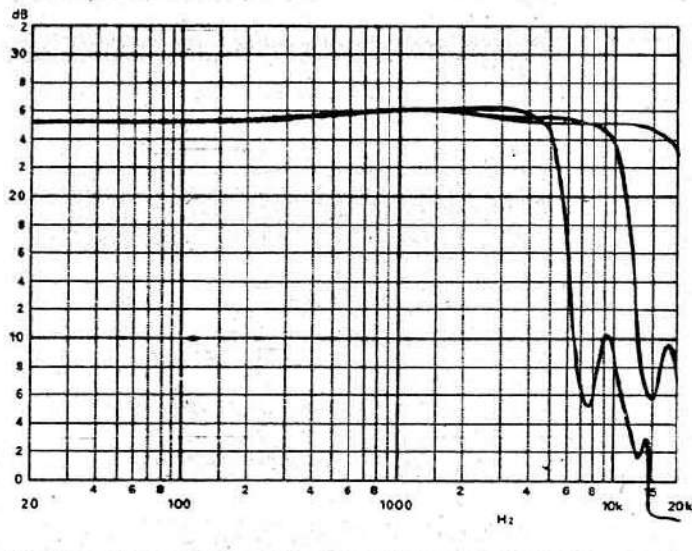
Représentation numérique, chaque impulsion a une valeur. Cette configuration donne la somme des poids de chaque impulsion, ici : $1 + 0 + 0 + 0,125$, c'est-à-dire 0,125 V

on a, échantillonnage, entre a et b, transformation analogique numérique, en b, les impulsions sont là ou absentes, entre b et c se produit une conversion numérique/analogique, nous retrouvons nos échantillons.

Pratiquement, le DHM 89 n'utilise que 13 impulsions associées à un système dit de virgule flottante. Dans ce système, lorsque le signal à traiter devient trop faible devant la valeur d'une impulsion, on remonte le gain de l'amplificateur et une impulsion est ajoutée au code de l'échantillon pour signifier que le gain a été modifié. A la reconstitution du signal, l'apparition de cette impulsion déclenchera une réduction de gain égale à l'augmentation utilisée au moment du codage.

Si on veut stocker un signal à 20 kHz dans la mémoire, pendant 1 seconde, on devra disposer de 40.000 échantillons de 13 impulsions soit 520.000 places, une capacité énorme qui revient assez cher. Sur le DHM 89 B2, la capacité totale de la mémoire est de 212.992 places, nous pourrions disposer d'un retard théorique de 0,4 seconde, pratiquement, le retard disponible ici est de 0,3 seconde, le constructeur utilise une fréquence d'échantillonnage supérieure pour disposer d'un signal de meilleure qualité.

Courbe de réponse du DHM 89 B2 pour les bandes passantes 5, 10 et 15 kHz.



Description erronée du convertisseur 12 bits du DHM89B2 (annoncé 13 bits)

“Nous pouvons disposer d'un retard théorique de 0.4 seconde, pratiquement le retard disponible ici est de 0.3 seconde” : il s'agit bien d'une erreur de calcul!

En réalité, ce treizième bit n'était pas associé à la conversion du signal à proprement parler mais servait à indiquer le changement de signe de phase au Phase-Tracking Computer, d'après Jonathan Prager. (Disc International, Septembre 1979)

1162456

ARTICLES OF INCORPORATION
OF

PUBLISON AMERICA, INC.

**ENDORSED
FILED**

In the office of the Secretary of State
of the State of California

NOV 15 1982

MARCH FONG EU, Secretary of State
Carmelle M. Guy
Deputy

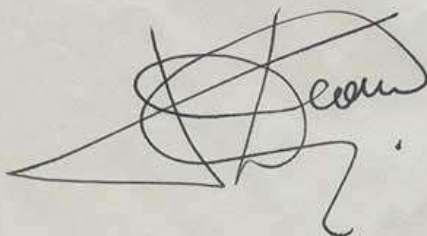
- ONE : The name of this Corporation is
PUBLISON AMERICA, INC.
- TWO : The purpose of this Corporation is to
engage in any lawful act or activity for which
a Corporation may be organized under the General
Corporation Law of California other than banking
business, the trust company business, or the
practice of a profession permitted to be
incorporated by the California Corporations
Code.
- THREE : The name and address is this State of
this Corporations's initial Agent for Service
of Process is Garry Hamud, 6404 Wilshire Boule-
vard, Suite 500, Los Angeles, California 90048.
- FOUR : This Corporations is authorized to issue
only one (1) class of shares, which shall be
designated "common" shares. The total authorized
number of such shares which may be issued
is one-thousand (1,000) shares.
- FIVE : This Corporation is a close corporation. The
issued shares of this Corporation of all classes
shall be held of record by not more than ten
(10) persons, in accordance with the California
Corporations Code, as it now exists, and may
hereinafter be amended or superceded.
- SIX : The name and address of the person who is
to act in the capacity of Director until the
selection of their successor is:

NAME

ADDRESS

PETER DEAN

6464 Sunset Boulevard,
Suite 980
Hollywood, CA 90028



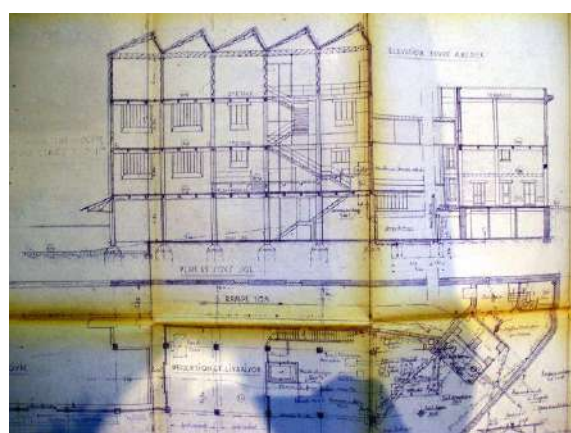
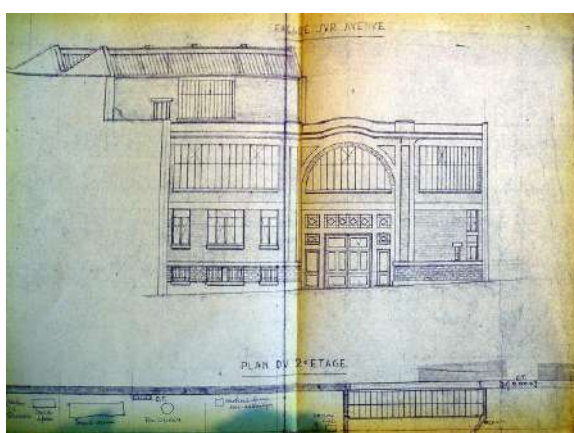
Ouverture du bureau Publison America sur le Sunset Boulevard, Hollywood.

Compléments d'informations sur le site Publison à Bagnolet

Le virage industriel amorcé par Publison avec l'Infernal Machine IM90 fut rendu possible par l'acquisition d'un site dédié à une production à grande échelle. Jusqu'alors, les machines étaient conçues et assemblées rue Crespin du Gast (Paris 11), au sein de chambres réaménagées pour l'usage (voir p. 52 et 57).

À la recherche d'un site financièrement accessible, le couple Dean se voit proposer à l'été 1982 par la mairie de Bagnolet la friche du 18 avenue de la République.

Cette adresse correspond à l'ancienne Manufacture de Guidons Parisienne, édifiée à la fin des années 1920 et mise en activité en 1931 (Laborde et al., 2006).



Plans du site originel, années 1920. Photos : Antoine Furio



Construction de trois "Sheds", toiture à redents caractéristique des usines, 1973.
Source : Camille Herzmann, Le Sample.

Le site fit l'objet d'une transformation en profondeur dans les années 1970, avec l'adjonction d'un bâtiment en béton. Cet ensemble devint par la suite les locaux de Publison, totalisant 700 m² de surface construite sur un terrain de 3 000 m².

Le lieu a par la suite été réaménagé afin d'intégrer, en plus des ateliers, un showroom et une salle de mixage, l'ensemble bénéficiant d'un traitement acoustique spécifique. Une grande partie de ces aménagements est encore visible aujourd'hui et a été reprise dans le cadre du projet associatif Le Sample, tiers-lieu culturel dédié à la création audiovisuelle et plastique, rassemblant près de 90 résidents en 2025. Ces photographies d'état des lieux (Novembre 2019) furent transmises par Camille Herzmann, chargée de production et de programmation au Sample.



Bureau de Philippe Petitdemange



Atelier des câbleurs



Cabine de mixage attenante au showroom, aux murs optimisés pour l'acoustique



Les photos suivantes furent prises lors de ma visite du site, le 19 Décembre 2025 :



Le bâtiment, 18 avenue de la République à Bagnole. Camille Herzmann sur la photo à droite.



Showroom, encore utilisé aujourd'hui



Extension du bâtiment construite en 1973



Ancienne salle 'chimique' : c'est ici que des techniciens moulaient des cartes électroniques dans des résines époxy, comme on en retrouvait dans le Fullmost, ou encore l'Infernal Machine (voir p. 109). C'est aujourd'hui la cuisine de l'équipe du Sample.

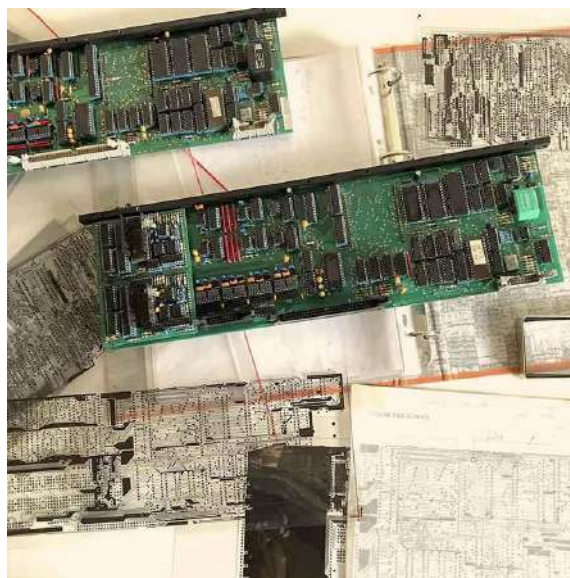


Quelques vestiges sur place

Compléments sur l'Infernal Machine IM90



Calques originaux de l'IM-90, témoignant d'une meilleure organisation au sein de l'équipe de développement, comparé à l'époque du DHM (source : Jonathan Prager)



Cartes CPU avec leurs typons associés (Source : Jonathan Prager)



Interface de l'Infernal Machine, non sans une certaine 'âme' par l'utilisation du pronom "I" (je) dans les menus de la machine



Carte DSP intégrant 64 des 128 circuits de RAM (Source : Jonathan Prager)

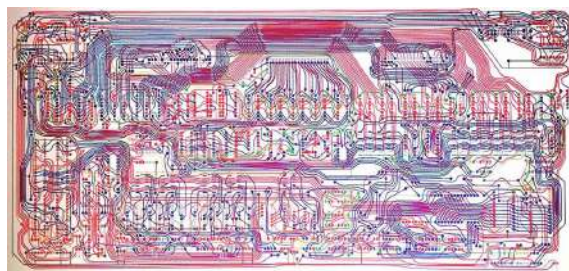


EPROMS du CPU moulées dans l'IM90. (Source : Jonathan Prager)

Compléments sur le KB 2000



Un KB 2000 dans les mains de Jonathan Prager



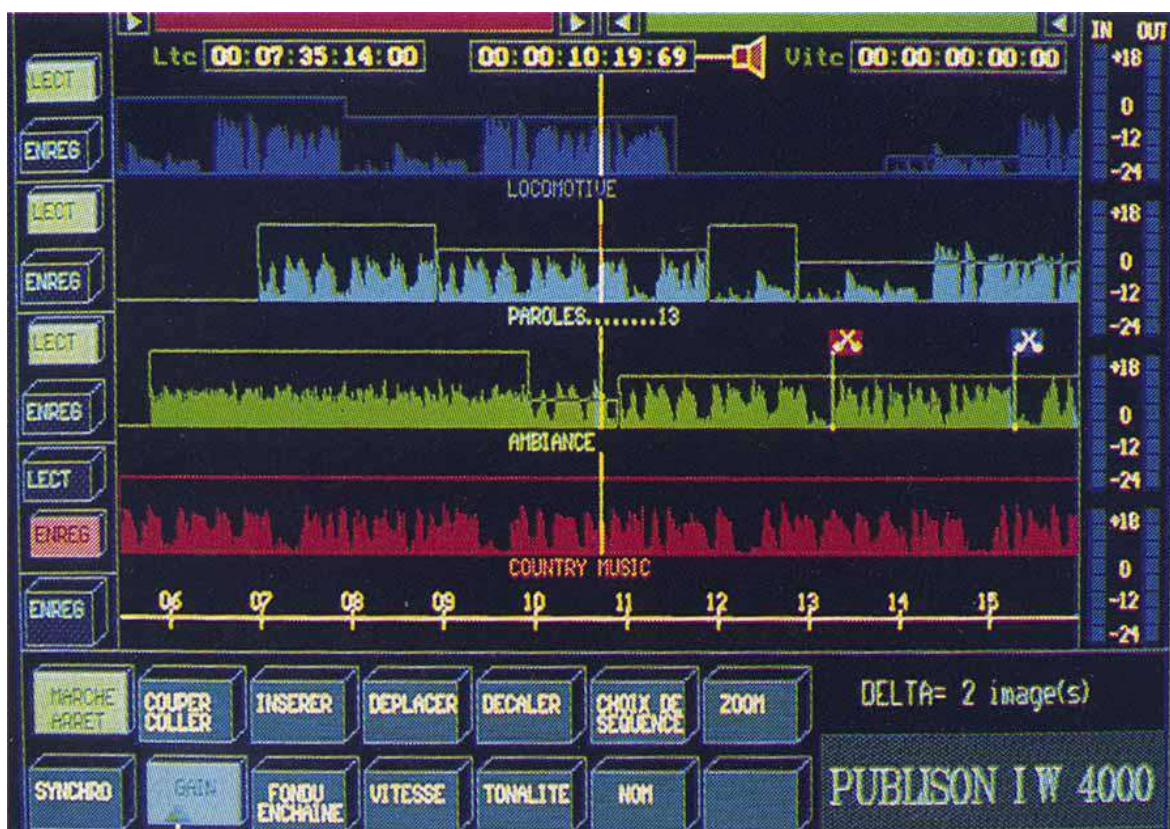
PCB du KB 2000, toutes versions cumulées
(source : Jonathan Prager)



Détail de la façade, fonction 'synchro'



Brochure commerciale du KB-2000, distribuée lors des salons en 1980



Fenêtres d'édition de la Publison Infernal Workstation 4000 (vers 1991)



Peter Dean et Daniel Boisvin, informaticien à Publison.
Dubbing Brothers, Janvier 2007. Source : Rosine Petitdemange.

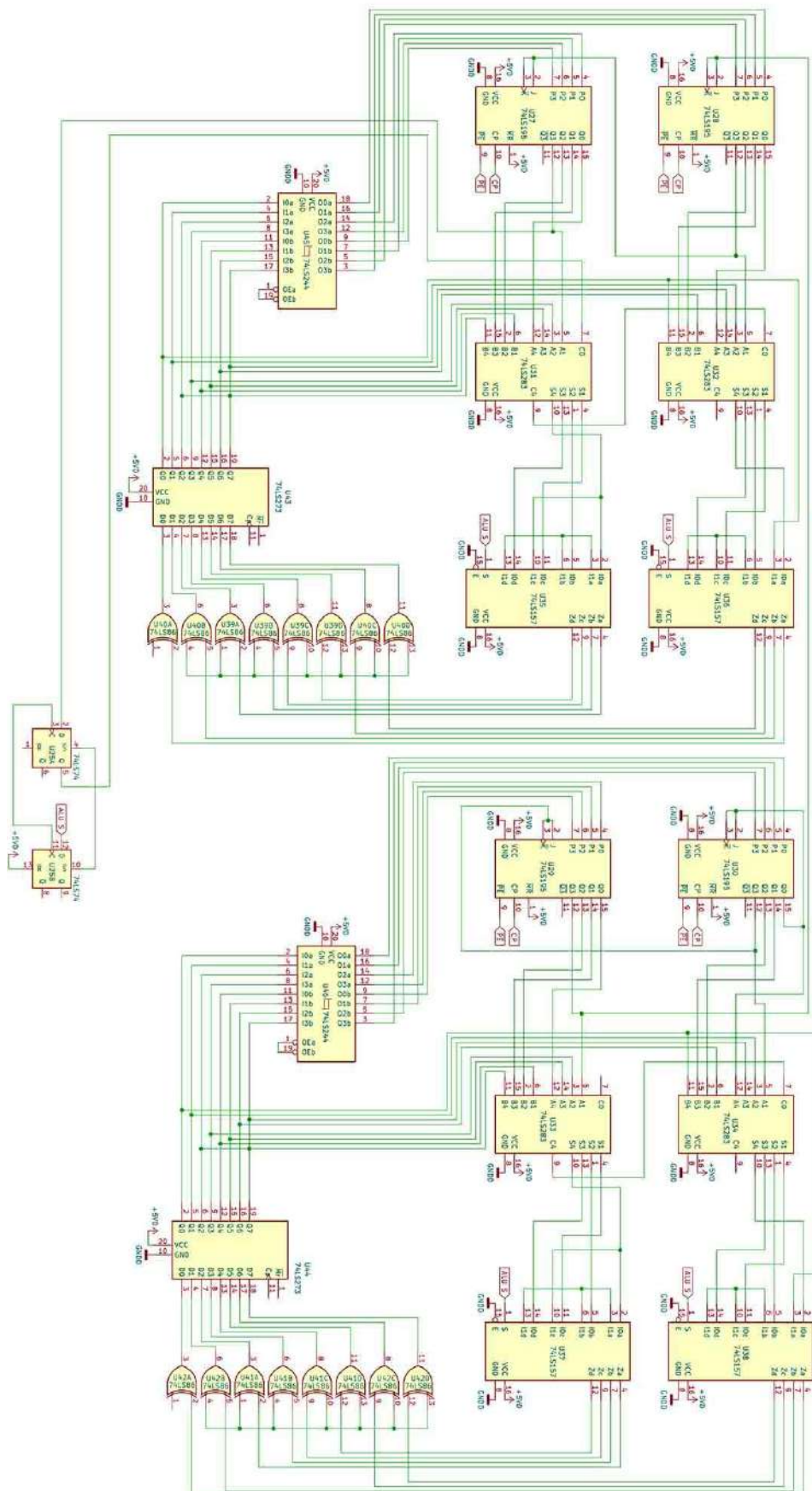
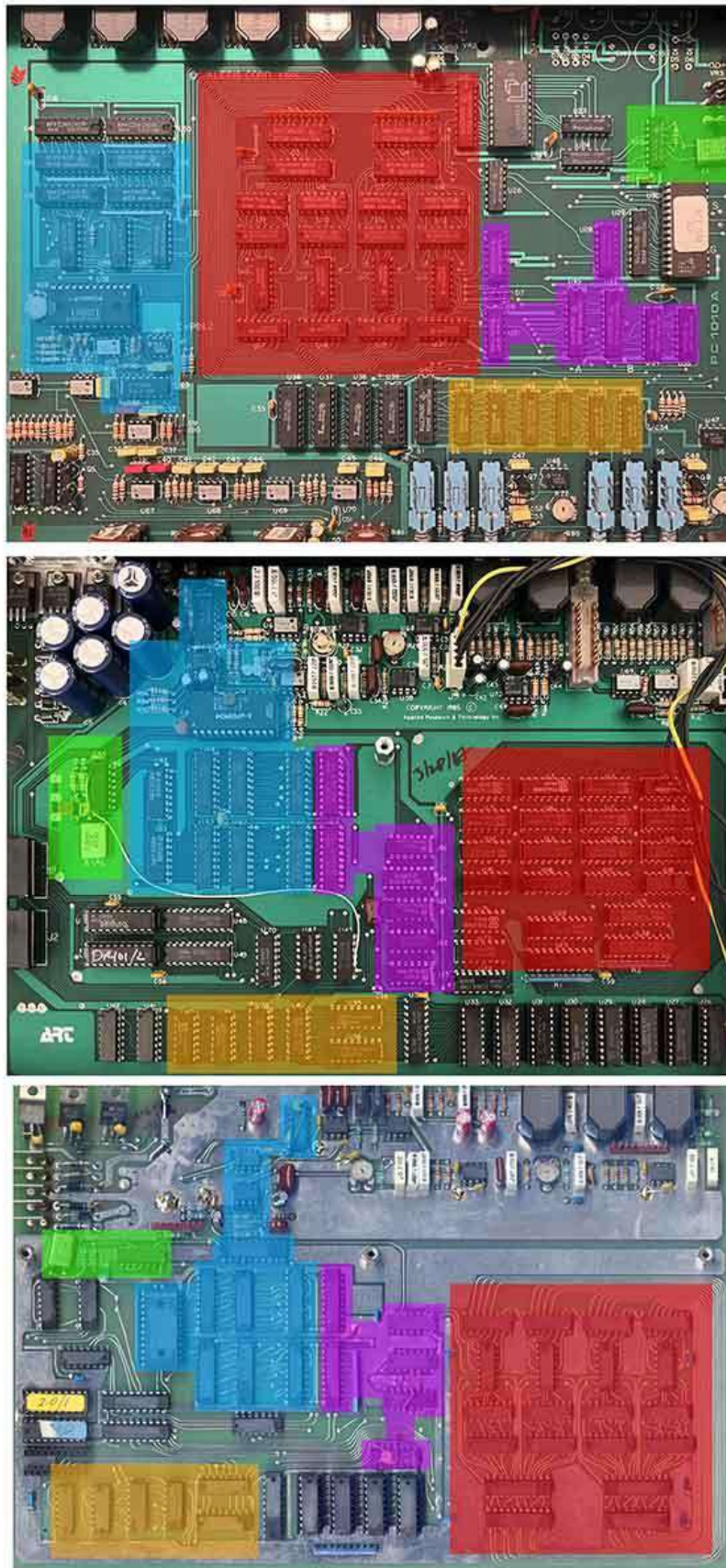


Schéma de l'ALU au sein de la MXR 01. La mise en page n'est actuellement ni optimale ni complète.



Comparaison entre l'Alesis XTC (haut), l'ART DR1 (milieu) et la MXR 01 (bas)