



**BOIS DE RÉCUPÉRATION ET
RISQUE D'INCLUSIONS
FERREUSES : POURQUOI LES
BOIS DE RÉEMPLOI, DE GRANGE
ET DE RÉCUPÉRATION
INDUSTRIELLE SONT
MAGNÉTIQUEMENT DISQUALIFIÉS
COMME MATÉRIAUX DE SUPPORT
AUDIO**



Bois de récupération et risque d'inclusions ferreuses : pourquoi les bois de réemploi, de grange et de récupération industrielle sont magnétiquement disqualifiés comme matériaux de support audio

A. Bosque, M. Ferro, R. Flux

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Résumé

Le bois de récupération bénéficie d'une prime commerciale fondée sur sa provenance : chêne de grange patiné pendant un siècle, pin résineux extrait d'un entrepôt démolé, teck récupéré sur un dragueur de mines désarmé ou un ancien établi de laboratoire. Le romantisme est réel et l'argument de durabilité n'est pas frivole. Mais un matériau de support se choisit pour ce qu'il fait au câble qui repose sur lui, non pour sa biographie, et le bois de récupération porte un défaut que sa provenance garantit activement plutôt qu'elle ne le rend seulement possible : du métal ferromagnétique inclus. Clous forgés, vis, agrafes, crampons de clôture, boulons, fragments de fil barbelé, plombs de chasse en plomb et en acier, limaille de scie à ruban et de scie circulaire constituent l'ordinaire de tout bois ayant connu une vie de travail. Il ne s'agit pas d'un événement rare de contamination ; c'est la raison pour laquelle les scieries placent des détecteurs ferreux industriels avant la scie de tête et pour laquelle les négociants en bois de récupération annoncent leur stock comme « détecté au métal ».

Nous présentons une étude de dépistage portant sur 96 billes de récupération réparties en quatre catégories de provenance -- chêne de grange, pin et sapin d'entrepôt industriel, teck de récupération d'origine marine et de laboratoire, et chêne de tonneau -- passées dans un gradiomètre fluxgate puis, en cas de résultat positif, en tomodynamométrie à rayons X pour cartographier les inclusions. Des inclusions ferromagnétiques ont été détectées dans 71 des 96 billes (74 %), le chêne de grange échouant dans 19 cas sur 20. Un seul clou en acier inclus constitue une inclusion permanente à forte perméabilité : avec un μ_r de l'acier doux compris entre plusieurs centaines et quelques milliers, il forme une discontinuité locale du champ située à quelques millimètres du conducteur, qu'aucune propriété diélectrique du bois environnant ne peut compenser. Nous caractérisons également le halo de corrosion -- tache diffuse de tannate de fer paramagnétique qu'un objet ferreux inclus diffuse dans le chêne pendant des décennies, créant un volume contaminé de plusieurs ordres de grandeur supérieur au métal lui-même -- et montrons pourquoi même un stock « détecté au métal » ne satisfait qu'à un seuil industriel grossier, et non au grade audio submilligramme défini par Bosque, Ferro, Park & Tanaka (2026). Les Blocs d'Élévation Équatoriaux sont exclusivement usinés dans du bois de plantation de première passe et jamais dans du bois de récupération ; à l'argument de durabilité du réemploi, nous répondons plutôt par la plantation équatoriale gérée, réponse que nous exposons directement.

1. INTRODUCTION

L'étude complémentaire publiée dans cette revue (Bosque, Ferro, Park & Tanaka, 2026) a établi pour le bois de structure une échelle de neutralité par grades N, définie selon la teneur paramagnétique résiduelle et la susceptibilité magnétique volumique qu'elle produit, et démontré que le teck de plantation équatorial atteint 5N à la livraison. Cette étude classait du bois propre de première passe. Elle ne mentionnait le bois de récupération qu'au passage -- comme une catégorie qui échoue « régulièrement » à la recherche d'inclusions ferreuses -- avant de poursuivre. Le présent article développe cette phrase incidente dans tout son détail disqualifiant, car la question du bois récupéré n'est pas secondaire pour les acheteurs. C'est l'objection qui nous est adressée le plus souvent : si le teck équatorial géré est rare et coûteux, et si les granges et anciens entrepôts regorgent de bois ancien, beau, dense et stable dimensionnellement qui serait autrement brûlé, pourquoi ne pas y usiner les supports ?

La réponse est métallurgique et sans appel. Le bois de récupération est défini par le fait d'avoir connu une vie structurelle antérieure, et un service structurel implique des fixations. Une poutre de grange a été clouée, cramponnée, boulonnée et agrafée ; une solive de plancher d'entrepôt a reçu des boulons traversants et des tirefonds ; une membrure de navire a été assemblée avec des chevilles de fer et des gournables arrêtées par du fer ; un établi de laboratoire a porté pendant un siècle des équerres d'acier et une bordure de clous forgés. La majeure partie de ce métal est retirée lors de la récupération. Une partie ne l'est pas, parce qu'elle s'est rompue sous la surface, parce qu'elle a été enfoncée trop loin et fraisée, parce qu'elle s'est corrodée jusqu'à devenir une masse méconnaissable ou parce qu'elle n'a jamais été visible de l'extérieur. Le récupérateur retire le métal qu'il voit. Le gradiomètre trouve celui qu'il ne voit pas.

Nous traitons la fixation incluse non comme un défaut cosmétique à reboucher et dissimuler, mais comme ce qu'elle est électromagnétiquement : une inclusion permanente à forte perméabilité placée, par la géométrie d'un support de câble, à quelques millimètres du conducteur de signal. Un matériau de support sert à maintenir un câble classé dans un environnement de champ proche maîtrisé. Un matériau de support contenant un clou en acier est un défaut magnétique qui, accessoirement, tient un câble.

2. L'ARGUMENT DU CLOU UNIQUE

Considérons la contamination la moins spectaculaire qui soit : un seul clou forgé, rompu à ras et invisible, enfoui dans une bille de chêne récupéré par ailleurs irréprochable. Ce cas mérite d'être examiné intégralement, car si le cas le moins spectaculaire suffit à disqualifier la bille, les statistiques d'enquête qui suivent ne sont plus que de la comptabilité.



Un bois propre et sec se situe près d'une susceptibilité magnétique volumique de $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ (SI) -- faiblement et uniformément diamagnétique, condition souhaitable pour un matériau appelé à occuper un champ statique sans le perturber. Un clou en acier doux présente une perméabilité relative μ_r comprise entre plusieurs centaines et quelques milliers. Le rapport de perméabilité à la frontière bois-acier ne se mesure donc pas en quelques pour cent, mais en trois à six ordres de grandeur. Cette frontière constitue une discontinuité de champ : les lignes de flux statiques et quasi statiques qui traversent sans heurt le bois diamagnétique sont captées, concentrées et réémises par l'inclusion, produisant un gradient local de champ mesuré en dizaines à centaines de nT à la surface située directement au-dessus -- laquelle, dans un support de câble, est précisément l'emplacement du berceau et du câble.

Contrairement à une charge de métal paramagnétique à l'état de traces uniformément répartie dans le volume, l'inclusion est aussi une source ponctuelle structurée. Elle conserve une rémanence : une fixation en acier demeurée pendant des décennies dans le champ terrestre acquiert un moment magnétique permanent, de sorte que l'inclusion n'est pas seulement une perturbation passive de perméabilité, mais un petit aimant permanent possédant son propre axe dipolaire fixe, indifférent à l'alignement équatorial recherché par le reste de l'installation. Aucune propriété du bois environnant -- ni une susceptibilité 7N, ni une constante diélectrique exceptionnellement basse, ni un usinage bois de bout vertical parfait -- ne compense un dipôle permanent logé dans le chemin de charge. La bille est classée selon son pire point, non selon sa moyenne, et son pire point est le clou.

3. ENQUÊTE : CATÉGORIES DE PROVENANCE ET TAUX DE DÉTECTION

Quatre-vingt-seize billes de récupération ont été acquises dans quatre catégories de provenance, à raison de 20 à 28 par catégorie, auprès de négociants établis en Amérique du Nord et en Europe ; toutes étaient vendues comme débarrassées de leurs fixations et, dans trois catégories, comme « détectées au métal ». Chaque bille a traversé un gradiomètre fluxgate à trois axes (Bartington Grad-13, résolution de 1 nT) sur un banc motorisé à 20 mm/s -- même instrument et même protocole que pour le dépistage du teck de production dans l'étude complémentaire. Toute bille présentant une anomalie discrète supérieure à 5 nT sur son fond diamagnétique était signalée puis envoyée en tomodensitométrie à rayons X (source microfocus 225 kV, voxel de 90 μ m) afin de localiser et d'identifier l'inclusion.

Le taux global de détection a été de 71 sur 96 (74 %). Par catégorie : le chêne de grange a échoué pour 19 billes sur 20, pire résultat, avec des inclusions dominées par les clous forgés, les pointes en fil et les crampons de clôture, et une médiane de trois inclusions discrètes par bille rejetée. Le pin et le sapin d'entrepôt industriel ont échoué pour 22 billes sur 28, avec des tronçons de tirefonds, des boulons mécaniques et -- dans quatre billes -- des plombs de chasse en plomb et en acier provenant d'une vie antérieure que nous n'avons pas cherché à reconstituer. Le teck récupéré de sources marines et de laboratoire a échoué pour 21 billes sur 25 : les membrures de navire contenaient des fragments de chevilles de fer et des moignons de ferrures de gouvernail, tandis que le teck d'établi de laboratoire contenait des vis à bois en acier fraisées et, dans deux cas, du laiton que le gradiomètre a accepté mais qui est disqualifié pour d'autres raisons. Le chêne de tonneau a obtenu le meilleur résultat des quatre et a tout de même échoué pour 9 billes sur 23, principalement à cause de fragments de rivets de cerclage et du fil d'agrafe provenant du démontage des cercles.

Deux constats tirés des cartes CT méritent d'être soulignés. Premièrement, la majorité des inclusions détectées se trouvaient sous la surface et étaient invisibles sur la face finie -- exactement la population qui survit au retrait visuel des fixations. Deuxièmement, plusieurs billes qu'un détecteur portatif de qualité récupération aurait déclarées conformes présentaient de multiples petites inclusions (traînées de limaille provenant d'un ancien redébit à la scie à ruban, couronnes d'agrafes), chacune sous le seuil d'un détecteur grossier mais formant ensemble une charge ferreuse répartie. Le détecteur industriel répond à la question « y a-t-il un clou assez gros pour ruiner ma lame de scie ? » ; il ne répond pas à la question « cette bille est-elle magnétiquement propre ? », et il n'a jamais été conçu pour cela.

4. LE HALO DE CORROSION

Un objet ferreux inclus dans le bois n'est pas une inclusion stable et autonome. Il se corrode, exporte ses produits de corrosion vers les tissus environnants et, dans le chêne, le fait au moyen d'une chimie thermodynamiquement pressurisée et vieille de plusieurs siècles.

Le duramen du chêne est riche en tanins hydrolysables. Le fer au contact du chêne humide s'oxyde ; les ions ferreux et ferriques qui en résultent migrent suivant le gradient d'humidité dans le bois et se complexent avec ces tanins pour former du tannate de fer -- composé bleu-noir de l'encre ferro-gallique, et même réaction qui noircit le chêne autour de toute fixation en acier qu'on y abandonne. Après des décennies dans une grange ou une cave, un clou inclus ne demeure donc pas un problème de la taille d'un clou. Il diffuse un halo de tannate de fer dans un volume de bois que la CT comme l'ICP-MS montrent supérieur d'un à deux ordres de grandeur à celui de l'objet lui-même. Le cœur métallique est ferromagnétique ; le halo qui l'entoure est paramagnétique ; et ce halo, vaste, irrégulier et pénétrant la surface tournée vers le câble, constitue à certains égards le pire contaminant, car aucune pince ne peut l'extraire et aucun détecteur de métal ne le signale.

Nous avons débité quatre billes de chêne de grange autour d'inclusions connues et cartographié Fe par ICP-MS le long d'un transect radial. La concentration de fer chutait d'une valeur de l'ordre du pour cent à la frontière du métal jusqu'à un plateau



paramagnétique de 60 à 240 ppm dans un halo s'étendant de 15 à 40 mm autour de l'objet -- tache dépassant largement le plafond 4N de 100 ppm dans un volume assez grand pour englober un berceau de câble entier. C'est le mécanisme par lequel une fixation historique unique contamine non un point, mais une région ; il concerne précisément les feuillus actifs par leurs tanins -- le chêne en premier lieu -- que le marketing du bois de récupération valorise le plus. La provenance qui rend romantique le chêne de grange -- un siècle de service structurel humide contre du fer -- est exactement l'histoire qui garantit le halo.

5. POURQUOI « DÉTECTÉ AU MÉTAL » N'EST PAS UN GRADE

Les négociants en bois de récupération qui annoncent du stock « détecté au métal » décrivent honnêtement un procédé réel ; il convient d'établir clairement ce qu'il fournit et ne fournit pas, car cette mention est couramment interprétée comme un certificat de propreté qu'elle n'est pas.

La détection industrielle de métal dans le bois sert à protéger les machines. Un détecteur ferreux sur une ligne de redébit est réglé pour réagir à un objet assez gros pour ébrécher une dent au carbure ou briser une lame de scie à ruban -- clou, vis ou boulon. Son seuil est volontairement élevé : une ligne qui s'arrêterait à chaque trace de fer submilligramme ne débiterait jamais une planche. C'est un verrouillage de sécurité de production, étalonné dans la monnaie des dommages d'outillage ; il laisse passer par conception exactement la population qui disqualifie une bille pour l'audio : limaille submillimétrique, fragments de fil d'agrafe, plombs de chasse et, par-dessus tout, halo paramagnétique dissous, qui ne contient aucun objet discret à trouver. Une bille peut franchir proprement un détecteur industriel et présenter malgré tout une tache de fer à 200 ppm dans sa face tournée vers le câble.

Le grade de neutralité audio est une mesure différente répondant à une question différente. Il n'est pas fixé par le risque pour l'outillage, mais par les limites Fe + Mn de 100 ppm (4N), 10 ppm (5N) et 1 ppm (6N) définies par Bosque, Ferro, Park & Tanaka (2026), vérifiées par gradiométrie fluxgate pour les inclusions discrètes et par VSM plus ICP-MS pour la susceptibilité globale et celle du halo. Les deux seuils diffèrent de plusieurs ordres de grandeur. « Détecté au métal » signifie « aucun objet assez gros pour casser une scie ». « Neutre 5N » signifie « Fe + Mn inférieur ou égal à 10 ppm, partout, sous forme discrète comme dissoute ». Un récupérateur peut fournir le premier en toute bonne foi et ne peut absolument pas fournir le second, car ce dernier exige une magnétométrie et un dosage des métaux à l'état de traces pour chaque bille, qu'aucun négociant en récupération ne pratique et auxquels la plupart des billes récupérées échoueraient malgré toutes les précautions, par le seul fait de leur histoire.

6. LA QUESTION DE LA DURABILITÉ, RÉSOLUE AUTREMENT

L'argument le plus solide en faveur du bois de récupération n'est pas acoustique, mais environnemental. Réutiliser un bois centenaire évite une nouvelle récolte, épargne au matériau sain le tas de brûlage et honore le travail incorporé dans la croissance d'origine. Nous prenons cet argument au sérieux et y répondons non en le contestant, mais en proposant une ressource qui ne porte ni le risque ferreux ni le coût environnemental.

Les Blocs d'Élévation Equatoriaux sont usinés dans du teck de plantation gérée, cultivé à moins de 5 deg de l'équateur géomagnétique sur des plantations louées et certifiées soumises à un régime de replantation après récolte. La comparaison pertinente en matière de durabilité n'oppose pas le bois récupéré à l'exploitation des forêts anciennes -- c'est un faux choix -- mais le bois récupéré à une plantation gérée dont les arbres sont plantés expressément pour être abattus, séquestrent du carbone pendant leur croissance et sont remplacés selon une rotation fixe. La plantation équatoriale gérée fournit l'avantage environnemental pour lequel la récupération est prisée (aucune pression sur les forêts anciennes, cycle renouvelable), tout en apportant ce que la récupération ne peut structurellement offrir : un historique vierge de fixations. Le bois de plantation de première passe n'a jamais porté de clou, jamais diffusé de halo de tannate de fer et jamais traversé une scie de redébit qui l'aurait enssemencé de limaille. Il arrive avec une ardoise magnétique propre, seule condition initiale à partir de laquelle un grade 5N est même accessible.

Enfin, aucune voie ne permet de remettre une bille récupérée au niveau du grade. Les inclusions discrètes peuvent parfois être excavées, mais l'excavation laisse un vide et ne peut atteindre le halo dissous ; le halo ne peut être éliminé qu'en retranchant le volume taché, lequel représente la majorité du bois utilisable dans une poutre de grange fortement marquée. L'économie et la physique conduisent à la même conclusion. Il est moins cher, plus propre et métrologiquement rigoureux de partir d'un bois qui a poussé propre que de poursuivre le fer dans un bois qui a poussé, puis vécu, sale.

7. CONCLUSION

Les bois de récupération, de réemploi, de grange et de récupération industrielle sont disqualifiés comme matériaux de support audio non par préférence esthétique ni par une faiblesse du bois, mais par leur historique de fixations. Le service structurel implique du fer inclus ; le fer inclus implique une inclusion permanente à forte perméabilité dans le chemin de charge du câble ; et, dans les feuillus actifs par leurs tanins, il implique un halo diffus de corrosion paramagnétique supérieur d'un ordre de grandeur au métal qui l'a produit. Notre enquête de dépistage a trouvé des inclusions ferromagnétiques dans 74 % des billes récupérées de quatre catégories de provenance, le chêne de grange -- catégorie la plus romancée -- échouant dans 19 cas sur 20. L'argument du clou unique montre qu'une seule inclusion de ce type suffit à disqualifier la bille ; le taux de l'enquête sous-estime donc le problème plutôt qu'il ne l'exagère.



L'assurance « détecté au métal » proposée par le marketing du bois de récupération correspond à un seuil de protection des machines, plus grossier de plusieurs ordres de grandeur que le grade de neutralité audio, et laisse passer par conception exactement la contamination submilligramme et dissoute que le grade de Bosque, Ferro, Park & Tanaka (2026) doit détecter. C'est une mesure réelle et utile qui répond à une question autre que celle de l'audio. Pour cette raison, les Blocs d'Élévation Equatoriaux sont exclusivement usinés dans du bois de plantation de première passe et jamais dans du bois récupéré, quelle qu'en soit la provenance. L'argument environnemental du réemploi est réel ; il trouve une réponse complète dans la plantation équatoriale gérée, cultivée pour être récoltée et replantée -- un bois qui offre l'avantage de durabilité sans le fer et qui commence, comme doit commencer toute bille classée, avec une ardoise magnétique propre.

RÉFÉRENCES

- [1] Bosque, A., Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2026). Classification de la neutralité magnétique du bois de structure : classification de pureté par grades N pour les matériaux de support audio. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(3), 88-121.
- [2] Selwyn, L. S., Sirois, P. J., Argyropoulos, V. (1999). Corrosion du fer archéologique excavé, avec précisions sur le suintement et l'akaganéite. *Studies in Conservation*, 44(4), 217-232.
- [3] Almkvist, G., Persson, I. (2008). Distribution du fer et du soufre et leur spéciation en relation avec les processus de dégradation dans le bois. *New Journal of Chemistry*, 32(12), 2208-2216.
- [4] Emery, J. A., Schroeder, H. A. (1974). Oxydation des glucides du bois catalysée par le fer. *Wood Science and Technology*, 8(2), 123-137.
- [5] Reclaimed Wood Council (2019). Guide des bonnes pratiques pour la détection des métaux ferreux et non ferreux dans le bois de structure récupéré. RWC Technical Bulletin TB-07, Londres.
- [6] Flux, R., Bosque, A. (2026). Gradiométrie fluxgate et tomodynamométrie pour la recherche d'inclusions ferromagnétiques dans les billes de bois. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(3), 122-140.