

Le son des câbles – Quelques réalités et idées fausses

1. Présentation

On lit ou entend régulièrement les affirmations selon lesquelles tel ou tel câble donne un meilleur son que d'autres. Et ceux qui l'affirment ont habituellement pour seul argument qu'ils l'ont entendu, le plus souvent seuls et parfois à plusieurs mais avec des protocoles de test non indiqués. Il n'est peut-être pas inutile de donner quelques ordres de grandeur pour essayer de voir qui paraît crédible ou non.

L'étude des câbles et des cordons (câbles équipés de connecteurs) dans leur environnement est un vaste sujet, certains chercheurs y ont passé leur carrière, mais on se limitera ici aux applications audio petits signaux et aux caractéristiques qui peuvent expliquer des différences audibles.

On ne s'intéressera pas au blindage, dont les performances sont rarement données dans les spécifications, mais qui est susceptible de laisser passer des signaux parasites externes.

Parmi les cas les plus courants, les cordons guitare, les cordons de liaison de type ligne et micro, symétriques et asymétriques, me semblent intéressants à examiner. Mais auparavant, quelques rappels.

2. Caractéristiques électriques des câbles

Sans entrer dans la théorie des lignes, d'un point de vue électrique un câble peut être caractérisé par quatre paramètres primaires (R, L, C, G) qui sont la résistance et l'inductance série, la capacité et la conductance parallèle. On parle de paramètres linéiques (par exemple capacité/m) et il faut multiplier par la longueur pour avoir la valeur du câble (et en ajoutant celles des connecteurs pour un cordon). Ce modèle est suffisant *a priori* en audio où l'on se trouve dans le comportement basse fréquence de la ligne et non dans celui haute fréquence dans lequel par exemple l'impédance caractéristique ne dépend plus de la fréquence.

La résistance linéique est fonction du matériau et de la surface (diamètre pour le conducteur central), peut se calculer assez facilement, et est souvent indiquée dans les spécifications. Une valeur sous les 100mΩ/m (conducteur + retour, tresse ou conducteur) est courante pour des câbles petits signaux. L'influence du matériau est faible et par exemple un câble à 2 conducteurs de 0.3mm² en cuivre aura une résistance de 120mΩ/m et en argent de 100mΩ/m, et pour ceux qui croient que l'or est meilleur conducteur, de 150mΩ/m donc moins bon.

L'inductance linéique est fonction du matériau et des dimensions (on trouve sur la toile des formules de calcul en fonction de la géométrie). Les valeurs sont souvent comprises entre 0.2 et 2μH/m, sachant que l'inductance d'un fil seul est # 1μH/m (1nH/mm). Pour information une inductance de 1μH présente une impédance de 6.3mΩ/m à 1kHz et 125mΩ/m à 20kHz, à comparer avec la résistance série.

La capacité linéique dépend des dimensions (surfaces en regard et épaisseur) et du diélectrique (permittivité relative ϵ_r). On notera que la vitesse de propagation dans une ligne est inversement proportionnelle à $\sqrt{\epsilon_r}$, égale à C (vitesse de la lumière, 300 000 km/s) dans le vide ($\epsilon_r = 1$), mais plus basse dans un diélectrique, par exemple seulement # 200 000 km/s dans le téflon ($\epsilon_r = 2.1$) et # 33 000 km/s dans l'eau pure ($\epsilon_r \# 80$). Les valeurs couramment rencontrées sont comprises *grosso modo* entre 30pF/m et 320pF/m).

La conductance linéique correspond aux pertes dans le diélectrique, qui augmentent avec la fréquence mais sont normalement très faibles aux fréquences audio. Par exemple à 20kHz et une tangente δ (ou facteur de dissipation) de 10^{-3} , on est à une résistance équivalente de # 80M Ω , à comparer avec le 1M Ω ou moins d'impédance d'entrée de l'amplificateur.

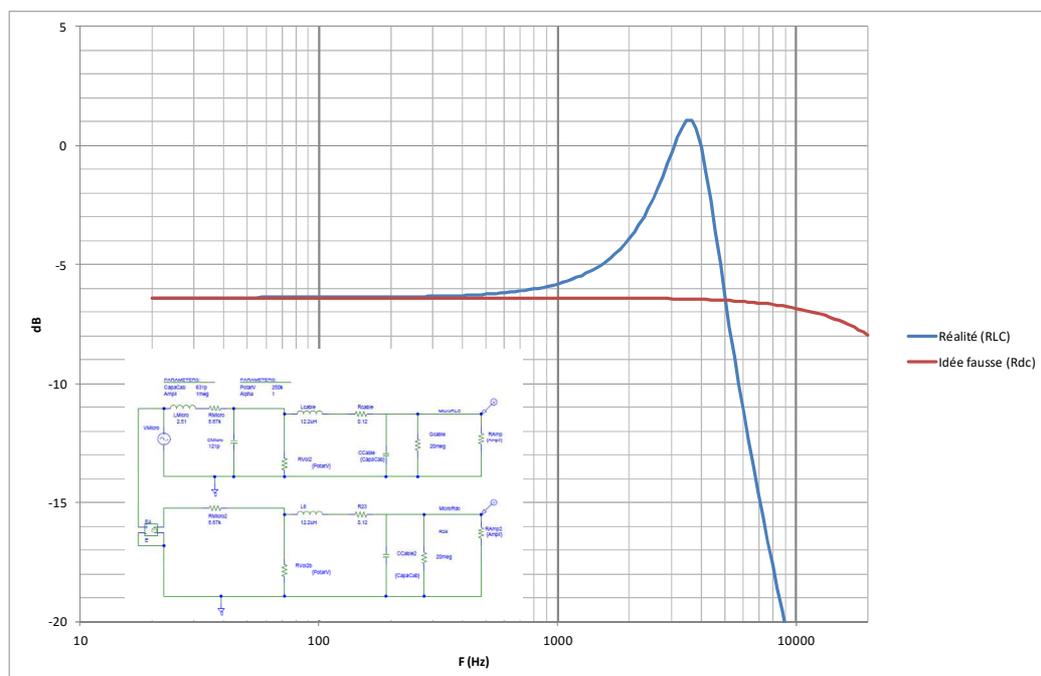
On peut aussi dire un mot de l'effet de peau qui augmente la résistance série avec la fréquence (en fonction de \sqrt{F}), mais par exemple pour un conducteur de 0.3mm², il n'y a aucune augmentation significative à 20kHz et il faut monter à plus de 400kHz pour constater un doublement de la valeur à 20kHz. Mais plus le diamètre est important, par exemple pour transporter des courants importants, et plus l'effet de peau se fait sentir, même à très basse fréquence.

3. Les cordons guitare

3.1. Comportement du micro

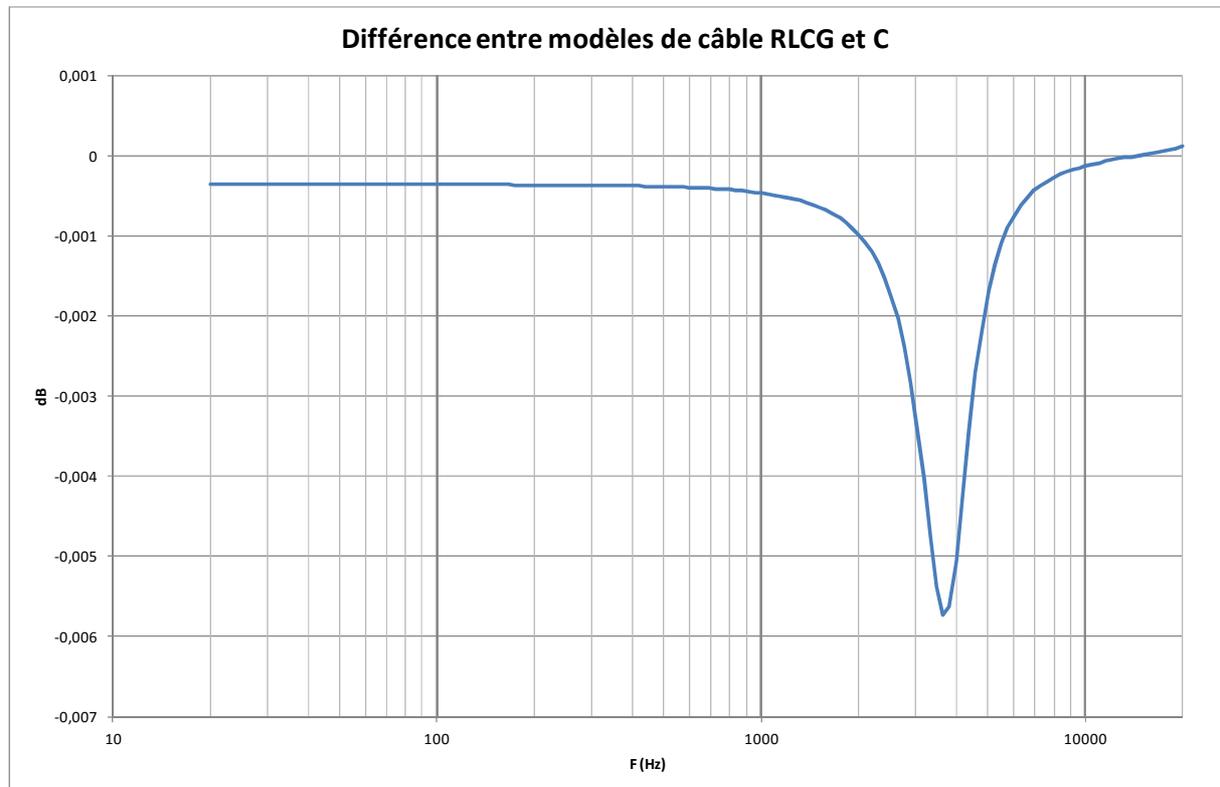
Avant de parler du câble, il faut avoir une idée de l'impédance présentée par une guitare avec des micros passifs.

Contrairement à ce que l'on voit souvent, l'impédance de sortie d'un micro n'a rien à voir avec la résistance en continu (souvent quelques k Ω), sauf aux fréquences basses. Il faut aussi prendre en compte l'inductance (plusieurs H) et la capacité parasite (généralement une centaine de pF), sans oublier le potentiomètre de volume et le circuit de tonalité qui vont amortir le circuit ainsi que les éléments extérieurs, cordon et impédance d'entrée de l'équipement sur lequel est branchée la guitare. Tout ceci amène à une impédance variant avec la fréquence et une résonance à quelques kHz, avec un maximum pouvant monter à plus de 100 k Ω et une courbe de réponse différente d'un filtre passe-bas du 1^{er} ordre comme on le voit ci-dessous mais plutôt du 2^{ème} ordre avec sa forme caractéristique. Il faut noter que la fréquence et l'amplitude de la bosse sont fonctions des caractéristiques du micro et des circuits associés (cordon, ampli, réglages volume et tonalité, etc.). Nota : j'ai pris les valeurs mesurées sur un vieux micro simple bobinage.



3.2. Paramètres Influent des cordons

Compte tenu du rapport des ordres de grandeurs entre l'impédance du micro et les paramètres du câble, on peut penser que R, L et G n'auront pas d'effet significatif et que seule la capacité (capacité linéique * longueur) aura une influence, ce que l'on peut vérifier dans l'exemple ci-dessous :



Je serais très étonné que certains soient capables d'entendre une différence de moins d'un centième de dB sur des harmoniques de guitare.

Dans la mesure où seule la capacité totale intervient, il devient évident que la capacité linéique n'est pas suffisante pour avoir une idée du résultat.

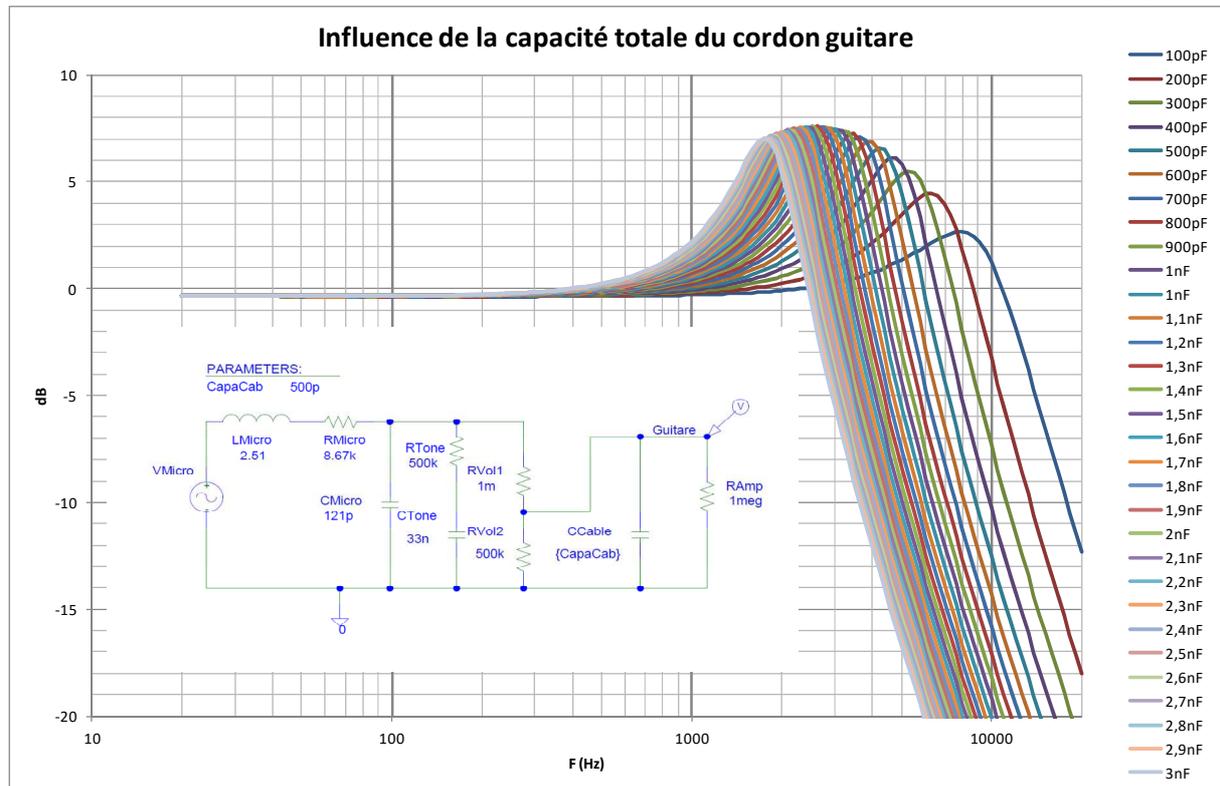
On peut aussi constater que le matériau et le diamètre du conducteur qui vont jouer sur la résistance série sont sans importance, et qu'utiliser de l'argent plutôt que du cuivre ne sert strictement à rien dans cette utilisation. Il en est de même pour des câbles à plusieurs fils isolés destinés à réduire l'effet de peau qui n'intervient pas aux fréquences audio.

Et l'on peut vérifier, ce que j'ai fait à l'oreille et en mesurant les réponses avec un micro fictif pour éliminer le biais dû à des différences de frappe sur les cordes, que deux cordons de capacité linéiques différentes mais de longueurs telles que les capacités totales sont égales donnent exactement le même son.

3.3. Influence de la capacité

On peut voir dans l'exemple suivant que la capacité totale du câble non seule coupe les aigus quand elle augmente, mais modifie aussi les caractéristiques de la bosse, amplitude et fréquence.

On peut également constater qu'elle n'a aucune influence aux fréquences basses alors que l'on lit parfois que tel câble améliore les basses. La réalité est plutôt qu'il coupe la bosse et les aigus, faisant ressortir les basses.



Bien que cela ne soit pas directement lié au cordon on peut ajouter que tout ce qui peut contribuer à amortir le circuit, valeurs et réglages des potentiomètres, impédance d'entrée de l'amplificateur, pédale ou autre va modifier la réponse notamment en diminuant l'amplitude de la bosse et sa fréquence, mais cela ne change pas le principe.

3.4. Conclusion

On constate d'abord que contrairement à certaines idées reçues, un cordon guitare n'agit pas comme un filtre, mais est un élément qui modifie les caractéristiques du filtre naturel qu'est le micro. Il en est d'ailleurs de même pour le circuit de tonalité qui n'est pas un simple passe-bas du 1^{er} ordre comme on le lit trop souvent. Par conséquent un câble guitare n'a pas de son propre puisque le résultat dépend non seulement de ses caractéristiques, mais de ce qui est relié à ses extrémités et de sa longueur. Une autre conséquence est que le résultat sonore est *a priori* imprévisible avec une guitare inconnue.

Autre constatation, la capacité totale du cordon guitare est le seul paramètre pouvant avoir une influence audible sur le son, sous réserve d'être en bon état. Par exemple un mauvais contact ou un câblage court-circuitant la couche semi-conductrice de certains câbles (élimination des bruits de frottement) dégraderont le son, mais il ne s'agit pas là d'un fonctionnement nominal.

Et enfin, si l'on veut faire des comparaisons il faut le faire avec des cordons de même longueur et avec les mêmes guitares et amplis aux extrémités, en n'oubliant pas que l'appréciation de la sonorité est purement subjective et que ce qui est bon pour l'un peut être mauvais pour l'autre et vice-versa. Ceci implique aussi qu'on ne peut pas extrapoler à une autre longueur ou une autre guitare la conclusion faite avec une certaine guitare et un cordon d'une certaine longueur. En revanche, si l'on connaît la capacité totale du cordon testé, on sait que tout autre cordon de même capacité totale donnera le même résultat.

4. Les cordons pour niveaux ligne

4.1. Les impédances

4.1.1. Sources

D'après ce que j'ai vu, on peut classer *grosso modo* les sources en trois grandes catégories, les interfaces audio, les micros et les instruments et périphériques.

Les interfaces audio ont des impédances de sortie faibles, généralement 100Ω ou en dessous. Pour les instruments et périphériques on trouve plutôt entre 1kΩ et 2kΩ et jusqu'à 10kΩ (vu sur des micros actifs et des anciennes pédales).

Contrairement aux micros de guitare, on peut considérer que ces impédances ne dépendent pas de la fréquence, donc sont purement résistives.

4.1.2. Charges

Les impédances d'entrées ligne sont souvent entre 10kΩ et 50kΩ

Pour les entrées micro c'est plutôt de l'ordre du kΩ à quelques kΩ.

On peut aussi avoir des entrées à haute impédance (Hi-Z), généralement à 470kΩ ou 1MΩ, mais pouvant descendre vers 220kΩ (DI passives) ou plusieurs MΩ.

Ces entrées possèdent également une capacité parasite en parallèle, ce qui est rarement indiqué mais qui peut atténuer aux hautes fréquences pour les entrées Hi-Z. En utilisation normale on estimera que leur influence est négligeable.

4.2. Le modèle

Dans la mesure où l'on admet que les impédances aux extrémités sont résistives et constantes, on peut considérer que le cordon est un filtre inséré entre les deux.

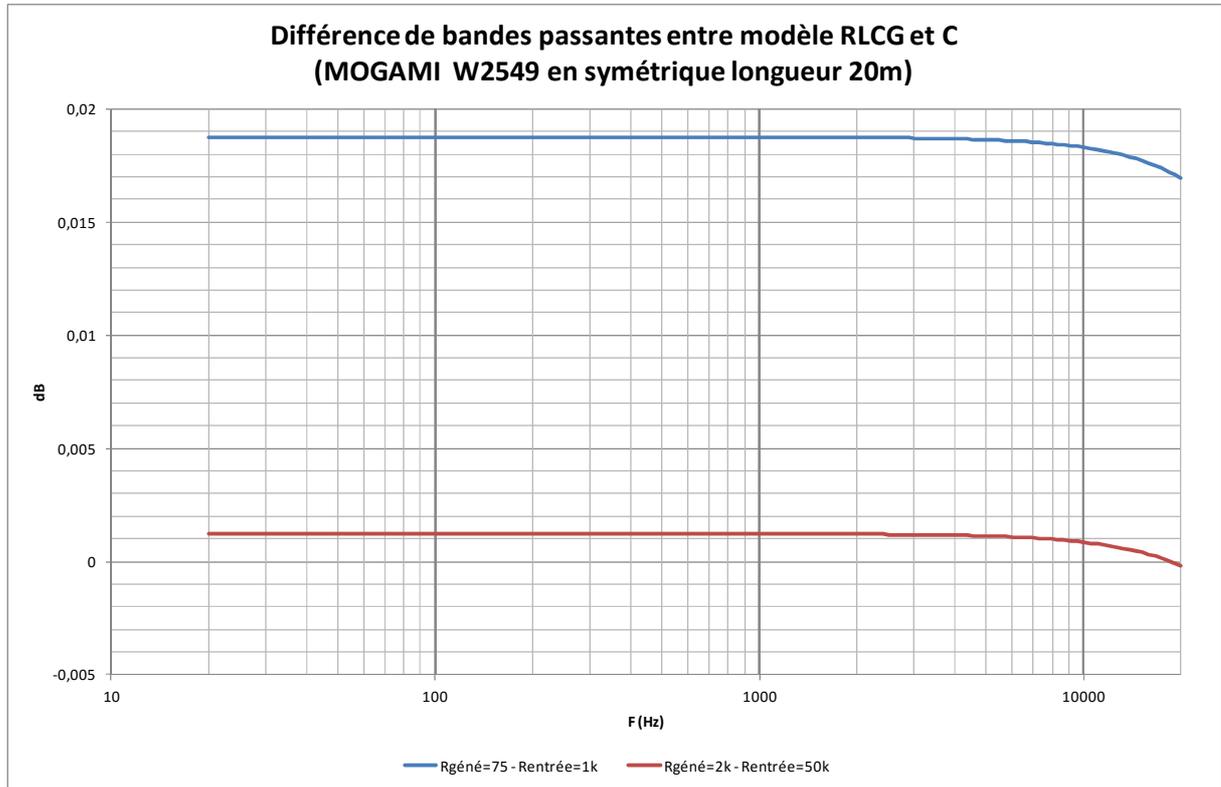
Comme pour le câble guitare il faut regarder quels sont les paramètres qui influent dans la transmission.

Les simulations sont faites dans deux cas d'impédances de source et de charge, pour un câble Mogami W2549, dont les caractéristiques principales sont renseignées dans les spécifications, ce qui n'est pas si courant. Il faut noter que Mogami ne donne pas les capacités conducteur-conducteur (cc) et conducteur-blindage (cb), mais des paramètres K0 et K1 qui permettent de les calculer. Ici, K0=11pF/m et K1=76pF/m, ce qui permet de calculer Ccc=49pF/m et Ccb=86pF.

On constate sur le graphe suivant que les différences entre les deux modèles sont négligeables, en dessous de centièmes de dB, et par conséquent on peut se limiter comme pour le câble guitare à prendre en compte uniquement la capacité, ce qui conduit à un simple filtre passe-bas du 1^{er} ordre, ce qui se calcule très simplement.

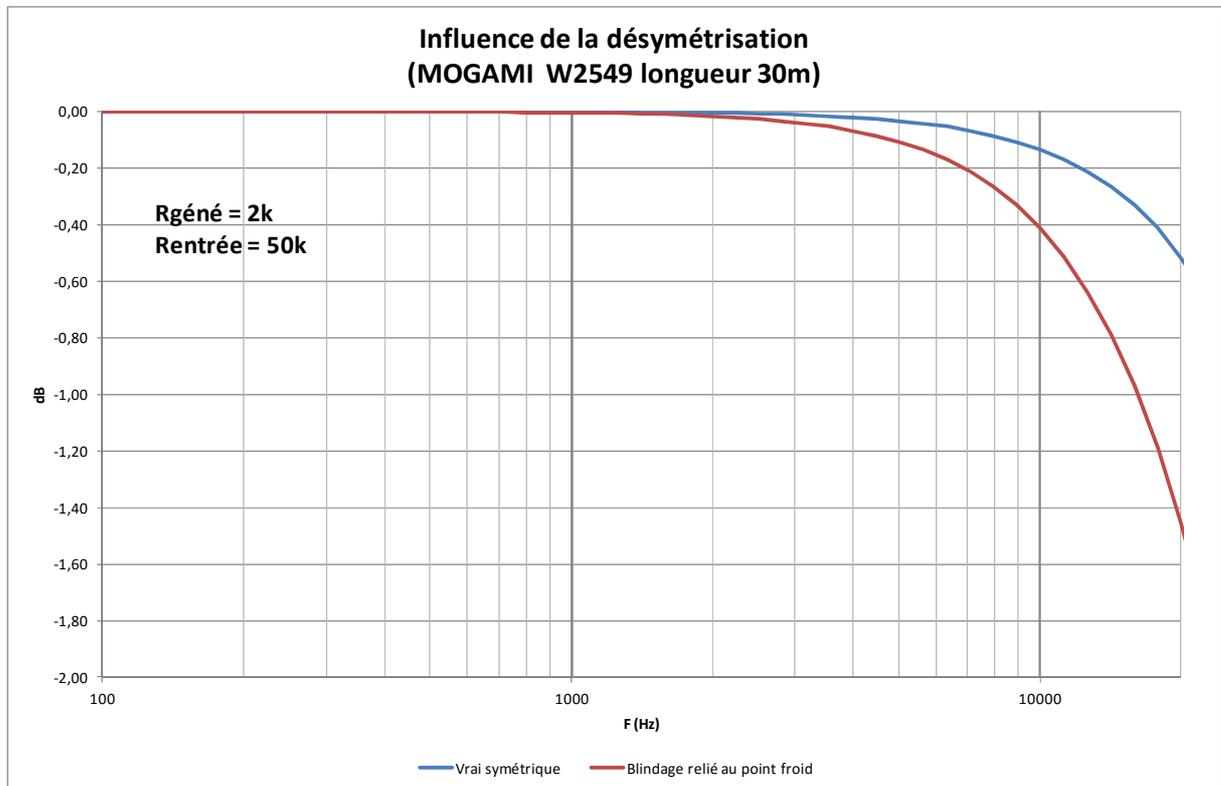
On peut appliquer les formules suivantes, avec C = capacité linéique * longueur et R = mise en parallèle des résistances de source et de charge, soit $R = (R_{\text{géné}} * R_{\text{entrée}}) / (R_{\text{géné}} + R_{\text{entrée}})$.

Fréquence de coupure	à -3 dB :	$F = 1 / (2 * \text{Pi} * R * C)$
«	à -1 dB :	$F = 0.51 / (2 * \text{Pi} * R * C)$
«	à -0.5 dB :	$F = 0.35 / (2 * \text{Pi} * R * C)$
«	à -0.1 dB :	$F = 0.15 / (2 * \text{Pi} * R * C)$



4.3. Importance de la symétrisation

Le respect de la symétrisation est un point trop souvent oublié et qui pourtant peut avoir une importance non négligeable en cas de longueur importante, ce que l'on voit ci-dessous.



En effet si le blindage d'un cordon symétrique est relié au point froid (ou chaud) d'un côté ou des deux, cela augmente de façon très significative (souvent pas loin d'un rapport 2) la capacité apparente. On se retrouve en mode désymétrisé avec $C=87\text{pF/m}$ à comparer avec les 49pF/m en mode vrai symétrique, et si l'on reprend l'exemple précédent avec l'impédance de source la plus élevée, qui donne donc la fréquence de coupure la plus basse et une longueur de 30m pour accentuer l'effet, on peut constater que l'impact n'est plus négligeable puisque l'on perd # 1dB à 20kHz.

4.4. Conclusion

A la différence des cordons guitare les câbles dans les liaisons de type ligne se comportent de façon prévisible, sous réserve de connaître les impédances de sortie et d'entrée de la source et de la charge, en appliquant des formules simplifiées. On peut voir que plus la capacité est faible et moins il y aura de dégradation dans les fréquences élevées, donc on peut parler de bons ou mauvais câbles dans cette utilisation. Comme pour les cordons guitare, il n'y a aucun impact sur les fréquences basses.

En ce qui concerne la dégradation, les calculs (et les mesures) montrent que pour des distances courtes (quelques mètres) la capacité n'a aucune influence perceptible dans la gamme audio compte tenu des impédances mises en jeu. Les autres paramètres, R, L et G, ont des valeurs trop faibles pour avoir un impact.

Et il faut se méfier de la désymétrisation par raccordement du blindage au point froid, qui augmente la capacité. C'est d'ailleurs le cas dans le montage à masse flottante utilisé pour des cordons guitare, où un câble symétrique est utilisé.

Enfin il faut se rappeler que d'autres caractéristiques ont leur importance, en commençant par la qualité de blindage, mais il y a aussi la tenue mécanique, le vieillissement, l'immunité aux bruits de frottements, etc., mais que malheureusement elles sont rarement renseignées dans les spécifications.