

Première partie : la voix et les microphones

Bon nombre de radioamateurs se demandent si la qualité de la modulation à l'émission s'améliore en changeant de microphone. Est-ce qu'un microphone de qualité en vaut la peine ? Avant de se poser ces questions, il est bon de comprendre les composantes importantes de la voix. Au cours de cet article, nous allons passer en revue les différents types de microphones. Enfin nous terminerons par la réalisation d'un étage d'adaptation qui corrige la voix pour augmenter l'intelligibilité de l'émission.

### Les composantes de la voix humaine :

Intéressons-nous à la génération des sons de notre voix pour comprendre le comportement des fréquences et des amplitudes dans le contexte des radiocommunications.

L'intelligibilité de la voix se trouve dans les cinq premières octaves au-dessus de la bande des fréquences fondamentales de la voix masculine qui va de 80 à 400 Hz. Les octaves supérieures vont jusqu'à 2000 Hz. Pour une voix féminine les fréquences sont doublées. L'énergie du spectre de la voix est essentiellement centrée sur la bande fondamentale générée par les cordes vocales comme le montre la figure 1. Les harmoniques dominantes qu'on appelle formants sont générées par le conduit vocal (pharynx, cavités vocale et nasales, mâchoire et lèvres).

En prenant en compte les deux premiers formants on arrive à reproduire distinctement les voyelles. Le niveau des formants des voyelles est 30 à 50 dB inférieur au fondamental. Les voyelles sont appelées « les sons voisés » [3]. On distingue trois groupes de sons voisés :

- Les voyelles orales (a, e, i)
- Les voyelles nasales (in, e, on)
- Les voyelles des lèvres (o, u, ou)

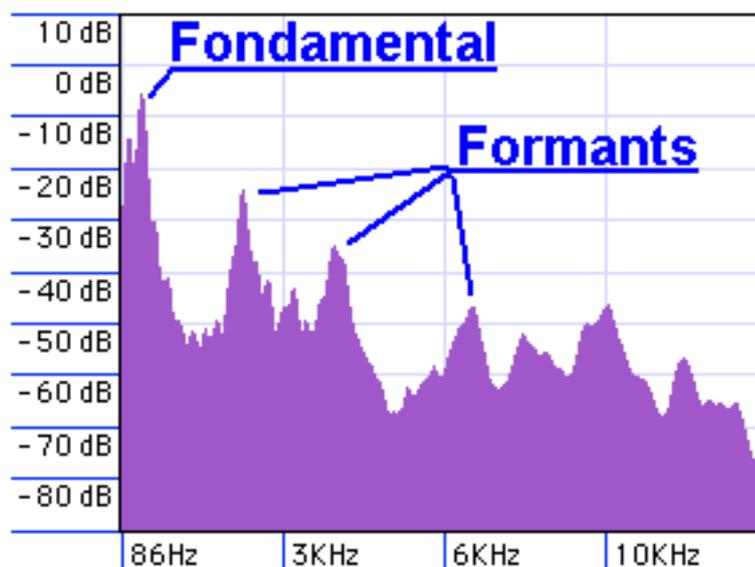


Figure 1 : Exemple de spectre de la voix humaine.

Pour les consonnes, c'est l'aspect transitoire du signal qui prédomine, il n'y a pas de fréquence fondamentale, le spectre est plus étalé et peut aller jusqu'à 15.000 Hz pour les consonnes sifflantes. Le niveau des sons consonantiques se trouve 10 à 30 dB inférieur aux voyelles, ainsi que leurs durées sont beaucoup plus courtes toujours par rapport aux voyelles. Ceci peut rendre la voix inintelligible en présence de bruit dans un canal radio ; on

peut aisément confondre un b d'un p lors d'une épellation, c'est pour cela que nous disons *bravo* et *papa*.

On distingue différentes familles de consonantiques :

- Les consonnes voisées (**v,z,g**) ou non voisées (**f, s, ch**). Elles sont appelées consonnes fricatives car générées par un bruit de friction coloré par le conduit vocal.

Suivant le mode d'articulation :

- Les consonnes nasales (**m, n, gn**) produites par la bouche fermée et rayonnées par les narines.
- Les consonnes plosives (**b, d, g, p, k, t**). Ces sons sont produits par une occlusion du conduit vocal et un brusque relâchement de l'air.
- Les consonnes liquides (**l, r**)

On peut aussi les regrouper suivant le lieu d'articulation :

- Les consonnes labiales (**b, m, p**) (des lèvres)
- Les consonnes dentales (**l, n, t**)
- Les consonnes palatales (**r, g, gn**) (du palais)

En figure 2, observez l'oscillogramme temporel du message « vous avez du courrier ». On remarque une nette différence d'amplitude entre les consonnes et les voyelles d'un facteur supérieur à 10 entre « avez » et « courrrier », soit 20 dB !



Figure 2 : Oscillogramme temporel d'une phrase montrant les différences d'amplitude et de temps entre les consonnes et les voyelles.

On comprend maintenant que pour tester un micro ou régler un niveau de modulation il ne suffit pas de dire « un, deux, trois », mais d'épeler son indicatif « foxtrot-cinq-roméo-charlie-tango ». Mieux encore, de dire une phrase ou une suite de nom de ville avec une diversité de sons bien plus étendue. Ainsi la phrase bien connue dans le monde des télécoms est « Paris Bordeaux Le Mans Angers Saint-Lô ». Ce genre de phrase permet aussi aux indicateurs de l'émetteur de se stabiliser pour apprécier le niveau de puissance, de l'ALC ou du taux de compression.

La bande passante moyenne en BLU ou en FM s'étend de 200 Hz à 2,5 kHz. Cela ne sert à rien que le microphone couvre au-delà de cette bande de fréquences. Bien au contraire, en coupant les fréquences graves on évite les effets de souffle et des consonnes plosives. Les aigus seront de toute façon coupés par les filtres BF et BLU dans les étages de modulation autour de 2,5 kHz. Equiper sa station d'un microphone haut de gamme n'apportera pas nécessairement une meilleure qualité de modulation ; surtout s'il est mal adapté en impédance ou trop directif. La directivité d'un microphone est à privilégier en milieu bruyant, mais dès que l'on parle à côté, le signal peut sombrer dans le bruit chez le correspondant.

Pour améliorer l'intelligibilité, on peut augmenter l'amplitude des fréquences supérieures du spectre ce qui donne davantage de présence à la voix. En radiocommunication, le bruit du canal radio entache l'intelligibilité, surtout dans les fréquences élevées. C'est pour cette

raison qu'en FM on applique une préaccentuation à l'émission et une désaccentuation à la réception pour réduire le bruit. En BLU il n'y a pas de traitement de ce genre, mais on peut toujours accentuer la partie haute de la bande vocale pour qu'elle se distingue mieux du bruit.

En théorie du signal, on considère qu'un canal est pleinement occupé si toute sa bande passante est couverte en permanence par l'énergie du signal. Cela revient à remplir tout le spectre au maximum. Observez la **figure 3** du spectre d'énergie du mot « courrier » dans un canal radio représenté par le cadre en rouge. Le premier formant qui se trouve 20 dB sous le fondamental peut être aisément noyé dans le bruit ; il y a bien là un manque d'énergie pouvant nuire à l'intelligibilité du mot. Faites l'essai avec la fonction IF shift d'un transceiver BLU et coupez les fréquences haute d'une conversation : les phrases deviennent incompréhensibles et le son fait « whoowhouwhou ». De même, si un signal parasite se trouve pile dans la bande des formants, on perd la compréhension du mot. On comprend mieux l'intérêt d'accentuer les fréquences hautes de la voix pour augmenter l'efficacité énergétique du canal radio par rapport au bruit.

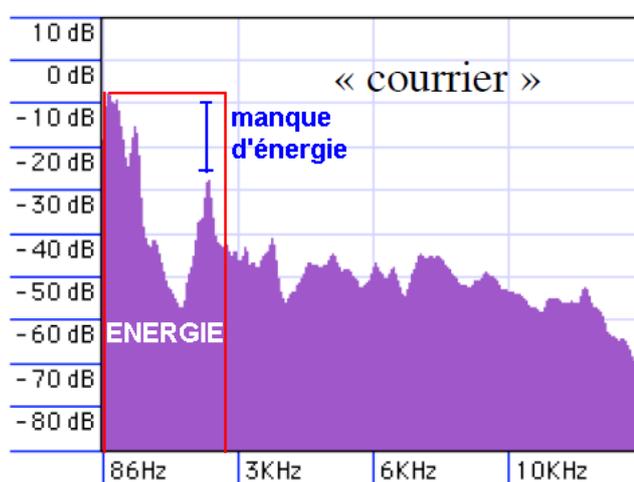


Figure 3 : Spectre d'énergie du mot « courrier » dans le gabarit d'un canal radio. Remarquez la différence d'énergie au-delà du fondamental.

### Les principaux types de microphones :

Un bon microphone doit correspondre à la voix de l'opérateur et peut corriger le timbre afin de gagner en intelligibilité dans un canal radio. Intéressons-nous aux principaux types de microphones utilisés en radio communications :

Le choix de la forme d'un microphone est souvent lié à l'appréciation personnelle de l'opérateur. Certains préfèrent un microphone à main, d'autres un microphone sur pied, ou encore un micro-casque. Dans ces différentes formes il existe trois principales variétés de transducteurs microphoniques :

- **Le microphone « dynamique »** est constitué d'une bobine mobile fixée sur une membrane (figure 4). Les variations de pression de l'air font bouger la membrane sur laquelle est montée la bobine. De cette dernière va naître une tension induite en se déplaçant dans l'entrefer d'un aimant fixe. C'est le fonctionnement inverse d'un haut-parleur. Le microphone à ruban, utilisé en studio, est basé sur le même principe : c'est un ruban de cuivre qui fait office de bobine mobile dans le champ d'un aimant.

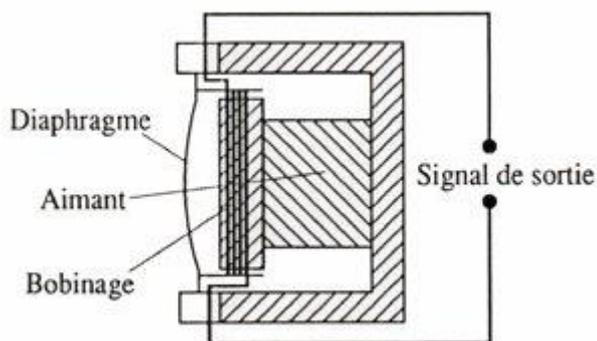


Figure 4 : Principe du microphone dynamique.

Le microphone dynamique est robuste, et capable de gérer de fortes pressions acoustiques. Sa sensibilité varie de 0.5 à 2 mV/Pa à 1 kHz. Son impédance comprise entre 200 à 1.000 Ohms suivant les modèles. Sa bande passante couvre bien la voix entre 100 et 10.000Hz.

Ce type de microphone existe sous différentes présentations : à main, sur pied, combiné avec un casque. S'il n'y a pas d'indication précisant que c'est un dynamique, il suffit de mesurer sa résistance qui est souvent proche de son impédance.

Les anciens radiotéléphones *Thomson-CSF* des années 70-80 employaient des microphones de la marque germanique *Peiker* (figure 5). Ces microphones d'excellente qualité étaient très directifs éliminant ainsi les sources de bruit externes notamment à bord d'un véhicule. On trouve aussi de très bons microphones avec les anciens radiotéléphones *Alcatel* (figure 5) du début des années 90 : leur membrane de grande surface donne une excellente reproduction de la voix. J'utilise ce dernier en remplacement du micro d'origine qui manquait lors de l'acquisition de mon transceiver HF (FT-980). Les reports de mes correspondants sont excellents. Comme quoi de la récupération fait souvent l'affaire !



Figure 5 : Microphones dynamiques *Peiker* et *Alcatel*.

- **Le microphone « électret »** est dans son principe voisin du microphone à condensateur mais présente la particularité de disposer d'un composant à polarisation permanente. Certains plastiques conservent une certaine polarisation par orientation électrique des molécules. Par exemple, un film de polycarbonate métallisé, polarisé sous une tension de 3kV dans une étuve à 120 degrés Celsius puis refroidit brusquement, conserve une polarisation de manière définitive.

De très petite taille (3 à 10 mm) et économique (< 1 €), le micro à électret (figure 6) est très utilisé dans le domaine grand public (téléphone mobile, oreillettes, micro-casque, etc.). On l'apprécie pour son rapport taille/sensibilité. Il est parmi les plus répandus actuellement car peu onéreux (jouets, et gadgets comme certaines bougies à LED pour les éteindre en soufflant !)



Figure 6 : Le microphone « électret ».

La charge de polarisation de la membrane diminue avec le temps, ce qui se traduit par une perte de sensibilité du micro au fil des années. Les facteurs de vieillissement sont principalement la chaleur et l'humidité ce qui le rend vulnérable en milieu automobile. La capsule en aluminium de ce type de microphone peut parfois se desserrer, ou s'oxyder, et provoquer une rupture de masse qui se traduit par des crachotements ou un ronflement à 50 Hz.

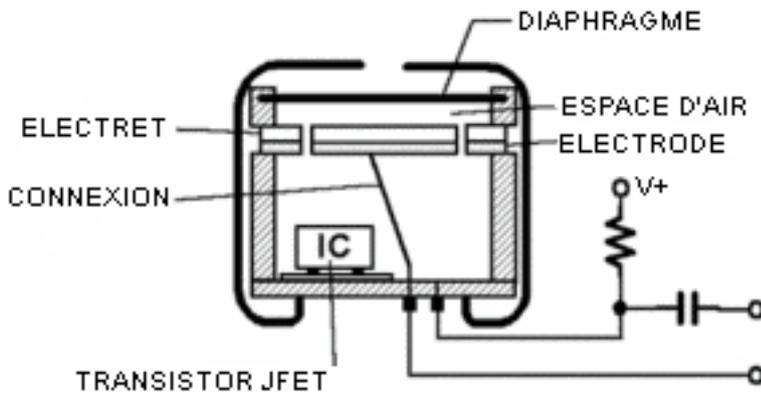


Figure 7 : Principe et raccordement du microphone « électret ».

En **figure 7**, le microphone « électret » nécessite une tension de polarisation (entre 2 et 3 V) pour alimenter le transistor JFET qui se trouve à l'intérieur. Par conséquent, il convient de respecter les polarités de raccordement : la masse est reliée au corps du boîtier en aluminium. Notez que la haute impédance interne de la grille du JFET est aussi vulnérable à l'humidité.

En sortie, le transistor JFET se comporte comme une source de courant qui avec la résistance de charge donnera une tension. Ainsi l'impédance de ce microphone dépend de la résistance de charge qui suivant les appareils se situe entre 500 et 5000  $\Omega$ . La sensibilité varie de 4 à 10 mV/Pa à 1kHz ; elle dépend aussi de la résistance de charge puisqu'elle est le produit de la transconductance du FET par cette même résistance de charge. La réponse en fréquence extrêmement plate permet d'utiliser ce microphone en métrologie (**figure 8**).

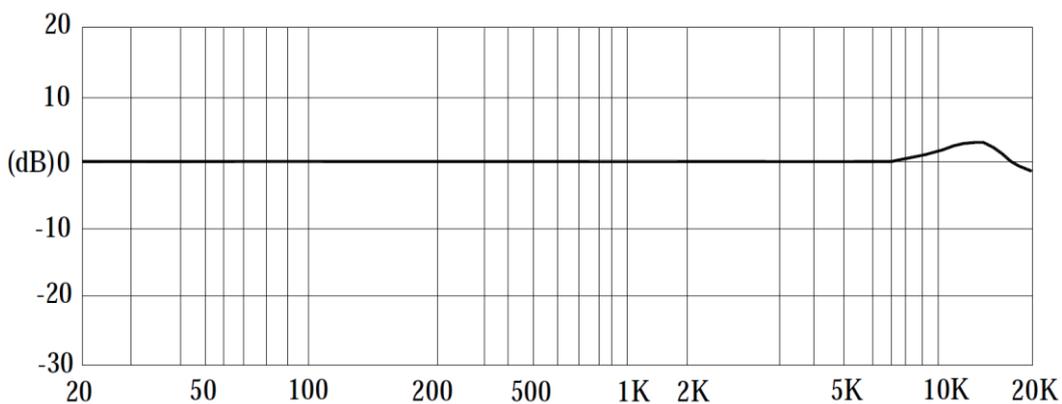


Figure 8 : Réponse en fréquence typique d'un microphone électret.

- Le microphone « piézo-électrique », ou « céramique », ou encore dit « astatique ». Dans les années trente à quarante, le terme "astatique" désignait des microphones dits "à cristal". Ils ne nécessitaient pas d'alimentation comme les micros "statiques" à condensateur, d'où l'appellation "a-statiques" qui a donné le nom *Astatic* à une célèbre firme Américaine qui a fabriqué de très beaux microphones comme celui de la **figure 9**.



Figure 9 : Microphone piézo-électrique de la marque « Astatic ».

Avec les vibrations du son, la membrane en duralumin déforme une petite pastille piézo-électrique (**figure 10**). La pastille piézo-électrique présente une structure atomique cristalline comme celle du quartz. Un tel matériau présente aux surfaces une force électromotrice proportionnelle à la déformation mécanique. La métallisation des surfaces permet de récolter cette tension sous une impédance de charge très élevée.

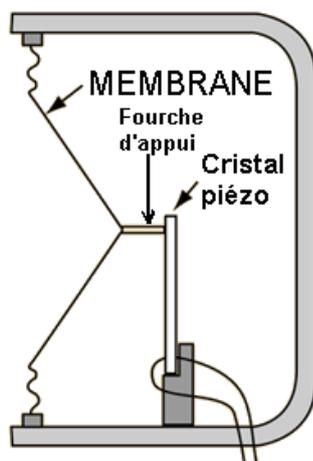


Figure 10 : Principe du microphone piézoélectrique.

Les microphones « Astatic » ont une excellente reproduction de la voix par leur réponse rehaussée au-dessus de 1 kHz, ceci avec une légère atténuation des graves comme en témoigne la réponse du constructeur en **figure 11**. Cette résonance à 3 kHz est en partie due à la membrane en métal.

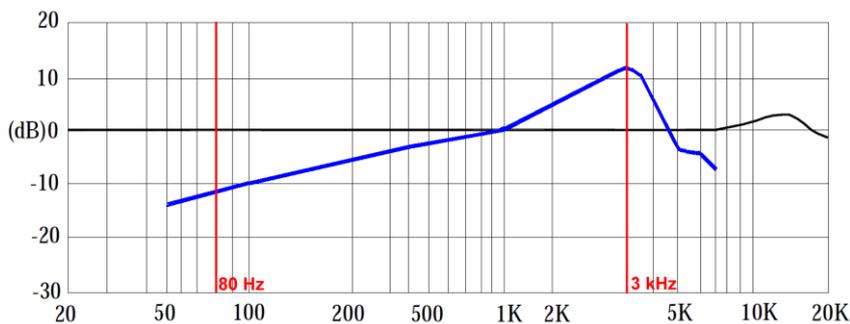


Figure 11 : Réponse en fréquence du microphone Astatic D-104 comparée à celle de l'électret.

Ces microphones sont très peu répandus de nos jours mais sont très prisés par les amateurs de matériels anciens. Utilisés avec les magnétophones jusqu'aux années soixante, ils ont été ensuite abandonnés au profit des micros dynamiques avec la venue des appareils à transistors. La fabrication du D-104 a cessé en 2001. On en trouve d'occasion à des prix excessifs, parfois avec des anciens transceiver vendus comme antiquités. La tension de sortie élevée était adaptée à la grille l'impédance d'un étage d'amplification à tube. Leur haute impédance obligeait l'utilisation de câbles courts pour minimiser la capacité parasite au détriment de la bande passante. Comparé à un microphone électret, il est moins linéaire en dynamique et apporte un effet de compression de la parole (vérifié par F5HSH et F5RCT sur un émetteur à tubes AM).

L'impédance de charge de ce type de microphone est élevée : de l'ordre de 50 k $\Omega$  à 80 k $\Omega$ , alors que les entrées des appareils actuels sont à basse ou moyenne impédance (200  $\Omega$  à 800  $\Omega$ ). On ne risque rien en le branchant mais le son sera complètement déformé et aigu. Pour obtenir un son correct, il faut utiliser un transformateur adaptateur d'impédance ou bien un adaptateur à haute impédance d'entrée avec un transistor en collecteur commun. Certains modèles comportent dans leur socle un transformateur abaisseur ou un étage d'adaptation à transistor alimenté par une pile 9 V. La tête du micro est séparable du socle par une bague à dévisser.



Figure 12 : Capsule ouverte du D-104, vue sur le cristal piézo-électrique et la fourche d'appui.

Avant d'acheter un tel microphone il est bien de se renseigner sur ces options d'adaptation d'impédance. Le cristal piézo-électrique peut mal vieillir s'il est exposé à l'humidité ou de fortes chaleurs. Il peut aussi être déconnecté sans que cela ne se voit à l'ohm-mètre (**figure 12**). Etant donné que les électrodes sont séparées par la céramique isolante ; la résistance de continuité de la tête piézo-électrique est toujours infinie. On ne peut que l'essayer pour s'assurer de son bon fonctionnement ! Pour ma part j'en ai trouvé un sur les

puces à 10 € que j'ai modifié pour le rendre compatible avec l'entrée micro dynamique de mon transceiver Yeasu. L'adaptateur est alimenté directement par le +8V de la prise et le gain du 2<sup>e</sup> étage a été réduit en augmentant la résistance d'émetteur à 1 kΩ (figure 13). On trouve aussi des modèles plus anciens avec un transformateur dans le socle.

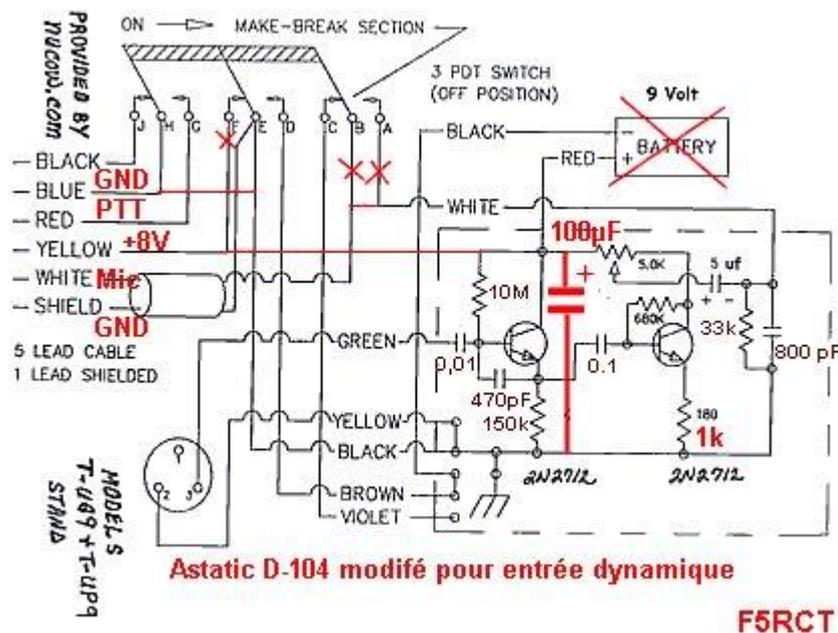


Figure 13 : Modification de l'adaptateur du D-104

### Quel micro choisir ?

On pourrait avoir tendance à prendre la meilleure marque ou se mettre à la recherche d'un bel Astatic tout brillant ! Choisissez un micro qui correspond à votre voix telle une chaussure à son pied, faites des essais, des échanges de reports entre plusieurs correspondants.

Il ne faut pas se laisser emballer par une marque de renom et un prix élevé, si déjà vos reports sont excellents. Les micro-casques ne sont ni repris ni échangé par les vendeurs pour raison d'hygiène. Renseignez-vous avant l'achat !

N'attendez pas de changement majeur si l'émetteur est mal centré sur la réponse du filtre BLU. Il est important que le résultat vous rende intelligible en présence de bruit dans le canal radio. C'est sans nul doute ce qu'il convient de privilégier face à des reports peu objectifs.

Commencez par vous renseigner sur votre transceiver pour exploitez toutes les possibilités de réglages (gain micro, correction grave/aigu, limiteur ou compresseur). Rappelons que le brochage de la prise micro dépend de chaque marque et peut varier suivant les modèles. Dans le manuel d'utilisation il y a toujours une page sur le brochage, et des données sur le type de microphone préconisé. Le site de G4WPW [1] peut vous aider à trouver le brochage de la prise microphone de votre transceiver.

En comparant les trois types de microphones on ne peut pas dire lequel sera le meilleur car ils sont tous employés en radiocommunications au fil du temps et ont suivi l'évolution des transceivers.

- L'électret à une réponse très « Hifi » bien que cela ne soit pas le but recherché. Il se retrouve sur beaucoup de postes récents par son faible coût. S'il n'est pas couvert

d'une mousse ou d'une bonnette le rendu des consonnes plosives peut être désagréable. Le son est plus équilibré si la bouche se trouve entre 10 et 15 cm de la pastille.

- Le microphone dynamique est très universel et a souvent un bon rendu pour la parole. Il peut avoir un niveau insuffisant sur les appareils modernes prévus pour un micro électret. Avec un transistor d'adaptation on le rend facilement compatible à une entrée prévue pour un micro électret [2]. L'équilibre grave/aigu peut varier d'un modèle à l'autre.
- L'astatique est excellent, mais il est cher par sa rareté. Sa réponse pointue dans le haut des mediums en fait un excellent candidat pour le Dx. Il y a beaucoup finitions différentes et de modèles sur pied, même à main. Pour l'adapter à un transceiver moderne cela demande un peu de bricolage tout en prêtant attention aux remarques le concernant au cours de cet article.

Bien que cela puisse faire l'objet d'un autre article comparatif, il existe aussi des boîtiers de traitement audio ou des égaliseurs (equalizer) pour modifier la tonalité. Dans la deuxième partie de cet article, nous allons réaliser un dispositif d'adaptation avec correction de la voix qui augmentera l'intelligibilité en accentuant la partie haute des fréquences avec une réponse similaire à un micro astatique.

A suivre en deuxième partie le mois prochain...

Liens utiles :

[1] Brochages des microphones : <http://www.qsl.net/g4wpw/date.html>

[2] Préamplificateur pour microphone dynamique sur une entrée électret :

[http://f5rct.free.fr/explorer/Realisations/Squirrely/Compresseur\\_Microphone/Pr%E9ampli\\_microV2.pdf](http://f5rct.free.fr/explorer/Realisations/Squirrely/Compresseur_Microphone/Pr%E9ampli_microV2.pdf)

[3] Voix et spectrogrammes : <https://www.lpsm.paris/pageperso/mazliak/voix1.pdf>