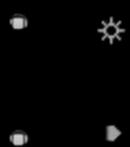


Tout savoir sur les DAC



USB audio

DSD128

-29.5
dB

01000001000 011100 001
0001001000011

**Des 0 et des 1,
mais pas seulement**



Digital (to) Analog Converter



Tout savoir sur les DAC

Qu'est ce qu'un DAC ?

DAC : les différents défis techniques

- Le jitter
- Environnement magnétique et électrique
- Interface numérique et analogique

La conversion : modulation et DAC

- PCM et DSD
- Les 3 familles de DAC

A chacun sa méthode

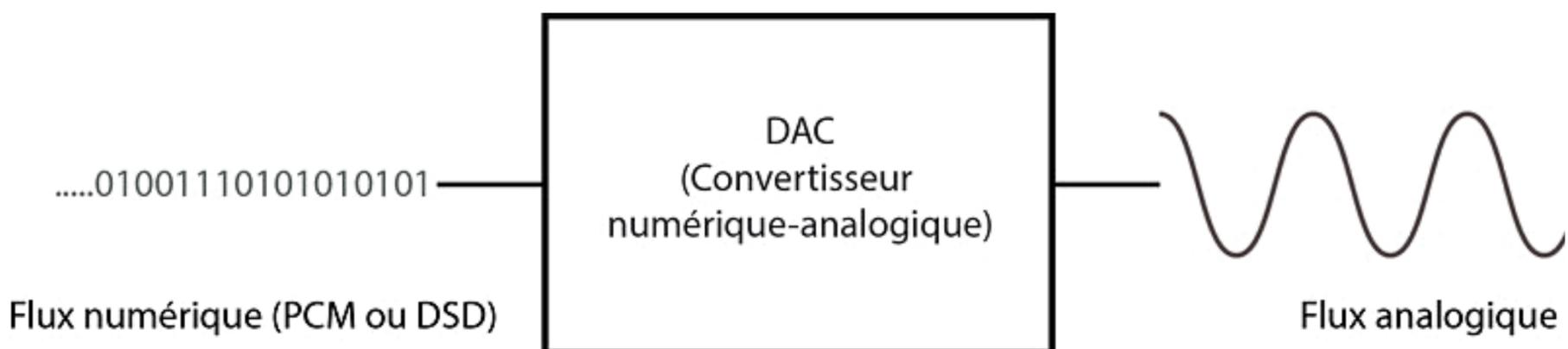
- Les puces intégrées
- Puces maison et FPGA
- Les derniers mohicans

Des 0 et des 1, mais pas seulement

Qu'est ce qu'un DAC ?

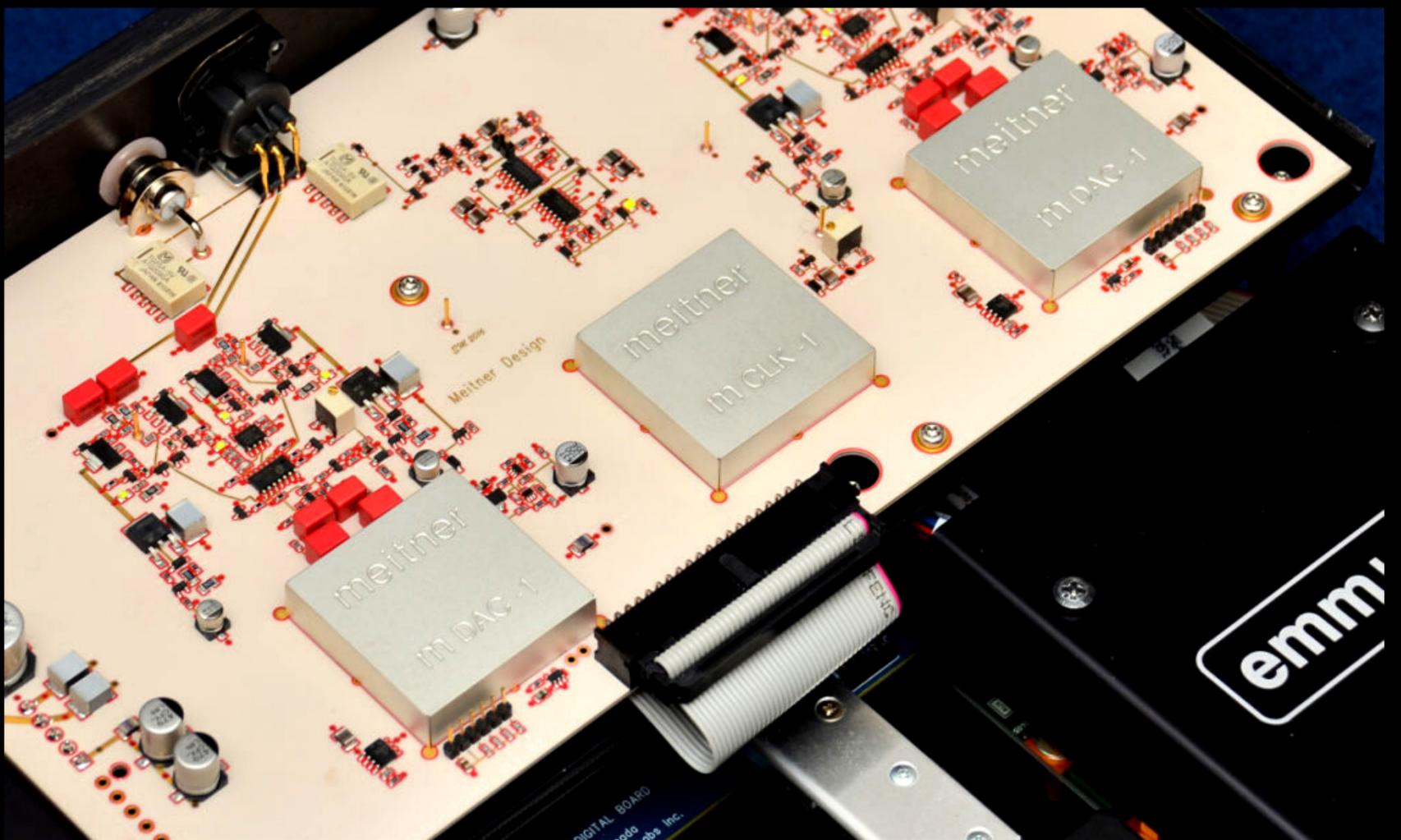
Le DAC, acronyme anglais de Digital to Analog Converter, est comme son nom l'indique un convertisseur permettant de passer d'un flux audio numérique à un signal analogique. Le terme est double, puisqu'un DAC peut à la fois désigner le produit affecté à cette tâche, mais aussi la puce de conversion seule.

La puce, qui se synchronise à la cadence d'une horloge, convertit chaque échantillon du flux en une tension ou une intensité. La succession de ces conversions donne, une fois filtrée (filtre passe-bas), un signal analogique exploitable. Ce signal est ensuite dirigé vers un étage de sortie, par une connectique RCA ou XLR, pour un raccordement sur un amplificateur, qui lui-même est connecté à des enceintes acoustiques.



**On s'en doute, ce
fonctionnement est bien
plus complexe lorsque
nous rentrons dans les
détails.**

DAC : les différents défis techniques



Avant même d'évoquer les différents genres de DAC audio, il faut mettre en lumière les facteurs externes qui vont tous, à leur échelle, influencer la fidélité et la musicalité..

Le jitter



Le jitter (gigue numérique) est sans doute le plus connu des phénomènes, bien qu'il soit de mieux en mieux géré dans les DAC modernes.

Le jitter représente une fluctuation du signal, qui a tendance à être légèrement en avance et en retard par rapport à l'horloge. Cette imprécision se traduit, une fois le signal converti, par du bruit de fond aléatoire, voire par des coupures et clics audibles dans certains cas extrêmes. Le jitter peut venir de l'interface numérique, mais également du DAC en lui-même.

Le jitter

Un DAC haut de gamme doit être capable de deux choses.

Premièrement, annihiler le jitter venant de l'interface numérique. Cela est possible grâce à des montages appelés PLL (boucle à verrouillage de phase), régénérant le signal d'horloge en prenant en compte la phase du signal entrant, ce qui permet d'annuler les glissements de phase avant l'entrée dans le DAC.

Deuxièmement, il faut intégrer un circuit d'horloge performant : précis, mais surtout stable. Une horloge peut tout à fait être précise sur le papier, mais être incapable de générer un signal stable dans le temps.

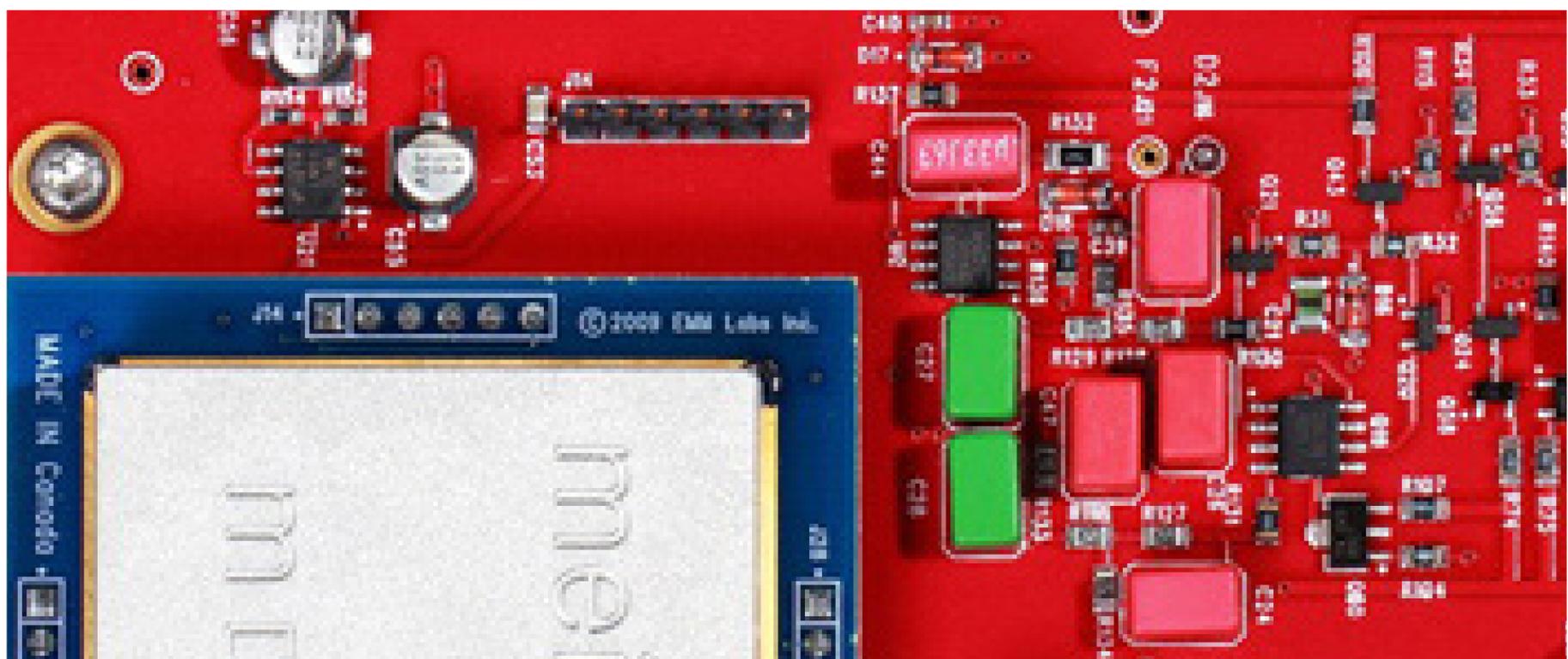


Environnement magnétique et électrique

Un DAC dans son ensemble est soumis aux perturbations externes et à la qualité de son alimentation, autant de facteurs qui peuvent se traduire par de la distorsion dans le signal, du bruit, ou une moins bonne séparation des canaux.

Les bons concepteurs de DAC soignent l'alimentation, qui doit être stable (capable de ne pas être perturbée par l'imprécision du signal secteur 220 V/ 50 Hz) et dimensionnée par rapport aux besoins du produit.

De même, la protection électrique (notamment les surtensions) et magnétique (blindage) des différents circuits est un point à ne pas négliger.



Interface numérique et analogique

Avant même son entrée dans le DAC, un flux numérique est géré au sein d'une interface, qui peut accueillir plusieurs standards, représentés par différentes connectiques : USB-A et USB-C, SPDIF (prise RCA ou BNC), Toslink (optique), AES/EBU (prise XLR), I²S (mini-HDMI et HDMI), ou encore HDMI ARC et eARC.

Mis à part quelques raretés, ces prises constituent l'ensemble de ce que l'on peut retrouver en matière d'entrée audio numérique.



Certains de ces standards sont plus sujets aux perturbations et au jitter que les autres, notamment le SPDIF. C'est pourquoi le positionnement des connectiques les unes par rapport aux autres et leurs isolations respectives doivent être parfaitement pensés par le concepteur du DAC.

A l'opposé, l'étage de sortie, en analogique, doit transmettre le signal converti par le DAC vers une interface de sortie, en RCA ou en XLR, en générant le moins de perturbation possible.

La conversion modulation et DAC

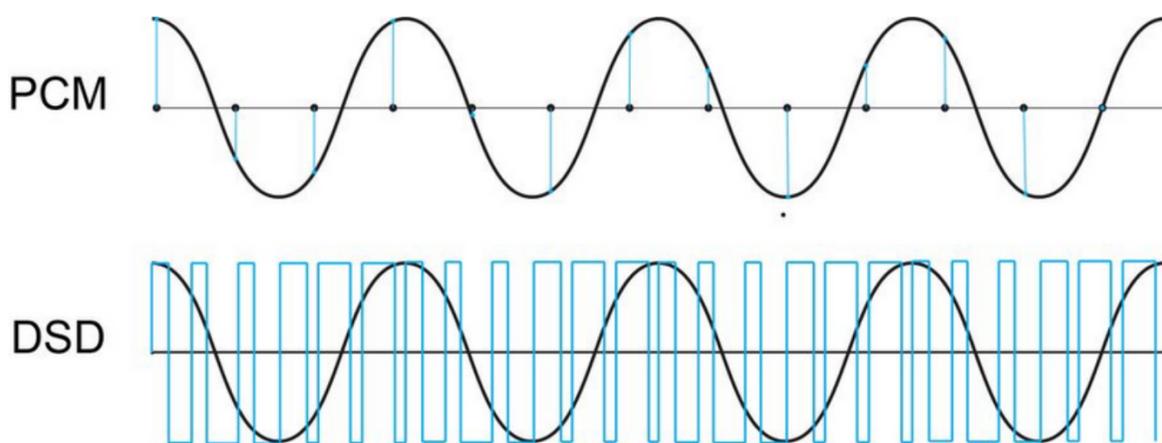
DSD et PCM

Il existe seulement deux grands types de codage/modulation numérique, le PCM et le DSD.

Tous les types de fichiers et conteneurs musicaux existants, du plus simple au plus complexe, adoptent l'un de ces deux codages comme base.

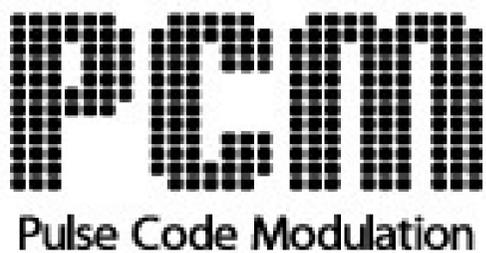
Le PCM est un codage multibits, généralement 16 ou 24 bits (le nombre définit la dynamique).

Le DSD repose sur une modulation delta-sigma du signal analogique, avec un très fort suréchantillonnage afin de repousser le bruit de quantification hors des fréquences utiles. Une fois cette modulation effectuée, le signal est facilement codé sur un 1 bit.



Deux approches de la musique numérique, l'une tire sa dynamique du nombre de bits, l'autre sa fréquence d'échantillonnage

DSD et PCM



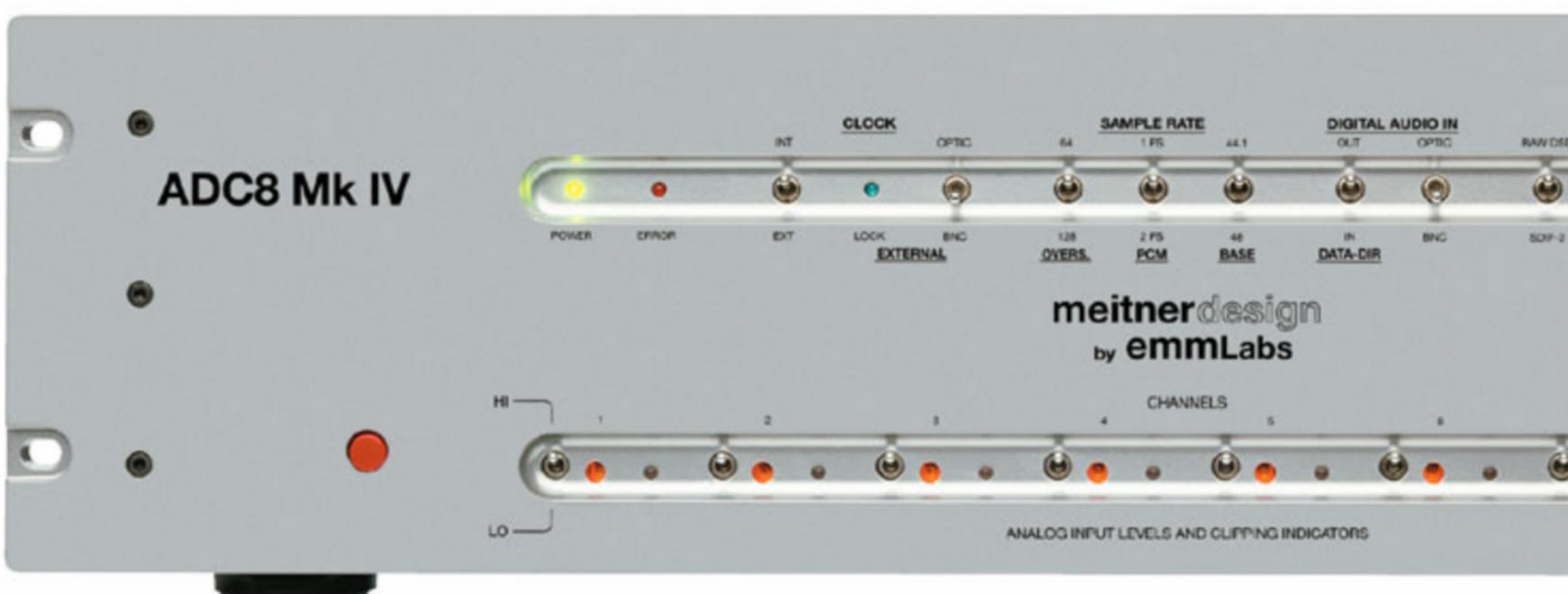
Les deux modulation ont des avantages et des défauts :

Le PCM est très simple à manipuler, c'est à dire parfait pour le mixage et les traitements de type DSP.

En revanche, c'est un format plus difficile à convertir de manière native (multibits)

Le DSD permet de concevoir des DAC/ADC beaucoup moins coûteux et plus précis que les DAC multibits.

Par contre, il est impossible à travailler et à mixer directement



Les 3 familles de DAC

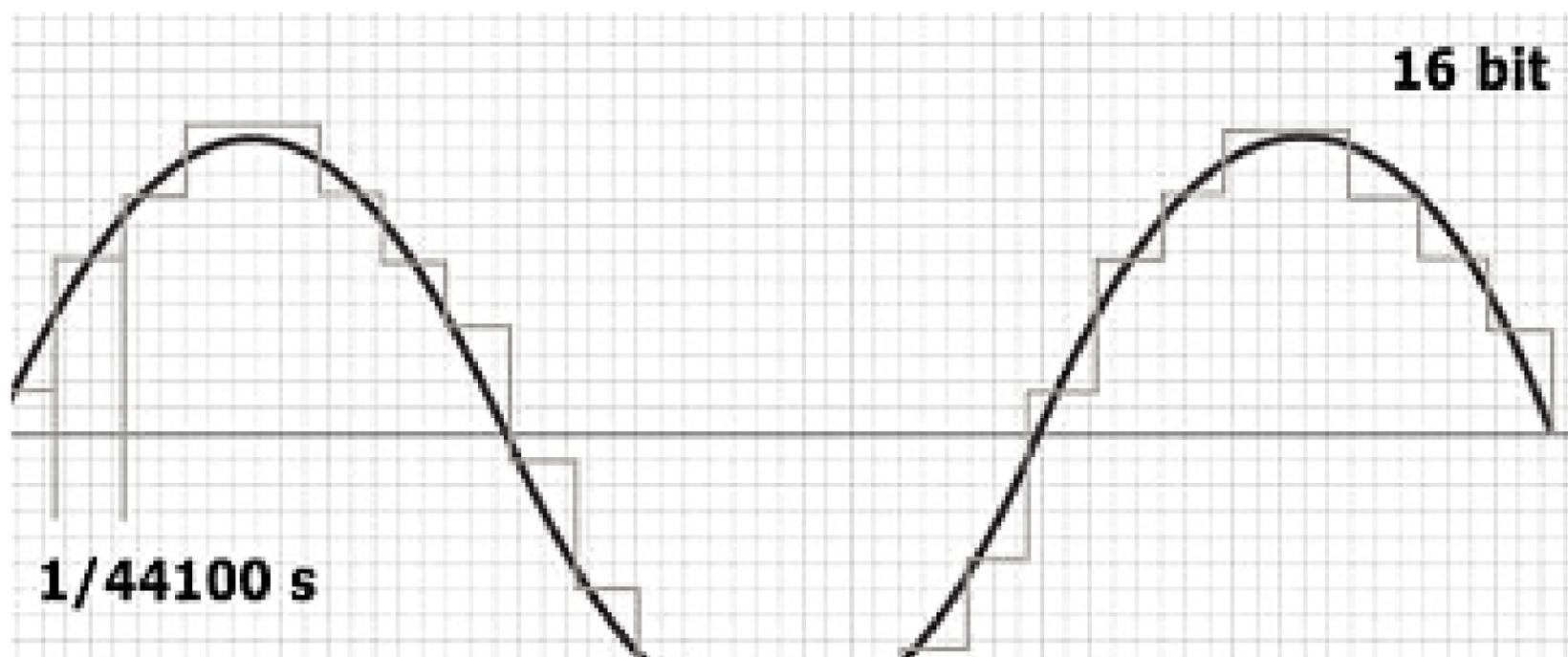
Lorsque nous parlons de puces de conversion, difficile d'être englobant tant les technologies, méthodes et petits traitements propriétaires cohabitent.

On peut néanmoins dégager trois grandes familles de DAC : R2R, delta-sigma, et DAC DSD.

Le premier, le plus ancien également, est le seul fonctionnant réellement en multibits.

Adapté au PCM, il se compose de plusieurs échelons de résistances, chaque échelon étant associé à un des 16 ou 24 bits du flux PCM à convertir.

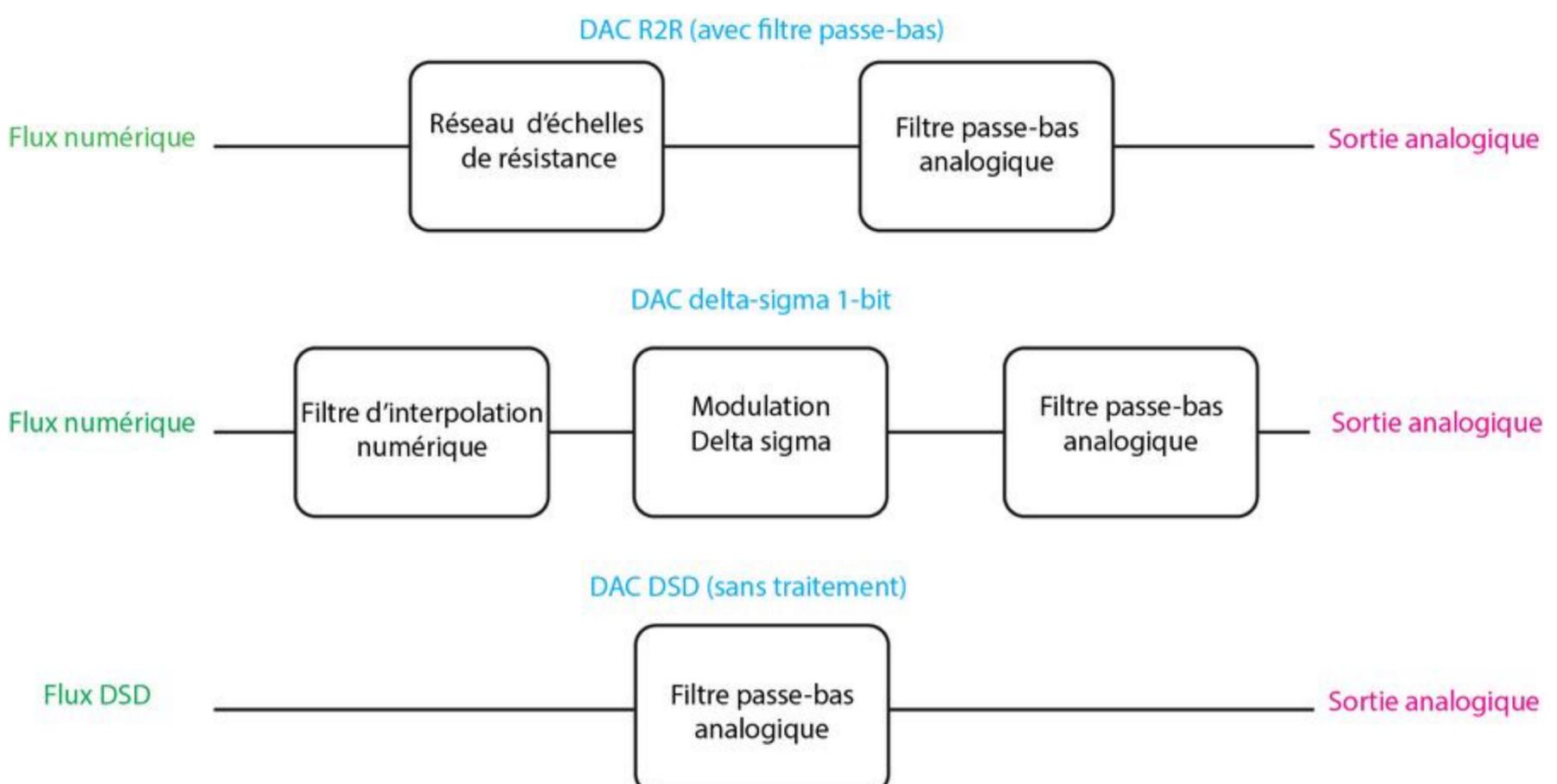
Très simple dans son principe, ce DAC se heurte rapidement aux exigences de son architecture, comme la tolérance infime demandée aux résistances.



Les 3 familles de DAC

Les DAC de conversion DSD sont encore plus simples, puisqu'un unique filtrage analogique passe-bas est suffisant.

Quelques traitements sont souvent implémentés, comme le suréchantillonnage (passage du DSD64 à du DSD256 par exemple), afin d'atténuer encore le bruit de quantification.



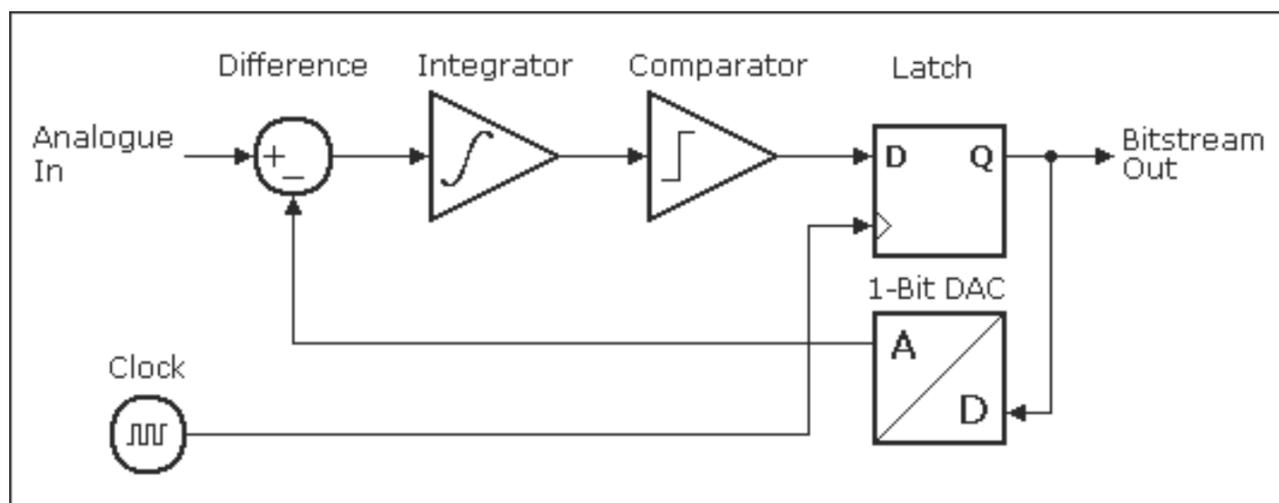
Les 3 familles de DAC

Le DAC delta-sigma, ultra-dominateur sur le marché à l'heure actuelle, module le signal PCM en un signal delta-sigma (semblable au DSD donc), puis le convertit assez simplement via un filtrage passe-bas.

Ce type de DAC est plus efficace à prix équivalent qu'un R2R, car ne demande pas la même tolérance des composants.

Il est toutefois un peu plus sensible au jitter.

A la croisée des deux premiers, il prend généralement en charge le DSD en natif.



Néanmoins, la majorité écrasante des Dac delta-sigma convertissent d'abord le DSD en signal multibits (PCM), afin de procéder à des traitements sonores.

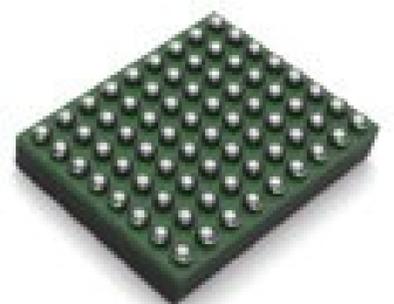
A chacun sa méthode

A partir des trois familles "généralistes",
de très nombreuses architectures
émergent, toutes avec leur spécificités.

Les puces intégrées

Genre le plus répandu dans l'industrie, les DAC intégrés sur des puces constituent la solution la plus simple pour les constructeurs.

De grands fondeurs comme ESS, AKM, ou Wolfson, monopolisent le marché avec des références très majoritairement de type delta-sigma.



Les puces intégrées

Ces puces sont un véritable terrain d'expérimentation pour le traitement audio, puisque le principe de modulation delta-sigma + conversion n'est qu'une base.

De nombreuses techniques d'améliorations sonores existent et évoluent depuis des années, en particulier autour de la dynamique et de la réduction des distorsions.

Certaines puces modernes assez complexes sont mêmes des "delta-sigma multibits", elles modulent le PCM et le DSD en des flux suréchantillonnés de quelques bits (4 ou 8 par exemple), qu'elles convertissent à la manière d'un DAC R2R en sortie.

Les puces intégrées

A la marge du delta-sigma, une niche subsiste encore autour de la technologie purement R2R. Des modèles de chez Burr-brown et Hifiman (puces Himalaya) perpétuent cette tradition sur des éléments tout intégrés.

Aidés par des technologies de traitements modernes, ces puces n'ont rien à envier aux références delta-sigma en termes de qualités techniques.

Puces maison et FPGA

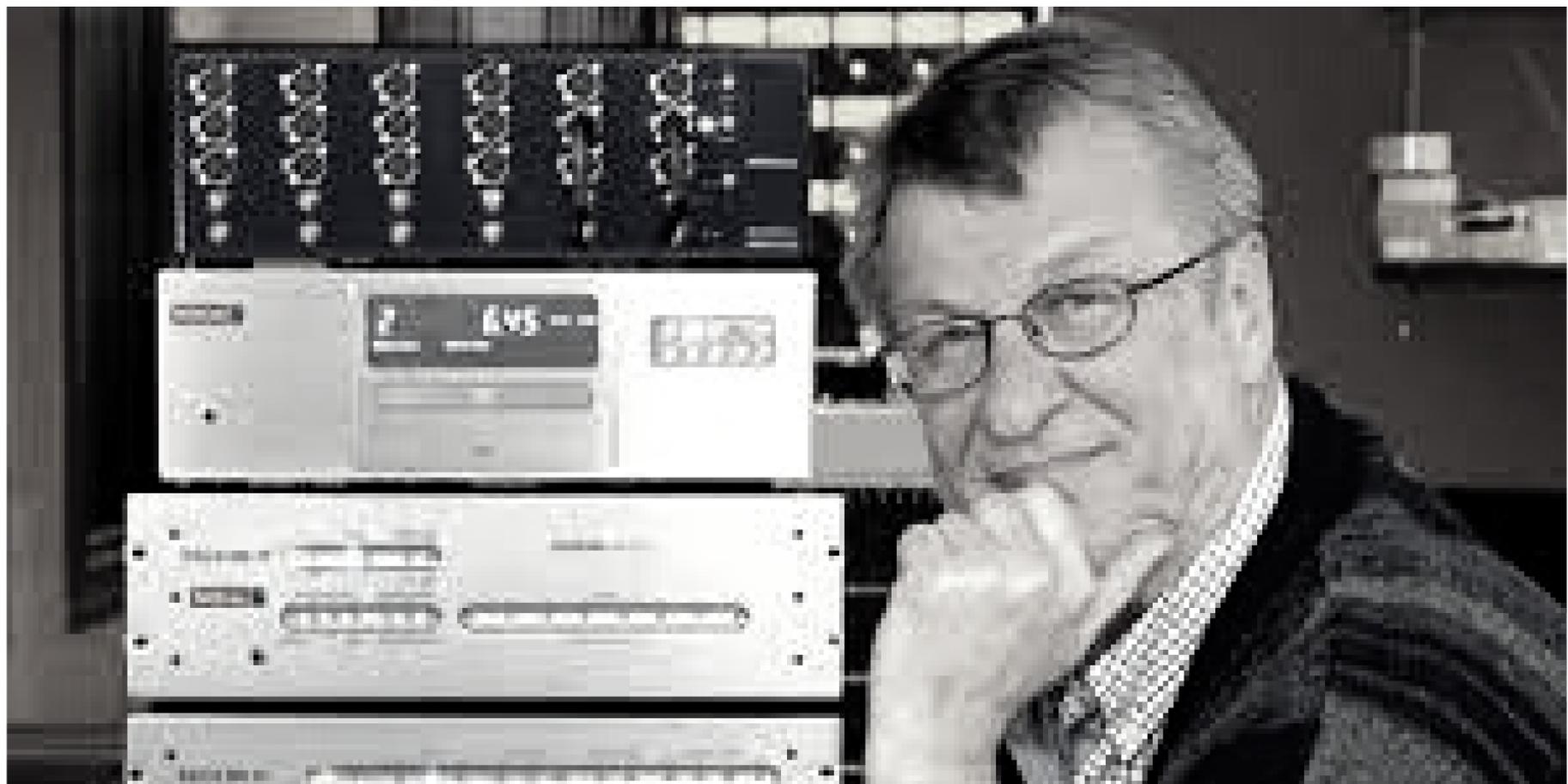
En dehors de ces puces presque prêtes à l'emploi, bien des marques rêvent d'un contrôle absolu sur l'architecture de conversion.

C'est dans cette optique que des constructeurs développent (ou font développer) des puces spécifiques.

Chaque traitement, chaque étage est ici conçu selon la vision du constructeur, qui peut se permettre des choses originales.

Ed Meitner est par exemple l'une des seules marques proposant une puce avec un vrai décodage du DSD, sans conversion PCM en amont.

Bien qu'une telle création soit la solution ultime, elle reste destinée à des acteurs spécialisés.



Puces maison et FPGA

Un principe plus simple mais plus pragmatique est la puce FPGA.

Composée de nombreuses portes logiques programmables, elle peut simuler le comportement de n'importe quelle DAC delta-sigma et/ou DSD, voire de DAC R2R performants.

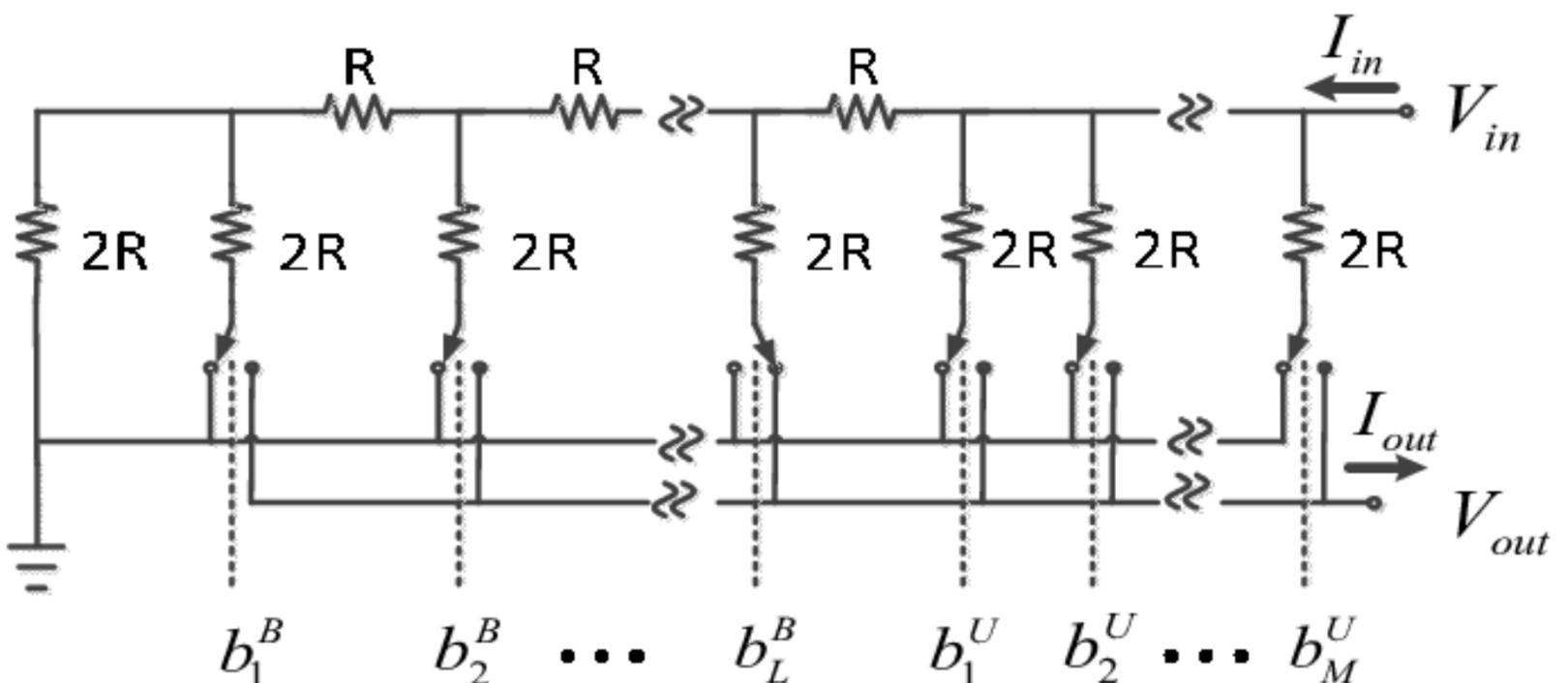
N'importe quelle opération de réduction de bruit, de suréchantillonnage, ou encore de filtrage, est alors possible.



Les derniers mohicans

Enfin, on ne peut occulter les quelques fabricants refusant l'idée même de puce de conversion.

Ici, tout est affaire de DAC R2R, qui plus est bâtis à l'ancienne, c'est-à-dire avec un réseau de résistances et de composants discrets.



**Des 0 et des 1, mais pas
seulement**

La musicalité des DAC

Si un flux numérique ne se compose effectivement que de 0 et 1, qu'il faut transmettre de manière parfaite, un DAC possède sa propre interprétation du signal analogique idéal.

Tout a un impact dans la sonorité d'un DAC : l'alimentation, la qualité des circuits numériques et analogiques, la puce de conversion et ses réglages (traitements numérique, suréchantillonnage, filtrage), mais également l'architecture des étages de sortie (analogique), qui peuvent ou non être associés à un système d'atténuation (réglage du volume) voire à une préamplification.

Tous ces facteurs font que les DAC possèdent tous, de manière plus ou moins marquée, leur personnalité sonore.



MERCI D'AVOIR LU NOTRE GUIDE



Fusion
Acoustic