

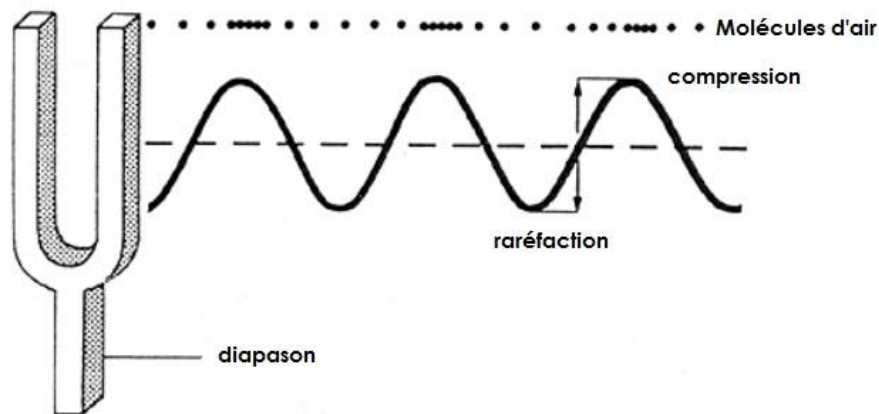


Sonorisation de concerts

PART I : Fondamentaux

INTRODUCTION

Une onde sonore est une perturbation du milieu ambiant créée par un choc. Les molécules constituant le milieu (air, eau, métal) se compressent entre elles ce qui provoque des zones d'excès et des zones de creux. De proche en proche cette perturbation se propage. Lorsque l'énergie devient insuffisante, la propagation s'arrête.



La représentation s'apparente à une sinusoïde dont l'amplitude (le niveau) va diminuer au fil du temps.

Le son est une onde mécanique, sa vitesse de propagation varie en fonction du milieu : plus les molécules constituant le milieu sont éloignées les unes des autres, plus la propagation est lente.

Ainsi, la vitesse du son dans l'air à 20°C est de 340 m/s, tandis qu'elle est de 1500 m/s dans l'eau. Dans le diamant, le matériau le plus dense, le son se propage à 20 000 m/s.

Les indiens écoutaient les rails des trains, le son propagé dans le métal arrivait jusqu'à eux bien avant celui propagé dans l'air ce qui leur laissait le temps de s'organiser pour attaquer le fourgon.

PART I : Fondamentaux

Comme nous écoutons principalement du son propagé dans l'air, nous allons nous concentrer sur l'étude de la chaîne audio pour des ondes sonores dans l'air dont la vitesse de propagation sera considérée à 340 m/s, ce qui est une approche réaliste et suffisante.

TRANSDUCTEUR

Pour capter du son, nous allons utiliser des membranes, surfaces fines et légères qui vont vibrer au rythme de l'onde sonore. Le microphone aura pour rôle de transformer ces mouvements de membrane en signal électrique. Le microphone est un transducteur mécano-électrique.

A l'autre bout de la chaîne, le haut-parleur doté lui aussi d'une membrane, jouera le rôle de transducteur électro-mécanique en faisant vibrer la membrane au rythme des signaux électriques qu'il reçoit créant ainsi des perturbations d'air qui vont se propager.



D'une manière générale, un transducteur est un dispositif qui transforme une grandeur physique en une autre grandeur physique (comme un panneau photovoltaïque, une dynamo de vélo etc...)

Différents transducteurs :

- Pour les microphones on trouvera principalement les microphones dynamiques et les microphones statiques
- Pour les haut-parleurs, et surtout pour de la diffusion de concert, de conférence ou public address, la technologie sera celle des haut-parleurs dynamiques bien qu'il existe des haut-parleurs statiques dans le domaine de la haute-fidélité

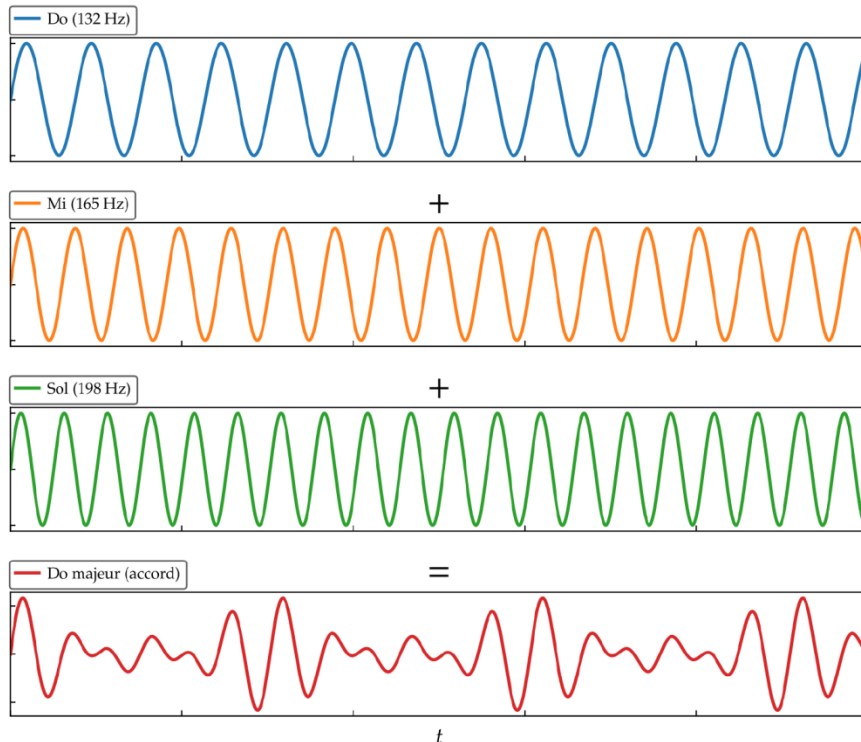
PART I : Fondamentaux

SIGNAL AUDIO

Un mouvement d'air régulier engendre un débattement de membrane régulier qui crée un signal électrique correspondant à une sinusoïde pure. Le nombre de battements par seconde constitue la **fréquence** du signal exprimée en Hz.

Ainsi, reproduire une fréquence de 880 Hz consiste à faire bouger une membrane de haut parleur 880 fois pendant une seconde.

Exemple de trois fréquences pures donnant un accord de do majeur



On constate que le signal résultant (en rouge) ne correspond pas à une sinusoïde pure. Toutefois, nous allons pouvoir raisonner en termes de sinusoïdes pures

Théorème de Fourier

Toute grandeur périodique de fréquence f est constituée d'une somme infinie de fonctions f , $2f$, $3f$, $4f$ etc... nommées harmoniques du niveau fondamental.

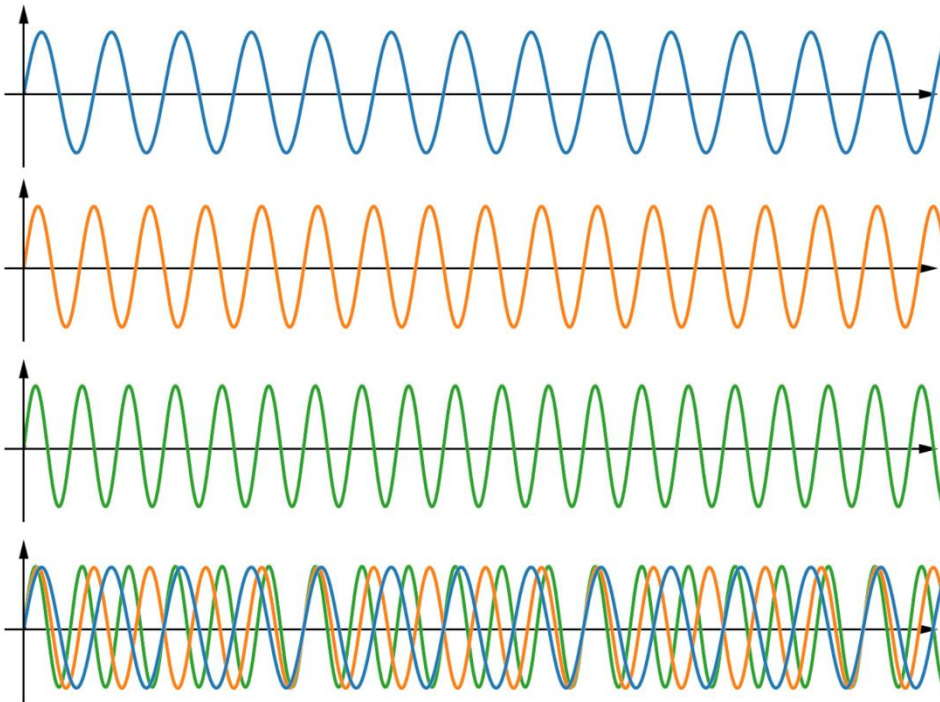
En clair, n'importe quel signal aussi complexe soit-il peut-être décomposé en une suite infinie de fréquences pures, chacune ayant son amplitude propre.

FFT (Fast Fourier Transform) : Outil mathématique permettant d'obtenir cette décomposition

PART I : Fondamentaux

Représentation des fréquences

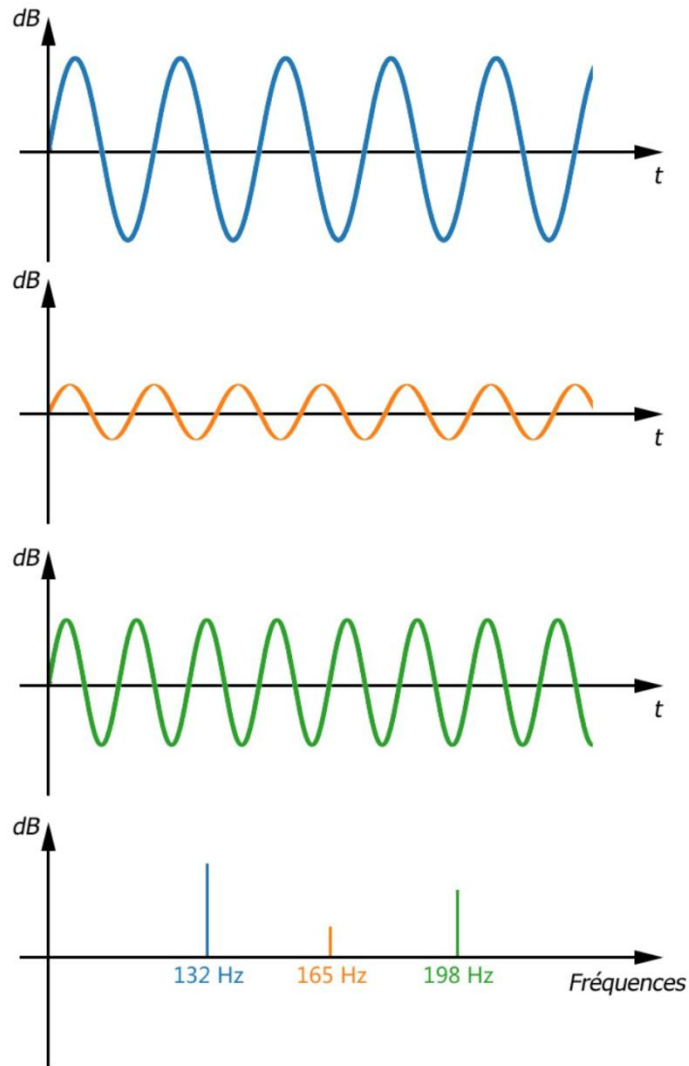
Représenter une fréquence pure n'est pas compliqué, mais la superposition de plusieurs fréquences peut vite devenir indigeste



Sur ce schéma, le temps est en abscisses et le niveau est en ordonnées

L'idée est de changer de mode de représentation en optant pour une échelle fréquences en abscisses et niveau en ordonnées

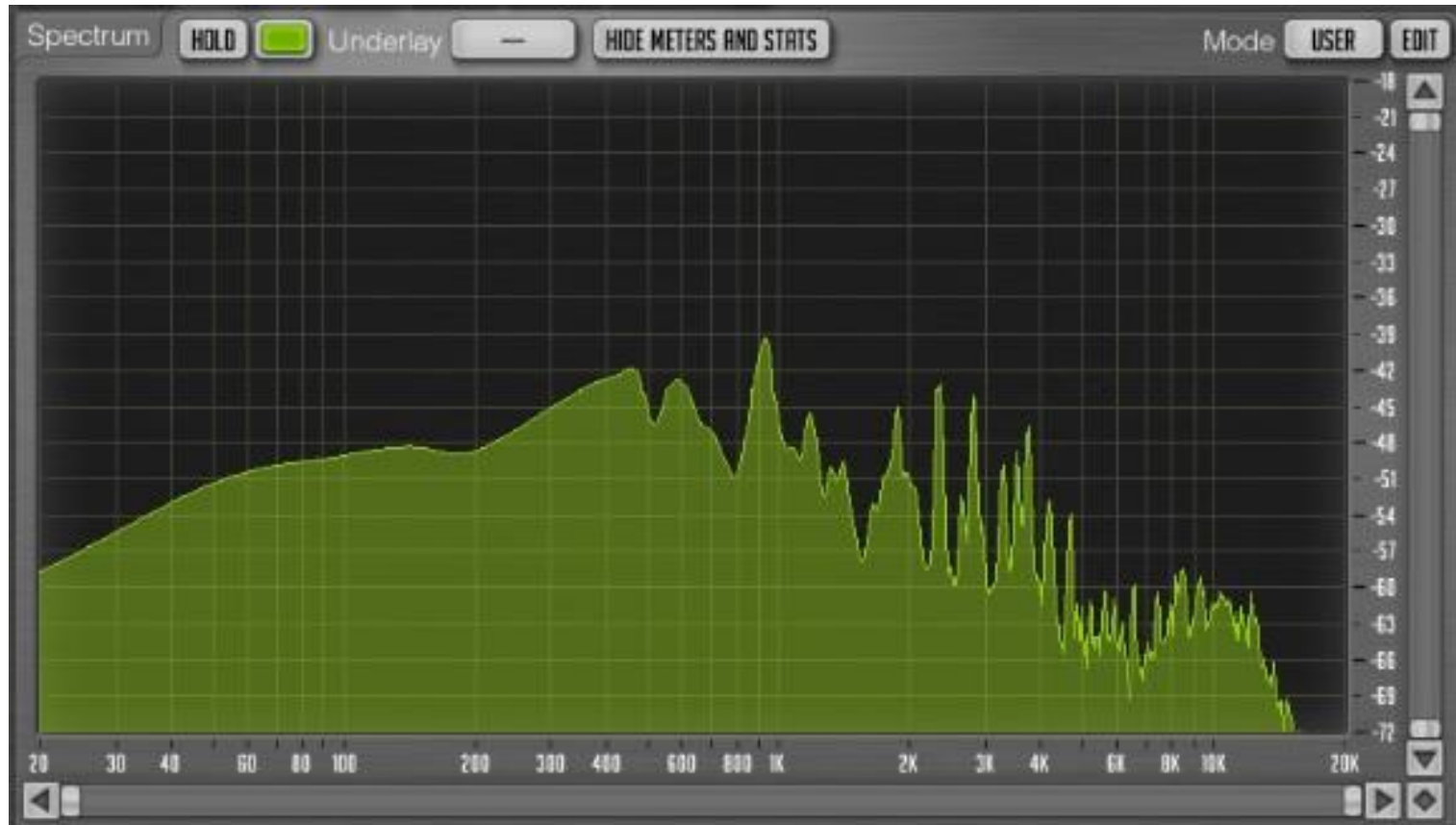
PART I : Fondamentaux



Cette fois, les trois fréquences sont représentées de manière claire et la hauteur de chacune des barres correspond à l'amplitude de chaque fréquence

PART I : Fondamentaux

Le spectre audio va donc être représenté de cette façon, avec en abscisses les fréquences du spectre audible (20 Hz – 20 kHz) et en ordonnées le niveau de chacune de ces fréquences

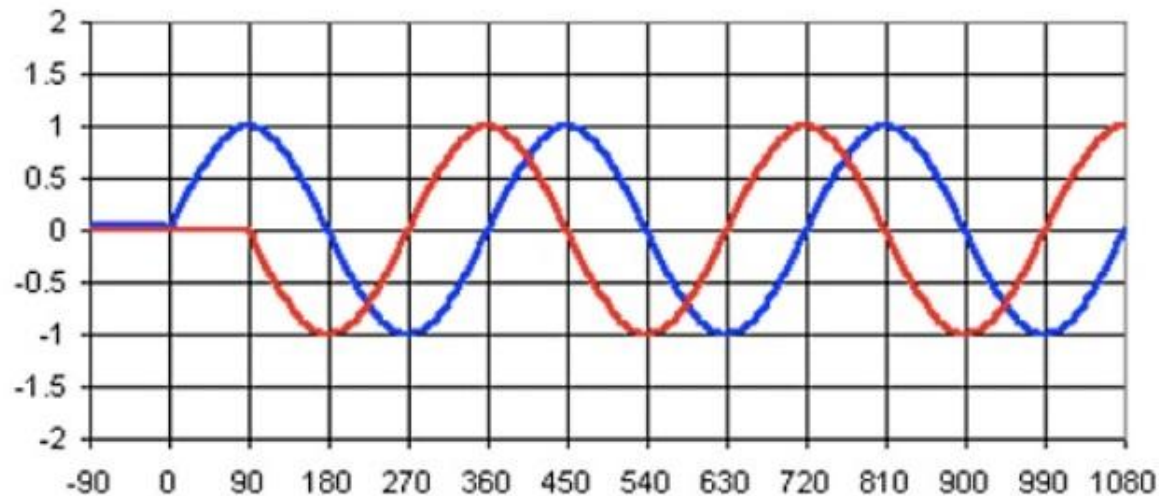


PART I : Fondamentaux

NOTION DE PHASE

La phase d'un signal est sa position dans le temps. Si le signal est seul, il n'y a pas de problème, une oscillation reste une oscillation qu'elle débute à un instant t ou t' .

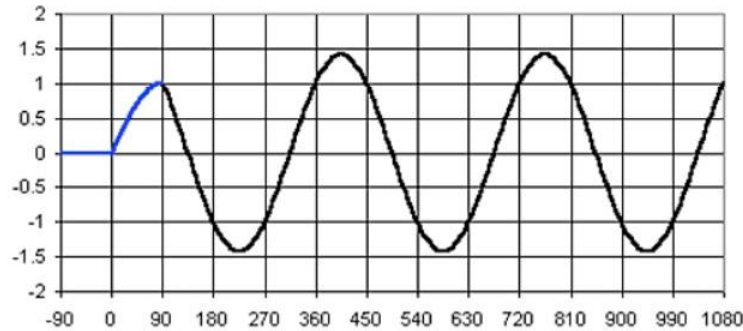
C'est lorsqu'il y a au moins deux signaux que les problèmes de phase interviennent.



Les fronts montants du signal A et les fronts montants du signal B identique au premier mais décalé, sont à peu près synchrones, le résultat va donner une augmentation de l'amplitude de cette fréquence car la somme est dite constructive.

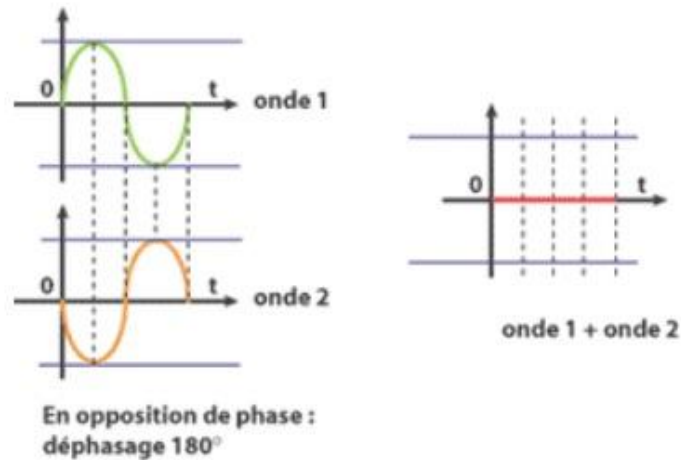
C'est le cas de deux enceintes qui vont émettre la même fréquence.

PART I : Fondamentaux



L'amplitude résultante est supérieure à l'amplitude d'origine

Lorsque les deux signaux sont complètement décalés entre leurs fronts montants et descendants, on parle de hors phase ou d'opposition de phase et la somme des deux signaux est nulle

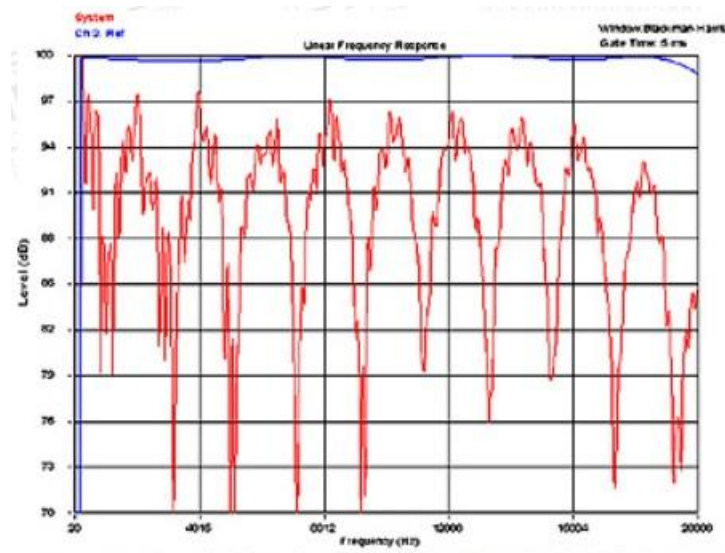


PART I : Fondamentaux

A partir du moment où un signal est émis par deux enceintes distinctes ou qu'un signal est capté par deux micros distincts, il se passe des phénomènes de phase sauf à équidistance.

Ce point précis où tous les signaux convergent en même temps se nomme le **sweet spot**.

Partout ailleurs, les ondes interfèrent entre elles et créent ce qu'on appelle un **filtre en peigne** (rien à voir avec l'électronique, le filtre en peigne est le résultat de sommes et de soustractions de fréquences entre elles représentées comme sur un analyseur de spectre.



Malgré tout, c'est grâce aux déphasages que l'on crée les sensations d'espace notamment avec les reverbs.

De même, l'association de micros comme les couples stéréo, procure également de l'espace. Ainsi, pour une prise de son batterie, la façon de gérer les overheads (micros au dessus de l'instrument) va procurer plus ou moins d'espace ou plus ou moins d'impact selon que l'on choisisse de garder les micros distants ou de les caler en temps sur les micros de proximité.

PART I : Fondamentaux

NIVEAUX SONORES

En audio, les niveaux, qu'ils soient de pression acoustique ou électrique, varient sur une échelle relativement grande.

Ainsi la pression acoustique de référence (pression de l'air) est de 20µPa alors que le décollage d'un avion est de 6500 Pa.

Pour ne pas se perdre dans des valeurs à x chiffres derrière la virgule, l'idée a été d'utiliser le logarithme dont la principale vertu est de ramener au niveau de l'unité des valeurs de puissance.

Ainsi, le logarithme décimal (de base 10), ramène les puissances de 10 au niveau des unités.

Log (100) = 2 parce que $100 = 10^2$

Log (1000) = 3 parce que $1000 = 10^3$

Log (100 000) = 5 parce que $100\,000 = 10^5$

Les décibels rencontrés dans le domaine de l'audio utilisent le logarithme décimal.

En audio pro, nous en utilisons 4 principaux : dBu, dBFS, dB SPL et les pondérations de sonométrie dB(A) / dB(B) / dB(C)

- dBu (pour unloaded) niveau électrique :

$$\text{dBu} = 20 \times \log_{10} \left(\frac{\text{Tension mesurée}}{0,775 \text{ volt}} \right)$$

0,775 Volt correspond à la tension nécessaire pour faire passer un signal de 1mW sous 600 Ohms (décibel originel de Graham Bell)

On notera qu'une tension deux fois plus faible donne un résultat de -6dBu

PART I : Fondamentaux

- dBFS (pour Full scale) niveau numérique :

$$\text{dBFS} = 20 \times \log_{10} \left(\frac{\text{Niveau de l'échantillon}}{2^N} \right)$$

où N est le nombre de bits

N correspond à la résolution de la numérisation. Le résultat ne peut être que négatif. Un niveau max en numérique est 0 dB FS

- dB SPL (pour Sound pressure Level) niveau acoustique :

$$\text{dB SPL} = 20 \times \log_{10} \left(\frac{\text{Pression mesurée}}{20 \mu\text{Pa}} \right)$$

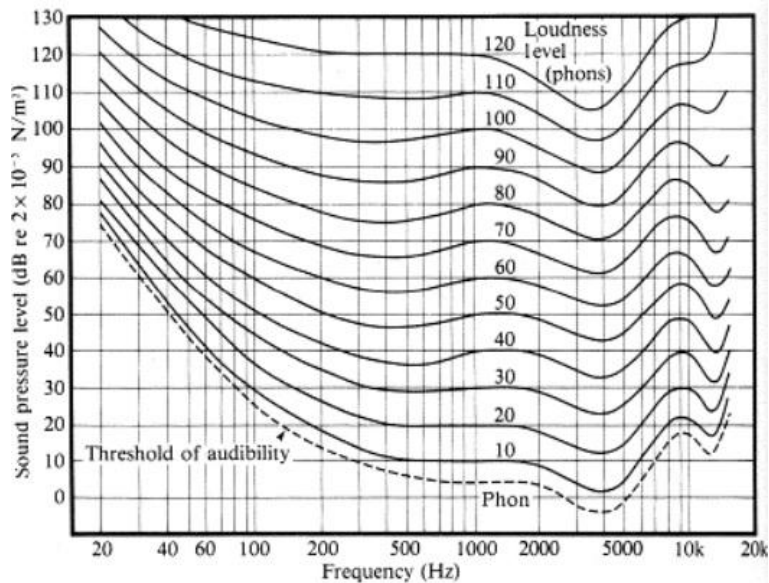
20 micro pascal correspond au minimum de perception de pression acoustique de l'oreille humaine

- dB(A) / dB(B) / dB (C) décibels de pondération :

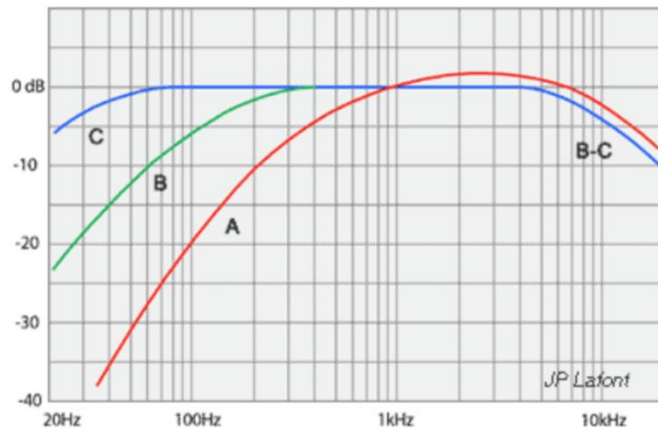
En sonométrie, on pondère les valeurs de pression acoustique pour réussir à légiférer correctement les niveaux sonores en fonction de leur réelle dangerosité. En effet, des études menées par Fletcher et Munson ont établi que certaines fréquences étaient beaucoup mieux perçues par l'oreille humaine que d'autres et que, par conséquent, l'humain tolérait des pressions acoustiques très différentes selon qu'il s'agisse de basses fréquences, de médium ou d'aigu.

Ces études sont basées sur l'**isosonie**, mesure de sensation égale de niveau sonore. Ainsi, on a fait varier le niveau de pression sonore sur tout le spectre audible jusqu'à ce que l'auditeur considère que chaque fréquence soit au niveau de la précédente.

PART I : Fondamentaux



Les courbes obtenues prouvent qu'à très faible niveau, on doit faire une différence de 80 dB SPL entre un 20 Hz et un 4 kHz pour avoir une sensation de niveau identique (exprimée en phon). Plus le niveau augmente, plus la courbe s'aplatit



La courbe de pondération A correspond aux faibles niveaux dB(A)
La courbe de pondération C correspond aux niveaux élevés dB (C)

PART I : Fondamentaux

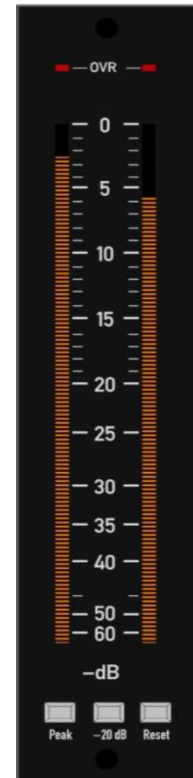
Vu mètre : indicateur de niveau en dBu, présent sur les consoles analogiques



Sonomètre en dB(A) :



Peakmètre : indicateur de niveau en dBFS, présent pour les signaux numériques



LEGISLATION

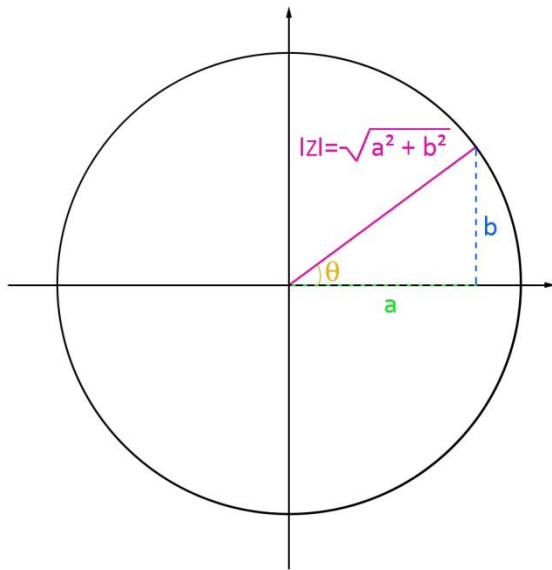
Le niveau autorisé pour la diffusion de musique dans les lieux recevant du public est de 102 dB(A) sur 15 minutes et 118 dB(C) en crête sur 15 minutes. Il passe à 94 dB(A) et 104 dB(C) pour les spectacles jeune public.

PART I : Fondamentaux

IMPEDANCE

La notion d'impédance est une notion fondamentale dans le domaine de l'audio. Elle s'apparente à la résistance mais cette dernière ne s'applique qu'au courant continu. L'impédance est donc l'ensemble des forces résistives d'un dispositif traversé par un courant alternatif. Elle s'exprime en Ohms, s'écrit de manière complexe d'un point de vue mathématique.

En effet, comme le courant varie, mesurer la résistance à un instant t ne donne pas un résultat représentatif. Il s'agit donc de faire une moyenne dans le temps mais pour que cette valeur soit correcte d'un point de vue purement mathématique du terme, il faut associer à cette moyenne une notion de temps.



Le nombre complexe en mathématique est un nombre qui s'exprime avec deux paramètres :

le module $|Z| = \sqrt{a^2 + b^2}$

et l'argument $\text{Arg} = \theta$

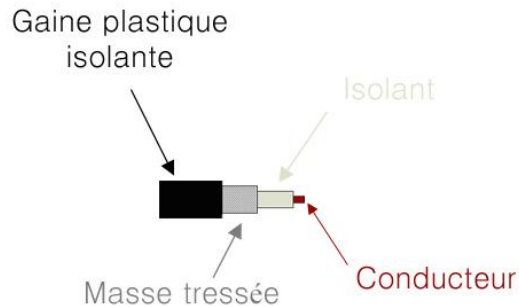
En fonction du temps, l'impédance confère au dispositif un côté tantôt inductif tantôt capacitif

PART II : Audio analogique

CÂBLAGE

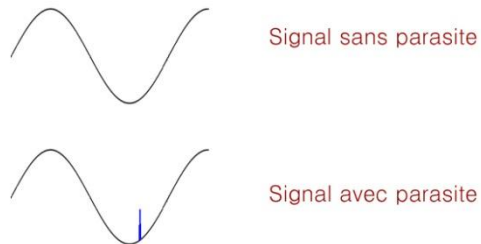
Selon la nature du signal, son niveau, la qualité de gamme des équipements, il existe une palette de câbles et autres connectiques. Pour transporter un signal, il faut à minima un conducteur et une masse (qui fait référence).

Le câble le plus basique est donc le câble dit **asymétrique** constitué de ces deux éléments



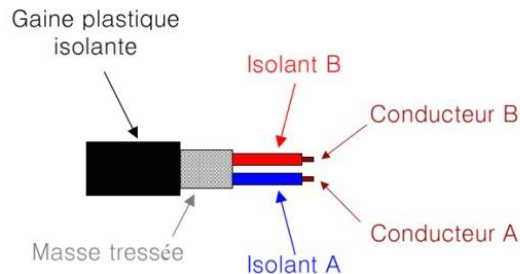
Bien souvent, la masse est tressée, autour du conducteur, pour faire cage de faraday pour protéger des champs magnétiques

Le problème est que si un parasite se présente lors du parcours, il n'y a rien que l'on puisse faire pour l'empêcher d'arriver à destination.



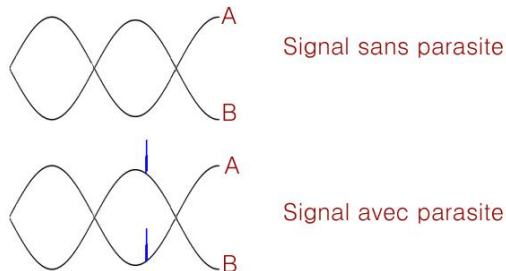
PART II : Audio analogique

L'idée alors est de faire passer le signal, non pas sur un seul conducteur mais sur deux conducteurs distincts dont l'un serait l'opposé de l'autre, le négatif de l'autre (les fronts montants du signal du conducteur A deviennent les fronts descendants du conducteurs B et ainsi de suite, le signal est donc recopié mais hors phase). Il s'agit d'un câble **symétrique**



On note point chaud le signal en phase (A) et point froid le signal hors phase (B)

Cette fois, en cas de rencontre d'un parasite, il se passe l'opération suivante



$$\frac{(\text{signal A} + \text{parasite}) - (\text{signal B} + \text{parasite})}{2} = \text{signal}$$

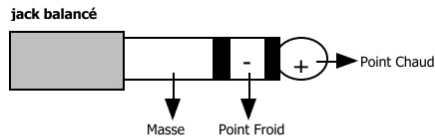
Le parasite disparaît

PART II : Audio analogique

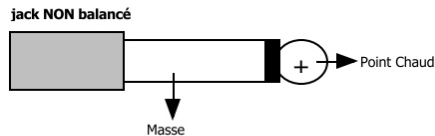
Ceci impose que le dispositif qui accueille le signal soit un dispositif symétrique (ou balanced en anglais) pour qu'il fasse l'opération de différence et de division par 2.

Remarque : la plupart des consoles acceptent les signaux balanced et unbalanced (symétrique et asymétrique). Si tel n'est pas le cas, on peut toujours brancher un signal avec un câble asymétrique sur une entrée symétrique mais on perd 6dBu à cause de la division par 2

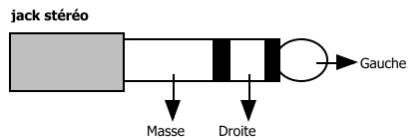
Attention, certains câbles utilisent deux conducteurs mais ne sont pas symétriques, car ils transportent deux signaux distincts (comme le jack stéréo d'un casque par exemple).



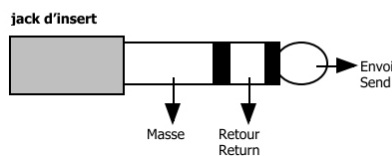
Jack symétrique



Jack asymétrique



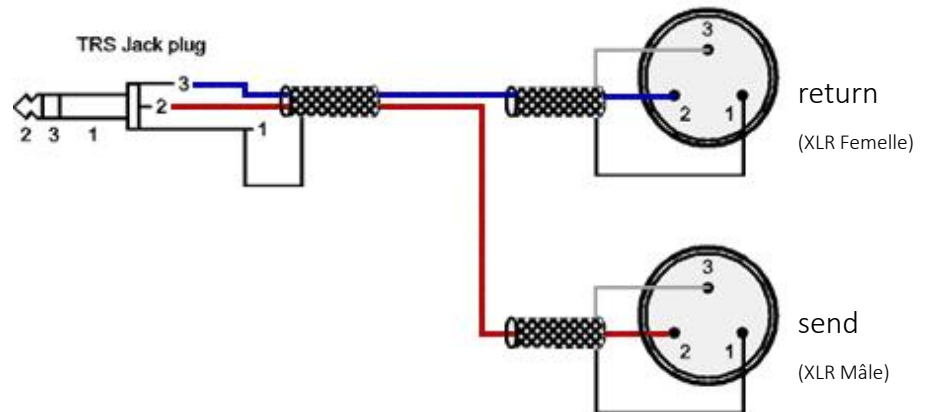
Jack stéréo



Jack d'insert

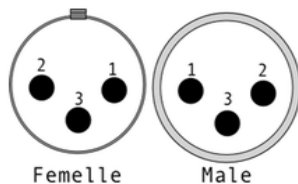
PART II : Audio analogique

Cas particulier du câble d'insert : Un insert est un accès dans la tranche de la console pour faire un traitement individuel sur un signal. Il s'agit donc d'un aller (vers le traitement) puis d'un retour (signal traité) sans changer de tranche (ou de channel en anglais). Sur les consoles haut de gamme, il y a une connectique pour l'envoi (Send) et une autre connectique pour le retour (Return). Sur les consoles moyenne gamme, l'insert est réalisé sur une seule connectique jack stéréo qui impose d'utiliser un câble d'insert spécial permettant de faire à la fois l'envoi et le retour



Ce cas est particulier car il n'utilise que des connectiques à priori symétriques mais tout est câblé en asymétrique dedans

Convention sur les câbles micro en XLR



La masse est en 1
Le point chaud est en 2
Le point froid est en 3

En audio, le sens des câbles XLR est le suivant : le mâle fournit le signal et la femelle reçoit le signal

PART II : Audio analogique

Multi-paires analogiques

Les multi-paires analogiques ont pour rôle d'éviter le fil à fil lorsqu'il y a beaucoup de signaux à transporter.

On nomme « paire » un seul canal de transport car les multi-paires sont symétriques et possèdent donc une paire de conducteurs par signal.

Certains multi-paires proposent une quantité déterminée de connectiques dans un sens et dans l'autre, d'autres au contraire laissent l'utilisateur choisir, ce dernier doit alors se munir des « éclatés » ou « épanouis » Mâle ou Femelle correspondants.



Multi-paires Klotz 24 Mâles et 8 Femelles



Harting
20 paires
+ éclaté
Mâle 20
paires



PART II : Audio analogique

Les standards de multi-paires les plus utilisés en audio analogique sont Harting (page précédente) et Socapex ci-dessous



Câbles Haut-parleur (HP) / Speakon

Les câbles cités jusqu'alors sont adaptés aux courants faibles. Leur section ne dépasse pas $0,22 \text{ mm}^2$. Ce sont ces câbles qui serviront du micro jusqu'à la sortie console et l'entrée des amplis. Par contre, en sortie d'ampli, le courant est fort.

Il faut donc des câbles capables de supporter un tel signal.

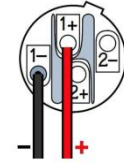
Le standard en matière de sonorisation pour un câble HP est un câble de 6 mm^2 avec une connectique Speakon.

Il existe 3 sortes de speakon : NL2 / NL4 / NL8

PART II : Audio analogique

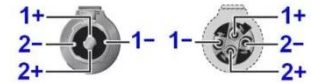
Speakon NL2

Pour alimenter un seul haut-parleur ou des enceintes passives, il ne comporte que deux câbles 1+ et 1-



Speakon NL4

Pour alimenter deux haut-parleurs ou des enceintes actives 2 voies, il comporte 4 câbles 1+ 1- / 2+ 2-



Speakon NL8

Pour alimenter quatre haut-parleurs ou des enceintes actives 3 ou 4 voies, il comporte 8 câbles 1+ 1- / 2+ 2- / 3+ 3- / 4+ 4-



Attention : les connectiques NL2 et NL4 sont identiques (les NL8 sont plus grosses). Bien faire attention à ne pas se tromper

PART II : Audio analogique

Câblage secteur

A part les 16A classiques et autres triplètes, on trouve les connectiques P17 en monophasé, triphasé et tétrapolaire



P17 monophasé
(Terre / Phase/ Neutre)



P17 Triphasé
(Terre / P1 / P2 / P3)



P17 Tétrapolaire
(Terre / Neutre / P1 / P2 / P3)

SUB D25

Le sub D25 est une connectique issue de l'informatique. Elle permet de véhiculer 8 canaux analogiques ou 16 canaux numériques en symétrique

SUB D25
Analog
8 x XLR F



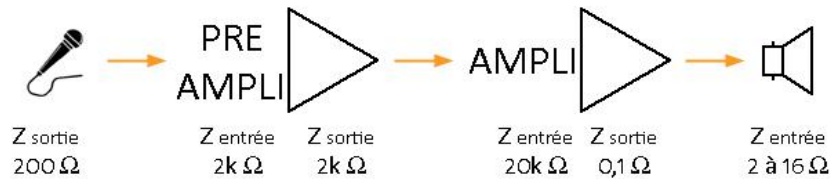
SUB D25
AES
4 x XLR M
4 x XLR F



PART II : Audio analogique

ELEMENTS DE LA CHAÎNE AUDIO

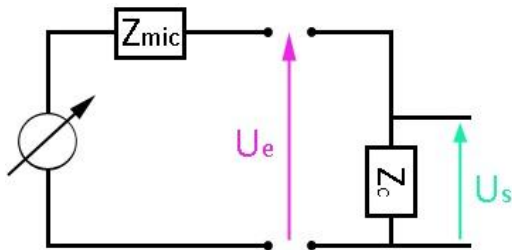
La chaîne audio en analogique se résume au schéma suivant



Une source, qui peut être un micro, voit son niveau ajusté par un préampli, puis le signal est acheminé (seul ou mixé, traité ou pas) vers la sortie avant d'être acheminé à un ampli de puissance dans le but d'être diffusé par une enceinte

On constate un rapport de 1 à 10 entre une sortie et une entrée. Pourquoi ?

Prenons le cas d'un micro qui entre dans une console. Le schéma qui s'apparente à une telle liaison est le suivant :



$$\frac{U_s}{U_e} = \frac{Z_c}{Z_c + Z_{mic}} = \frac{1}{1 + \frac{Z_{mic}}{Z_c}}$$

Nous allons faire le rapport entre la tension en sortie U_s et la tension en entrée U_e sachant que $U = Z \times I$ (Loi d'ohm) et que nous sommes dans le cas d'une association série donc $Z_e = Z_1 + Z_2$

Pour que le rapport $\frac{Z_{mic}}{Z_c}$ soit suffisamment petit pour permettre une perte tolérable, on considère comme acceptable que $Z_c > 10 \times Z_{mic}$

PART II : Audio analogique

SPLITTER ANALOGIQUE

Un splitter analogique permet la distribution du signal vers plusieurs consoles.

En effet, si nous disposons de trois postes Façade / Retours / Antenne, et que nous distribuons les signaux tels quels vers tous les postes, le micro va subir trois fois la charge des préamplis.

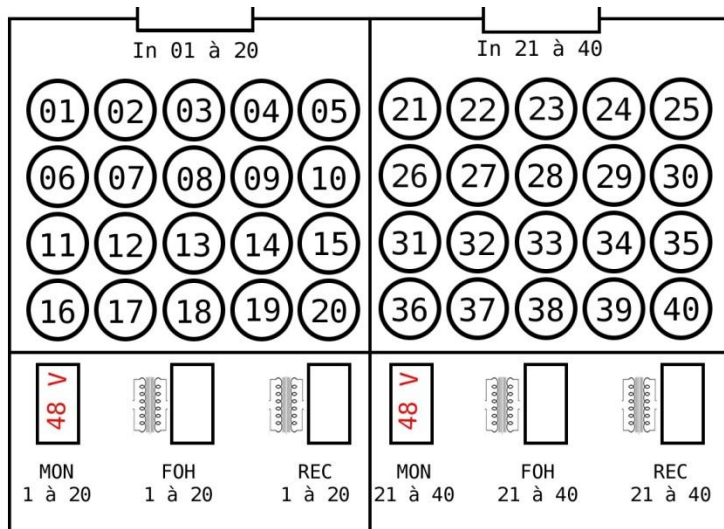
Au niveau de l'audio, le niveau s'écroule.

Il faut donc pouvoir récupérer le signal sans faire subir la charge.

Le splitter récupère les signaux et les envoie directement sans autre forme de procès vers une sortie que l'on va appeler A.

La console qui récupérera les signaux en provenance de A raisonnera exactement comme si elle était toute seule à gérer les micros.

C'est cette console qui fournira l'alimentation 48V aux micros statiques et Di actives.

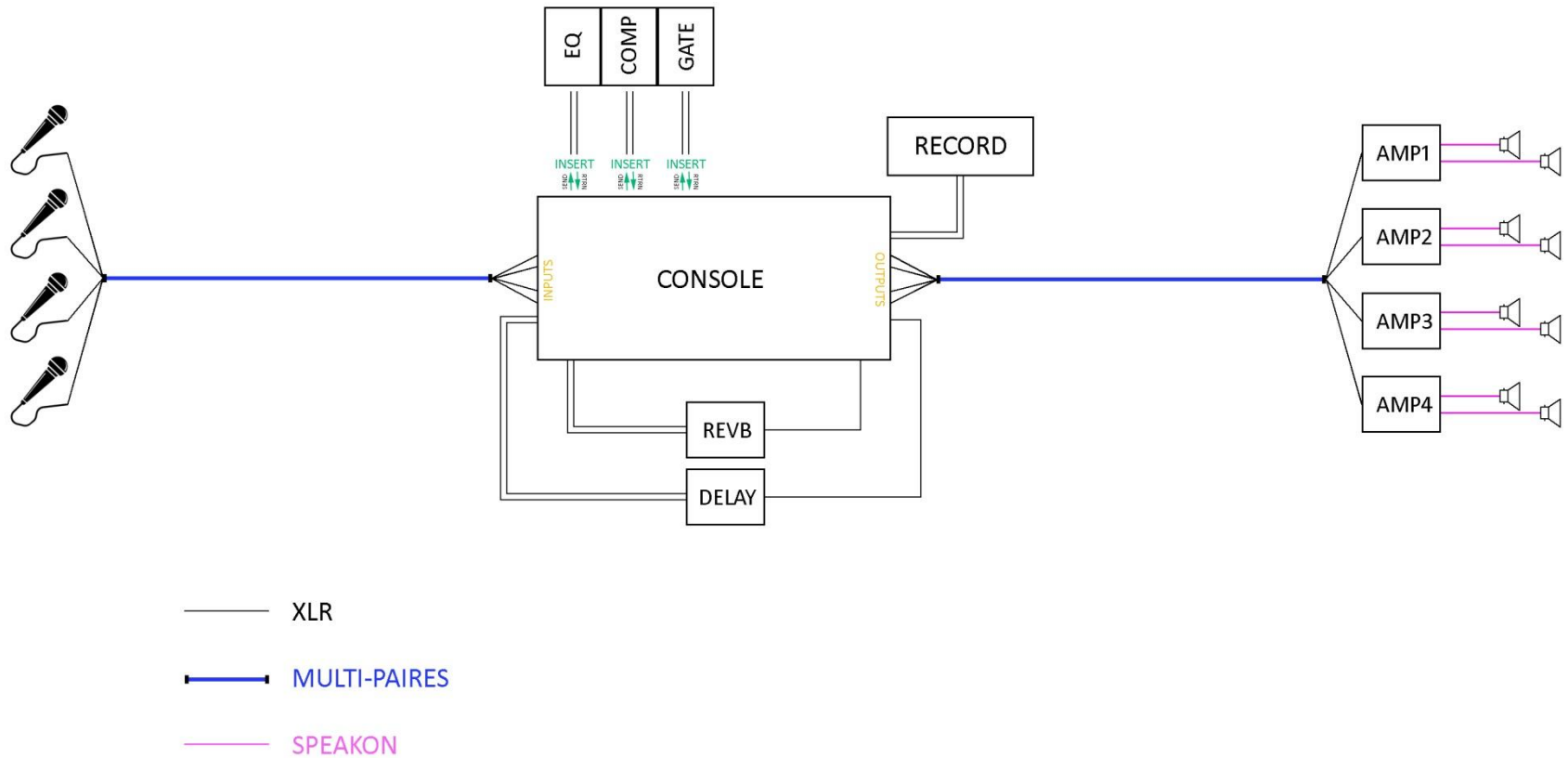


Les deux autres sorties B et C du splitter seront dotées d'un transfo d'isolement qui empêcheront le micro de subir de nouveau la charge des autres consoles. Ce transfo d'isolement empêche l'envoi du 48 V. Seule la console branchée sur la sortie A du splitter aura donc cette possibilité.

De manière générale, on branche les retours en A (la plus proche des sources), la façade en B et l'antenne en C.

PART II : Audio analogique

CHAÎNE AUDIO AVEC CONSOLE



Le cœur de la chaîne audio est la console qui centralise les différentes sources, donne accès aux traitements de nature dynamique (en insert) ou temporelle (départ spécifique vers l'effet qui rentre de nouveau en entrée de la console) avant l'envoi vers les amplis des haut-parleurs ou un enregistrement.

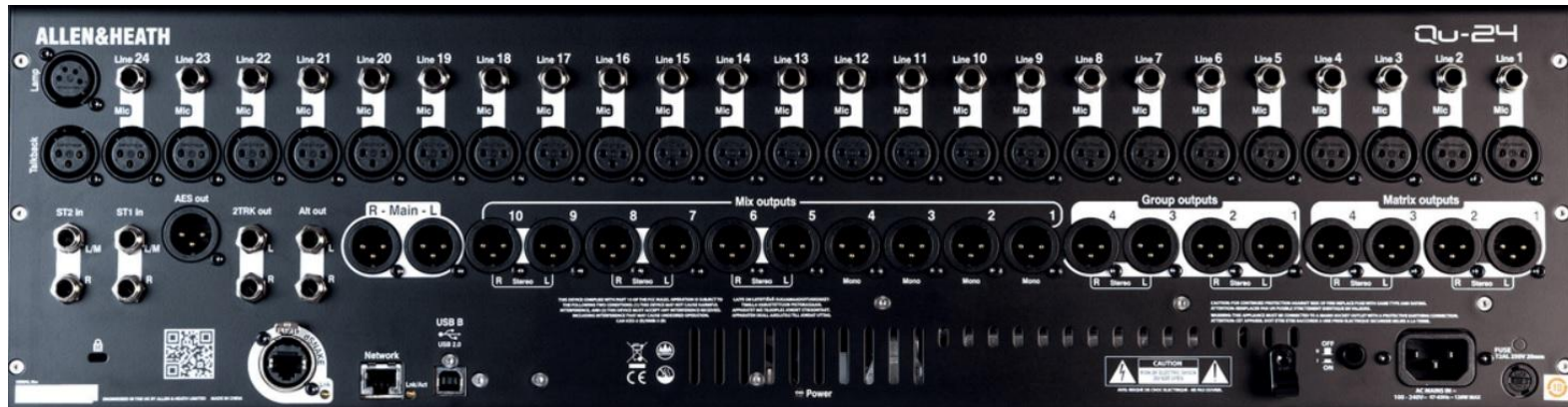
PART II : Audio analogique

CONSOLE ANALOGIQUE : ETAGE D'ENTREE

Les signaux qui entrent dans la console sont principalement de deux niveaux, les niveaux ligne et les niveaux micro (il existe des sources de niveaux très faible comme les micros à ruban ou très forts comme les micros électromagnétiques des guitares électriques mais globalement, avec quelques adaptateurs, on peut tout faire sur ces deux niveaux d'entrée).

Les micros dynamiques à bobine mobile et les micros statiques entrent en niveau micro (ce qui correspond à une impédance d'environ 2500 Ohms), les autres sources types sorties d'effets de traitement, sortie de carte son d'ordinateur entrent en niveau ligne (correspondant à une impédance d'environ 30 000 Ohms).

Seules les entrées micro peuvent fournir une alimentation phantom pour les micros statiques.



Sur cette console, les entrées micro sont en XLR et les entrées ligne sont en jack symétrique.

Le fait de disposer de deux niveaux d'entrée différents permet d'optimiser le comportement du préampli qui a pour rôle d'uniformiser le niveau des sources pour pouvoir les mixer entre elles.

Une fois l'étage de préamplification passé, tous les niveaux des signaux qui transitent dans la console sont de niveau ligne.

PART II : Audio analogique

CONSOLE ANALOGIQUE : SORTIES

Plusieurs chemins s'offrent à nous pour sortir un signal

DIRECT OUT : sortie unique de la tranche, pour sortir le signal au niveau ligne, **seul**, avec ou sans traitement (EQ, insert etc...)

MAIN OUT ou MASTER : sortie principale de la console, stéréo voire LCR, voire multicanaux, c'est un circuit de mélange (de mixage) qui récupère les niveaux de sortie des différents channels post fader, l'envoi Main est affectable sur chaque channel

GROUP OUT : sortie similaire au Master pour regrouper des sources entre elles afin de leur appliquer un traitement commun par exemple, c'est un circuit de mélange (de mixage) qui récupère les niveaux de sortie des différents channels post fader, l'envoi group est affectable sur chaque channel, le master du group est affectable au Master

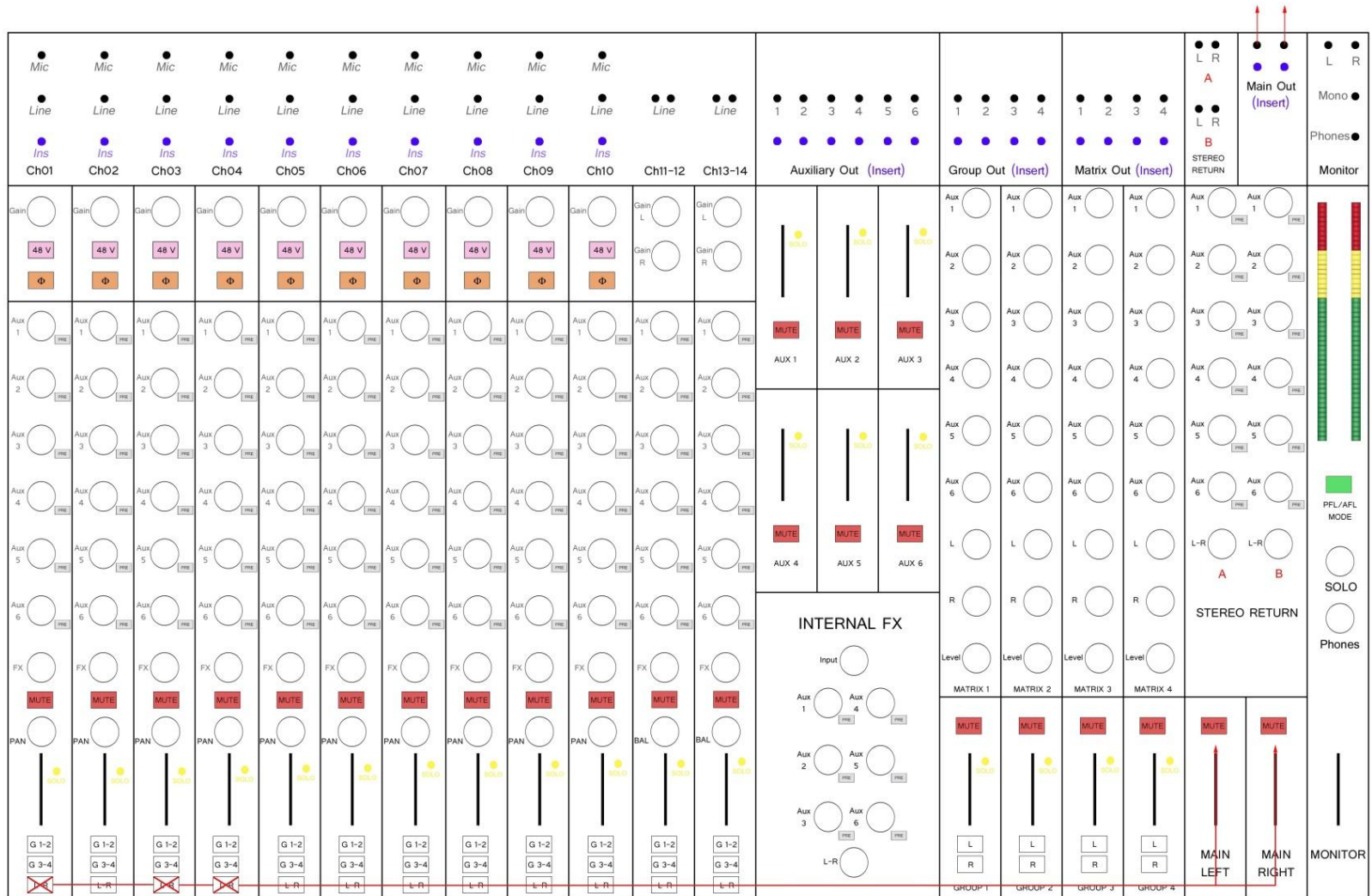
AUX OUT : sortie auxiliaire qui permet d'envoyer le signal vers une autre sortie que le Master ou que le Group avec un **niveau différent** de celui du fader. En effet, le départ auxiliaire est doté d'un potentiomètre de niveau supplémentaire. De plus, contrairement au Master ou au Group, l'auxiliaire peut être soit post fader soit pré fader. Les sorties auxiliaires sont des circuits de mélange (de mixage), le master de l'auxiliaire est souvent affectable au Master.

MATRIX OUT : les matrices sont des circuits qui permettent de mélanger des sorties entre-elles (par exemple le Master avec un auxiliaire)

Remarque : Sur certaines consoles numériques, les matrices sont aussi accessibles aux entrées ce qui confère aux matrices le même rôle que des circuits auxiliaires post fader mais ce n'est pas leur rôle originel. De même, toujours dans le domaine numérique, on pourra trouver des groups pré fader.

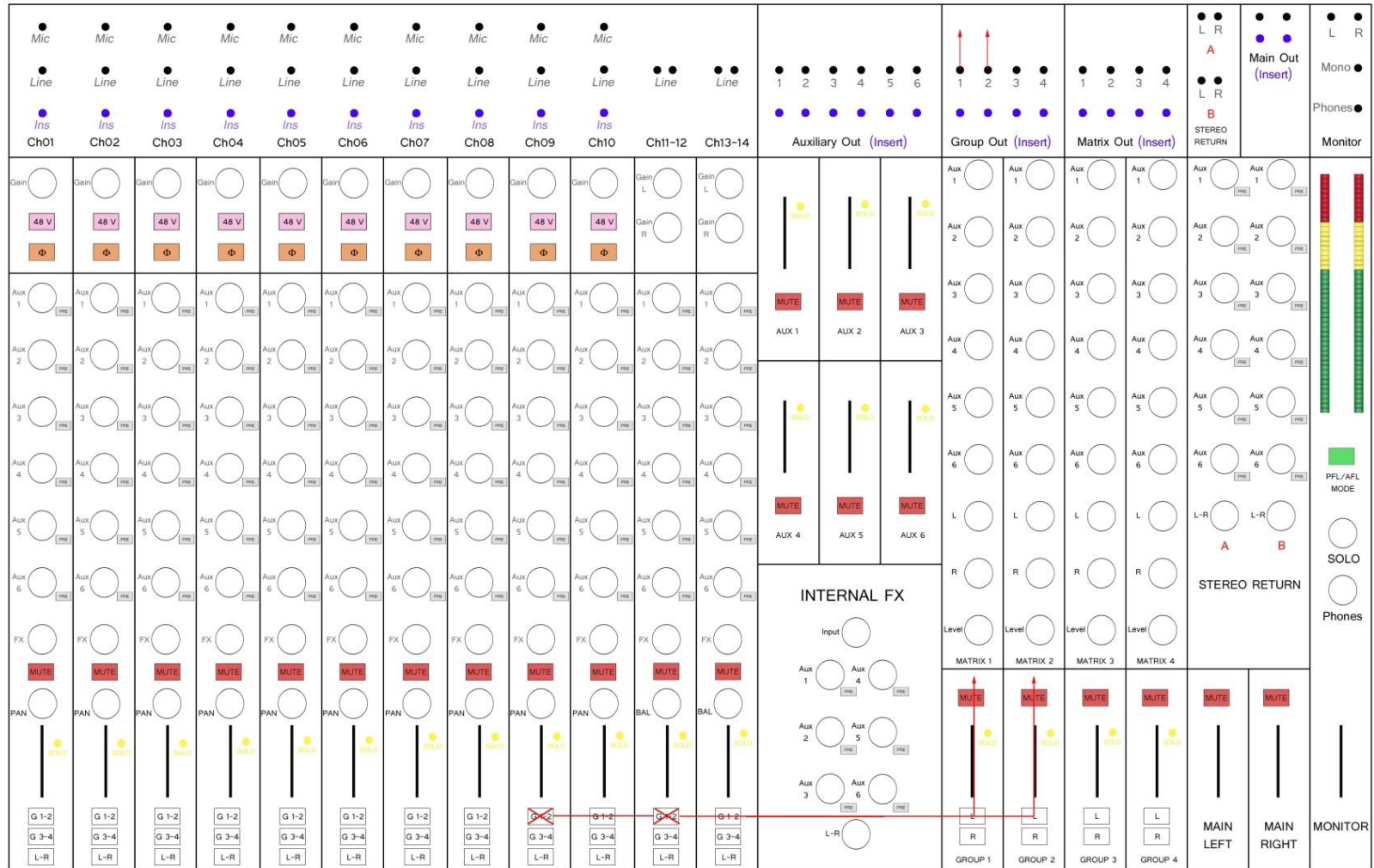
PART II : Audio analogique

Envoi des channels 1, 3 et 4 vers le Master



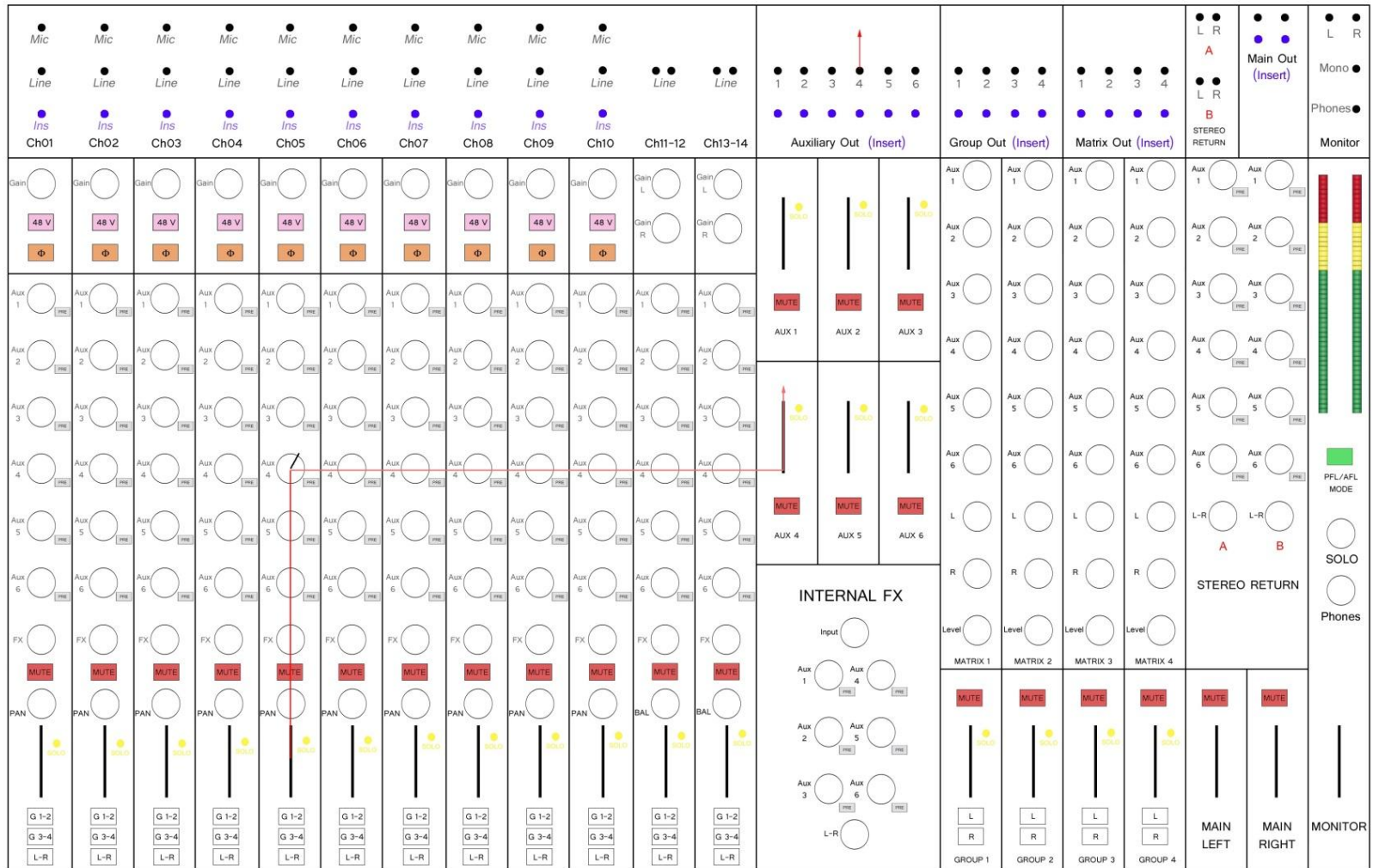
PART II : Audio analogique

Envoi des channels 9 et 11-12 vers le Group 1-2



PART II : Audio analogique

Envoi du channel 5 vers l'Aux 4 post fader



PART III : Audio numérique

NUMERISATION

La numérisation du signal consiste à rendre lisible un signal audio électrique par un ordinateur. Or celui-ci ne lit que des bits, c'est-à-dire des 0 et des 1.

Pour que cela soit possible, il faut déjà réaliser qu'à un instant t , le signal qui sort d'une console de mixage, quand bien même il y aurait 98 sources mélangées entre elles, ce n'est qu'un **niveau électrique**. C'est le comportement dans le temps de ce signal qui donne à la membrane du haut-parleur le mouvement créant une onde sonore d'une fréquence ou d'une autre.

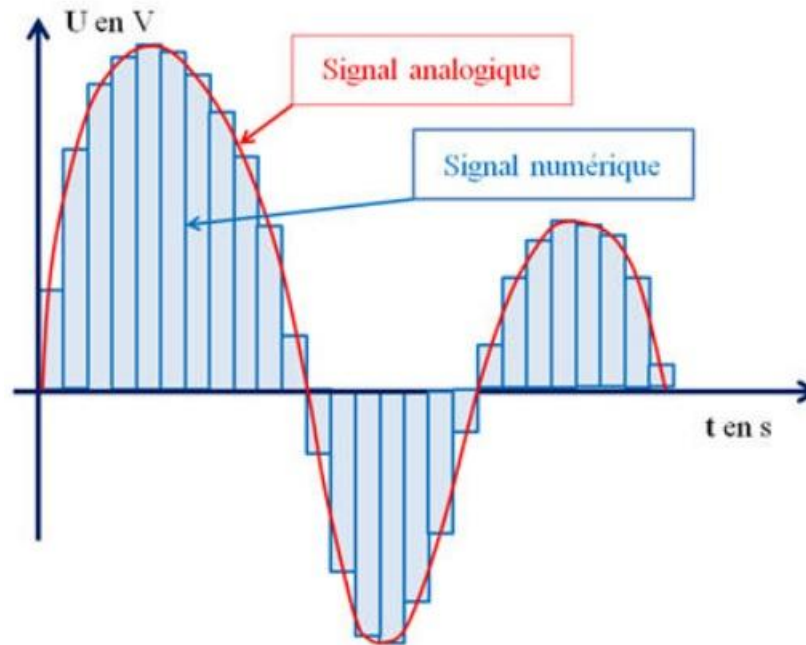
Dans ce cas, nous allons dans un premier temps définir une échelle de niveau (nommée **échelle de quantification**) qui dispose de pas, de degrés de niveau, déterminés par une résolution en nombre de bits. Ainsi une résolution de 4 bits permettrait de découper l'échelle de niveau sur 16 pas différents.

Niveau	Écriture binaire	Niveau	Écriture binaire
1	0000	9	1000
2	0001	10	1001
3	0010	11	1010
4	0011	12	1011
5	0100	13	1100
6	0101	14	1101
7	0110	15	1110
8	0111	16	1111

Voici les différents niveaux possibles sur une échelle de 4 bits

PART III : Audio numérique

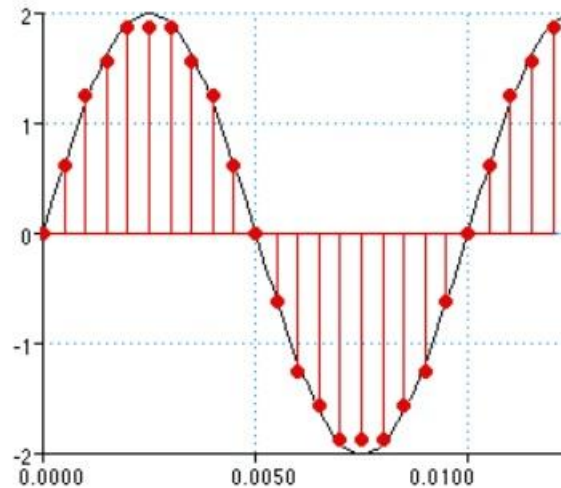
Evidemment, 16 niveaux possibles c'est très insuffisant. Le minimum requis en audio est une résolution de 16 bits ce qui correspond à 65 536 pas d'échelle.



Plus on augmente la résolution, plus on est précis sur la découpe de niveaux. Les consoles professionnelles travaillent maintenant en 24 bits ce qui correspond à une échelle de niveaux de 16 777 216 pas.

PART III : Audio numérique

Dans un second temps, nous allons définir la manière de découper le temps. Pour cela, nous allons découper la seconde en un certain nombre de tranches régulières afin de capter le niveau du signal électrique à chacun de ces instants, créant ainsi une liste d'échantillons. Ce découpage temporel est la **fréquence d'échantillonnage**.



Plus la fréquence d'échantillonnage est élevée et plus la découpe permet d'être proche du signal électrique d'origine. Les consoles professionnelles travaillent en 96 kHz soit 96 000 découpes à la seconde. Le standard du CD est de 44,1 kHz, le standard de la vidéo est de 48 kHz.

Bien évidemment, plus on choisit des fréquences d'échantillonnage et des résolutions d'échelle de niveau élevées et plus on sollicite le processeur de l'ordinateur et les disques durs qui doivent inscrire tous les bits qui correspondent à 1 seconde d'un signal.

PART III : Audio numérique

PROBLEMES DÛS A LA NUMERISATION

Que se passe t-il si l'échantillon, malgré une haute résolution tombe entre deux pas de l'échelle de niveau ?

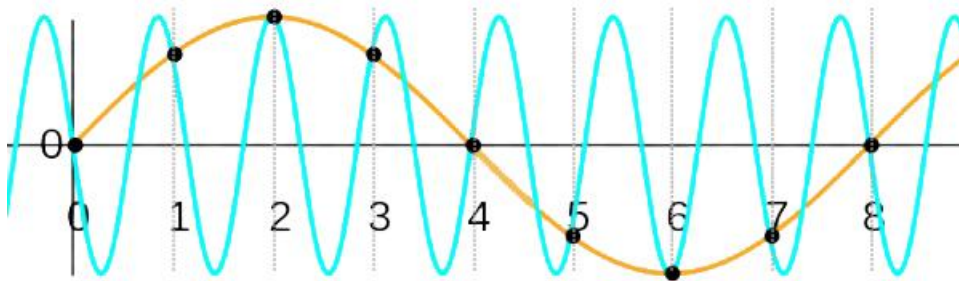
Que se passe t-il si le signal électrique d'origine voit une modification de niveau trop rapide par rapport à la cadence déterminée par la fréquence d'échantillonnage ?

Notion de Dithering

Lorsque l'échantillon tombe entre deux pas de l'échelle, si on ne fait rien il y a une erreur de quantification nommé (en théorie du signal) **bruit de quantification** (rien à voir avec un bruit au sens audio mais la notion est similaire). En gros, on peut se retrouver avec parfois la prise en compte du niveau inférieur, parfois le niveau supérieur, voire pas de prise en compte du tout.

Il existe un traitement nommé dithering qui a pour rôle de rectifier les erreurs de quantification. Il consiste à rajouter à chaque échantillon un signal supplémentaire non linéaire et proportionnel au signal d'entrée pour combler le pas d'échelle. Il y a donc une erreur potentielle uniquement sur le dernier bit considéré comme le moins significatif (Less Significant Bit). Bien entendu, ce procédé rajoute du temps de traitement donc de la latence.

Notion d'Aliasing (ou recouvrement de spectre)



Lorsque la fréquence d'échantillonnage est trop lente par rapport au signal à numériser, le résultat obtenu par la découpe (courbe jaune) est très différent de la réalité (courbe bleue) . On parle de recouvrement de spectre.

PART III : Audio numérique

Il n'y a pas d' autre solution au phénomène d'aliasing que l'interdiction de numériser un signal dont la fréquence serait trop rapide par rapport à la fréquence d'échantillonnage.

En numérisation, pour ne pas subir la loi de l'aliasing, on doit respecter le critère de Shannon-Nyquist qui dit que

$$F_{\text{max du signal à numériser}} < \frac{F_{\text{échantillonnage}}}{2}$$

On filtre donc en analogique le signal avant de le découper. Des méthodes de sur-échantillonnage permettent d'optimiser ce critère sans toutefois permettre de s'en soustraire

LATENCE

Ce procédé de numérisation n'est pas instantané, quoi qu'il advienne, aussi puissants puissent être nos processeurs, il y aura toujours un temps nécessaire pour effectuer cette découpe quantifiée ce qui génèrera automatiquement une latence.

Ainsi, en audio, si on commence à travailler en numérique, on va essayer de limiter les conversions DA (Digital Analog) AD (Analog Digital) afin de ne pas cumuler les défauts et de ne pas générer trop de latence.

Les consoles numériques ont, dans un premier temps, rendu peu opportun les traitements analogiques, notamment dynamiques qui se câblent en insert, car le résultat arrivait en retard. Les processeurs actuels, plus puissants, intègrent maintenant des délais de compensation, recalant toutes les sources sur le temps de celle qui est la plus en retard.

Ceci est possible bien entendu lorsque le son n'a pas à être calé de manière chirurgicale à un autre média. Dans d'autres cas, on privilégiera les traitements numériques internes pour ne pas générer de latence supplémentaire.

PART III : Audio numérique

SYNCHRO

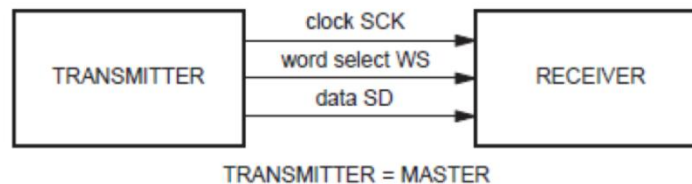
Qui parle de découpe dans le temps parle d'horloge. En effet, qui dicte à quel moment se trouve la capture du premier échantillon, puis du deuxième etc... ? En clair, qui décide de ce qu'est une seconde ?

Toute machine numérique, quelle qu'elle soit, est capable de répondre à cette question car elle possède sa propre horloge.

Si elle est seule, pas de problème, elle travaillera en interne, avec son horloge. Dès qu'il y a deux machines numériques qui dialoguent, alors automatiquement, il faudra qu'une des deux décide de la notion de temps car il est impossible qu'elles aient exactement rigoureusement la même découpe temporelle. Il est donc nécessaire d'introduire la notion de synchro.

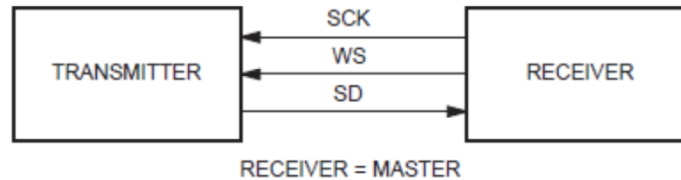
Tout signal audio numérique, à minima stéréo, est composé de trois informations : le contenu des échantillons (serial data), l'information du channel de ce contenu (word select) à minima gauche ou droite voire TDM (Time Division Multiplexing) pour les multipistes, et enfin, la synchro (Serial Clock)

Cette dernière information peut provenir du transmetteur

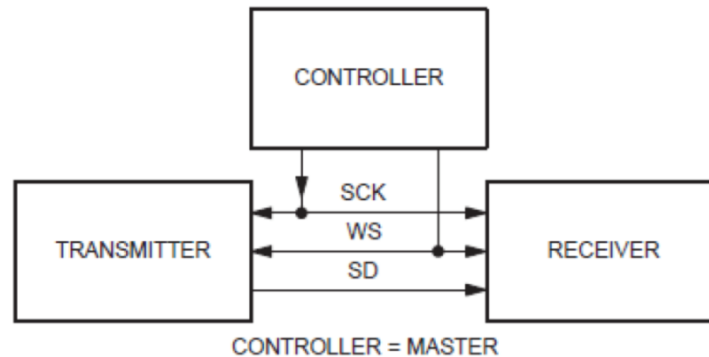


PART III : Audio numérique

Elle peut également provenir du receiver



Ou encore d'une tierce machine qui détermine l'horloge pour tout le monde



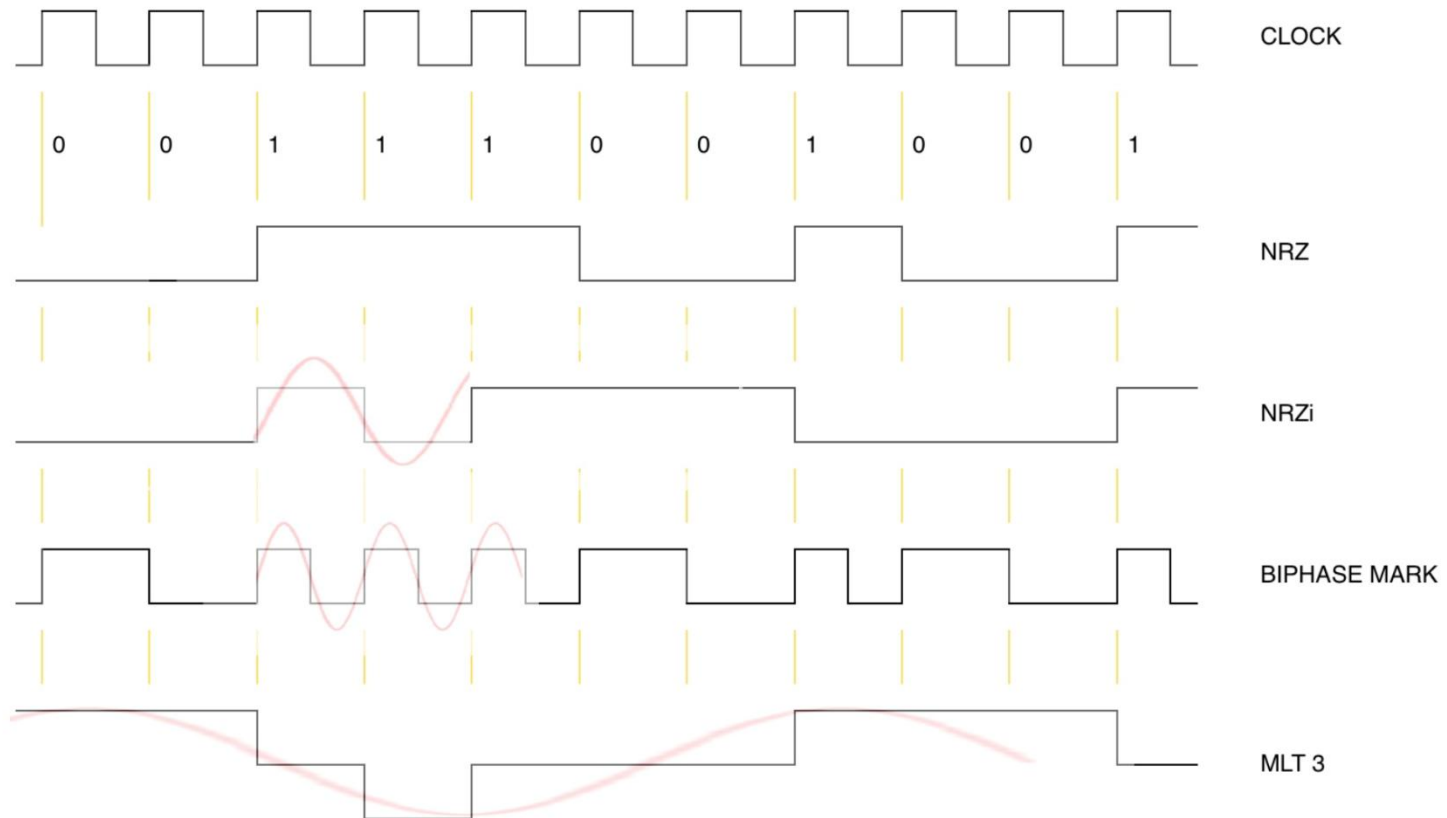
L'audio numérique permet donc la transmission de flux synchrones ou asynchrones sur des liaisons synchrones

PART III : Audio numérique

DIFFERENTS ENCODAGES POUR UN MÊME SIGNAL (00111001001)

La façon dont sont encodés les 0 et les 1 va différer et déterminer un certain nombre de choses concernant la synchro.

Il existe différents protocoles audio. Citons pêle-mêle l'AES3, le MADI, le Dante, l'AES50 parmi les plus connus encore actuellement utilisés. Certains de ces protocoles sont synchrones et d'autres ne le sont pas.



PART III : Audio numérique

NRZ : Non return to zero. C'est l'encodage des 0 et des 1 le plus basique avec un état électrique pour le 0 et un autre état électrique pour le 1. Aucun moyen de savoir si on est hors phase et risque de perte de repère sur la continuité

NRZi : Non return to zero inverted. Cette fois on change d'état chaque fois qu'on a un 1 à encoder. Plus de problème de hors phase mais toujours risque sur la continuité

Biphase Mark : Calqué sur la clock, il contient donc dans son écriture une information temporelle synchrone. On fait un cycle entier de clock sur les 1 ce qu'on ne fait pas sur les 0

MLT3 : Multi Level Transmit 3. On encode sur 3 niveaux au lieu de 2 en changeant chaque fois qu'on rencontre un 1

Ces quatre manières d'encoder le même message d'origine est tantôt porteur de synchro, tantôt non. On constate également qu'il faut 4 fois plus de changements d'états entre le Biphase Mark et le MLT3 pour le même message ce qui aura une incidence sur la rapidité de la transmission de l'information.

L'AES3 a opté pour le Biphase Mark (très robuste) tandis que le MLT3 est utilisé pour les transmissions Ethernet de 100 Mb

Le Dante qui est un protocole audio 1 Gb a opté pour le 4D-PAM5 (four dimensional five level pulse amplitude modulation)

Pour plus d'informations sur les différents encodages :

<https://docplayer.fr/2133689-Les-differents-codages-d-une-information-binaire-en-informatique-industrielle.html>

PART IV : Les réseaux

INTRODUCTION

Travailler en réseau va procurer deux avantages : le partage des données entre différents postes et la convergence (faire passer des datas de différentes natures comme de la vidéo, du son et de la commande à distance dans une seule fibre optique).

Malgré tout, le fait d'utiliser des appareils standardisés à usage des télécommunications pour diminuer les coûts de production va considérablement complexifier l'affaire. En effet, même à l'échelle d'un bâtiment, on est en droit de se poser la question de l'utilité de l'audio sous IP alors que le nombre de machines concernées est relativement restreint et que les communications avec le monde extérieur ne sont pas fondamentales, de premier abord en tout cas.

MULTIPLEXAGE ET TRAME

Le multiplexage consiste à transmettre des informations différentes (mais compatibles entre elles) dans un seul et unique canal de transmission. Pour cela, on procède par découpage des informations et on les transmet à la queue leu leu sous forme de trames :

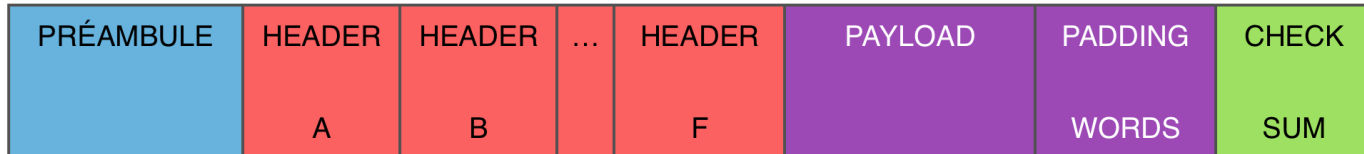


Le train unique de messages est alors stocké dans un buffer (mémoire de stockage temporaire) avant que ne s'opère un dispatching vers les destinataires concernés.

Le canal de transmission relie un ou des transmitters à un ou des receivers

PART IV : Les réseaux

Toutes les trames fonctionnent sur un principe identique



- Un préambule qui consiste à annoncer la venue d'informations aux différentes machines du réseau
- Des headers qui permettent de faire un tri rapide avant même de lire les informations (si le receiver n'est concerné par aucun des headers alors il dégage la trame)
- Le Payload qui concerne le contenu proprement dit (il peut être dans certains cas complété par du padding words, éléments neutres qui remplissent complètement le payload pour les protocoles qui ne fonctionnent qu'avec des payload à format fixe)
- Le Check sum qui sert à vérifier l'information en faisant une somme de contrôles

ENCAPSULATION D'UNE TRAME

Le principe des headers permet de renseigner la trame sur ce qu'elle contient et suivant quels protocoles elle est construite.

En encapsulant les trames, on inclut les données d'un protocole dans un autre protocole

Exemple : Header Ethernet

Header Ethernet

Header IP

Header Ethernet

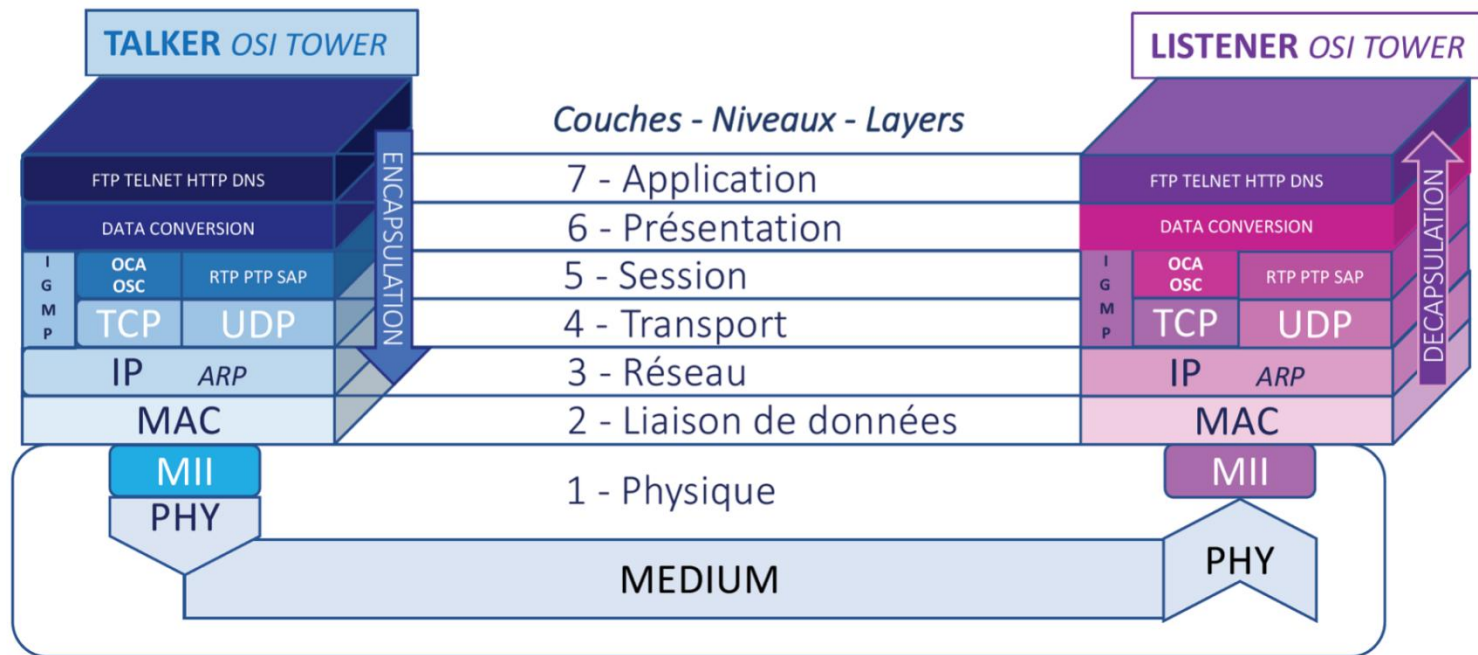
Header IP

Header TCP

Pour faire comprendre que la trame est de forme TCP/IP il faut un header TCP encapsulé dans un header IP encapsulé dans un header Ethernet

PART IV : Les réseaux

MODELE OSI (Open System interconnection)



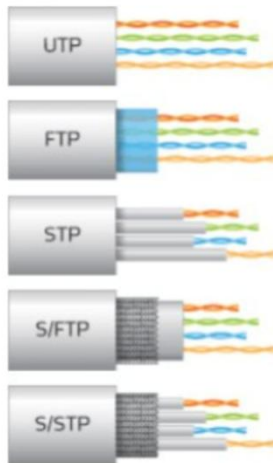
1. Couche physique dépendante du médium (fibre, rj45)
2. Adresse MAC propre à chaque machine pour provenance et destination
3. Adresse IP avec passerelle ARP entre couche MAC et couche IP (provenance et destination)
4. Transport du message avec ou sans requête de bonne réception (UDP sans requête/ TCP avec requête)
5. Nature même du message (RTP Real Time Protocol audio en temps réel, OSC Open Sound Control pour faire de la remote etc...)
6. Etage de conversion comme par exemple les CODEC (COdeurs / DECodeurs) si besoin
7. Application proprement dite

PART IV : Les réseaux

LIAISONS PHYSIQUES

Il existe plusieurs types de liaisons pour les réseaux : les fibres optiques et les câbles rj45.

Pour ces derniers, on peut trouver diverses catégories dues notamment au soin apporté au blindage.



Différence entre les câbles

Unfoiled twisted pair, aucun blindage particulier

Foiled twisted pair, blindage d'aluminium général, autour des 8 brins

Shielded twisted pair, chaque 2 brins est entouré d'une feuille d'aluminium

FTP avec conducteur de drainage qui conduit les parasites vers la terre

STP avec conducteur de drainage

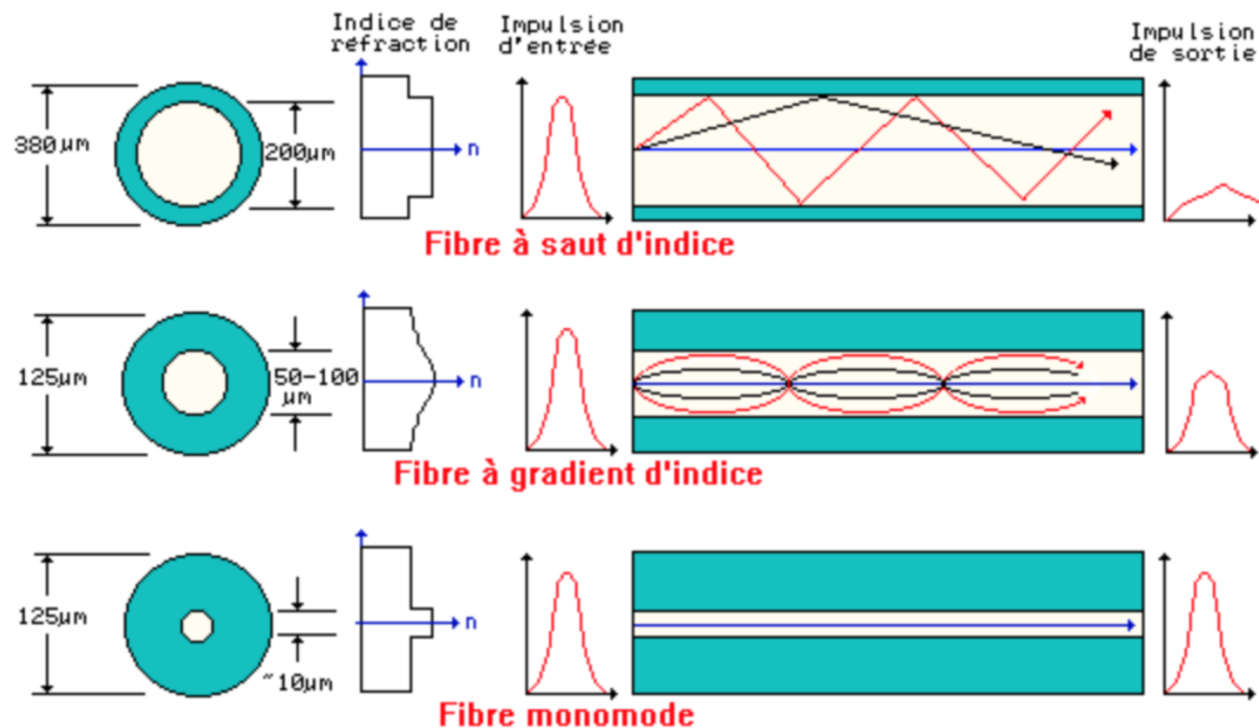
Dans tous les cas, deux paires sont tressées large et deux paires sont tressées étroitement pour des histoires de diaphonie (ici : bleu / vert large et orange / marron étroit)



PART IV : Les réseaux

FIBRE OPTIQUE

Deux sortes de fibres optiques, la monomode et la multimode. La monomode est la plus coûteuse, mieux polie, un verre sans aspérité et permet de parcourir des distances énormes tandis que la multimode est fabriquée avec un verre plus grossier ce qui va entraîner un chemin plus chaotique du signal qui va se réfléchir sur les parois.



PART IV : Les réseaux

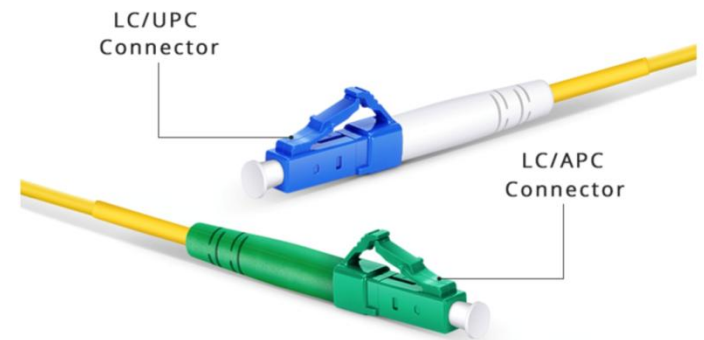
Code couleur

Trois couleurs pour se repérer dans les différentes fibres :

Blanc c'est multimode



Bleu ou vert c'est monomode



Ultra Physical Contact Connector



Angled Physical Contact Connector

La différence se fait au niveau du connecteur. Le modèle biseauté est celui qui transmet le mieux le faisceau en cas de raccordement, il est le plus cher.

PART IV : Les réseaux

L'ADRESSAGE IP

Il y a plusieurs façons de transmettre une information à une machine, notamment :

- par son adresse MAC (Media Access Control) qui est une adresse machine unique délivrée par l'IEEE un peu comme la carte vitale d'un individu. Elle compte 6 nombre de 8 bits exprimés en hexadécimal.
- par une adresse IP (Internet Protocol) configurable qui pourrait s'apparenter à l'adresse postale de l'individu

Donner un courrier à quelqu'un grâce à sa carte vitale est la certitude d'une transmission en main propre mais difficile de localiser la personne, alors que distribuer un courrier dans une boîte postale est bien plus simple mais plusieurs individus peuvent avoir accès à cette boîte.

C'est le principe de l'adresse IP.

Une adresse IP v4 compte 4 octets , une adresse IP v6 en compte 6. En audio, on ne travaille qu'en IP v4.

Une adresse IP n'a de sens qu'associée au masque de sous-réseau qui détermine les restrictions d'accès aux autres machines.

On pourrait faire l'analogie de l'adresse postale avec

Octet 1 renseigne la ville

Octet 2 renseigne la rue

Octet 3 renseigne le bâtiment

Octet 4 renseigne l'appartement

Ainsi, une adresse IP 172.31.34.87 avec masque de sous réseau 255.255.0.0 n'autorise les connections qu'entre machines de la même rue (en 172.31.xx.xx)

Une adresse IP 192.168.2.5 avec masque de sous-réseau 255.255.255.0 n'autorise les connections qu'entre machines du même bâtiment (en 192.168.2.xx)

PART IV : Les réseaux

DHCP

Le DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) est un mode d'adressage automatique. L'adresse IP sera fournie par une machine DHCP server ON.

Une borne Wifi est par défaut DHCP server ON ce qui permet à toutes les machines configurées en adressage automatique de se trouver une adresse IP à partir de la borne.

ZERO CONF

Le mode zero conf (zéro configuration) est le mode d'adressage que les machines adoptent lorsqu'elles sont en mode automatique et qu'aucune autre n'est DHCP server ON.

L'adresse zero conf est 169.254.xx.xx avec un masque de sous-réseau en 255.255.0.0

IP STATIQUE

Rien n'oblige à travailler en DHCP, on peut très bien définir ses adresses manuellement. Toutefois, il faut savoir qu'une immense majorité des adresses est destinée au commerce des sites marchands. Ces adresses sont dites publiques et la plupart du temps ne fonctionnent pas sur nos machines audio (n'oublions pas qu'elles utilisent les chips and configs des machines de telecom standard). Certaines adresses considérées privées fonctionnent dont le zero conf, le 192.168.xx.xx, le 172.31.xx.xx, le 10.0.xx.xx etc...

Travailler en IP statique est donc possible mais mieux vaut bien connaître l'univers des possibles.

Toutefois, il n'est pas exclu de travailler en IP statique avec des adresses de zero conf en nommant 169.254.1.xx toutes les machines dans la salle 1 et 169.254.2.xx toutes celles de la salle 2 etc... si jamais une machine de l'extérieur venait à être insérée dans le réseau, même en zéro conf, elle pourrait s'immiscer sans difficulté et sans planter le réseau.

PASSERELLE NAT (Network Address Translation)

La passerelle NAT est un outil de télécommunication qui permet de faire le lien entre les adresses publiques et les adresses privées. Ainsi, on pourrait faire dialoguer notre réseau privé virtuel vers le monde extérieur grâce à cette passerelle

PART IV : Les réseaux

LES SWITCHS

Les switchs vont être les machines qui vont nous permettre la convergence des réseaux. Leur rôle est avant tout un rôle de transmission et de dialogue. Grâce à eux, nous pouvons envisager d'autres topologies que le point à point, la chaîne ou le réseau en anneau.

Point à Point

2 End points

1 lien: tous modes possibles



Liaison basique, il n'est pas vraiment question de « réseau »

BUS

X End points

1 lien partagé (en dérivation)



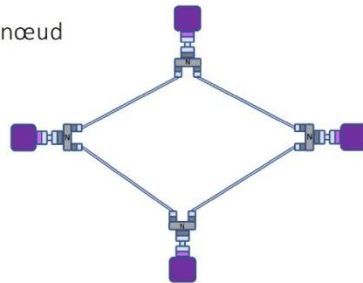
Pas d'entité nœud. Limitations électriques

Liaison à la queue leu leu, possible sous certaines conditions (deux ports par machine dans la même plage IP), pas de **redondance** possible (*redondance : liaison double parallèle prenant le relais en cas de rupture*)

ANNEAU (ring)

X End points chacun étant un nœud

X liens



Selon le mode de fonctionnement des liens, la transmission peut être garantie en cas de rupture. Boucle non adaptée à tous les protocoles

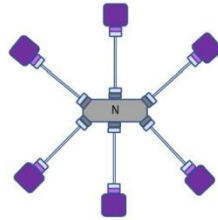
Liaison utilisant deux ports permettant la redondance mais sous certaines conditions, davantage adaptée aux réseaux qui dialoguent sur l'adresse MAC (comme l'AVB) que sur l'IP

PART IV : Les réseaux

Le switch va permettre les topologies de type étoile, on parlera alors de nœud de transmission

ETOILE (*star*)

X End points
1 Noeud
X liens tous modes possibles
Unique chemin End to End

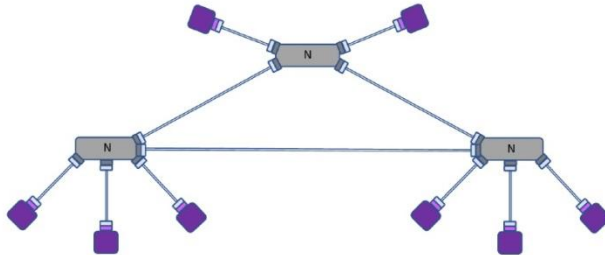


L'ensemble des transmissions repose sur une entité nœud
> notion de capacité de commutation (to be continued)

Liaison nécessitant un switch qui est relié à toutes les machines du réseau et assure les dialogues entre elles.
Pas de redondance en cas de rupture d'une liaison

MAILLE (*mesh*)

Multiplés chemins « End to End »



Comme pour Anneau, boucle non adaptée à tous les protocoles
Avantage : redondance de lien grâce à un protocole

La topologie maille tente de combiner les topologies Etoile et Anneau. Sous certaines conditions, cette topologie fonctionne permettant la souplesse de l'étoile et la sécurisation de la redondance

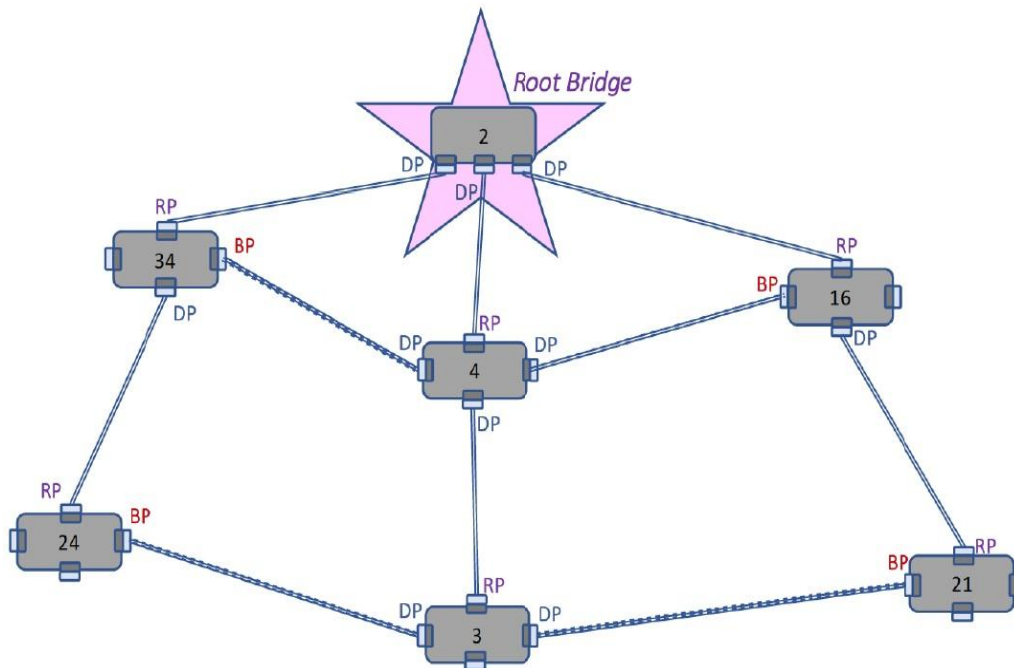
PART IV : Les réseaux

SPANNING TREE PROTOCOL

Ce protocole a été inventé pour réussir la topologie Maille sans provoquer des **tempêtes de Broadcast** à tout bout de champ.

La tempête de broadcast est le phénomène de bouclage réseau qui provoque son plantage

Spanning Tree Protocol



Désignation d'un switch racine « Root »

Tous les autres switches sont reliés en double pour assurer la redondance par leurs ports de transmission (**Trunk**)

Les ports reliés au « Root » sont des root ports RP, les autres DP sont des ports désignés

Pour éviter le bouclage, certains ports désignés sont bloqués BP tant qu'aucune liaison n'est rompue. Si une liaison d'un port désigné venait à rompre, le blocked port BP deviendrait un port désigné en secours

PART IV : Les réseaux

Notion de port Trunk ou port de transmission

Hormis le port de contrôle du switch (son port remote), un switch a deux types de ports : ceux qui sont reliés aux machines du réseau et ceux qui servent à relier les switches entre eux.

Ces derniers sont les ports Trunk. On peut les considérer comme une locomotive à laquelle on va rattacher des wagons qui contiennent les informations récoltées sur les ports machine.

Un port fibre optique est donc un port Trunk lui-même relié à un autre port Trunk sur un autre switch pour assurer la transmission entre les deux. Le port Trunk peut bien entendu être au format RJ45.



PART IV : Les réseaux

Notion de VLAN (Virtual Local Area Network)

Le Vlan est une façon de compartimenter les ports machine du switch. Ainsi, on va pouvoir couper le switch en 3 compartiments distincts un peu comme si on avait trois switches distincts mais dans une seule et unique boîte.

Le Vlan 1 (bleu) pourra par exemple transporter des datas pour piloter les projecteurs lumière

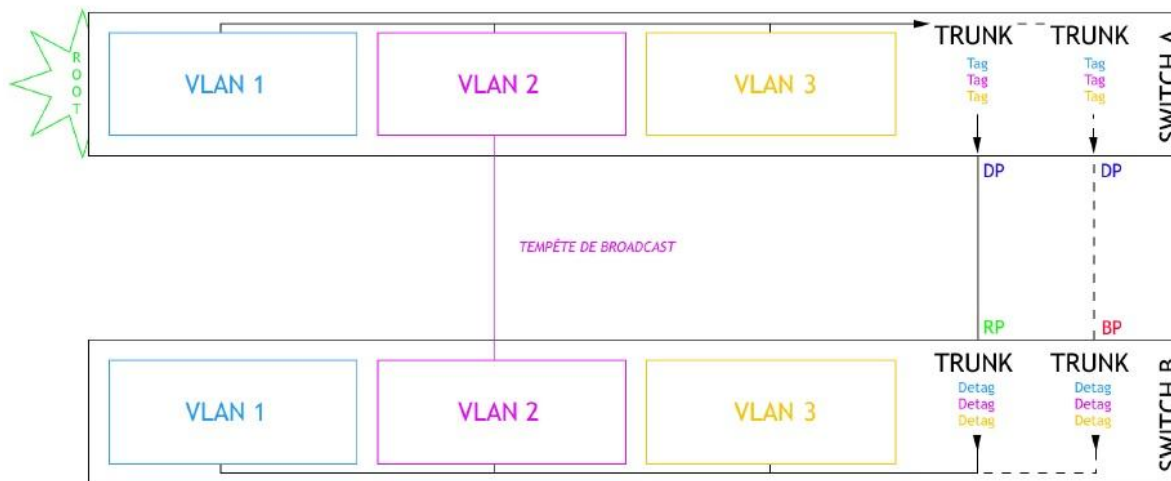
Le Vlan 2 (rose) pourra par exemple transporter des informations Vidéo

Le Vlan 3 (jaune) pourra par exemple transporter des informations Son

Chacun des Vlan aura son adressage IP, pourra être d'un débit différent etc...

Toutes ces informations vont transiter par la fibre via le port Trunk. Ce dernier va étiqueter en bleu, en rose ou en jaune les datas en fonction de leur provenance, on dit qu'il va « Taguer » les trames. De l'autre côté, le port Trunk qui reçoit les paquets va « détaguer » les trames pour redistribuer aux Vlans respectifs.

Attention, si on relie deux Vlans entre eux sans les exclure du port Trunk, on crée une tempête de Broadcast



PART V : Le Dante

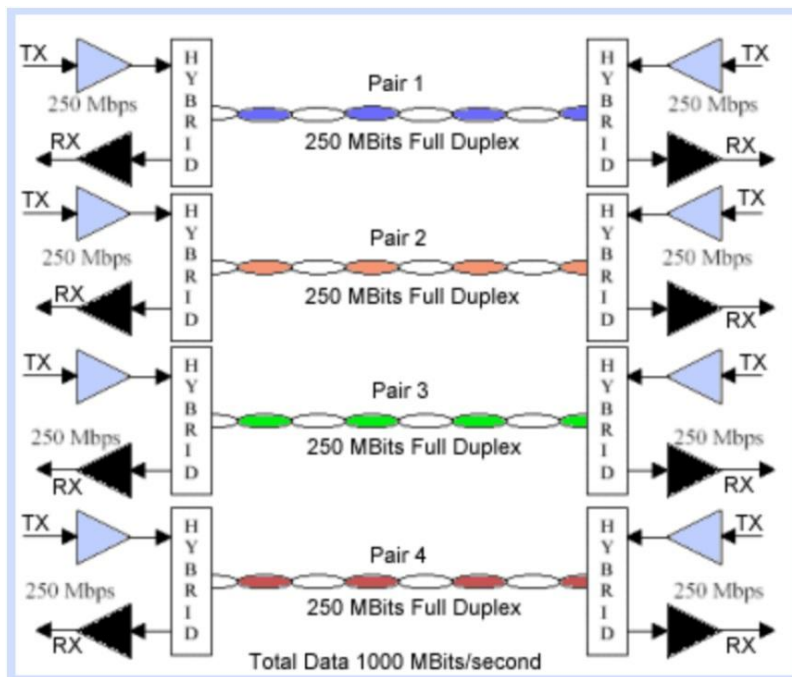
INTRODUCTION

Créé par Audinate®, le **Dante** est un réseau audio sous IP. Il est donc de niveau 3 si on se réfère au modèle OSI (le niveau 2 se situant au niveau de l'adresse MAC).

Il autorise 512 canaux en bidirectionnel à 48 kHz sur des câbles RJ45 de cat 5e jusqu'à 100m maximum.

Les liaisons sont en 1 Gigabits / s et nécessitent donc l'utilisation de switchs Gigabits ou plus, pas de Wifi possible.

En Gigabits, les 8 fils du câble RJ45 sont utilisés.



Chaque transmitter TX est relié à un receiver RX

Chaque paire gère 250 Mbits soit ¼ du flux

Les interfaces physiques sont hybrides c'est-à-dire qu'elles peuvent être soit transmitter soit receiver ce qui permet des liaisons full duplex (dans les deux sens)

PART V : Le Dante

Le côté bidirectionnel de ce réseau a pour conséquence immédiate que chaque machine va proposer un certain nombre de canaux audio dans un sens et dans l'autre.

Ainsi, il va y avoir des canaux audio à destination du réseau et d'autres qui vont récupérer des informations audio en provenance du réseau.

Les termes exacts sont **Transmitters** et **Receivers** alors que bien souvent, on trouvera sur les machines les notions d'input et d'output ce qui peut prêter à confusion. Les machines disposent donc d'un certain nombre de canaux transmitters et un certain nombre de canaux receivers.

- La console CL1 de chez Yamaha propose 64 transmitters et possède 64 receivers alors que la QL1, toujours chez Yamaha n'en proposera que 32 et 32.
- La carte optionnelle Dante sur une console M32 de chez Midas propose 32 transmitters et possède 32 receivers
- L'ampli de puissance Nexo NX AMP possède 4 receivers mais ne propose aucun transmitter (son rôle est d'amplifier des enceintes, pas de faire du traitement audio destiné à d'autres receivers Dante)
- Le processeur de diffusion Lake LM26 propose 8 transmitters et ne possède que 4 receivers etc...

La connexion entre un transmitter et un receiver se nomme un **abonnement** ou une **souscription**

Exemple :

Pour envoyer un micro dans une enceinte Nexo en passant par une QL1 Yamaha en Dante, il faut faire les étapes suivantes :

- a/ Patcher le micro sur un channel de la QL1, le préamplifier en l'alimentant le cas échéant puis le router vers une sortie
- b/ Patcher cette sortie vers un des 32 transmitters Dante de la console
- c/ Abonner ce transmitter à un des 4 receivers du Nexo NX AMP
- d/ Patcher ce receiver Nexo au canal d'ampli où est branchée l'enceinte

Au final , il n'y aura en tout et pour tout entre la console et l'ampli qu'un câble RJ45 cat5e.

PART V : Le Dante

REDONDANCE

Le Dante est configurable en mode Daisy Chain (topologie BUS voir page 56) ou redondant. Les cartes réseau Dante possèdent deux ports RJ45, le Primary et le Secondary. La plupart des cartes propose 64 canaux en bidirectionnel mais il en existe qui offrent le double, certaines en offrent moins.

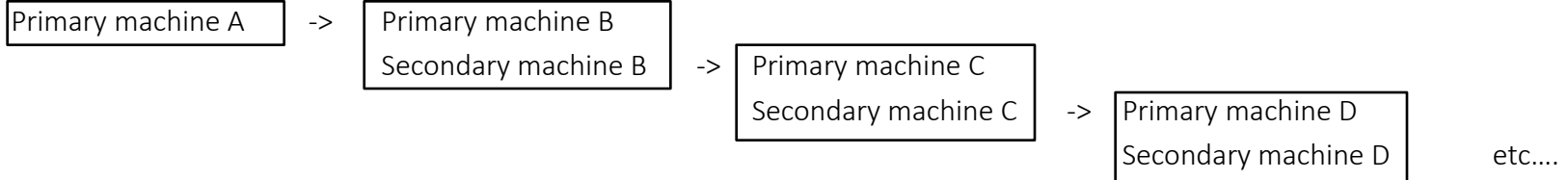


Le Dante fonctionne très bien en zero conf mais rien ne l'oblige. Nous pourrions configurer des machines en IP fixe sur des adresses privées. Nous partirons du principe que nous ne fixerons pas les adresses IP et laisserons les machines dialoguer entre elles pour l'attribution des adresses en mode zero conf.

En mode zero conf, le port primaire a pour adresse 169.254.xx.xx avec un masque de sous-réseau 255.255.0.0

1^{er} cas : Daisy chain

Dans ce cas, nous relierons les différentes machines entre elles de la façon suivante

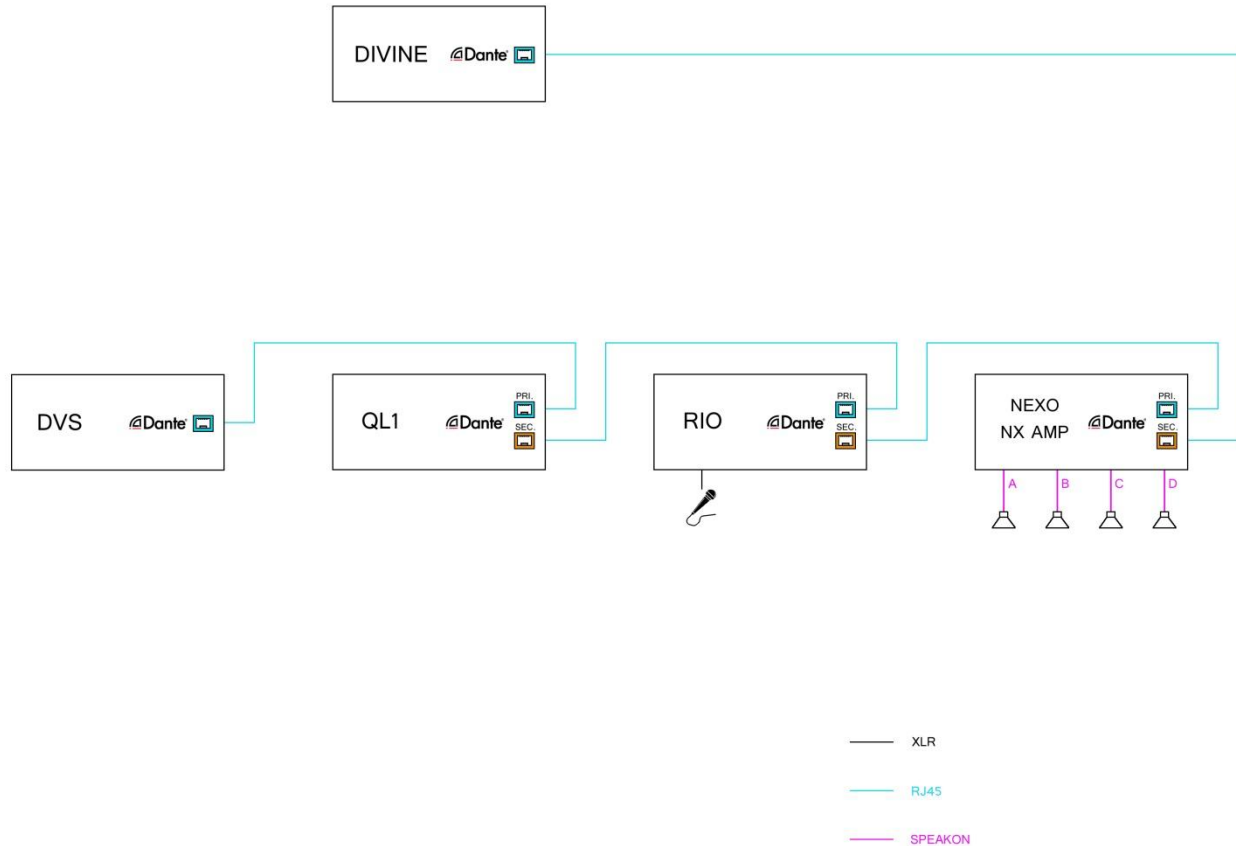


PART V : Le Dante

Pour dialoguer, il faut impérativement que les machines soient dans la même plage d'adresses IP.

En mode Daisy Chain, le port secondaire se comporte comme un switch, il voit le port primaire car il est lui aussi dans la même plage d'adresse IP.

Ainsi chaque port secondaire des différentes machines présentes est en 169.154.xx.xx avec un masque de sous-réseau 255.255.0.0

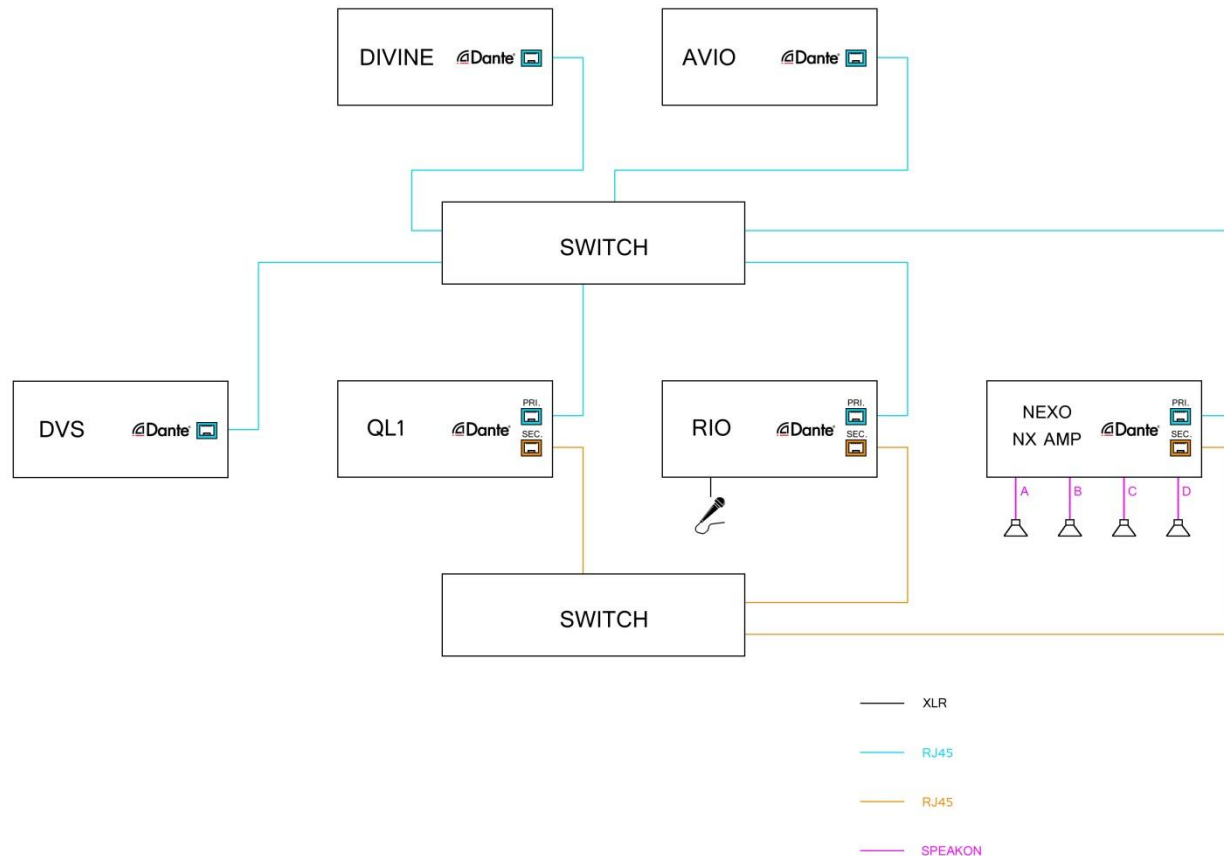


PART V : Le Dante

2nd cas : Redondant

Cette fois, le port secondaire doit prendre le relais en cas de rupture d'une liaison primaire. Il faut donc que les ports secondaires soient dans une autre plage d'adresse IP que les ports primaires.

Ainsi chaque port secondaire des différentes machines présentes est en 172.31.xx.xx avec un masque de sous-réseau 255.255.0.0



PART V : Le Dante

Dans ce second cas, il est obligatoire d'utiliser des switchs. Il y a donc un switch pour regrouper tous les ports primaires entre eux et un second switch pour regrouper tous les ports secondaires entre eux.

Note : sur le second schéma est apparue une nouvelle machine AVIO qui n'existait pas dans le premier schéma car elle ne comporte pas de port secondaire. C'était le cas de la machine nommée Divine qui nécessairement, en daisy chain, se retrouve en fin de chaîne, il a fallu donc faire un choix entre ces deux machines. Pour réussir à tout câbler en daisy chain, il aurait fallu utiliser un switch, nous aurions alors adopté une topologie en étoile

Cas de figure fréquent :

Si par malheur, une machine était configurée en daisy chain dans le synoptique Redondant, tout le réseau plante.

En effet, on a sur le switch port primaire : des machines sur 169.254.xx.xx

sur le switch port secondaire : des machines sur 172.31.xx.xx et **une** machine sur 169.254.xx.xx

Cette machine est reliée à son port primaire puisqu'elle est en Daisy Chain mais elle est aussi reliée au switch des ports secondaires. Ainsi, tous les ports ont à la fois des messages en 169.254.xx.xx et 172.31.xx.xx

Le dialogue est impossible.



Il est donc impératif de bien vérifier l'état dans lequel se trouve chaque machine du réseau, la configurer le cas échéant, avant de câbler les ports secondaires entre eux dans un switch dédié.

PART V : Le Dante

DANTE CONTROLLER



Le Dante controller est un logiciel gratuit qui permet d'avoir un visuel sur le réseau, d'effectuer les abonnements et de configurer les machines en mode daisy chain (aussi appelé switched) ou en mode redondant.

Abonnements :

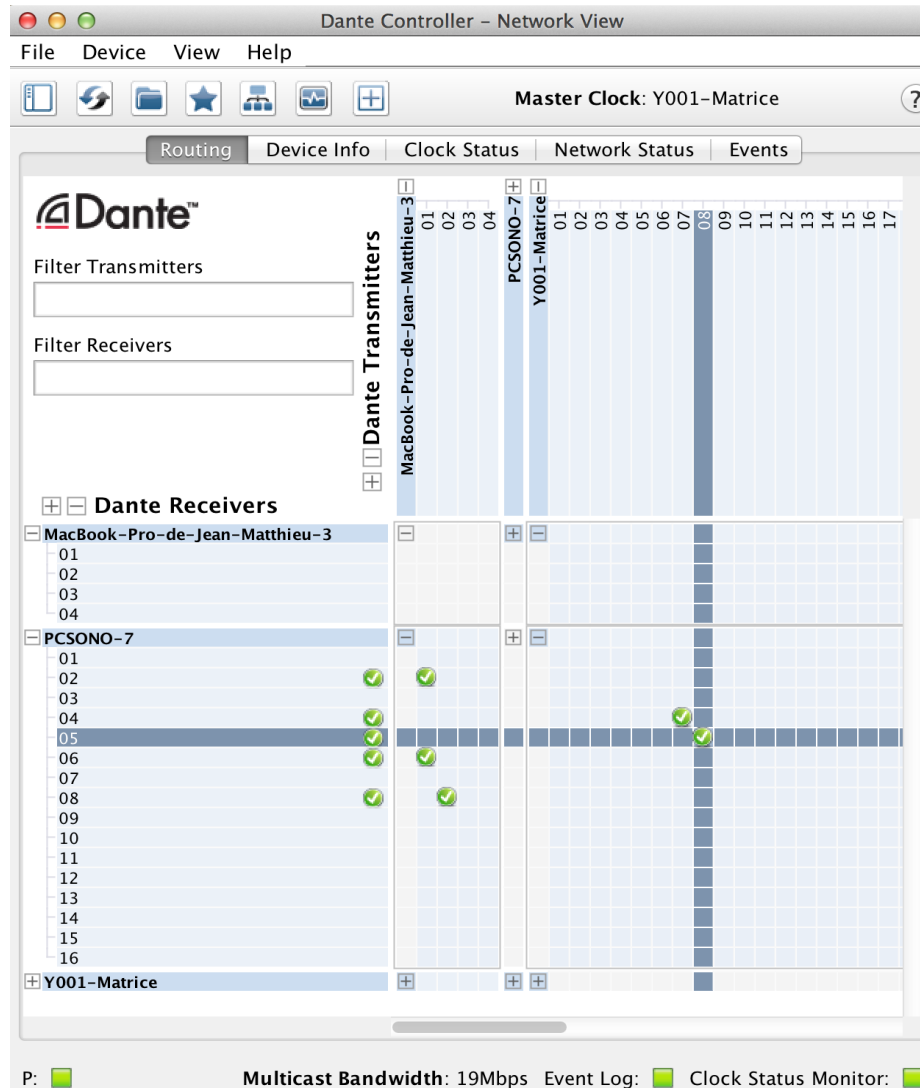
Le Dante controller fait un état du réseau. Il scanne toutes les machines et affiche pour chacune d'elles le nombre de transmitters et de receivers.

Dans le cas qui se présente ci-après, nous sommes en présence d'une matrice pour système Public Address Yamaha MRX-7D qui propose 64 canaux de transmitters et 64 canaux de receivers, un Mac Book Pro doté d'une carte Dante Virtual Soundcard (logiciel qui simule une carte son au format Dante à partir du port Ethernet de l'ordinateur) qui compte 4 transmitters et 4 receivers, et d'un PC doté aussi d'une DVS mais configurée sur 16 transmitters et 16 receivers.

L'abonnement est très simple, il suffit de positionner le curseur à la croisée d'un transmitter et d'un receiver et de cliquer.

Si l'abonnement est valide, une icône verte s'affiche. Sinon, un petit panneau rouge indique qu'il est impossible de faire l'abonnement (souvent lorsque les machines ne sont pas dans la même fréquence d'échantillonnage)

PART V : Le Dante



La liste des transmitters possibles se lit de gauche à droite sur la partie haute

Ici, le PC SONO 7 reçoit le transmitter 1 du Mac Book sur ses receivers 2 et 6, le transmitter 2 du Mac Book sur son receiver 8 et les Transmitters 7 et 8 de la Matrice sur ses receivers 4 et 5

La liste des receivers possibles se lit de haut en bas sur la partie gauche

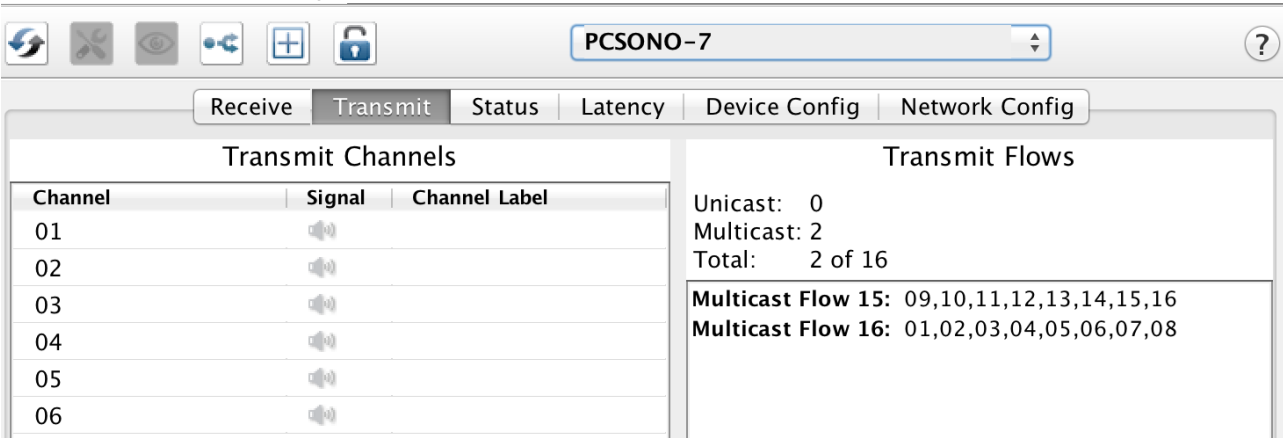
PART V : Le Dante

UNICAST / MULTICAST

Les abonnements que nous venons de faire sont des abonnements de type Unicast (Un talker envoie un message à un listener). Avec Dante, un même message peut être envoyé en Unicast jusqu'à 3 listeners, au-delà, il faut changer de mode d'abonnement et passer en mode Multicast pour ne pas saturer le réseau.

Le Multicast permet d'envoyer un message à plus de 3 destinataires différents. Pour cela, en créant un flux multicast, on envoie le message à une centrale d'abonnement dans les switches et chaque machine qui veut recevoir l'information devra s'abonner à cette centrale d'abonnement, un peu comme lorsque l'on s'abonne à un journal, le créateur du journal ne connaît pas le lecteur, il envoie ses journaux à une centrale qui gère la répartition.

Il existe également le mode Broadcast qui envoie le message à tout le monde, un peu comme la pub qui arrive dans nos boîtes aux lettres.



The screenshot shows the Dante Controller application window. The title bar includes 'File', 'Device', 'View', and 'Help' menus. Below the title bar is a toolbar with icons for refresh, disconnect, status, add, and lock. A dropdown menu shows 'PCSONO-7'. The main interface has tabs for 'Receive', 'Transmit' (selected), 'Status', 'Latency', 'Device Config', and 'Network Config'. The 'Transmit' tab is divided into two sections: 'Transmit Channels' and 'Transmit Flows'.

Channel	Signal	Channel Label
01		
02		
03		
04		
05		
06		

Transmit Flows

Unicast: 0
Multicast: 2
Total: 2 of 16

Multicast Flow 15: 09,10,11,12,13,14,15,16
Multicast Flow 16: 01,02,03,04,05,06,07,08

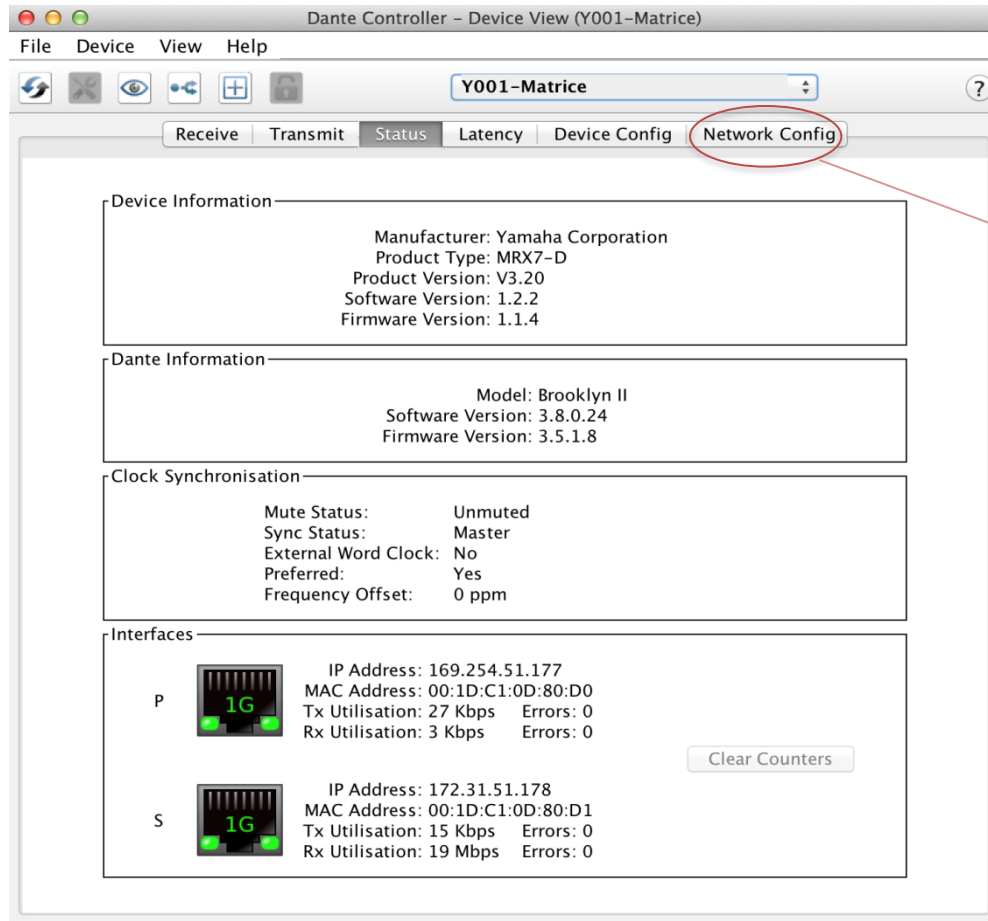
Exemple de flux multicast créés à partir du PC SONO7 avec le Dante Controller

PART V : Le Dante

CONTRÔLE DU RESEAU

Le Dante controller donne l'état du réseau.

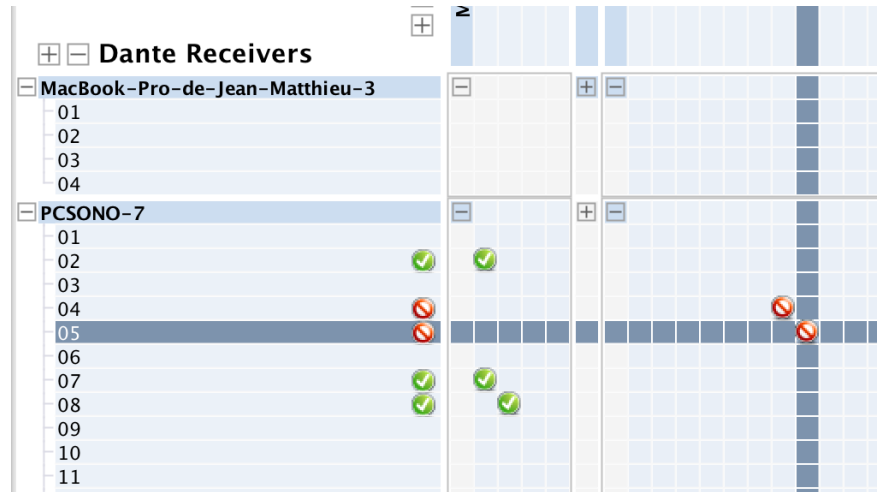
Ici, on constate que la Matrice est en mode redondant (Primary et Secondary sont sur des adresses IP différentes)



L'onglet Network config donne la possibilité de passer du mode redondant au mode switched. Il faut éteindre et rallumer la machine ensuite pour qu'elle intègre cette modification.

PART V : Le Dante

Exemple d'abonnement qui n'a pas abouti



SYNCHRO

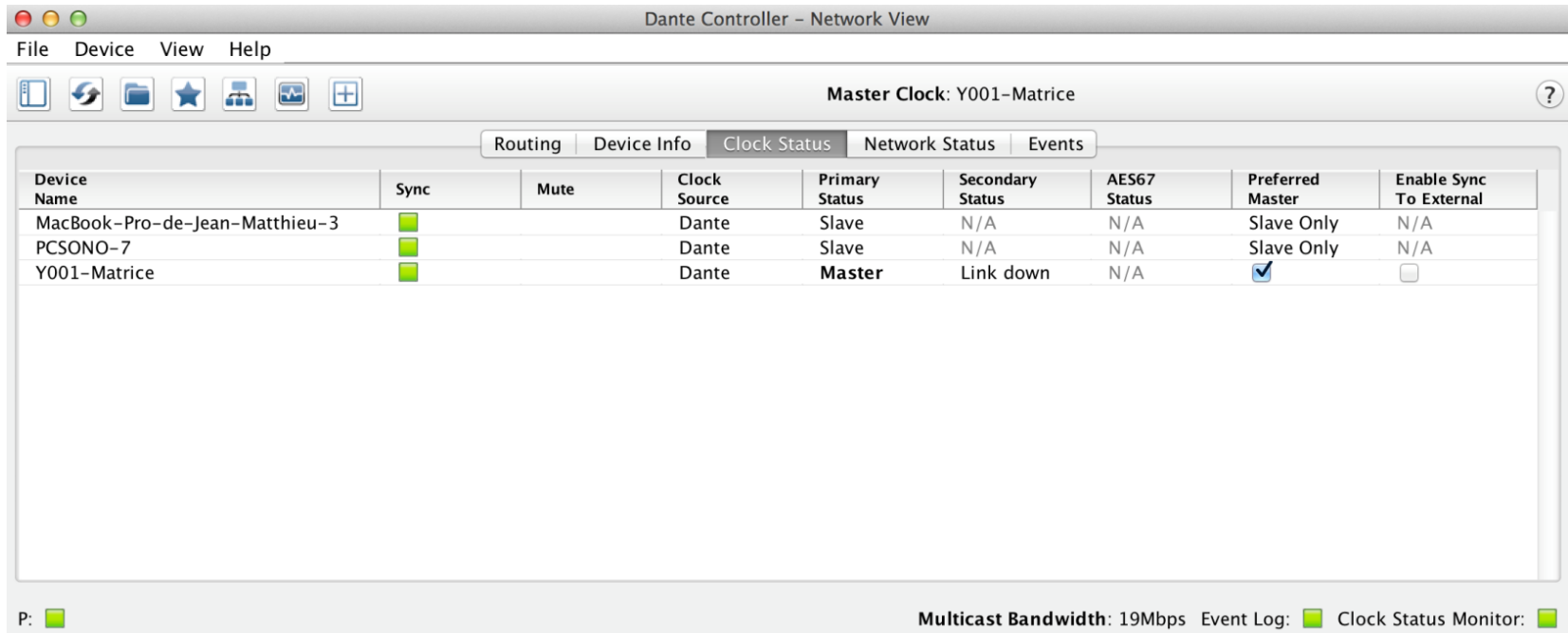
La synchro en Dante est assurée par chacune des cartes de chacune des machines. Ainsi, le signal de synchro ne parcourt pas des dizaines de mètres. Par contre, il n'en reste pas moins qu'il faut désigner un maître de l'horloge.

Le principe est que l'horloge est rectifiée 4 fois par seconde par le maître, un peu comme un chef d'orchestre qui régule le tempo de ses musiciens qui rectifient leur pulsation interne en se calant sur la baguette.

Ce principe de synchro se nomme **PTP** (Precision Time Protocol)

Dans le Dante controller, on peut définir qui sera le preferred master. Si on ne fait rien, une élection entre machine s'opère et c'est la machine la plus ancienne qui devient la preferred master, histoire d'être certain que les autres machines soient firmware compatibles.

PART V : Le Dante



Dante Controller - Network View

File Device View Help

Master Clock: Y001-Matrice

Routing Device Info Clock Status Network Status Events

Device Name	Sync	Mute	Clock Source	Primary Status	Secondary Status	AES67 Status	Preferred Master	Enable Sync To External
MacBook-Pro-de-Jean-Matthieu-3			Dante	Slave	N/A	N/A	Slave Only	N/A
PCSONO-7			Dante	Slave	N/A	N/A	Slave Only	N/A
Y001-Matrice			Dante	Master	Link down	N/A	☒	☐

P:

Multicast Bandwidth: 19Mbps Event Log: Clock Status Monitor:

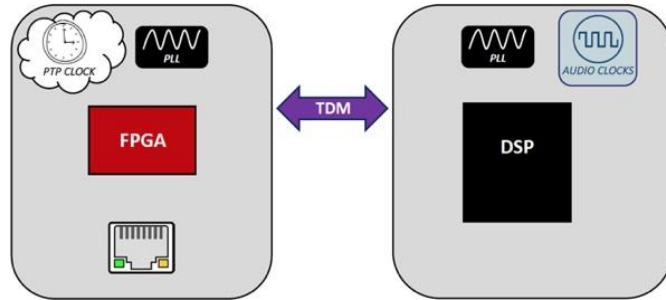
SYNC TO EXTERNAL

Les cartes Dante peuvent fournir la clock, celle qui est élue ou désignée Preferred Master est maîtresse de la PTP. Mais il est tout à fait possible qu'une carte Dante soit esclave d'une horloge externe. Pour cela, dans le Dante Controller, il est possible de sélectionner l'option « Sync to external »

Il est important de bien comprendre ce que cela signifie réellement.

PART V : Le Dante

Schéma d'une carte Dante dans une machine audio numérique :

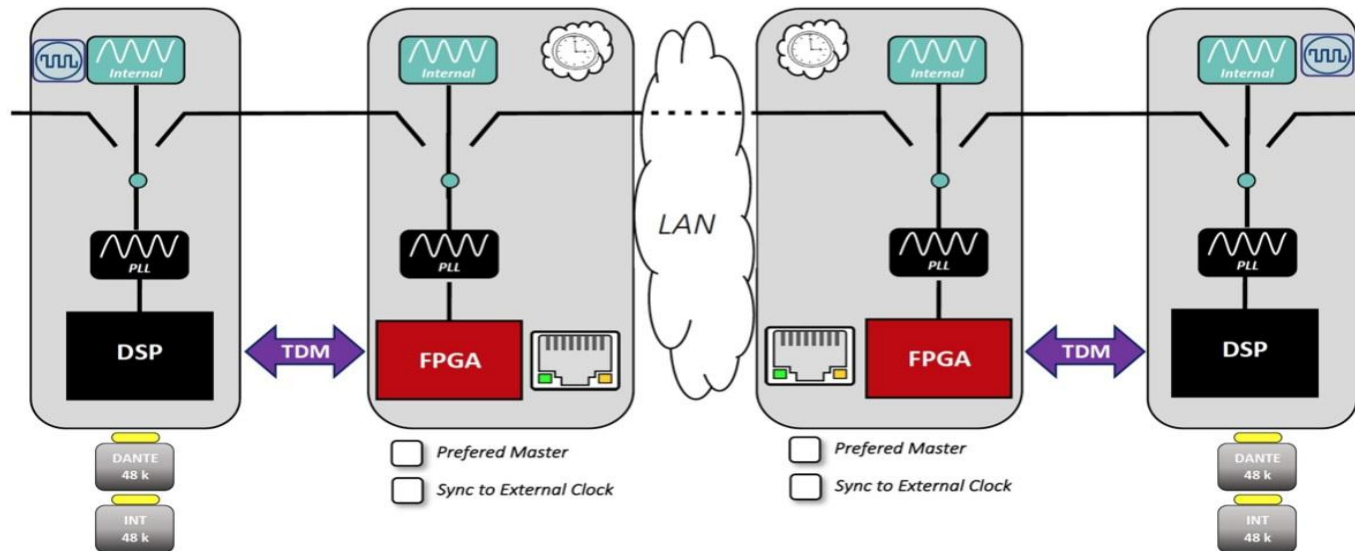


La carte Dante (en rouge) est en relation directe avec la machine audio qui dispose de DSP (Digital Signal Processing) par une liaison TDM (version Multipiste de n'importe quelle liaison audio numérique basique).

La carte Dante possède une PLL (Phase Locked Loop) qui génère une horloge, peut être maîtresse de la PTP et est FPGA (Field Programmable Gate Array) ce qui permet l'accès à une forme de réseau

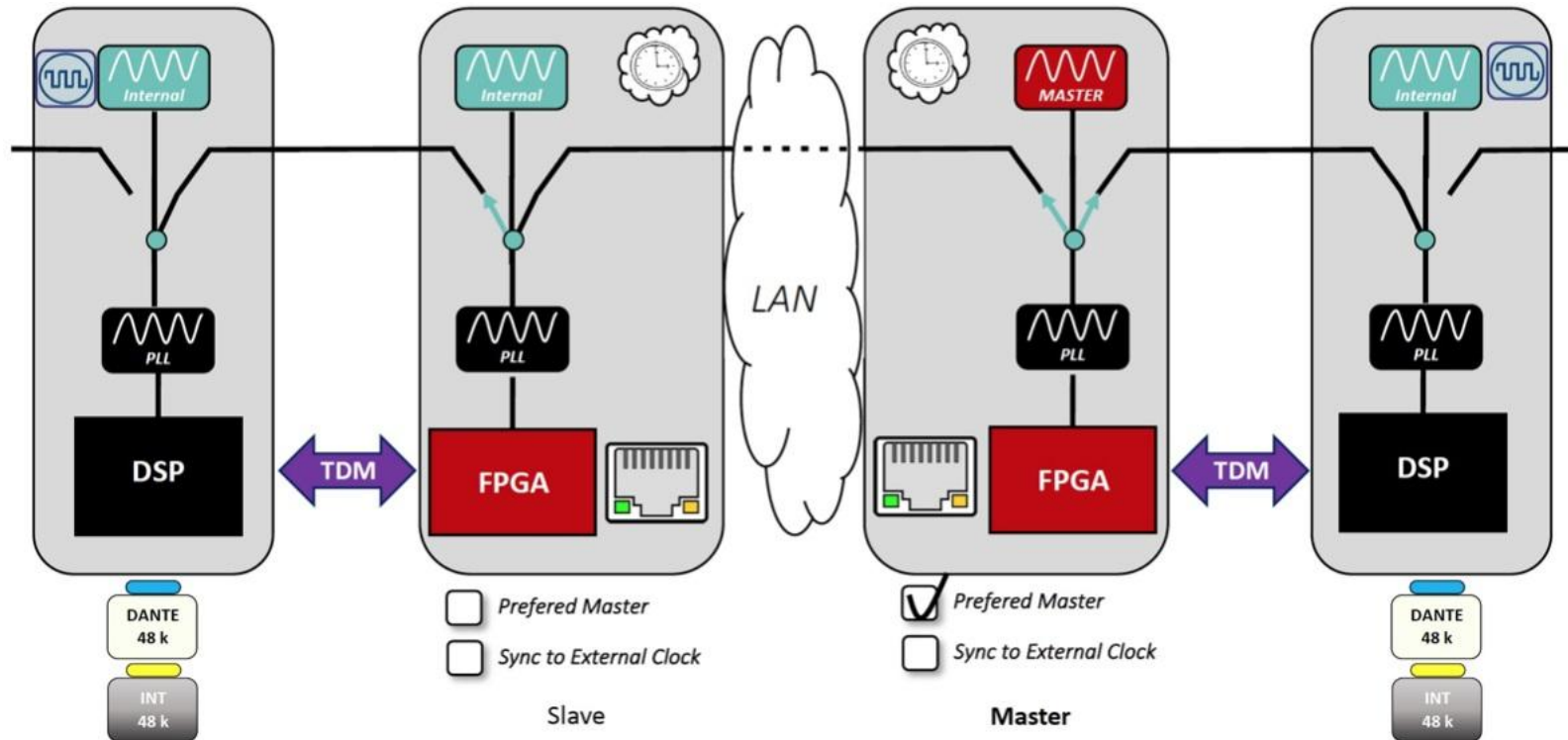
On constate également que la machine audio possède elle aussi une PLL qui lui permet de générer une clock Audio

Que se passe t'il lorsque l'on met 2 machines audio dotées de carte Dante ?



PART V : Le Dante

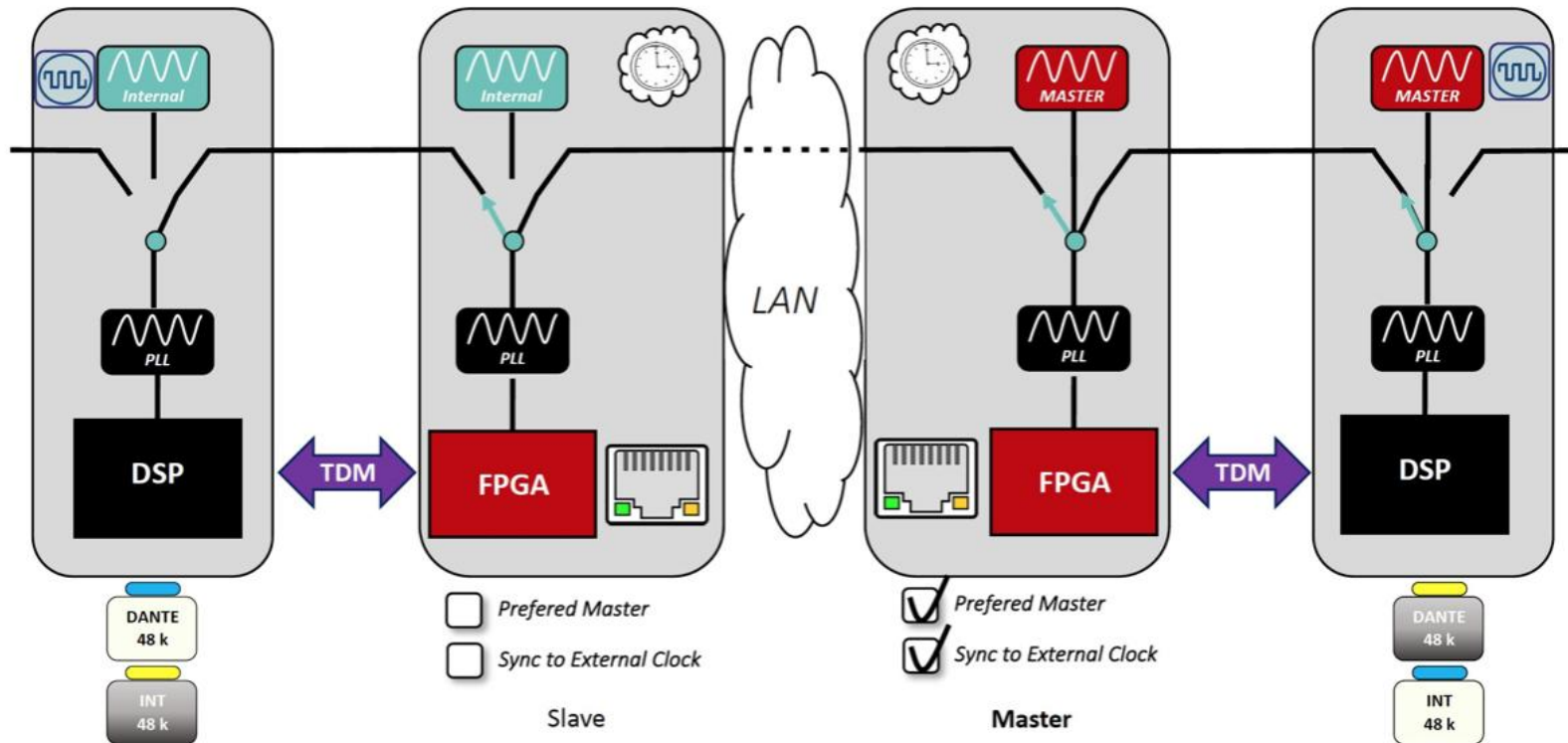
Cas N°1 : Pas de Sync to external



On choisit la machine de droite en Preferred Master sans Sync to external, elle fournit donc la PTP à la carte Dante de gauche, les deux machines audio sont clockées sur le Dante et sont donc esclaves toutes les deux

PART V : Le Dante

Cas N° 2 : Avec Sync to external

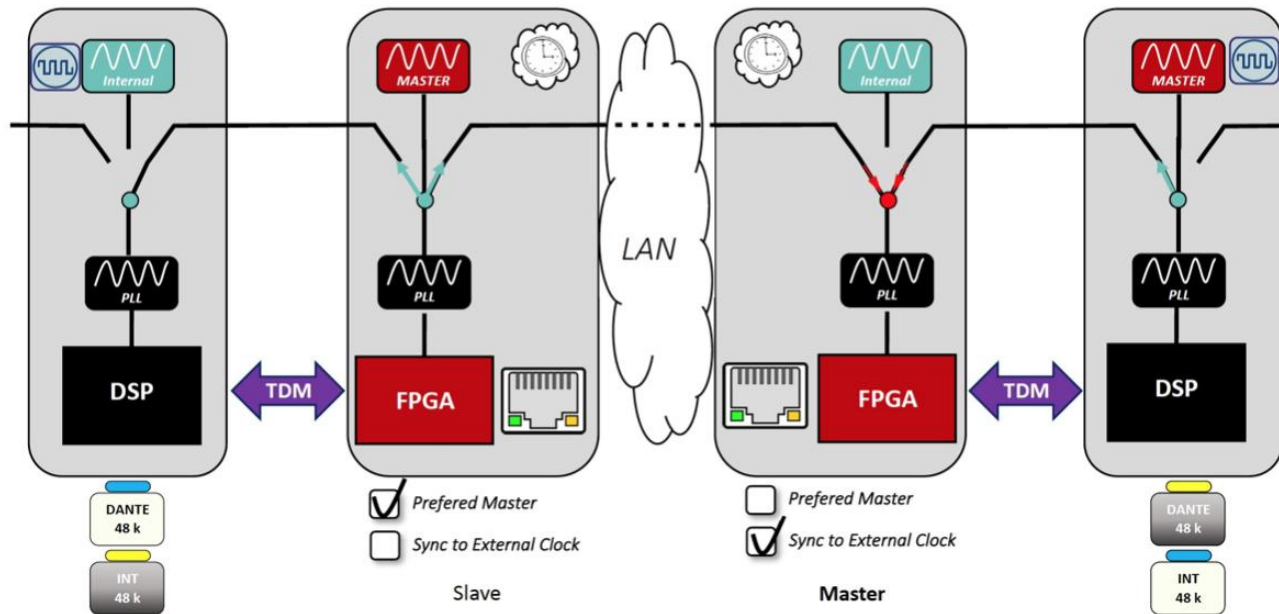


La machine de droite est toujours Preferred Master et va donc fournir la PTP à la machine de gauche mais elle est Sync to external. C'est donc la clock de la machine audio de droite qui est Master.

La machine de droite est en « interna l » les autres sont en esclave .

Il faut impérativement que la machine Sync to external soit Preferred master de la PTP

PART V : Le Dante



La machine de droite est Sync to external mais la machine de gauche est Preferred Master.

Pour la machine de droite, impossible de savoir qui doit la contrôler

LATENCE

La latence n'est pas fixe avec Dante. Si on a très peu de machines, on peut descendre à 0,25 ms.

Toutefois, la latence se cale sur la machine qui reçoit l'information en dernier en bufferisant les datas dans des mémoires temporaires.

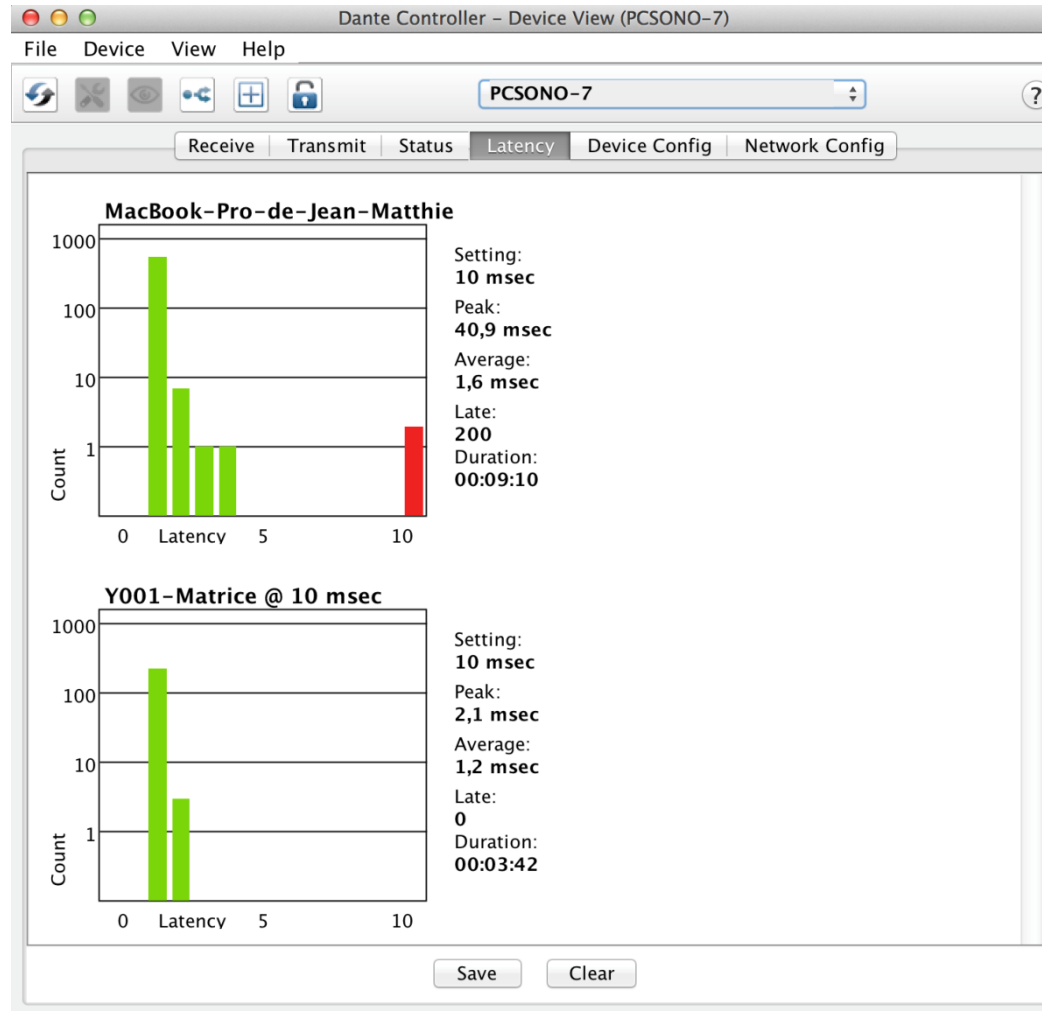
En cas de flux multicast, la latence est automatiquement de 1 ms minimum, car les flux multicast ne descendent pas en dessous.

Les indicateurs de latence sont présents dans Dante Controller.

Lorsque les latences sont mal gérées car trop faibles, les témoins l'indiquent et on peut intervenir directement avec le logiciel.

PART V : Le Dante

Exemple de latence trop juste, peak à 40,9 ms. Dans ce cas, il s'agissait des flux multicast qui étaient mal gérés par le Mac Book.



PART VI : Synoptiques

Un synoptique doit répondre principalement à une règle : ne laisser aucun doute quant aux possibilités de câblage à la personne dont ce sera la charge. Il faut donc maîtriser la chaîne et les équipements pour que les indications fournies par le synoptique soient suffisamment précises.

Le maître mot est la clarté. Pour cela :

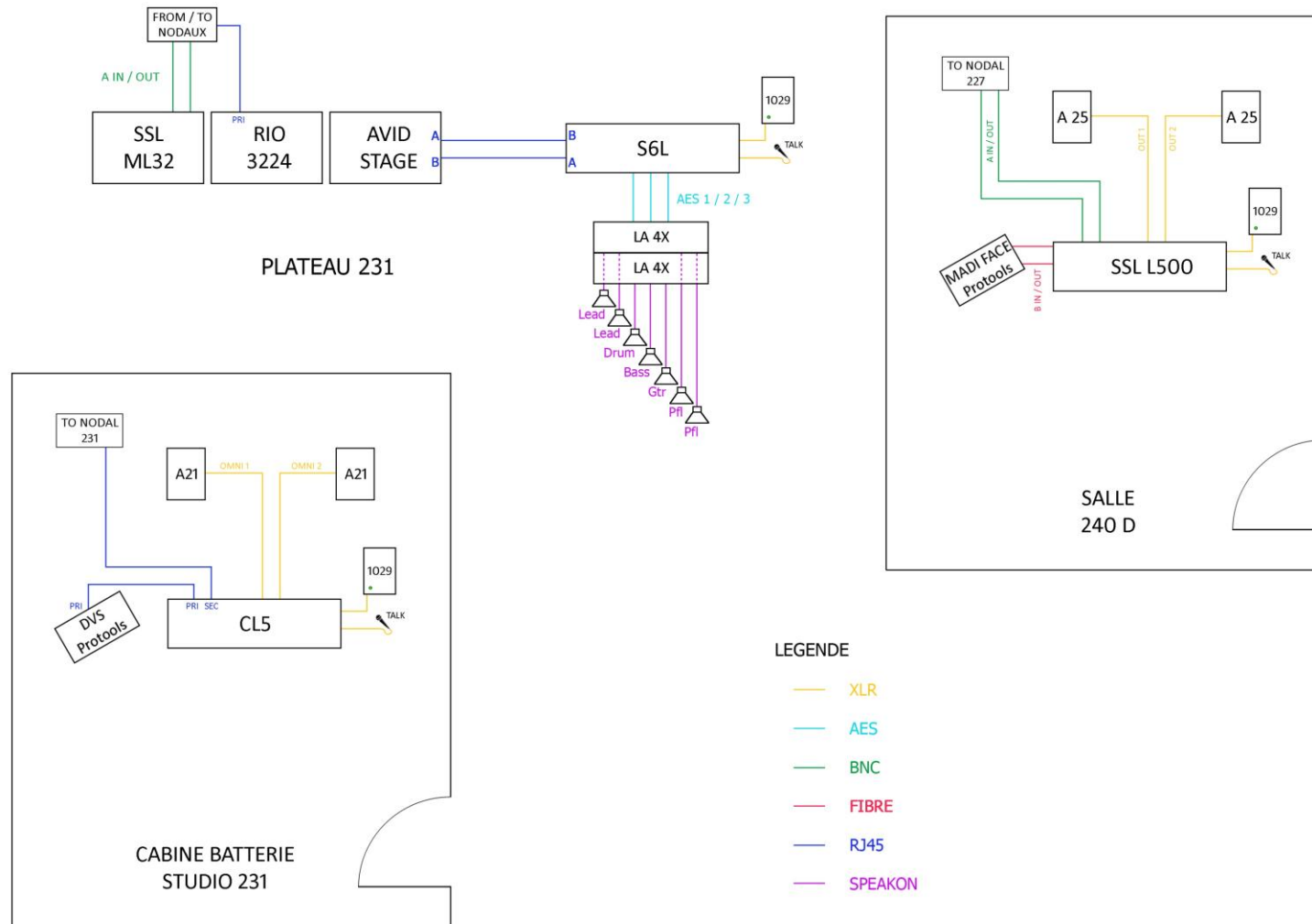
- Il n'est pas nécessaire d'être à l'échelle
- Il ne faut pas noter toutes les liaisons à chaque fois (un seul micro sur un stage box suffit, les infos précises de câblage des micros sur le stage box seront fournies par le patch en annexe)
- Il faut utiliser des couleurs pour différencier les câbles
- Il faut renseigner une légende qui reprend le code couleur
- Il faut se débrouiller pour éviter de croiser les câbles quand cela est possible
- N'indiquer le sens de la liaison que si cela est important pour la personne qui va câbler (un câble RJ45 n'a pas besoin de cette indication par exemple, un micro vers un préampli non plus). On peut pour cela utiliser des flèches ou noter « from ».... « to » pour mentionner le sens

Un synoptique réussi est donc un savant mélange entre des indications suffisantes et indiscutables et un visuel non surchargé.

Pour les liaisons doublées comme tout ce qui concerne le câblage relatif à une infrastructure sécurisée primary secondary dans le cas d'équipements Dante, le plus clair est de noter les équipements à la suite sur une ligne centrale et de faire apparaître les switches de part et d'autre de cette ligne centrale (Voir pages 68 et 69).

Ainsi, tous les primary sont reliés à un switch et tous les secondary sont reliés à un autre. Si on n'utilise qu'un seul switch compartimenté en 2 VLAN's, on note alors qu'il s'agit du même switch dessiné en deux morceaux.

PART VI : Synoptiques

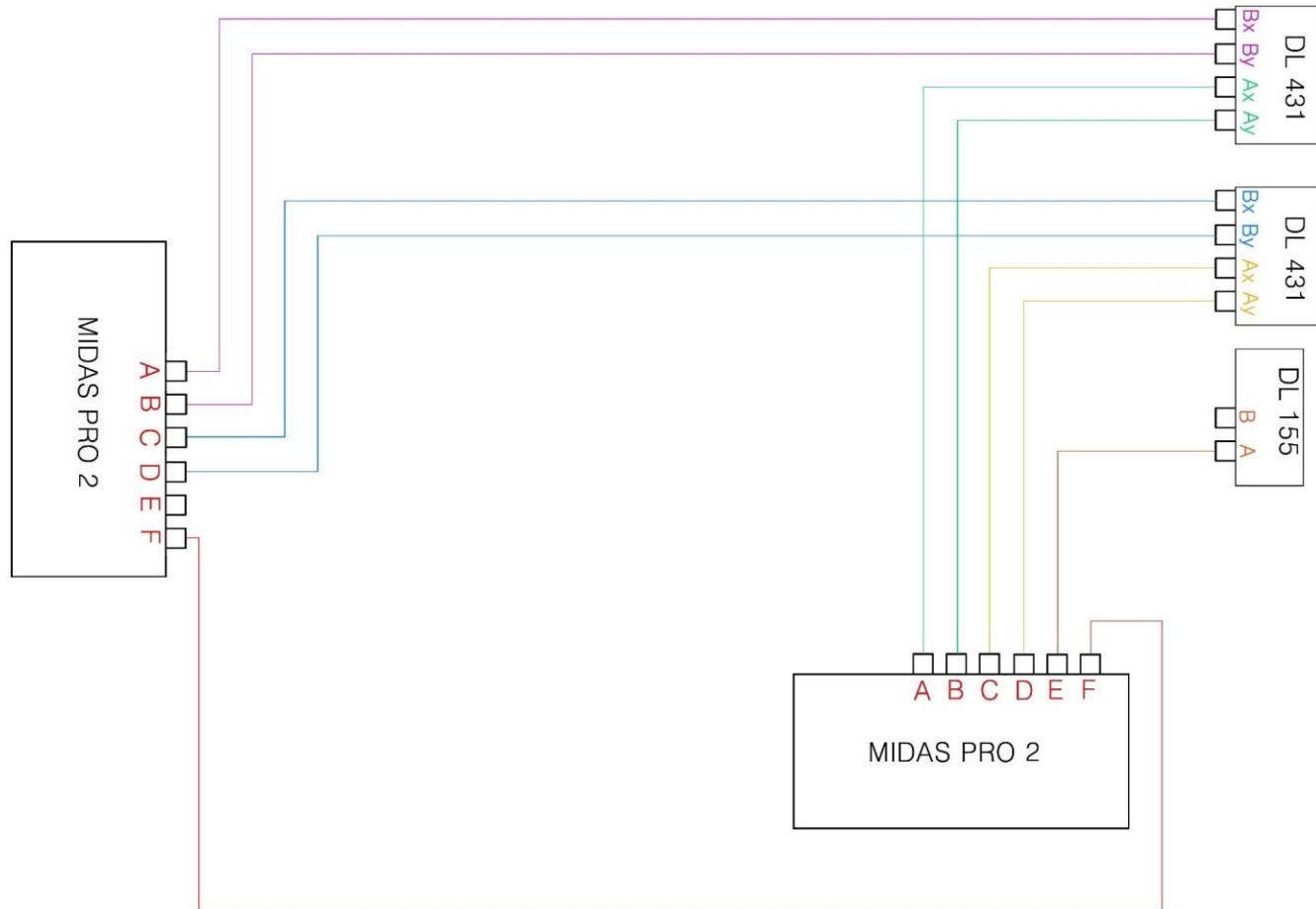


PART VI : Synoptiques



PART VI : Synoptiques

TOUS LES CÂBLES SONT DES RJ45 BELDEN AES50

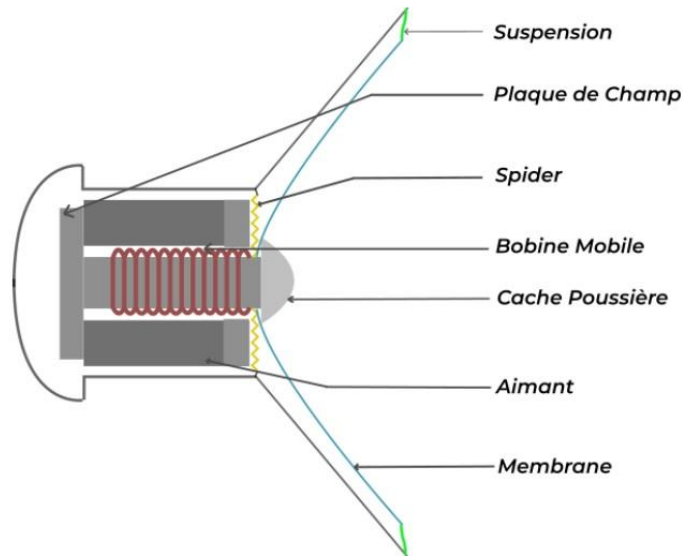
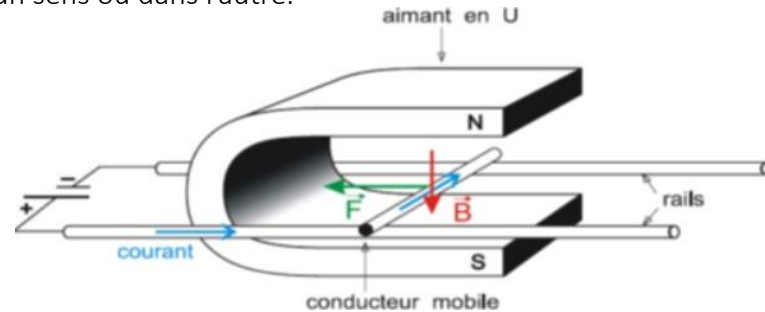


PART VII : Technologie des haut-parleurs

Le haut-parleur le plus répandu est le haut-parleur dynamique. Il utilise la loi de Laplace qui met en évidence le fait qu'une force apparaît lorsque l'on fait passer un courant dans une bobine plongée dans un champ magnétique créé par un aimant.

Cette force fait bouger la bobine : en fonction du sens du courant, la force change de sens. La bobine étant solidaire de la membrane, elle pousse la membrane respectivement dans un sens ou dans l'autre.

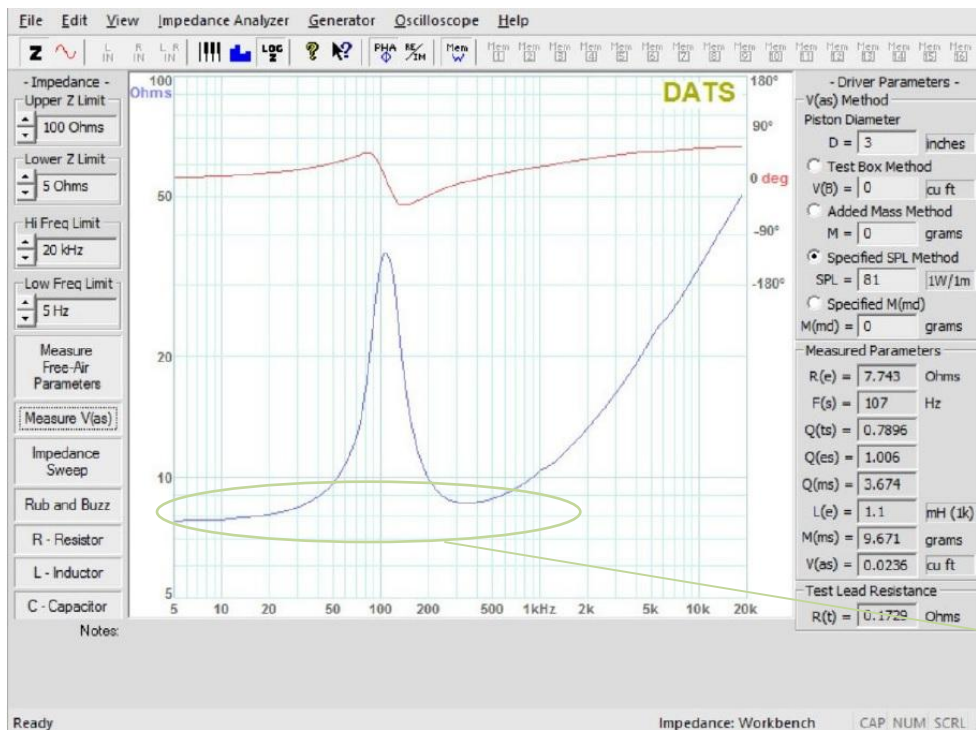
F = force de Laplace qui change de sens
lorsque le courant s'inverse



PART VII : Technologie des haut-parleurs

FREQUENCE DE RESONANCE

Un haut-parleur est un donc un système oscillant et comme tout système oscillant, il existe une fréquence d'oscillation particulière, à laquelle on dit que le système rentre en résonance. D'un point de vue énergétique, cela veut dire qu'à cette fréquence, le système va produire un rendement bien supérieur au rendement moyen.



Mesure de l'impédance d'un haut-parleur boomer en fonction de la fréquence. On constate que vers 102 Hz, le système a un comportement très différent du reste du spectre où il est censé travailler correctement (jusqu'à 2 KHz).

Cette fréquence (102 Hz) est sa **fréquence de résonance**.

Si on insiste à cette fréquence, le haut-parleur risque de rompre.

L'impédance moyenne de ce haut-parleur est de 8 Ohms.

PART VII : Technologie des haut-parleurs

Plus le haut-parleur est léger et plus sa fréquence de résonance est élevée.

Inversement, plus un haut-parleur est lourd et plus sa fréquence de résonance est basse.

Par conséquent, réussir à reproduire l'entière du spectre audible (20Hz - 20kHz) avec un seul haut-parleur n'est pas physiquement possible. Nous allons donc avoir des haut-parleurs pour chaque partie du spectre :

Subwoofer pour les infrabasses (20Hz – 70Hz)

Woofer pour les graves (50Hz – 250Hz)

Boomer pour les médiums (80Hz – 5kHz)

Tweeter pour les aigus (1,5kHz – 20 kHz)

IMPEDANCE

Nous retiendrons les valeurs moyennes très courantes d'impédance pour les haut-parleurs

Tweeter 16 Ohms

Boomer 8 Ohms

Woofer et subwoofers 4 Ohms. Il arrive qu'on trouve des subwoofers sous 2 Ohms mais c'est assez rare.

Que se passe t'il au niveau de l'ampli ?

Le fait que l'on mesure des impédances moyennes différentes selon les haut-parleurs va avoir une incidence sur l'amplification.

En effet, l'ampli, dont le rôle est de fournir un courant I en ampères, n'est pas forcément capable d'être calibré correctement quelle que soit l'impédance qu'on lui oppose.

PART VII : Technologie des haut-parleurs

Explication par le calcul :

Si un ampli délivre 100 W sous 8 ohms, cela veut dire qu'il délivre un courant de $I = 3,53 \text{ A}$

$P = U \times I$ et $U = Z \times I$ (avec Z impédance) ce qui signifie que $P = Z \times I^2$. En remplaçant P par 100 et Z par 8 on en déduit I

Si maintenant l'ampli est branché à un haut-parleur de 4 Ohms, il est censé délivrer un courant $I = 5 \text{ A}$.

Or il n'est capable de fournir que 3,53 A. Il va donc souffrir.

De plus, si on regarde la courbe d'impédance d'un tweeter, sa valeur moyenne est de 16 Ohms mais en dessous de 1 kHz, son impédance chute considérablement. Dans les fréquences graves l'ampli va souffrir s'il est calibré pour 16 Ohms.

En résumé :

Pour les graves, l'impédance est basse, l'ampli doit être capable de fournir beaucoup de courant, les longueurs d'onde(*) sont grandes il faut donc une grosse surface de membrane pour déplacer beaucoup d'air

Pour les aigus, l'impédance est élevée, l'ampli n'a pas besoin de fournir énormément de courant, les longueurs d'onde(*) sont petites il faut donc une membrane très légère pour parvenir à faire énormément de battements par seconde

(*) Quelques exemples de calcul de longueur d'onde :

Rappel = Vitesse du son dans l'air à 20 °C = 340 m/s

Fréquence 20 Hz

Longueur d'onde $340 / 20 = 17 \text{ m}$

Fréquence 1 kHz

Longueur d'onde $340 / 1000 = 34 \text{ cm}$

Fréquence 80 Hz

Longueur d'onde $340 / 80 = 4,25 \text{ m}$

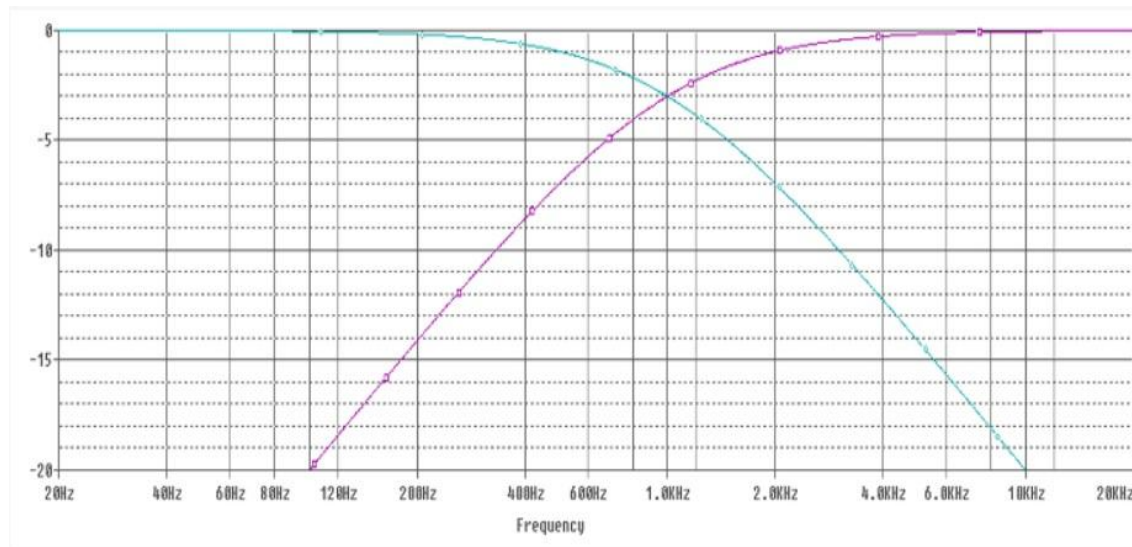
Fréquence 20 kHz

Longueur d'onde $340 / 20\,000 = 1,7 \text{ cm}$

PART VII : Technologie des haut-parleurs

NOMBRE DE VOIES / CROSSOVER

La plupart des enceintes qui reproduisent à peu près fidèlement le spectre audible (si on s'affranchit des infrabasses) ont à minima deux haut-parleurs : un boomer et un tweeter. On dit qu'une enceinte avec deux haut-parleurs est une enceinte **deux voies**.



Pour que le signal aille sur le bon haut-parleur en fonction de sa fréquence, il faut le filtrer.

Nous trouverons un coupe-haut sur le boomer (vert) et un coupe-bas sur le tweeter (rose).

Si ces deux filtres sont à la même fréquence de coupure, avec la même pente et sont liés l'un à l'autre, alors ce filtre combiné se nomme un **crossover**.

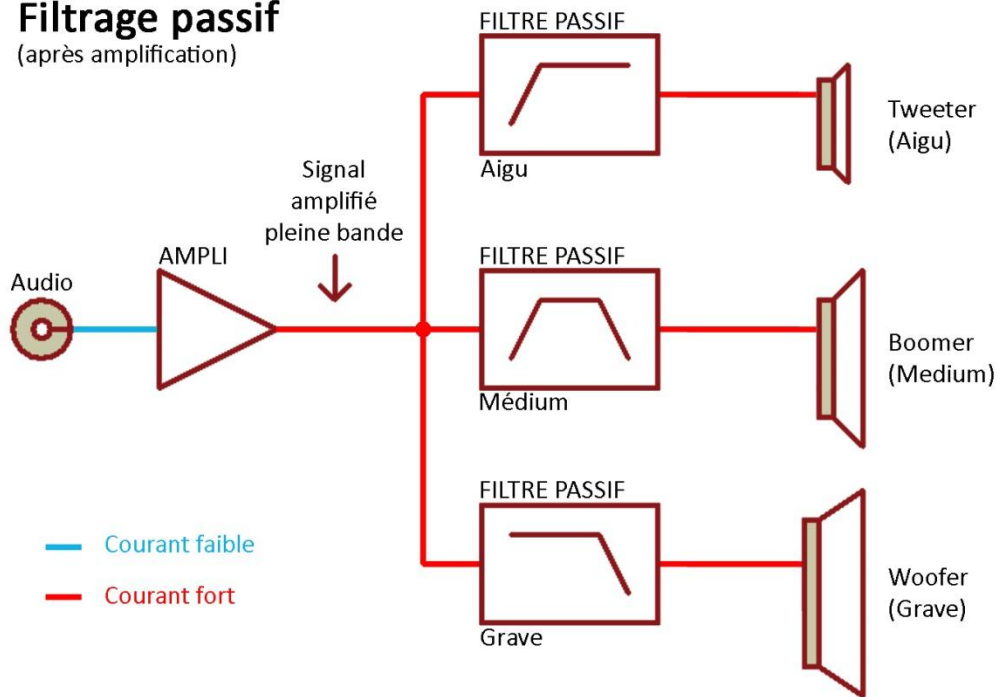
PART VII : Technologie des haut-parleurs

FILTRAGE PASSIF / FILTRAGE ACTIF

Il y a deux façons de filtrer le signal pour le répartir sur les différents voies de l'enceinte : le filtrage passif et le filtrage actif.

Contrairement à ce qu'on entend très souvent, actif / passif n'a rien à voir avec ampli intégré / ampli séparé.

Filtrage passif (après amplification)



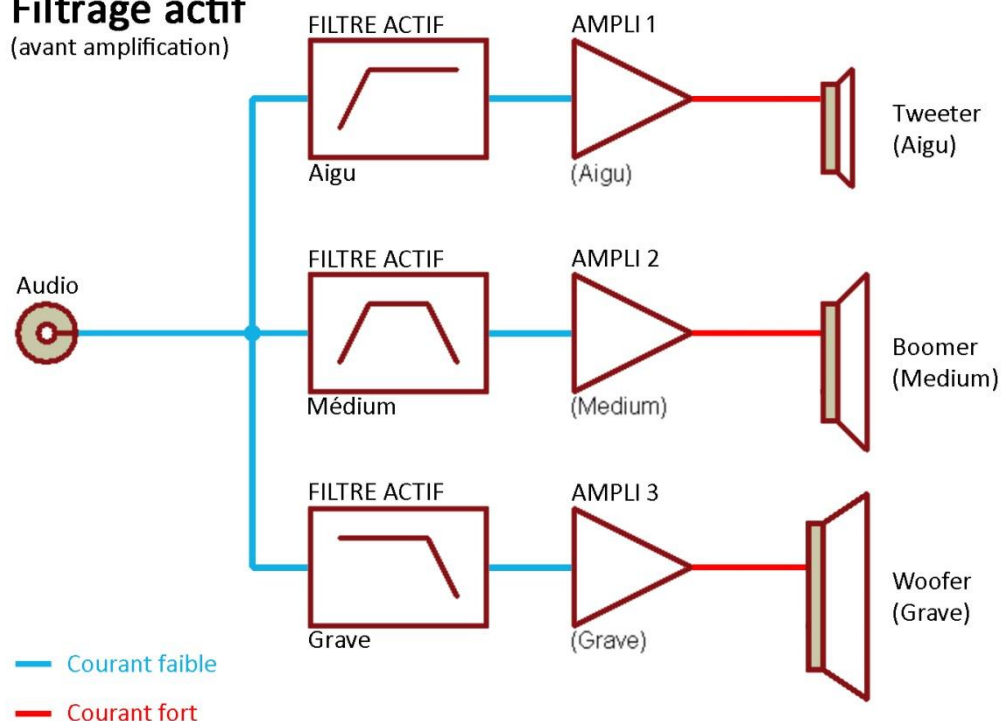
Le filtrage passif se fait **dans** l'enceinte. Cela veut dire qu'il n'y a **qu'un ampli** pour tout le spectre. Le signal qui sort de l'ampli est donc pleine bande.

Ceci implique que le filtre doit supporter des courants forts.

PART VII : Technologie des haut-parleurs

Filtrage actif

(avant amplification)



Cette fois, le filtrage se fait **hors** de l'enceinte. Le filtre travaille sur des niveaux faibles ce qui permet l'utilisation de composants plus fins.

Il ne faut pas un seul ampli mais **autant** d'amplis que de voies. L'ampli ne « voit » qu'un haut-parleur

En conclusion, le filtrage passif est le moins qualitatif car les composants du filtre sont calibrés pour des courants forts et sont moins fins que ceux des filtres travaillant sur des courants faibles.

Le filtrage actif propose un filtrage beaucoup plus fin et qualitatif. Il faut par contre autant d'amplis que de haut-parleurs.

Il représente un coût plus élevé en amplis et aussi en câblage (en effet, dans le cas représenté ci-dessus d'une enceinte 3 voies, on ne trouvera pas trois prises NL2 à l'arrière de l'enceinte mais une prise NL8 pour avoir 1+1-, 2+2- et 3+3- , on évite ainsi tout risque d'inversion d'un NL2 avec un autre ce qui mettrait le tweeter en grand danger).

PART VII : Technologie des haut-parleurs

PROCESSEURS DE DIFFUSION

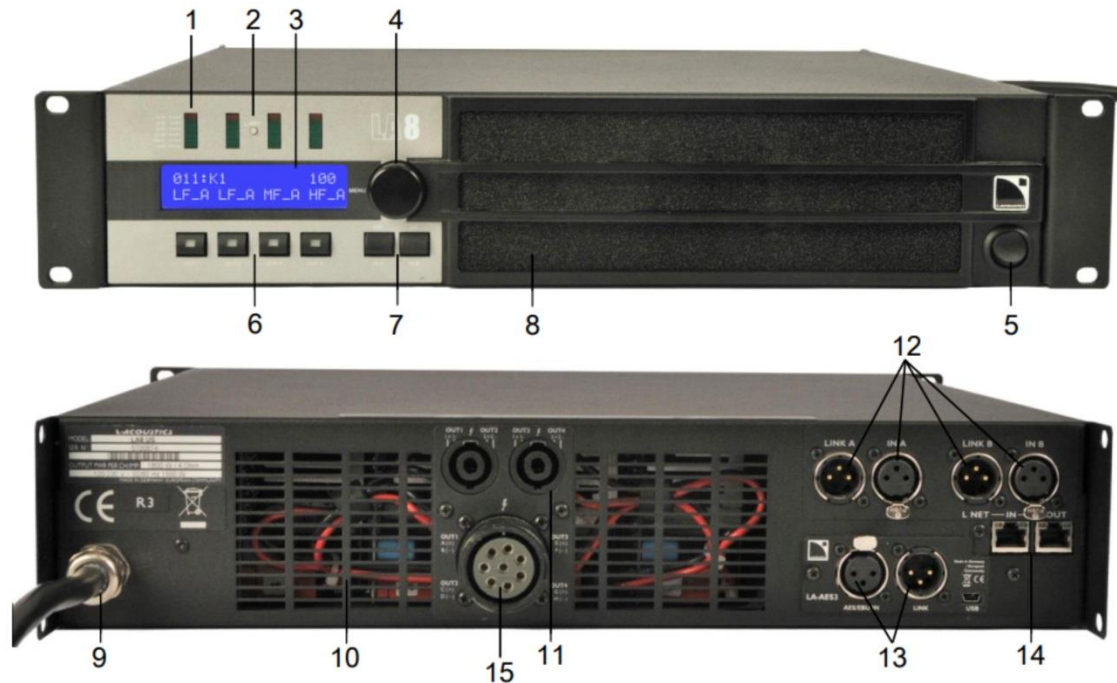
Les machines qui font les filtrages actifs sont appelés des processeurs de diffusion. Ils permettent bien entendu le filtrage avec des crossovers de différent type (Bessel, Butterworth, Linkwitz-Riley etc...) mais également le niveau de chacune des voies, le delay (la mise en phase des différents haut-parleurs nécessite bien souvent un alignement temporel) et éventuellement des EQ pour optimiser la réponse spectrale.



PART VII : Technologie des haut-parleurs

Dans les systèmes de diffusion modernes, le processing est fait directement dans l'ampli qui généralement est capable d'amplifier n'importe quelle enceinte de la gamme du constructeur. Le choix s'effectue sous forme de presets.

Panneaux avant et arrière



Exemple de preset K1 sur un ampli LA8 de chez L-Acoustics. Le preset affiche 3 voies avec deux canaux d'ampli pour le grave (LF), un canal d'ampli pour le médium (MF) et un canal d'ampli pour l'aigu (HF). La puissance est ainsi répartie pour qu'il y ait plus de courant sur les canaux 1 et 2, moins sur le 3 et encore moins sur le 4.

Dans ce cas, il faudra utiliser la connectique NL8 (N°15) pour alimenter l'enceinte.

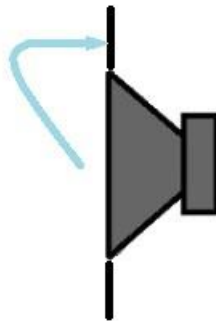
PART VII : Technologie des haut-parleurs

BAFFLONAGE / ENCEINTE

Le haut-parleur seul, sans rien, n'arrive pas à fonctionner convenablement, surtout dans les basses fréquences (grandes longueurs d'onde). En effet, la compression d'air se dissipe quasi instantanément à l'arrière du haut-parleur :



La première idée consiste à empêcher l'onde de se dissiper vers l'arrière en utilisant une paroi rigide comme une planche de bois. Cet ensemble haut-parleur + planche se nomme un baffle.



Problème : pour le 80 Hz, il faut que la planche mesure à minima 2,125 m c'est-à-dire une demi longueur d'onde

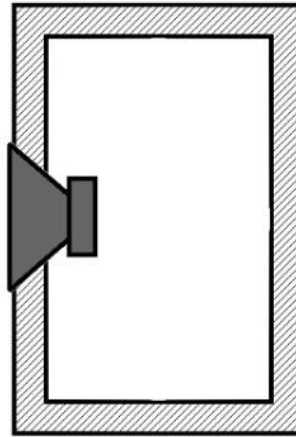
Pour du 60 Hz, la planche devra mesurer 2,83 m

PART VII : Technologie des haut-parleurs

Pour complètement isoler l'arrière du haut-parleur, l'idée qui se présente logiquement est la notion de boîte, la notion d'enceinte.

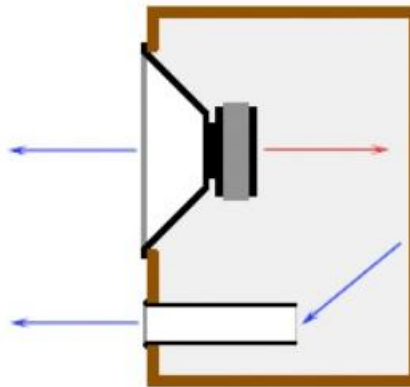
a/ Enceinte close

C'est l'enceinte de base, sans optimisation



b/ Enceinte Bass Reflex

On essaie de récupérer l'onde qui se crée dans le caisson en la faisant sortir dans un tube. La position, la longueur du tube sont accordés à une certaine fréquence. On gagne en énergie dans le grave



PART VII : Technologie des haut-parleurs

c/ Ligne de transmission

C'est le même principe que le bass reflex sauf qu'on optimise le chemin pour préciser la fréquence et optimiser le rendement du dispositif



Au passage, on constate que nous sommes dans le cas d'une enceinte deux voies passive avec le filtre dans l'enceinte

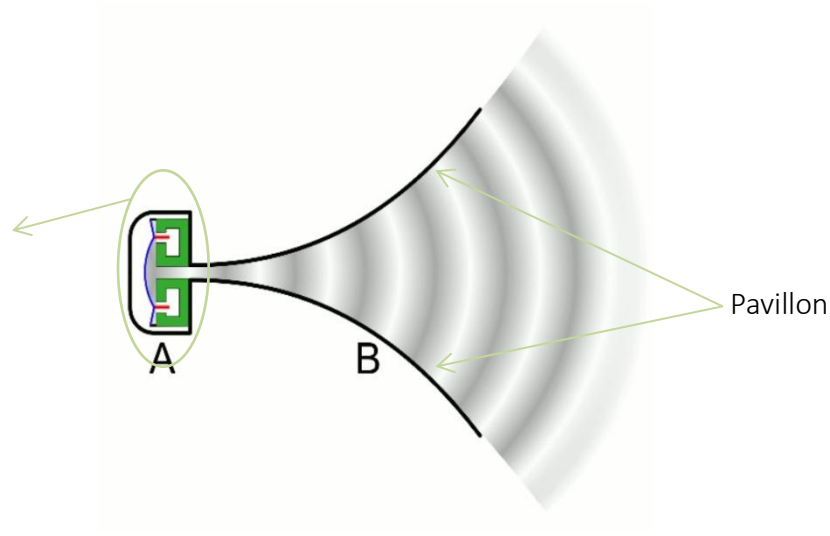
PAVILLONNAGE

Pour les aigus se pose le problème de puissance, de la portée. En effet, il est question de petites longueurs d'onde dont l'énergie est moindre comparé aux basses fréquences, et qui se dissipent plus rapidement avec le temps. Pour les chaînes hifi à usage domestique, aucun problème mais pour de la diffusion public address ou de la sonorisation de concert, c'est plus compliqué.

PART VII : Technologie des haut-parleurs

L'idée est de créer une chambre de compression en concentrant l'onde dans une petite cavité. On gagne en pression mais il faut utiliser un pavillon pour diffuser cette onde.

Chambre de compression.
La membrane est à l'envers
par rapport au sens d'émission



Le rôle du pavillon ne s'arrête pas à une utilisation complémentaire des chambres de compression (appelés aussi « moteurs » dans le jargon de la sonorisation), il sert également de guide d'onde.

Ainsi, le pavillon va permettre de proposer des modèles qui offrent une couverture plus ou moins large, pour porter plus ou moins loin. La **directivité** d'une enceinte va surtout se mesurer dans les mediums, haut-mediums et aigus, le grave étant davantage omnidirectionnel.

PART VII : Technologie des haut-parleurs

RENDEMENT

Le calcul du rendement est le rapport entre puissance acoustique et puissance électrique donné par la formule suivante

$$\frac{\text{Puissance}_{\text{acoustique}}}{\text{Puissance}_{\text{électrique}}} = \frac{4\pi \times 10^{-12} \times 10^{\left(\frac{\text{dB SPL}}{10}\right)}}{1}$$

Pour calculer le rendement d'une enceinte, il faut envoyer 1 watt de puissance électrique à 1 mètre de l'enceinte et mesurer le niveau ainsi trouvé avec un sonomètre pondéré (A)

L'émission d'un haut-parleur étant sphérique, on mesure par unité de surface $4\pi^2 = 4\pi$ à 1 mètre

L'intensité acoustique de référence est $10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$

La puissance électrique est de 1 Watt

La puissance de 10 avec le niveau mesuré en dB SPL est l'inverse du logarithme de base 10

Exemple avec une enceinte de 8 Ohms :

Pour mesurer un Watt électrique, on décline la loi d'ohm avec $P = \frac{U^2}{Z}$

Ainsi pour 1 Watt et 8 Ohms on trouve $U = 2,83 \text{ Volts}$

On mesure donc 2,83 Volts à la sortie du Speakon, et on mesure en pondération (A) la pression acoustique à 1 mètre.

Pour un résultat de 92 dB SPL, on obtient un rendement de 0,0199 soit 1,99 %

PART VII : Technologie des haut-parleurs

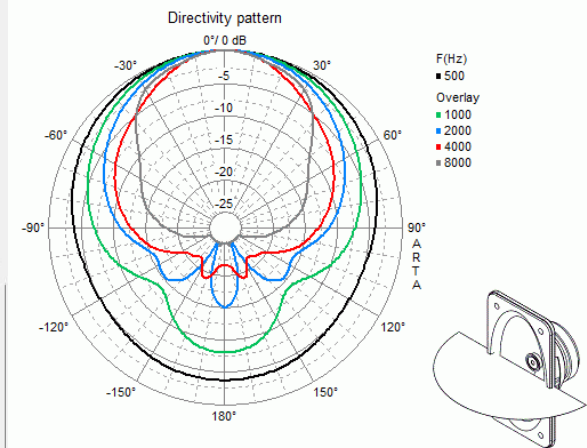
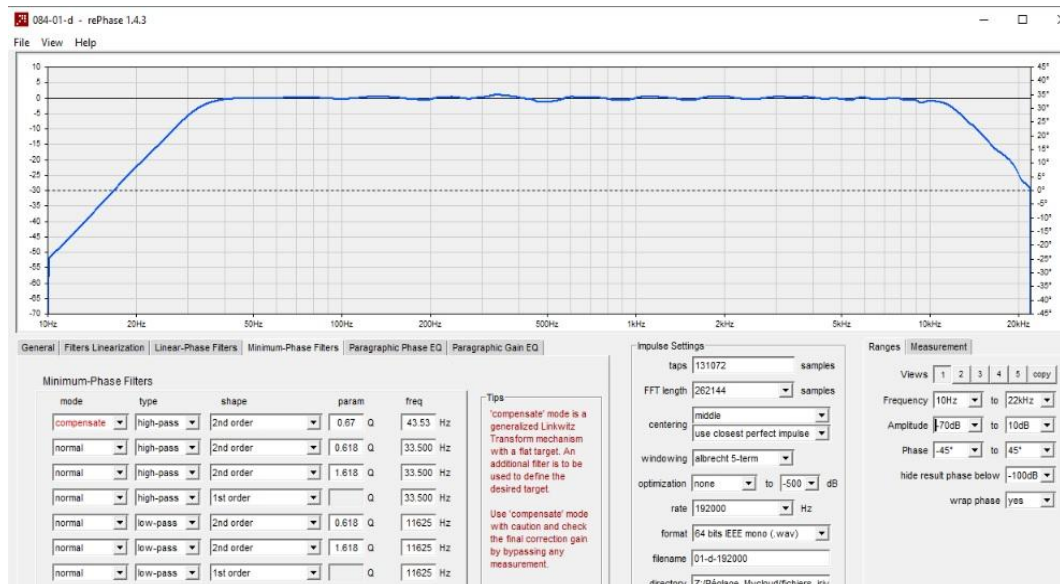
COURBES DE REPONSE

Mesurer une enceinte est bien plus compliqué qu'on peut l'imaginer. En effet, se contenter de mesurer la réponse à un bruit rose en plaçant le micro à 1 mètre de l'enceinte dans une chambre anéchoïque est certes utile mais loin d'être suffisant.

De plus, un bruit rose est un signal à niveau constant et une enceinte peut réagir très différemment selon qu'il s'agisse d'un signal avec beaucoup de dynamique ou peu de dynamique.

Enfin, une enceinte devrait toujours être étudiée dans l'environnement dans lequel elle est destinée en faisant à minima une étude de réponses à un signal impulsionnel et la mise en évidence du comportement spectral dans le temps.

Bien souvent, les constructeurs fourniront une courbe de directivité et une courbe de réponse à un bruit rose enregistrés dans des conditions que l'enceinte ne rencontrera jamais dans la réalité.



PART VII : Technologie des haut-parleurs

Rappels d'électricité :

$$P = Z \times I^2$$

Lorsqu'un ampli de 100 W est sous 4 ohms il fournit un courant de 5 A

Lorsqu'un ampli de 100 W est sous 8 ohms il fournit un courant de 3,53 A

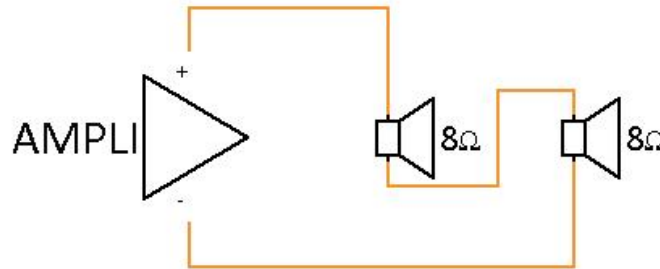
Lorsqu'un ampli de 100 W est sous 16 ohms il fournit un courant de 2,5 A

Supposons un ampli de 100 W sous 8 ohms, branché à un haut parleur de 8 ohms.

Si on rajoute un second haut-parleur de 8 ohms. Que se passe t'il ?

a/ En série

Si les deux haut-parleurs sont en série, alors la résultante Z_e est la somme des impédances donc $Z_e = Z_1 + Z_2 = 16$ ohms



L'ampli fournit un courant de 3,53 A mais il devrait être calibré pour une impédance de 16 ohms et ne fournir que 2,5 A.

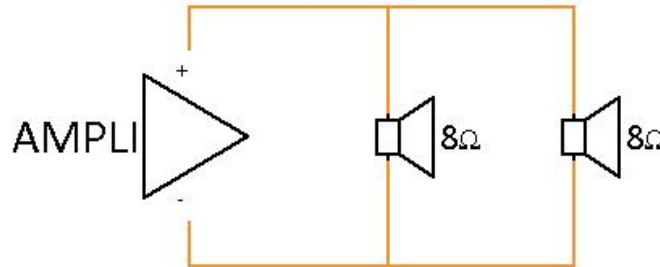
L'ampli ne fatigue absolument pas mais les haut-parleurs sont en danger.

PART VII : Technologie des haut-parleurs

b/ En parallèle

Cette fois la résultante Z_e est telle que $\frac{1}{Z_e} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2}$

Donc $\frac{1}{Z_e} = \frac{1}{8} + \frac{1}{8}$ ce qui signifie que $Z_e = 4$ ohms



L'ampli est calibré pour fournir 3,53 A mais il devrait fournir 5 A ce qui correspond à 100 W sous 4 ohms. C'est donc lui qui est en danger mais les haut-parleurs sont protégés.

En sonorisation, les haut-parleurs (voire enceintes) sont câblé(e)s **en parallèle**.

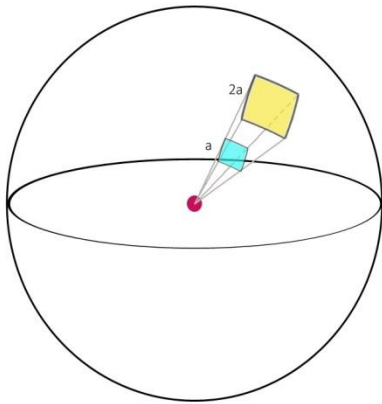
Il convient alors de calibrer l'amplificateur pour qu'il puisse travailler avec la charge qu'on lui inflige.

Les amplis de puissance haut de gamme ont une impédance de sortie la plus basse possible pour être capable de fournir un maximum de courant et ainsi travailler même sous une charge de 2 ohms. Qui peut le plus peut le moins, ils sauront travailler avec une charge de 4, 8 voire même 16 ohms d'autant plus facilement. Le preset choisi en fonction du modèle d'enceinte déterminera la quantité de courant qu'il doit délivrer.

PART VIII : Line Array

Le principe du Line Array (littéralement Réseau en ligne) repose sur le fait qu'une onde émise de façon sphérique subit une perte théorique de 6 dB lorsque l'on double la distance tandis qu'une onde émise de façon cylindrique subit une perte de 3 dB lorsque l'on double la distance.

En théorie toujours, il faut que la ligne soit infinie ce qui n'est jamais le cas mais dans un champ relativement proche de la ligne, on arrive à des résultats que l'on peut assimiler à ceux d'une émission cylindrique. On parlera de système quasi line-source.

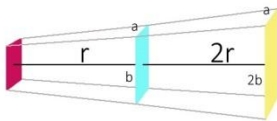


Pour une distance r du centre la surface **bleue** est $S = 4\pi r^2$

Pour une distance $2r$ du centre, la surface **jaune** est $S' = 4\pi(2r)^2$ c'est-à-dire que $S' = 4S$

$$10 \log_{10} \left(\frac{S}{S'} \right) = -6 \text{ dB}$$

Lors d'une émission sphérique, la perte est de 6 dB en doublant la distance



Pour une distance r la surface **bleue** est $S = a \times b$

Pour une distance $2r$ la surface **jaune** est $S' = a \times 2b$

$$10 \log_{10} \left(\frac{S}{S'} \right) = -3 \text{ dB}$$

Lors d'une émission cylindrique, la perte est de 3 dB en doublant la distance

PART VIII : Line Array

Pour se rapprocher du modèle théorique d'émission cylindrique il faut respecter un certain nombre de critères dont le plupart incombent au constructeur, mais quelques-uns sont à la charge de l'utilisateur.

On part du principe tout bête que pour augmenter la pression acoustique, on rajoute des enceintes. Mais multiplier les enceintes peut aussi vouloir dire multiplier les interférences et rendre le message non-uniforme pour l'ensemble de l'auditoire.

Christian Heil, l'ingénieur qui a construit les premiers systèmes Line Array, utilisait l'image du caillou dans le lac pour expliquer le principe :

Si on jette un caillou dans un lac, il se crée une onde qui va se propager. Si on veut que l'onde ait une plus grosse portée alors on peut jeter une poignée de cailloux mais le message sera une multitude d'ondes qui s'entrechoquent et se perturbent. Par contre si on regroupe tous les cailloux dans un sac et qu'on jette le sac, on va avoir une onde non perturbée qui aura une plus grande portée.

Il s'agit donc de multiplier les enceintes mais pas n'importe comment.

LES 5 CRITERES DE LA WST (Wave Sculpture Technology)

1/ ARF Active Radiating Factor

La surface de l'ensemble du dispositif doit comporter au moins 80% de membrane. Cela permet d'utiliser des haut-parleurs classiques que l'on sait amplifier correctement et non pas des haut-parleurs plans comme les haut-parleurs électrostatiques qui n'ont aucun rendement et encore moins dans le grave.

2/ STEP

L'espace entre chaque centre acoustique ne doit pas excéder la demi-longueur d'onde de la fréquence la plus élevée.

En effet, si on veut que les interférences soient constructives et non pas destructives, il ne faut pas dépasser la demi-longueur d'onde (voir Phase page 8)

PART VIII : Line Array

Quid des haut-parleurs d'aigu pour ce second critère ?

En effet, si on regarde la longueur d'onde d'un 16 kHz (2,12 cm) la demi-longueur d'onde correspond à 1,06 cm.

Comment faire pour empiler les enceintes et n'avoir que 1,06 cm d'écart maximum entre les différents centres acoustiques ?

Cela paraît impossible.

Guide d'onde : Toute l'intelligence de C.Heil a été de fabriquer à partir d'un moteur d'aigu, chambre à compression classique (voir page 94) émettant de manière circulaire, un système de diffusion qui contraint l'onde pour qu'elle soit émise de manière rectangulaire et isophasé. Ainsi, l'émission se fait sur une surface qui correspond à la taille de l'enceinte, il suffit alors de créer une boîte qui soit la moins épaisse possible pour qu'entre le bas d'une enceinte et le haut de celle qui est posée juste en-dessous, il n'y ait que 1,06 cm.

C'est aussi pour cela que les enceintes de Line-Array ont une forme rectangulaire.

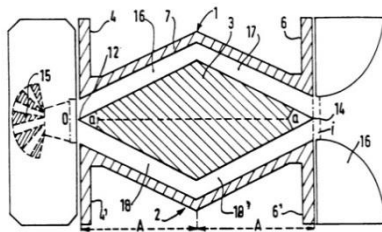


FIG. 2

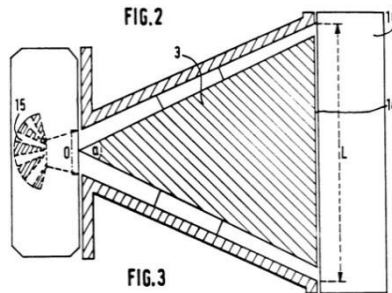


FIG. 3

Vue de dessus, on voit la chambre de compression (15) qui a un orifice circulaire et, au travers d'une cavité qui guide l'onde, ressort en (16)

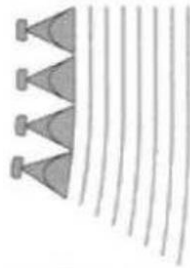
La vue de coupe nous montre une surface rectangulaire en (16)

PART VIII : Line Array

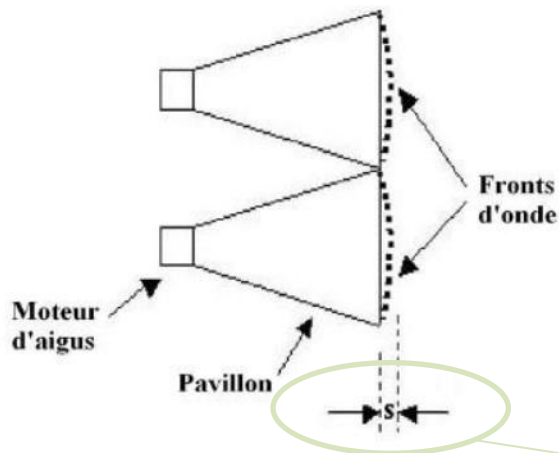
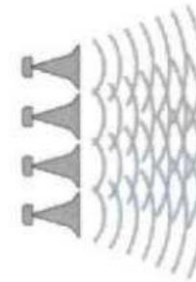
3/ Dimension de la flèche d'arc (S) :

Pour que le système soit assimilé à un front d'onde unique de grande dimension, il faut que la flèche d'arc (S) de l'onde (voir ci-dessous) de la plus haute fréquence n'excède pas le $\frac{1}{4}$ de sa longueur d'onde

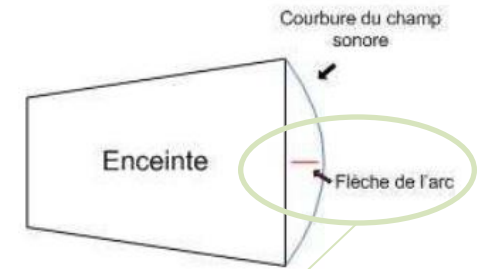
En effet, on cherche à obtenir ça :



alors que la réalité c'est ça :



F (Hz)	λ (mm)	S _{max} (mm)
1 000	344,0	86,0
3 000	114,7	28,7
6 000	57,3	14,3
10 000	34,4	8,6
16 000	21,5	5,4



La longueur de la flèche de l'arc (S) ne doit pas excéder $\frac{1}{4}$ de la longueur d'onde de la fréquence la plus aigue

Là encore, le guide d'onde est calculé pour satisfaire ce critère

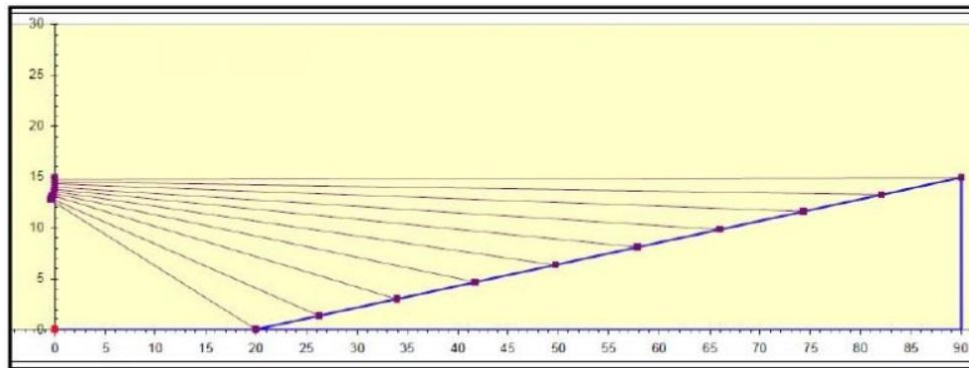
PART VIII : Line Array

4/ L'angle entre les enceintes est inversement proportionnel à la distance à parcourir :

En effet, moins il y a d'angle entre deux enceintes et plus il y a de couplage dans l'aigu et plus le rendement (et donc la portée) est grand.

Or pour les premiers rangs, le danger est qu'on ait un niveau trop important.

Il convient donc de rajouter de l'angle pour avoir une diffusion homogène sur toute la longueur de l'auditoire.



Critère à respecter par l'utilisateur

Remarque relative au critère 3 :

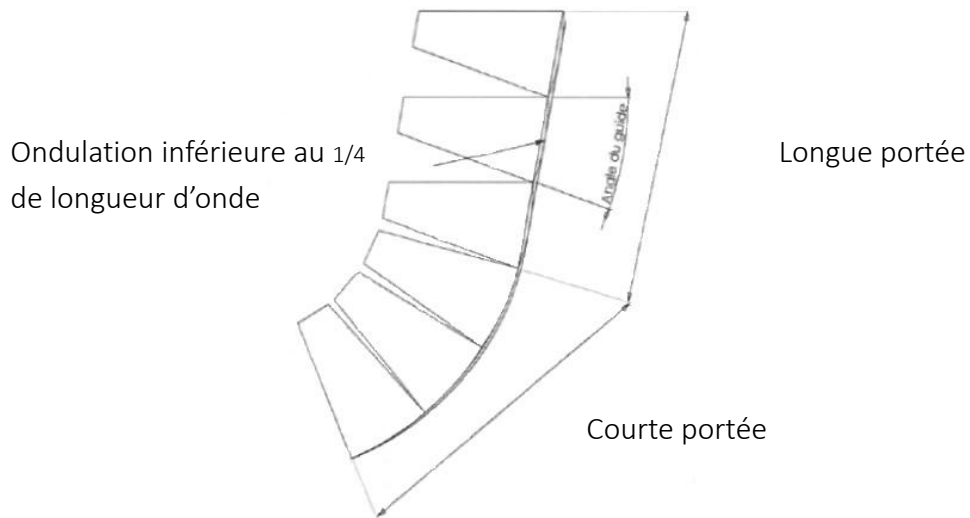
Quid du critère 3 si on modifie trop l'angle entre les enceintes ?

Pour éviter de se retrouver avec une forme de ligne trop en J, l'idée de Nexo (puis de la plupart des constructeurs par la suite) a été de fabriquer des enceintes dédiées à la proximité et donc disposées dans le bas de la grappe d'enceintes.

Ainsi, on garde une courbure générale plus droite, on respecte mieux le critère 3 et on a une couverture homogène sans assassiner les premiers rangs.

A l'usage, selon les constructeurs, tout n'est pas parfait dans ce domaine et on a parfois de vraies différences entre le son des premiers rangs et celui du milieu de l'audience voire des derniers rangs.

PART VIII : Line Array



5/ Angle maximum :

L'angle maximum entre deux enceintes est donné par la formule suivante

$$I_{\text{incurvée}} \propto \frac{4 \cdot ARF^2}{3 \cdot F \cdot 10^{-3} \cdot d} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\alpha d}{STEP}}$$

Il dépend de la distance à parcourir, des critères 1 et 2 et de la fréquence.

C'est le logiciel de prédiction du constructeur qui fournit le résultat.

PART VIII : Line Array

L'électronique au service de la mécanique :

Si on est puriste, ces critères sont difficiles à satisfaire pleinement et il est donc question de compromis. Ainsi certains constructeurs adoptent des astuces de nature électronique pour compenser une architecture qu'ils n'arrivent pas à considérer comme optimale.

C'est le cas du concurrent principal de L-Acoustics sur le marché actuel des fabricants d'enceintes de diffusion, l'allemand DnB.

Les guides d'onde sont davantage des pavillons de dispersion que des Diffuseurs d'Onde Sonore Cylindriques (DOSC).

Pour maintenir une cohérence sur toute la grappe, l'idée est alors de contrôler le comportement fréquentiel du flux sonore global avec des compensations de niveau, des filtres + ou - low ou high shelf (comme les mode HFA High Frequency Attenuation ou CPL Coupling en positif ou négatif) et de proposer un Array processing.

Pour cela, il faut impérativement donner les ressources de traitement nécessaires au plus grand nombre d'enceintes ce qui impose un maximum de 2 enceintes par canal d'ampli.

2.3 Amplification

ATTENTION !

Les enceintes d&b ne doivent être alimentés que par des amplificateurs d&b correctement configurés. Dans le cas contraire, leurs composants risquent d'être endommagés.

Amplificateurs d&b applicables:

D80|D40|D12|D20|D6.

Ainsi, une grappe de 8 x Y8 de chez DnB va réquisitionner un ampli entier (D20, D40, D80 ou 40D).

Application	Configuration	Enceintes par canal
Y8	Y8 Arc/Y8 Line	2
Y12	Y12 Arc/Y12 Line	2

PART VIII : Line Array

Les nouvelles conceptions :

Depuis Mai 2023, L-Acoustics a dévoilé le modèle d'enceinte Line Array qui devrait rapidement faire des émules chez ses concurrents : le L2 et L2D.



Au lieu d'installer des enceintes une par une, le constructeur propose des blocs qui comportent l'équivalent de 4 enceintes avec des volets mécaniques PANFLEX pour faire varier la directivité selon les cas, des hauts parleurs de grave qui sont disposés pour optimiser une diffusion cardio, une bande passante de 45 Hz à 20 kHz.

Deux types de blocs : le L2 qui propose une diffusion verticale sur 10° et le L2D qui compte une courbure pour une diffusion sur 60° pour chaque fois 150 kgs. Système d'accroche rapide entre les blocs.

L'idée est que statistiquement, dans la quasi-totalité des cas, on se retrouve avec un design qui nous fait installer une grappe en forme de J, avec des angles serrés en haut de la grappe et des angles plus ouverts en bas de grappe.

Le constructeur propose ici un modèle presque plug and play pour une diffusion cardio maîtrisée et va compenser les courbes de réponse relatives aux impératifs de portée dépendants du lieu grâce à de l'électronique et des Array corrections.

Nécessite un ampli 16 voies et une connectique adaptée (SC32)