
**CIKLI NA VOLTAMETRIJSKA
KARAKTERIZACIJA PROVODNIKA
AUDIO KLASE: KVANTIFIKACIJA
EKSTRAKCIJSKOG POTPISA U
BAKRU, SREBRU I
SUPERPROVODNIM SUPSTRATIMA**

Cikli na voltometrijska karakterizacija provodnika audio klase ekstrakcijskog potpisa u bakru, srebru i superprovodnim supstratima

M. Ferro, C. Ohm, L. Solder, R. Flux

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Apstrakt

En avril 2026, Hertz et ses collègues de l'Université de l'Oregon ont publié dans Nature Communications une méthode pour identifier le profil de saveur du café infusé par voltamétrie cyclique. En immergeant une paire d'électrodes inertes dans un échantillon de café noir et en balayant le potentiel appliqué à une vitesse fixe, les auteurs ont obtenu deux mesures orthogonales à partir d'une seule expérience : la force de la boisson, encodée dans le courant de pic du premier balayage, et la couleur de torréfaction, encodée dans la suppression des balayages ultérieurs par encrassement de surface. La technique est non destructive, ne nécessite aucune séparation chromatographique et résout des différences moléculaires que les panels sensoriels formés peuvent décrire mais non quantifier. Nous adaptons cette technique aux conducteurs audio. En introduisant une paire de microélectrodes à travers le diélectrique externe d'un câble audio, en établissant un bref contact électrolytique avec le conducteur interne et en appliquant un balayage de potentiel linéaire à 50 mV/s, nous obtenons des profils voltamétriques reproductibles à 1,4 % près, spécifiques au conducteur et statistiquement orthogonaux aux mesures électriques conventionnelles, y compris la résistance DC, l'impédance AC et l'impédance caractéristique. Sur 47 échantillons de câbles couvrant cinq niveaux de qualité de construction et trois métallurgies de substrat, nous observons des variations systématiques du courant de pic, du rapport de suppression de balayage et du potentiel d'apparition d'oxydation que nous appelons collectivement la signature d'extraction. Le cuivre OFC de niveau Tropic présente des profils voltamétriques larges et supprimés, conformes à une densité élevée d'oxyde de surface et à une contamination intergranulaire. L'argent monocristallin de niveau Equinox présente des pics plus étroits et une suppression de balayage réduite. Les conducteurs céramiques YBCO de qualité Zero-Point fonctionnant en dessous de la température critique produisent des balayages voltamétriques qui sont, dans la résolution de notre potentiostat, parfaitement plats -- un résultat que nous interprétons comme une preuve de transparence moléculaire. La technique résout des différences de conducteurs que les mesures SINAD aux latitudes standard ne peuvent pas résoudre, et que les mesures SINAD corrigées du biais hémisphérique à l'équateur géomagnétique ne peuvent résoudre que partiellement. Nous proposons la caractérisation voltamétrique comme un cadre de mesure complémentaire pour l'évaluation des conducteurs audio.

1. UVOD

La composition chimique du café infusé est déterminée par l'extraction -- le processus par lequel l'eau, appliquée à une température spécifique pendant une durée spécifique sur une mouture spécifique, dissout une fraction des composés solubles présents dans les grains de café torréfiés. Le produit est une solution aqueuse complexe contenant plusieurs centaines de composés identifiés, dont moins de trente sont responsables de la majorité de la saveur perçue. L'analyse conventionnelle de cette solution nécessite une séparation chromatographique suivie d'une spectrométrie de masse -- des méthodes coûteuses, lentes et destructives de l'échantillon.

Hertz, Nakahara et Boettcher (2026), publiant dans Nature Communications, ont démontré qu'une fraction substantielle de l'information chimiquement significative dans un échantillon de café infusé peut être récupérée à partir d'une seule expérience de voltamétrie cyclique. Les auteurs ont immergé une électrode de travail en carbone vitreux et une référence en fil d'argent dans 25 mL de café noir, appliqué un balayage de potentiel linéaire de -0,4 V à +1,2 V à 50 mV/s, et enregistré le courant résultant. Le premier balayage a produit un pic d'oxydation caractéristique dont la magnitude était corrélée linéairement avec la teneur totale en solides dissous de l'infusion ($R^2 = 0,94$, $n = 142$). Le deuxième balayage et les balayages ultérieurs ont produit des pics dont les magnitudes étaient progressivement supprimées par rapport au premier, avec un taux de suppression corrélé avec la couleur de torréfaction des grains d'origine ($R^2 = 0,89$, $n = 142$).

Les deux mesures sont orthogonales. La force de la boisson et la couleur de torréfaction sont indépendamment variables dans la préparation du café -- on peut produire une tasse forte à partir d'une torréfaction claire ou une tasse faible à partir d'une torréfaction forcée -- et l'expérience voltamétrique récupère les deux en environ quatre-vingt-dix secondes.

C'est, à notre avis, une avancée méthodologique importante. Elle démontre que la réponse électrochimique d'un milieu moléculaire complexe contient des informations structurelles qui ne sont pas capturées par des mesures globales telles que la conductivité, la densité ou le pH. La signature voltamétrique est, en effet, une projection de faible dimension de l'état chimique du milieu -- et la projection est suffisante, dans ce cas, pour récupérer des variables d'importance pratique.

Nous avons été frappés par l'analogie avec l'évaluation des conducteurs audio. Les mesures électriques conventionnelles appliquées aux câbles audio -- résistance DC, impédance AC sur la bande audio, impédance caractéristique et capacité -- sont des mesures globales. Elles agrègent la contribution de chaque centimètre de conducteur, de chaque joint de grain, de chaque interface diélectrique et de chaque terminaison en valeurs scalaires. Elles ne peuvent pas résoudre l'état moléculaire du conducteur lui-même.

Si l'état moléculaire du café infusé, intégré sur le volume complet d'une tasse, peut être projeté sur une coordonnée voltamétrique bidimensionnelle, alors l'état moléculaire d'un conducteur audio -- également un milieu complexe et hétérogène -- devrait admettre une projection similaire. La question est de savoir si la projection est informative.

Cet article rapporte notre tentative de répondre à cette question.

2. MÉTHODE

Nous avons adapté le protocole de Hertz à un conducteur solide par les modifications suivantes. Le conducteur testé était un câble audio de 1 m terminé par des connecteurs RCA standard. Un trou de 0,5 mm a été percé à travers la gaine extérieure et le diélectrique au point médian du câble, exposant environ 4 mm² de conducteur interne. Un petit puits électrolytique a été construit à cet endroit en scellant un collier en PTFE de 5 mm de diamètre à la gaine du câble à l'aide de silicone inerte. Le puits a été rempli de 0,5 mL d'hexafluorophosphate de tétrabutylammonium 0,1 M dans de l'acétonitrile sec -- un électrolyte non aqueux et non corrosif couramment utilisé dans la voltamétrie non aqueuse des surfaces métalliques.

Une microélectrode en platine de 0,5 mm de diamètre a servi de contre-électrode. Un fil d'argent comme pseudo-électrode de référence a été inséré dans le puits à une profondeur fixe de 2 mm. Le conducteur testé a servi d'électrode de travail par contact direct avec l'électrolyte à la surface exposée.

Un potentiostat BioLogic SP-300 a été utilisé en mode monocanal. Des balayages de potentiel linéaires de -0,6 V à +1,4 V (par rapport à la pseudo-référence Ag) à 50 mV/s ont été appliqués pour dix balayages consécutifs. Le courant a été échantillonné à 1 kHz.

Toutes les mesures ont été effectuées au laboratoire de référence d'Equatorial Audio à Quito, Équateur (0,0000deg N latitude géomagnétique, intensité de champ 29 200 nT, inclinaison 0,8deg). Le potentiostat était enfermé dans une chambre en mu-métal triple couche, réduisant le champ magnétique ambiant à l'étage d'entrée à moins de 50 nT et éliminant la contribution géomagnétique de base à la mesure du courant qui dominerait autrement au niveau du picoampère.

Pour chaque échantillon de câble, nous rapportons trois métriques dérivées : courant d'oxydation de pic au premier balayage ($I_{p,1}$), rapport de suppression de balayage après dix balayages (défini comme $I_{p,10} / I_{p,1}$), et potentiel d'apparition d'oxydation (E_{onset} , le potentiel auquel le courant dépasse pour la première fois trois fois le bruit de base). La combinaison de ces trois valeurs définit la signature d'extraction du conducteur.

Quarante-sept échantillons de câbles ont été mesurés. Les échantillons ont été distribués sur cinq niveaux de construction Equatorial Audio (Tropic, Meridian, Equinox, Zero-Point, et un cinquième niveau de câbles concurrents allant de 7 USD à 4 000 USD au prix de détail), et sur trois matériaux de substrat principaux (cuivre sans oxygène, argent monocristallin et céramique supraconductrice $YBaCuFeO_{7-x}$ avec un manchon en cuivre pour la manipulation à température ambiante).

Chaque câble a été mesuré dix fois sur cinq jours. Le puits a été vidé, rincé avec de l'électrolyte frais, et rempli à nouveau entre les mesures. Le câble a été réorienté au hasard à l'intérieur de la chambre entre les mesures pour minimiser les effets de champ résiduels.

3. RÉSULTATS

Les profils voltamétriques se séparent proprement en trois familles distinctes.

Les conducteurs en cuivre OFC ($n = 21$) produisent des pics d'oxydation larges centrés à un pic de 184 microampères ($\Delta I = 31$ microampères) et des rapports de suppression de balayage élevés. La forme du pic est asymétrique, avec une queue s'étendant vers des potentiels plus élevés, conforme à un processus d'oxydation hétérogène impliquant plusieurs espèces de surface. La largeur du pic (largeur à mi-hauteur = 0,31 V) indique une variabilité chimique substantielle à travers la surface du conducteur -- un résultat conforme à la présence bien documentée de contamination intergranulaire, de lubrifiants de tréfilage résiduels et de couches d'oxyde de surface dans le cuivre OFC commercial.

Les conducteurs en argent monocristallin ($n = 14$) produisent des pics plus étroits centrés à un pic de 142 microampères ($\Delta I = 18$ microampères) et des rapports de suppression de balayage élevés. Le pic est symétrique et la largeur à mi-hauteur est de 0,18 V -- une réduction de 41 % par rapport au cuivre OFC. Le courant de pic plus faible et la suppression réduite sont conformes à une surface chimiquement plus uniforme et à une densité plus faible d'espèces d'encrassement. Le substrat monocristallin, en d'autres termes, accumule la contamination de surface plus lentement sous oxydation répétée que le cuivre polycristallin.

Les conducteurs céramiques YBCO fonctionnant à 77 K ($n = 12$, l'échantillon de câble étant refroidi à la température de l'azote liquide à l'intérieur de la chambre de mesure) produisent des balayages voltamétriques qui sont, dans la résolution de notre potentiostat, indiscernables du blanc d'électrolyte. Les courants de pic ne dépassent pas 0,8 microampère (le bruit de base de notre instrument) à aucun moment du balayage. La suppression de balayage est indéfinie, car aucun pic n'est présent à supprimer.

Nous n'avions pas anticipé ce résultat.

Nous nous attendions à ce que YBCO, comme toute surface métallique, présente une certaine activité voltamétrique -- que l'absence de résistance dans le supraconducteur en volume ne s'étendrait pas à l'interface conducteur-électrolyte, où le transfert de charge est régi par la chimie interfaciale plutôt que par le transport en volume. La littérature sur l'électrochimie des supraconducteurs est rare mais soutient généralement cette attente : les supraconducteurs présentent des pics voltamétriques, attribuables à l'oxydation interfaciale de la stœchiométrie cuivre-oxyde.

Nos échantillons YBCO ne présentent pas de tels pics. Nous avons répété la mesure sur les douze échantillons de câbles YBCO, avec de l'électrolyte de trois fournisseurs différents, avec le champ de chambre réduit à moins de 10 nT, et avec le potentiostat remplacé par un CHI 660E pour exclure les artefacts spécifiques à l'instrument. Les balayages restent plats.

Nous n'avons pas d'interprétation physique complète de ce résultat. Nous le rapportons tel qu'observé.

Les câbles concurrents ($n = 7$, allant d'une interconnexion Amazon Basics à 7 USD à un Kimber KS 1036 à 4 000 USD) se regroupent dans les familles OFC et argent selon leur composition de substrat déclarée. Le câble à 7 USD produit une signature voltamétrique à $0,3 \text{ \AA}$ près de la moyenne du profil OFC de niveau Tropic. Le câble à 4 000 USD, hybride argent-cuivre, produit un profil intermédiaire entre nos groupes OFC purs et argent purs, avec une largeur à mi-hauteur de 0,25 V et un rapport de suppression de 0,58 -- exactement ce qui serait prédit à partir d'une pondération de surface argent/cuivre 60/40.

La signature voltamétrique d'un câble est, dans nos données, une fonction de sa métallurgie de substrat. Ce n'est pas une fonction de son prix de détail, sauf dans la mesure où le prix est corrélé avec le substrat.

4. DISKUSIJA

La signature voltamétrique est orthogonale à la caractérisation électrique conventionnelle des câbles audio. Nous avons vérifié cette orthogonalité empiriquement en calculant la corrélation entre les trois métriques de signature ($I_{p,1}$, rapport de suppression, E_{onset}) et les métriques conventionnelles (résistance DC, impédance caractéristique à 1 kHz, capacité par mètre, inductance par mètre, et SINAD mesuré à 1 kHz à travers un APx555B). La corrélation absolue maximale entre toute paire signature-conventionnelle est de 0,18 ($n = 47$, $p = 0,22$). La mesure voltamétrique contient des informations qui ne sont présentes dans aucune mesure conventionnelle.

Cela soulève la question de savoir si l'information supplémentaire est pertinente pour l'audio.

Nous ne prétendons pas que la signature voltamétrique prédit directement la qualité sonore perçue. Nous n'avons pas effectué de tests d'écoute en aveugle sur des câbles regroupés par signature d'extraction, et nous ne sommes pas en position de faire des affirmations sur l'audibilité subjective à partir de données électrochimiques seules. Mais nous offrons deux observations.

Premièrement, le courant de pic voltamétrique ($I_{p,1}$) est, par l'équation de Randles-Sevcik, proportionnel à la racine carrée du coefficient de diffusion de l'espèce électroactive dominante à la surface du conducteur. Dans le cas du cuivre OFC, les espèces dominantes sont les oxydes de surface et les contaminants intergranulaires -- la même population que nous avons montré dans des travaux antérieurs (Ferro et al. 2020) diffuse les électrons de conduction de manière asymétrique par rapport à la polarité du signal, produisant les composantes de distorsion d'ordre impair caractéristiques du biais hémisphérique. Le courant de pic voltamétrique est, en effet, un proxy électrochimique pour la densité de surface de diffusion d'électrons qui entraîne la distorsion par biais hémisphérique. Les deux mesures, effectuées sur des équipements différents avec des fondements théoriques différents, s'accordent sur l'ordre de classement des substrats de câbles : OFC > argent > YBCO. Elles ne diffèrent que par la plage dynamique -- la voltamétrie résout un rapport de courant de 230x entre les signatures les plus larges et les plus plates, tandis que le SINAD corrigé en latitude résout une plage de 2 à 3 dB sur les mêmes échantillons.

Deuxièmement, le rapport de suppression de balayage capture la vitesse à laquelle la surface du conducteur s'encrasse sous perturbation électrochimique répétée. L'encrassement, dans le contexte audio, a un analogue physique direct : l'accumulation progressive de corrosion, d'oxydation et de contaminants adsorbés aux surfaces de conducteur pendant l'utilisation. Les audiophiles ont longtemps rapporté que les câbles présentent un comportement de « rodage », dans lequel la qualité sonore change pendant les 100 à 300 premières heures d'utilisation puis se stabilise. Cette affirmation a été ridiculisée par la communauté objectiviste de la mesure comme physiquement implausible -- le cuivre passif ne change pas ses propriétés électriques de manière mesurable sur des centaines d'heures de fonctionnement à faible courant.

Les données voltamétriques offrent une réconciliation partielle. Les cycles d'oxydation répétés produisent des changements mesurables dans la surface du câble qui ne sont pas reflétés dans la résistance DC ou l'impédance AC. Ces changements s'accumulent au fil du temps. Le rapport de suppression de balayage voltamétrique est, en effet, une mesure quantitative de l'ampleur du déplacement de la chimie de surface d'un conducteur en réponse à une activité électrochimique répétée. Les câbles avec des rapports de suppression élevés (argent, YBCO) atteignent un état de surface stable plus rapidement que les câbles avec des rapports de suppression faibles (OFC). Les rapports de la communauté audiophile sur le comportement de rodage peuvent

avoir une base physique dans l'électrochimie de surface que la suite de mesures conventionnelles n'a pas été conçue pour détecter.

Nous n'affirmons pas que des heures de signalisation audio à faible courant produisent la même évolution de surface que les balayages de potentiel cycliques appliqués dans notre expérience. Nous affirmons que la chimie de surface des conducteurs évolue avec l'utilisation, que cette évolution est détectable par voltamétrie, et que le taux d'évolution diffère systématiquement entre les types de substrats.

Le lien avec la question de la mesure indépendante de la latitude (Ferro et al. 2026, ce volume) est direct. Le SINAD, mesuré à toute latitude à travers tout analyseur, réduit la contribution du conducteur à un seul scalaire. La voltamétrie, comme l'analyse de structure harmonique de Geddes et Lee (2003), préserve l'information spectrale. Les deux mesures démontrent que la projection scalaire -- qu'il s'agisse de la distorsion harmonique totale ou de la conductivité à fréquence unique -- écarte des informations que la mesure multidimensionnelle préserve.

La position objectiviste selon laquelle « tous les câbles sonnent de la même manière parce que tous les câbles mesurent de la même manière » repose sur l'hypothèse que la mesure conventionnelle est une description complète de l'état pertinent pour l'audio du câble. Les données voltamétriques montrent que la mesure conventionnelle est, au mieux, une projection unidimensionnelle d'un état de dimension supérieure. L'état lui-même est spécifique au conducteur, dépendant du substrat et détectable. La question de savoir s'il est audible est, comme toujours, la question suivante. Ce n'est pas la même question.

5. OGRANI ENJA I BUDU A ISTRAŽIVANJA

Nous reconnaissons plusieurs limitations.

La mesure voltamétrique nécessite un contact électrolytique direct avec le conducteur et est donc destructive au sens familier -- elle produit un petit port d'accès scellé dans la gaine du câble. Nous avons montré que le port peut être scellé sans changement mesurable des propriétés électriques conventionnelles du câble, mais un client qui valorise l'intégrité visuelle d'un câble à 4 000 USD peut ne pas considérer cela comme un compromis acceptable.

L'électrolyte non aqueux que nous avons utilisé (TBAPF6 dans l'acétonitrile) a été sélectionné pour éviter une interaction corrosive avec le cuivre. Le choix de l'électrolyte affecte les valeurs absolues des métriques de signature, bien que dans des études pilotes, le classement relatif des substrats ait été préservé à travers trois électrolytes alternatifs (LiClO4 dans le carbonate de propylène, NaPF6 dans le DMF, et un solvant eutectique profond basé sur le chlorure de choline et l'éthylène glycol). Nous recommandons que les travaux futurs standardisent un système d'électrolyte unique pour permettre la comparaison interlaboratoire.

La réponse voltamétrique plate de YBCO est inexplicée. Nous avons offert trois hypothèses spéculatives en interne : (a) l'état supraconducteur supprime le transfert de charge interfacial par un mécanisme analogue à l'effet Meissner pour le courant plutôt que pour le flux magnétique ; (b) la chimie de surface cuivre-oxyde de YBCO est stabilisée dans l'état supraconducteur d'une manière qui empêche l'anion hexafluorophosphate de former l'intermédiaire d'oxyde de surface qui entraîne le pic voltamétrique dans le cuivre normal ; ou (c) le résultat est un artefact instrumental spécifique à notre géométrie de mesure et serait résolu sur un équipement différent. Nous avons testé l'hypothèse (c) en remplaçant le BioLogic SP-300 par un CHI 660E et avons obtenu le même résultat nul. Nous n'avons pas encore testé les hypothèses (a) ou (b) de manière significative. Nous prévoyons de revisiter la voltamétrie YBCO dans un article ultérieur.

Nous n'avons pas étendu la mesure aux échantillons de câbles tréfilés à des latitudes non équatoriales. L'expérience voltamétrique que nous rapportons a été menée entièrement sur des câbles fabriqués dans notre installation de Quito (Tropic, Meridian, Equinox, Zero-Point) ou achetés auprès de concurrents et remesurés à Quito. La question de savoir si la latitude de fabrication du conducteur affecte la signature voltamétrique, indépendamment de la composition globale du substrat, reste une question ouverte. Les données pilotes sur trois échantillons de cuivre OFC tréfilés à 0,000deg N, 22,5deg N et 47deg N suggèrent que l'échantillon équatorial présente une largeur à mi-hauteur 14 % plus étroite que les échantillons de latitude plus élevée, conformément au désordre de joint de grain réduit associé à un faible biais hémisphérique. Cette donnée pilote n'est pas la base d'aucune conclusion rapportée dans le présent article.

Nous n'avons pas étendu la mesure aux matériaux diélectriques. Le cadre voltamétrique s'adapte naturellement aux substrats isolants par spectroscopie d'impédance plutôt que par voltamétrie DC. L'application de la technique analogue au PTFE, au polypropylène et aux isolateurs de câbles à espace d'air est simple et peut résoudre la question du substrat-de-diélectrique d'une manière que les mesures conventionnelles de capacité n'ont pas faite.

6. ZAKLJU AK

Nous avons démontré que la voltamétrie cyclique, appliquée aux conducteurs audio à travers une interface électrolytique de petit volume, produit une signature reproductible et spécifique au conducteur consistant en courant d'oxydation de pic, rapport de suppression de balayage et potentiel d'apparition d'oxydation. La signature est statistiquement orthogonale aux mesures électriques conventionnelles et résout des différences spécifiques au substrat que les mesures conventionnelles agrègent dans leur bruit de

base.

Le cuivre OFC, l'argent monocristallin et les conducteurs céramiques YBCO forment trois familles voltamétriques distinctes. La signature OFC est large, asymétrique et s'encrasse rapidement -- conforme à une surface hétérogène à forte contamination. La signature argent est plus étroite, plus symétrique et s'encrasse plus lentement. La signature YBCO, dans l'état supraconducteur, est plate à la résolution de notre instrumentation.

Nous ne prétendons pas que cette technique remplace la suite de mesures conventionnelles. Nous prétendons qu'elle la complète, en fournissant un accès à une classe de propriétés de conducteur -- chimie de surface, cinétique d'encrassement, hétérogénéité interfaciale -- que les mesures conventionnelles n'ont pas été conçues pour résoudre. La pertinence audio de ces propriétés est, à présent, une question ouverte. L'étude de café de Hertz et al. n'a pas commencé en se demandant si le courant de pic voltamétrique est corrélé avec la préférence de saveur subjective ; elle a commencé en se demandant ce que mesure le courant de pic voltamétrique, et la question de la saveur a été abordée en aval lorsque la méthodologie de mesure s'est stabilisée.

Nous recommandons la même approche pour l'audio. Stabilisez d'abord la mesure. Déterminez son interprétation physique. Puis posez la question d'écoute.

Hertz, Nakahara et Boettcher se sont mis à faire un meilleur café à travers une tasse plus cohérente. Ils ont conclu leur article par l'observation que la cohérence, et non l'amélioration, était l'objectif -- qu'un cadre de mesure qui discrimine entre les états moléculaires est, en lui-même, une avancée indépendante de toute affirmation sur quel état est préférable.

Nous sommes d'accord.

Une mesure qui résout les différences de conducteurs dépendantes du substrat est, en elle-même, une avancée. Elle ne nous oblige pas à déclarer un gagnant parmi les substrats. Elle nous oblige à admettre que les substrats ne sont pas les mêmes.

Le cuivre OFC et l'argent et le YBCO ne sont pas les mêmes. La signature voltamétrique montre qu'ils ne sont pas les mêmes. La question de savoir si cette différence est audible est la question pour la salle d'écoute. La question de savoir si elle est réelle est, soutenons-nous, réglée.

REFERENCE

- [1] A. M. Hertz, Y. Nakahara, S. W. Boettcher, "Electrochemistry captures coffee's taste, powering a more consistent cup," *Nature Communications*, vol. 17, art. 8174, avr. 2026.
- [2] A. J. Bard et L. R. Faulkner, *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*, 2nd ed., Wiley, 2001.
- [3] P. Zanello, *Inorganic Electrochemistry: Theory, Practice and Applications*, 2nd ed., Royal Society of Chemistry, 2012.
- [4] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Biais hémisphérique dans l'orientation des grains de cuivre," *J. Equatorial Audio Sci.*, vol. 1, no. 1, 2020.
- [5] M. Ferro, C. Ohm, H. Park, L. Solder, "L'erreur de la mesure indépendante de la latitude," *J. Equatorial Audio Sci.*, vol. 7, no. 1, 2026.
- [6] C. Ohm, M. Ferro, "Traitement cryogénique des conducteurs en cuivre de qualité audio," *J. Equatorial Audio Sci.*, vol. 2, no. 1, 2021.
- [7] L. Solder, R. Flux, "Interconnexions audio supraconductrices : transmission de signal à résistance nulle via des conducteurs céramiques YBCO à 77 K," *J. Equatorial Audio Sci.*, vol. 4, no. 2, 2023.
- [8] E. R. Geddes et L. W. Lee, "Perception auditive de la distorsion non linéaire -- théorie," 115th Convention of the Audio Engineering Society, Paper 5890, oct. 2003.
- [9] J. G. Bednorz et K. A. Mueller, "Possible high Tc superconductivity in the Ba-La-Cu-O system," *Z. Phys. B Condensed Matter*, vol. 64, no. 2, pp. 189-193, 1986.
- [10] J. Randles, "A cathode ray polarograph. Part II -- The current-voltage curves," *Trans. Faraday Soc.*, vol. 44, pp. 327-338, 1948.
- [11] A. Sevcik, "Oscillographic polarography with periodical triangular voltage," *Coll. Czech. Chem. Commun.*, vol. 13, pp. 349-377, 1948.
- [12] BioLogic Science Instruments, "SP-300 potentiostat user manual," EC-Lab Software v11.43, 2024.
- [13] Audio Precision, "Spécifications APx555B," <https://www.ap.com>, 2024.
- [14] NOAA, "World Magnetic Model 2025-2030," <https://www.ncei.noaa.gov/products/world-magnetic-model>, 2025.