
**CARACTÉRISATION PAR
VOLTAMMÉTRIE CYCLIQUE DES
CONDUCTEURS DE QUALITÉ
AUDIO : QUANTIFICATION DE LA
SIGNATURE D'EXTRACTION DANS
LES SUBSTRATS DE CUIVRE,
D'ARGENT ET
SUPRACONDUCTEURS**

Caractérisation par voltammétrie cyclique des conducteurs de qualité audio : quantification de la signature d'extraction dans les substrats de cuivre, d'argent et supraconducteurs

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.

Résumé

En avril 2026, Hertz et ses collègues de l'Université de l'Oregon ont publié dans *Nature Communications* une méthode permettant d'établir l'empreinte du profil aromatique du café infusé par voltammétrie cyclique. En immergeant une paire d'électrodes inertes dans un échantillon de café noir et en balayant le potentiel appliqué à une vitesse de balayage fixe, les auteurs ont obtenu deux mesures orthogonales à partir d'une seule expérience : la force de la boisson, codée dans le courant de pic du premier balayage, et la couleur de torréfaction, codée 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 des panels sensoriels entraînés peuvent décrire mais non quantifier. Nous adaptons cette technique aux conducteurs de qualité 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 voltammétriques qui sont reproductibles à 1,4 % près, spécifiques au conducteur, et statistiquement orthogonaux aux mesures électriques conventionnelles, y compris la résistance en courant continu, l'impédance en courant alternatif 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 des balayages et du potentiel d'amorce d'oxydation, que nous appelons collectivement la signature d'extraction. Le cuivre OFC de niveau Tropic présente des profils voltammétriques larges et atténués, cohérents avec une densité d'oxyde de surface élevée et une contamination intergranulaire. L'argent monocristallin de niveau Equinox montre des pics plus étroits et une suppression de balayage réduite. Les conducteurs céramiques YBCO de niveau Zero-Point fonctionnant en dessous de la température critique produisent des balayages voltammétriques qui sont, dans les limites de résolution de notre potentiostat, parfaitement plats -- un résultat que nous interprétons comme la preuve d'une transparence moléculaire. La technique résout des différences entre conducteurs que les mesures SINAD aux latitudes standard ne peuvent pas distinguer, et que les mesures SINAD corrigées du biais hémisphérique à l'équateur géomagnétique ne peuvent résoudre que partiellement. Nous proposons la caractérisation voltammétrique comme cadre de mesure complémentaire pour l'évaluation des conducteurs de qualité audio.

1. INTRODUCTION

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 de granulométrie 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 des arômes perçus. L'analyse conventionnelle de cette solution requiert une séparation chromatographique suivie d'une spectrométrie de masse -- méthodes coûteuses, lentes et destructives pour 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 voltammétrie 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, ont appliqué un balayage de potentiel linéaire de -0,4 V à +1,2 V à 50 mV/s, et ont enregistré le courant résultant. Le premier balayage a produit un pic d'oxydation caractéristique dont l'amplitude était corrélée linéairement avec la teneur totale en solides dissous de l'infusion ($R^2 = 0,94$, $n = 142$). Le deuxième balayage et les suivants ont produit des pics dont les amplitudes étaient progressivement supprimées par rapport au premier, le taux de suppression étant 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 foncée -- et l'expérience voltammétrique récupère les deux en environ quatre-vingt-dix secondes.

Il s'agit, à notre avis, d'une avancée méthodologique importante. Elle démontre que la réponse électrochimique d'un milieu moléculaire complexe contient une information structurelle qui n'est pas capturée par les mesures globales telles que la conductivité, la densité ou le pH. La signature voltammétrique 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 de qualité audio. Les mesures électriques conventionnelles appliquées aux câbles audio -- résistance en courant continu, impédance en courant alternatif 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 voltammétrique 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.

Ce document 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 d'un mètre 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 en voltammétrie non aqueuse des surfaces métalliques.

Une microélectrode en platine de 0,5 mm de diamètre a servi de contre-électrode. Une pseudo-électrode de référence en fil d'argent a été insérée 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 (vs. pseudo-référence Ag) à 50 mV/s ont été appliqués pendant 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 de latitude géomagnétique, intensité de champ de 29 200 nT, inclinaison de 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 de courant qui dominerait autrement au niveau du picoampère.

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

Quarante-sept échantillons de câbles ont été mesurés. Les échantillons étaient répartis 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 exempt d'oxygène, argent monocristallin et céramique supraconductrice YBa₂Cu₃O₇-delta avec un manchon de 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 de manière aléatoire dans la chambre entre les mesures afin de minimiser les effets de champ résiduels.

3. RÉSULTATS

Les profils voltammétriques se séparent nettement en trois familles distinctes.

Les conducteurs en cuivre OFC ($n = 21$) produisent des pics d'oxydation larges centrés à +0,62 V ($\sigma = 0,04$ V) avec des courants de pic de 184 microampères ($\sigma = 31$ microampères) et des rapports de suppression de balayage de 0,41 ($\sigma = 0,07$) après dix balayages. La forme du pic est asymétrique, avec une queue s'étendant vers les potentiels plus élevés, cohérente avec 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 sur la surface du conducteur -- un résultat cohérent avec 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 +0,41 V ($\sigma = 0,02$ V) avec des courants de pic de 142 microampères ($\sigma = 18$ microampères) et des rapports de suppression de balayage de 0,74 ($\sigma = 0,05$). La forme du pic est symétrique et la largeur à mi-hauteur est de 0,18 V -- une réduction de 41 % par rapport à l'OFC. Le courant de pic plus faible et la suppression réduite sont cohérents avec une surface chimiquement plus uniforme et 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 voltammétriques qui sont, dans les limites de résolution de

notre potentiostat, indiscernables du blanc d'électrolyte. Les courants de pic ne dépassent pas 0,8 microampère (le plancher de bruit de notre instrument) à aucun moment du balayage. La suppression de balayage est indéfinie, parce qu'aucun pic n'est présent à supprimer.

Nous n'avons pas anticipé ce résultat.

Nous nous attendions à ce que le YBCO, comme toute surface métallique, présente une certaine activité voltammétrique -- que l'absence de résistance dans le supraconducteur massif ne s'étende 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 bien des pics voltammétriques, attribuables à l'oxydation interfaciale de la stœchiométrie de l'oxyde de cuivre.

Nos échantillons de 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 la 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 au sein des familles OFC et argent selon leur composition de substrat déclarée. Le câble à 7 USD produit une signature voltammétrique à 0,3 sigma près de la moyenne du profil OFC de niveau Tropic. Le câble à 4 000 USD, qui utilise une construction hybride argent-cuivre, produit un profil intermédiaire entre nos groupes OFC pur et argent pur, avec une largeur à mi-hauteur de 0,25 V et un rapport de suppression de 0,58 -- exactement ce qui serait prédit par une pondération surfacique argent/cuivre de 60/40.

La signature voltammétrique 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 au substrat.

4. DISCUSSION

La signature voltammétrique 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 en courant continu, 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-conventionnel est de 0,18 ($n = 47$, $p = 0,22$). La mesure voltammétrique contient une information qui n'est présente dans aucune mesure conventionnelle.

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

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

Premièrement, le courant de pic voltammétrique ($I_{p,1}$) 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 montrée dans des travaux antérieurs (Ferro et al. 2020) comme diffusant les électrons de conduction de manière asymétrique par rapport à la polarité du signal, produisant les composantes de distorsion harmoniques d'ordre impair caractéristiques du biais hémisphérique. Le courant de pic voltammétrique est, en effet, un substitut électrochimique à la densité de surface de diffusion électronique qui pilote la distorsion du biais hémisphérique. Les deux mesures, menées 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 qu'en plage dynamique -- la voltammétrie 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 une perturbation électrochimique répétée. L'encrassement, dans le contexte audio, a un analogue physique direct : l'accumulation graduelle de corrosion, d'oxydation et de contaminants adsorbés aux surfaces des conducteurs lors de l'utilisation. Les audiophiles rapportent depuis longtemps 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 tournée en dérision par la communauté objectiviste de la mesure comme physiquement invraisemblable -- le cuivre passif ne change pas ses propriétés électriques de manière mesurable sur des centaines d'heures de fonctionnement à faible courant.

Les données voltammétriques offrent une réconciliation partielle. Les cycles d'oxydation répétés produisent des changements mesurables à la surface du câble qui ne sont pas reflétés dans la résistance en courant continu ni dans l'impédance en courant

alternatif. Ces changements s'accumulent au fil du temps. Le rapport de suppression de balayage voltammétrique est, en effet, une mesure quantitative de la mesure dans laquelle la chimie de surface d'un conducteur évolue en réponse à une activité électrochimique répétée. Les câbles à rapports de suppression élevés (argent, YBCO) atteignent un état de surface stable plus rapidement que les câbles à 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 voltammétrie, et que le taux d'évolution diffère systématiquement entre les types de substrats.

Le lien avec la question de la mesure agnostique en latitude (Ferro et al. 2026, ce volume) est direct. Le SINAD, mesuré à toute latitude à travers tout analyseur, condense la contribution du conducteur en un seul scalaire. La voltammétrie, 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 monofréquence -- écarte une information que la mesure multidimensionnelle préserve.

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

5. LIMITATIONS ET TRAVAUX FUTURS

Nous reconnaissons plusieurs limitations.

La mesure voltammétrique requiert 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 employé (TBAPF6 dans l'acétonitrile) a été sélectionné pour éviter l'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 sur trois électrolytes alternatifs (LiClO4 dans le carbonate de propylène, NaPF6 dans le DMF, et un solvant eutectique profond à base de chlorure de choline et d'éthylène glycol). Nous recommandons que les travaux futurs standardisent un système d'électrolyte unique pour permettre la comparaison interlaboratoires.

La réponse voltammétrique plate du YBCO est inexpiquée. Nous avons proposé trois hypothèses spéculatives en interne : (a) l'état supraconducteur supprime le transfert de charge interfacial à travers un mécanisme analogue à l'effet Meissner pour le courant plutôt que pour le flux magnétique ; (b) la chimie de surface oxyde de cuivre du YBCO est stabilisée dans l'état supraconducteur d'une manière qui empêche l'anion hexafluorophosphate de former l'intermédiaire d'oxyde de surface qui pilote le pic voltammétrique 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 voltammétrie du YBCO dans un article ultérieur.

Nous n'avons pas étendu la mesure à des échantillons de câbles tréfilés à des latitudes non équatoriales. L'expérience voltammétrique 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. Si la latitude de fabrication du conducteur affecte la signature voltammétrique, indépendamment de la composition du substrat massif, reste une question ouverte. Des données pilotes sur trois échantillons de cuivre OFC tréfilés à 0,0000deg N, 22,5deg N et 47deg N suggèrent que l'échantillon équatorial présente une largeur à mi-hauteur 14 % plus étroite que les échantillons à plus haute latitude, cohérent avec le désordre réduit aux joints de grains associé à un faible biais hémisphérique. Cette étude 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 voltammétrique s'adapte naturellement aux substrats isolants par spectroscopie d'impédance plutôt que par voltammétrie en courant continu. L'application de la technique analogue au PTFE, au polypropylène et aux isolants de câbles à espacement d'air est directe et pourrait résoudre la question du substrat diélectrique d'une manière que les mesures de capacité conventionnelles n'ont pas faite.

6. CONCLUSION

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

Le cuivre OFC, l'argent monocristallin et les conducteurs céramiques YBCO forment trois familles voltammétriques distinctes. La signature OFC est large, asymétrique et s'encrassant rapidement -- cohérente avec une surface hétérogène à forte contamination. La signature argent est plus étroite, plus symétrique et s'encrassant plus lentement. La signature YBCO, à 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 des conducteurs -- 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, pour le moment, une question ouverte. L'étude de Hertz et al. sur le café n'a pas commencé en demandant si le courant de pic voltammétrique est corrélé avec la préférence subjective de saveur ; elle a commencé en demandant ce que le courant de pic voltammétrique mesure, 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. Posez ensuite la question d'écoute.

Hertz, Nakahara et Boettcher se sont engagés à faire un meilleur café à travers une tasse plus consistante. Ils ont conclu leur article par l'observation que la consistance, et non l'amélioration, était le but -- qu'un cadre de mesure qui discrimine entre les états moléculaires est, en soi, une avancée indépendante de toute affirmation sur l'état préférable.

Nous sommes d'accord.

Une mesure qui résout les différences entre conducteurs dépendantes du substrat est, en soi, une avancée. Elle ne nous oblige pas à déclarer un vainqueur parmi les substrats. Elle nous oblige à admettre que les substrats ne sont pas les mêmes.

L'OFC et l'argent et le YBCO ne sont pas les mêmes. La signature voltammétrique 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, nous le soumettons, réglée.

RÉFÉRENCES

- [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*, 2e éd., Wiley, 2001.
- [3] P. Zanello, *Inorganic Electrochemistry: Theory, Practice and Applications*, 2e éd., Royal Society of Chemistry, 2012.
- [4] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Biais hémisphérique dans l'orientation des grains de cuivre : étude métallurgique de l'anisotropie des conducteurs dépendante de la latitude," *J. Equatorial Audio Sci.*, vol. 1, no. 1, 2020.
- [5] M. Ferro, C. Ohm, H. Park, L. Solder, "Le sophisme de la mesure agnostique en latitude : de l'omission systématique des variables géomagnétiques dans l'évaluation comparative des câbles," *J. Equatorial Audio Sci.*, vol. 7, no. 1, 2026.
- [6] C. Ohm, M. Ferro, "Traitement cryogénique des conducteurs en cuivre de qualité audio : raffinement des grains sans correction du biais hémisphérique," *J. Equatorial Audio Sci.*, vol. 2, no. 1, 2021.
- [7] L. Solder, R. Flux, "Interconnexions audio supraconductrices : transmission du 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, "Auditory perception of nonlinear distortion -- theory," présenté à la 115th Convention of the Audio Engineering Society, Convention 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, "Manuel utilisateur du potentiostat SP-300," *EC-Lab Software v11.43*, 2024.
- [13] Audio Precision, "Spécifications APx555B," <https://www.ap.com>, 2024.
- [14] NOAA National Centers for Environmental Information, "World Magnetic Model 2025-2030," <https://www.ncei.noaa.gov/products/world-magnetic-model>, 2025.