

# Déterminer l'origine des bois tropicaux en utilisant des isotopes du strontium

Marie-Laurence HAVARD<sup>1</sup>  
Éric DEFRÉMONT<sup>1</sup>  
Alba ZAREMSKI<sup>2</sup>  
Christian SALES<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Géorigine  
195, chemin du Puits de Louiset  
30900 Nîmes  
France

<sup>2</sup> Cirad  
Campus international de Baillarguet  
34398 Montpellier Cedex 5  
France

**L'utilisation innovante** des isotopes du strontium présentée ici s'applique à authentifier l'origine géographique de bois tropicaux (teck, limba, limbalì) et à établir leur traçabilité. À partir de quelques milligrammes de poudre de bois, elle va permettre de caractériser l'échantillon et d'en reconnaître l'origine avec certitude. La détermination sera faite en comparant les rapports isotopiques  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de l'échantillon analysé à ceux d'une base de référence. Ces recherches visent aussi à reconnaître l'origine aux diverses étapes de la transformation (abattage, tronçonnage, parc à bois, sciage, tri, découpe finale...).



**Figure 1.** Salle blanche et travail sous hotte à flux laminaire. Détail des colonnes de résine sur lesquelles se fait l'extraction.  
Photos M.-L. Havard.

Marie-Laurence HAVARD,  
Éric DEFREMONT, Alba ZAREMSKI,  
Christian SALES

## RÉSUMÉ

### DÉTERMINER L'ORIGINE DES BOIS TROPICAUX EN UTILISANT DES ISOTOPES DU STRONTIUM

Dans le secteur sensible du commerce du bois caractérisé par la méfiance des consommateurs, la traçabilité de l'origine apparaît comme une réponse au besoin de transparence exprimé par les clients. La présente étude vise à mettre au point une technique fiable destinée à contrôler l'origine géographique du bois. À cet effet, trois essences tropicales issues de huit pays ont été testées en utilisant les isotopes du strontium (Sr) comme traceurs naturels : le limba (*Terminalia superba*), le limbali (*Gilbertiodendron dewevrei* et *G. preussii*) et le teck (*Tectona grandis*). Deux domaines (ensemble de données) de signatures isotopiques en Sr se différencient : le premier regroupe la Malaisie (teck), la Birmanie (teck), le Bénin (limba), le Cameroun (limba) et la Côte d'Ivoire (limba) et le second domaine inclut la République centrafricaine (limba), le Togo (teck), le Congo (limba) et la Côte d'Ivoire (teck). Les résultats montrent une corrélation entre les teneurs en Sr et l'origine géographique du teck. Nous suggérons que les différences des signatures isotopiques de trois espèces d'essences dans une même région géographique seraient le reflet d'une hétérogénéité géologique au sein d'un pays et non pas au sein de l'espèce de l'essence. Les isotopes du strontium peuvent être utilisés comme traceurs pour garantir la bonne provenance du bois dans le cadre de l'éco-certification de forêt en gestion durable. De plus, ils serviront à contrôler l'itinéraire d'un produit bois de la forêt jusqu'au consommateur.

**Mots-clés :** bois tropical, teck, limba, limbali, isotope du strontium, traçabilité.

## ABSTRACT

### USING STRONTIUM ISOTOPES TO DETERMINE THE PROVENANCE OF TROPICAL TIMBER

In the sensitive area of the timber market, where consumer suspicion is a characteristic, provenance traceability may be one way of responding to consumer concerns for transparency. This study aims to develop a reliable technique capable of verifying the geographic origin of timber. Three tropical tree species from eight countries were tested with strontium isotopes (Sr) as natural tracers: limba (*Terminalia superba*), limbali (*Gilbertiodendron dewevrei* and *G. preussii*) and teak (*Tectona grandis*). Two fields (all data) of Sr isotope signatures were distinguished: the first covers Malaysia (teak), Burma (teak), Benin (limba), Cameroon (limba) and Côte d'Ivoire (limba), while the second includes the Central African Republic (limba), Togo (teak), Congo (limba) and Côte d'Ivoire (teak). Our results show a correlation between Sr concentrations and the geographical origin of teak. We suggest that the differences between the isotope signatures for three species in the same geographical region reflect geological heterogeneity within a country rather than within the species. Strontium isotopes can be used as tracers to guarantee sound provenance for eco-certification of sustainable management. They could also be used to verify the itinerary of forest timber products from producer to consumer.

**Keywords:** tropical timber, teak, limba, limbali, strontium isotope, traceability.

## RESUMEN

### DETERMINAR EL ORIGEN DE LAS MADERAS TROPICALES UTILIZANDO ISÓTOPOS DE ESTRONCIO

En un sector sensible como el del comercio de madera, caracterizado por la desconfianza de los consumidores, la rastreabilidad del origen surge como una respuesta a la necesidad de transparencia manifestada por los clientes. El presente estudio busca poner a punto una técnica fiable destinada a controlar el origen geográfico de la madera. Para lograrlo, se probaron tres especies tropicales procedentes de ocho países, utilizando los isótopos de estroncio (Sr) como rastreadores naturales: el limba (*Terminalia superba*), el limbali (*Gilbertiodendron dewevrei* y *G. preussii*) y la teca (*Tectona grandis*). Se diferencian dos ámbitos (conjunto de datos) de firmas isotópicas de Sr: el primero agrupa a Malasia (teca), Birmania (teca), Benín (limba), Camerún (limba) y Costa de Marfil, y el segundo ámbito incluye a la República Centroafricana (limba), Togo (teca), Congo (limba) y la Costa de Marfil (teca). Los resultados evidencian una correlación entre los contenidos de Sr y el origen geográfico de la teca. Sugerimos que las diferencias de las firmas isotópicas de tres especies arbóreas en una misma región geográfica serían el reflejo de una heterogeneidad geológica en un país y no dentro de la especie del árbol. Los isótopos del estroncio pueden utilizarse como rastreadores para garantizar el correcto origen de la madera en el marco de la ecocertificación de un bosque bajo manejo sostenible. Además, servirán para controlar el itinerario de un producto maderero desde el bosque hasta el consumidor.

**Palabras clave:** madera tropical, teca, limba, limbali, isótopo de estroncio, rastreabilidad.

## Introduction

Aujourd'hui, le sort des forêts de la planète ne laisse plus personne indifférent. Toutes les régions, qu'elles soient boréales, tempérées ou tropicales, partagent les mêmes préoccupations face à la mauvaise gestion des forêts et s'inquiètent de l'impact écologique et social de leur exploitation. Dans le secteur du commerce des produits forestiers, prolifèrent des systèmes de certification du bois d'œuvre visant à persuader les consommateurs et les principaux détaillants d'acheter des produits provenant de sources durables.

Le projet innove en adaptant une méthode analytique existante à une thématique et à un matériau différents. Cette méthode permettra de retrouver l'origine géographique du bois. L'origine géographique est un élément de la traçabilité. La traçabilité est un système politique et réglementaire qui devient créateur de valeur, un facteur d'amélioration de la qualité du produit et des services liés. La traçabilité présente donc, pour les entreprises, de véritables enjeux aussi bien financiers (moyens d'identification), organisationnels (adaptation de la

structure et son intégration dans une chaîne de traçabilité), informationnels (confidentialité) que stratégiques (avantage compétitif, marché de la traçabilité). Au surplus, cette démarche montre les insuffisances des « outils-traçabilité » existants qui ne permettent pas une vérification *a posteriori* de la crédibilité des systèmes documentaires actuellement en vigueur. Certes, des méthodes existent et demeurent incontournables pour suivre le cheminement d'un lot de grumes de la forêt au parc à grumes de la scierie : des méthodes classiques de reconnaissance de caractères anatomiques du bois, de codes à barres, d'étiquettes radiofréquences (Rfid) et d'autres qui utilisent le marquage (crayon, peintures, UV ou mécanique), les « empreintes digitales » (CHIORESCU, BERG, 2003), les signatures internes (CHOFFEL, CHARPENTIER, 1999). Mais dès que l'on procède au débit des grumes, cette connaissance s'estompe rapidement. Une étude européenne (LINESET, 2003) a conçu un système automatique de suivi du bois, depuis la forêt jusqu'aux objets commercialisés.

Cependant, ces méthodes sont limitées à certaines parties du cycle de vie du bois et, par voie de conséquence, ne peuvent pas garantir avec certitude l'origine géographique du bois.

Il apparaît indispensable de proposer de nouvelles alternatives pour la traçabilité de l'origine du bois. Le strontium (Sr), de plus en plus utilisé pour étudier les processus à la surface de la Terre (ALBARÈDE, 1985), se révèle être un puissant outil d'authentification de l'origine géographique des eaux, sols et végétaux (HORN *et al.*, 1998 ; ALMEIDA *et al.*, 2003 et 2004). Par analogie, il va permettre une caractérisation suffisante pour reconnaître avec certitude l'origine d'un bois en utilisant quelques milligrammes de poudre de bois. La détermination sera réalisée en comparant les rapports isotopiques en strontium  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  des échantillons de bois tropicaux analysés par rapport à une base de données de référence.

C'est dans le cadre de l'authentification de l'origine géographique des bois tropicaux d'Asie et d'Afrique que cette étude de faisabilité de la méthode isotopique du strontium a été menée. Le but de cette étude est de valider la méthode et de mettre en évidence son adéquation avec l'authentification de la provenance des bois. Nous déterminerons seulement si deux bois proviennent du même lieu mais nous ne pourrons pas identifier la provenance d'un échantillon de bois si celui-ci est fourni sans renseignement. Il convient aussi de préciser qu'il s'agit de mettre en évidence une identification géographique et non variétale du matériel végétal. Ces recherches visent aussi la reconnaissance de l'origine d'un bois à différentes étapes du procédé de transformation (abattage, tronçonnage, parc à bois, sciage, tri, découpe finale...).



**Figure 2.**  
Spectromètre à thermo-ionisation Triton (site Gis, Nîmes, France).  
Photo M.-L. Havard.

## Le strontium

La variation des abondances isotopiques sur la Terre permet de tracer les phénomènes physiques et chimiques qui ont eu lieu à l'échelle des temps géologiques (DE PAOLO, INGRAM *et al.*, 1985). Les différents réservoirs terrestres ont acquis des caractéristiques isotopiques au cours des processus magmatiques, sédimentaires, atmosphériques, biologiques, ou même anthropiques. On peut ainsi déterminer la source des matériaux par leur composition isotopique.

Depuis quelques années, les variations des isotopes du strontium (Sr) sont de plus en plus utilisées pour étudier les processus à la surface de la Terre. Il existe quatre isotopes stables du strontium sur Terre, le  $^{88}\text{Sr}$  qui représente en moyenne 82,53 % du strontium total, le  $^{87}\text{Sr}$  (7,04 %), le  $^{86}\text{Sr}$  (9,87 %) et le  $^{84}\text{Sr}$  (0,56 %). Parmi ces isotopes, seul le  $^{87}\text{Sr}$  est radioactif. Il est le résultat d'une désintégration du rubidium $^{87}$  ( $^{87}\text{Rb}$  demi-vie 48,8 10<sup>9</sup> ans).

La désintégration du  $^{87}\text{Rb}$  en  $^{87}\text{Sr}$ , depuis 4,5 milliards d'années, a conduit à une grande disparité des teneurs en  $^{87}\text{Sr}$  selon les zones géographiques. L'intérêt de l'étude du strontium repose sur sa longue conservation car cet isotope lourd ne se fractionne pas.

## Matériel et protocole analytique

### Matériel végétal

Les échantillons de bois analysés proviennent de la menuiserie du Cirad. Ces bois tropicaux ont été identifiés selon des critères de classification classiques comme l'anatomie ainsi que par leurs caractéristiques physiologiques et biochimiques. Le limba (*Terminalia superba*) et le limbali (*Gilbertiodendron dewevrei* et *G. preussii*) sont présents dans de nombreuses régions d'Afrique et le teck (*Tectona grandis*) figure après introduction par l'homme quasiment partout dans le monde.

Les principales caractéristiques du teck, limba et limbali sont présentées dans le tableau I.

L'aubier et le cœur des tecks de Malaisie et du Togo ont été également analysés pour évaluer les différences de signatures isotopiques.

### Protocole analytique

Avant que les analyses des abondances isotopiques naturelles dans les échantillons de bois ne soient effectuées par spectrométrie de masse iso-

topique, différents préalables sont nécessaires. Il faut tout d'abord s'assurer que les traitements visant à préserver les échantillons entre le moment de leur prélèvement et celui de leur analyse n'influencent pas la composition isotopique. Il est nécessaire de les purifier (extraction, purification).

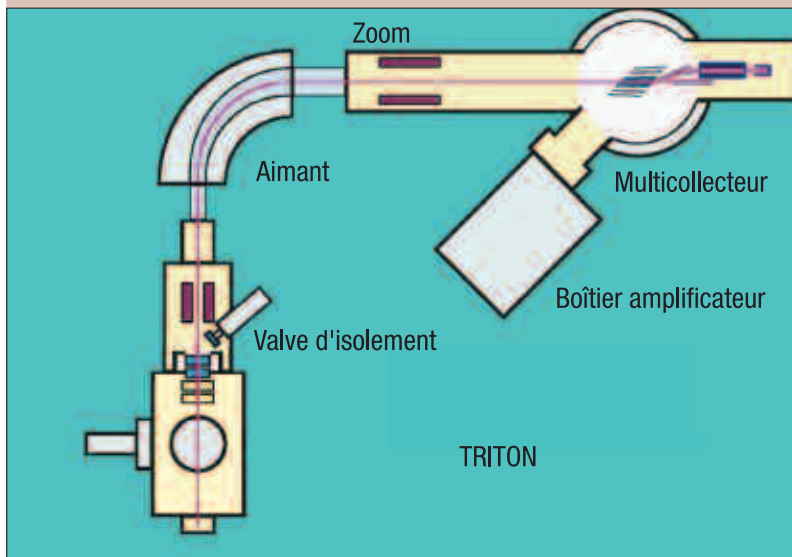
Quelques dizaines de nanogrammes de Sr sont nécessaires pour permettre l'émission d'un signal au spectromètre de masse et la mesure de rapports isotopiques. Cette séparation se fait dans une salle blanche (figure 1), en surpression d'air filtré et climatisée pour éviter toute contamination extérieure, et le travail de séparation s'effectue sous des hottes à flux laminaires. Le matériel utilisé est en téflon PTFE. Ce dernier est lavé dans des bains acides successifs (acide nitrique/acide chlorhydrique, acide chlorhydrique), puis rincé à l'eau tridistillée et enfin séché.

Environ 100 mg de poudre de bois sont nécessaires pour l'acquisition des données. La poudre de bois est dissoute (VERNET, GOVINDARAJU, 2002). Cette mise en solution est une méthode destructive de l'échantillon. Elle s'effectue en deux étapes :

- Désintégration ou attaque de l'échantillon avec un milieu très agressif.

**Tableau I.**  
Liste des trois espèces de bois étudiées (numéro de référence Ctft).

Référence (n°)	Nom commercial	Nom scientifique	Provenance	Description du bois analysé
18122	Limba, fraké	<i>Terminalia superba</i>	République centrafricaine	Aubier non distinct
29151	Limba, fraké		Bénin	Aubier non distinct
23730	Limba, fraké		Côte d'Ivoire	Aubier non distinct
5256	Limba, fraké		Congo	Aubier non distinct
18571	Limba, fraké		Cameroun	Aubier non distinct
18949	Limbali, vaa	<i>Gilbertiodendron dewevrei</i> et <i>G. preussii</i>	Côte d'Ivoire	Cœur
	Teck	<i>Tectona grandis</i>	Togo	Aubier
	Teck		Togo	Cœur
	Teck		Côte d'Ivoire	Cœur
	Teck		Malaisie	Aubier
	Teck		Malaisie	Cœur
	Teck		Birmanie	Cœur



**Figure 3.**  
Fonctionnement d'un spectromètre de masse à thermo-ionisation.

▪ Reprise ou solubilisation du résidu d'attaque (obtention d'un milieu compatible avec l'appareillage).

L'attaque choisie est faite par voie acide en utilisant une combinaison de deux acides : acide nitrique et eau oxygénée à 18 %. Les acides d'attaque subissent trois distillations afin de minimiser leur apport « anthropique » en Sr.

La poudre de bois une fois dissoute est introduite sur des colonnes de résine (figure 1).

La résine employée est la Sr-spec (Eichrom). Cette extraction est très sélective (extraction chromatographique par des éthers couronnes (HORWILTZ *et al.*, 1992), c'est-à-dire que les éléments sont piégés dans les éthers couronnes suivant leur taille.

L'avantage de cette résine est que, en cas d'apport trop important de Sr, elle en piègera de toute façon une certaine quantité qui pourra être restituée. Le rendement d'extraction du Sr est d'environ 90 %. Les précédentes résines demandaient, quant à elles, le calcul d'un indice de saturation de la résine. En effet, si l'apport en Sr était supérieur à l'indice de saturation calculé, c'était l'intégralité du Sr qui était perdue. Le rendement d'extraction du Sr était d'environ 70 %.

Par un jeu d'acide de normalité différente, les éléments parasites comme le baryum (Ba), le rubidium (Rb), le plomb (Pb) sont éliminés pour ne recueillir que le Sr purifié qui sera mesuré.

### Acquisition des données

L'acquisition des données est réalisée sur un spectromètre de masse à thermo-ionisation (figure 2). Des rapports isotopiques sont mesurés. Ils correspondent à des rapports d'abondance des isotopes d'un même élément chimique, c'est-à-dire le rapport des nombres d'atomes (grandeurs sans unité).

Après thermo-ionisation sous vide à des températures de l'ordre de 1 200 à 1 400 °C (pour le Sr), les particules de masse  $m$  et de charge  $q$  constituent un nuage ionique (figure 3). Ce nuage subit alors une accélération, grâce à une différence de potentiel d'accélération ( $V$ ) sous un vide poussé atteignant  $1,3 \cdot 10^{-5}$  Pa et se transforme ainsi en faisceau ionique. Les ions ainsi accélérés pénètrent dans un champ magnétique d'induction ( $B$ ) perpendiculaire à la trajectoire des ions. Les ions sont alors déviés par ce champ magnétique, suivant un rayon de courbure  $R$  dont l'équation est la suivante (loi de Laplace) :

$$R = B \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot V}{q}}$$

$R$  : rayon de courbure (cm) ;

$B$  : induction (Gauss) ;

$m$  : masse isotopique (uma) ;

$V$  : potentiel d'accélération (volts) ;

$q$  : charge de l'élément.

La haute tension appliquée dans la source pour accélérer les ions est constante. C'est par un réglage du

champ magnétique que l'on amène chaque faisceau ionique correspondant à chaque isotope du Sr sur chaque collecteur.

La mesure isotopique des différentes masses s'effectue donc grâce à un collecteur (cage de Faraday) qui va mesurer les différents courants ioniques par leur intensité respective (en nombre de coups par seconde).

La résistance électrique du collecteur transforme alors cette abondance isotopique en un courant  $U$  (volts) suivant la loi  $U = RI$ . Sur le Triton, l'acquisition du rapport  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  se fait en mode multicollection et statique. C'est-à-dire que chaque cage de Faraday va recevoir un isotope du Sr spécifique (muticollection) et toujours le même (statique), tout au long de l'acquisition. Cela diffère du mode dynamique où chaque cage de Faraday va recevoir chaque isotope du Sr successivement.

Pour que les résultats soient reproductibles et que l'on puisse s'assurer de la réponse du spectromètre de masse, un échantillon de rapport isotopique parfaitement connu (un standard : NBS 987) est passé avant tout passage d'échantillon.

Ensuite, les valeurs présentées dans cette note sont le résultat d'une moyenne de plusieurs cycles de mesures répétitives (cinq cycles de quinze valeurs, soit 75 valeurs).

Les erreurs de chaque rapport correspondent à deux fois l'écart-type ( $s$ ) constaté entre les 75 valeurs ;  $2s$  représente un intervalle de confiance de 95 % (5 données hors intervalles pour 100 mesures).

Chaque rapport a reçu les deux types de correction.

▪ Correction due au rubidium 87 : pour estimer les quantités de rubidium 87 et de strontium 87 dans l'isotope 87 mesuré, on mesure le rubidium 85 car ce rapport isotopique du rubidium est constant (si le  $^{85}\text{Rb}$  est en faible quantité, le  $^{87}\text{Rb}$  le sera aussi).

▪ Correction de fractionnement : le rapport  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  évolue dans le temps, car lors de la thermo-ionisation les vitesses d'évaporation sur le

**Tableau II.**  
Description et rapport isotopique en Sr des échantillons de bois tropicaux analysés.

Référence (n°)	Provenance	Espèce	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Erreur
18122	République centrafricaine	Limba	0,713145	3 $10^{-6}$
29151	Bénin	Limba	0,711543	1 $10^{-6}$
23730	Côte d'Ivoire	Limba	0,712986	3 $10^{-6}$
5256	Congo	Limba	0,723928	4 $10^{-6}$
18571	Cameroun	Limba	0,714239	3 $10^{-6}$
18949	Côte d'Ivoire	Limballi	0,720386	4 $10^{-6}$
TOG 1	Togo	Teck/aubier	0,721601	5 $10^{-6}$
TOG 2	Togo	Teck/cœur	0,722448	5 $10^{-5}$
CI	Côte d'Ivoire	Teck	0,741499	2 $10^{-6}$
MAL 1	Malaisie	Teck/aubier	0,710931	5 $10^{-6}$
MAL 2	Malaisie	Teck/cœur	0,710897	1 $10^{-5}$
BIR bis	Birmanie	Teck	0,709406	2 $10^{-5}$

**Tableau III.**  
 $\delta$  Sr pour chaque domaine identifié.

Domaine (n°)	$\delta$ Sr
Domaine 1	1 $10^{-3}$
Domaine 2	2 $10^{-3}$
Domaine 3	3 $10^{-3}$
Domaine 4	3 $10^{-5}$
Domaine 1/domaine 2	6 $10^{-4}$
Domaine 2/domaine 3	6 $10^{-3}$
Domaine 3/domaine 4	1 $10^{-2}$

filament ne sont pas égales pour les deux isotopes. Le rapport  $^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  est un rapport stable dans le temps, puisque ces deux isotopes ne sont pas issus de désintégration radioactive ; on connaît donc sa valeur réelle, cette dernière va servir de référence pour les autres rapports. Les corrections de fractionnement sont faites directement par le logiciel du spectromètre de masse et les données recueillies sont déjà traitées.

## Résultats

Les rapports isotopiques en Sr ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) ont pu être estimés sur tous nos échantillons (tableau II). L'évaluation des rapports isotopiques met en évidence des différences significatives entre les pays pour une même espèce de bois. Les rapports isotopiques en Sr du tableau II ont été reportés dans deux types de diagrammes :

- $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = f$  (nom d'échantillon).
- $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = f$  (espèce).

Cette double représentation a été adoptée pour le continent africain (diagrammes 1a et 1b) et pour l'ensemble des données (diagramme 3).

Pour le continent asiatique, les rapports isotopiques en Sr du tableau II ont été reportés seulement dans le diagramme 2 type ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) = f (nom échantillon) car, l'Asie n'étant représentée que par deux échantillons, il n'a pas été jugé nécessaire de reporter les points dans le diagramme  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = f$  (espèce).

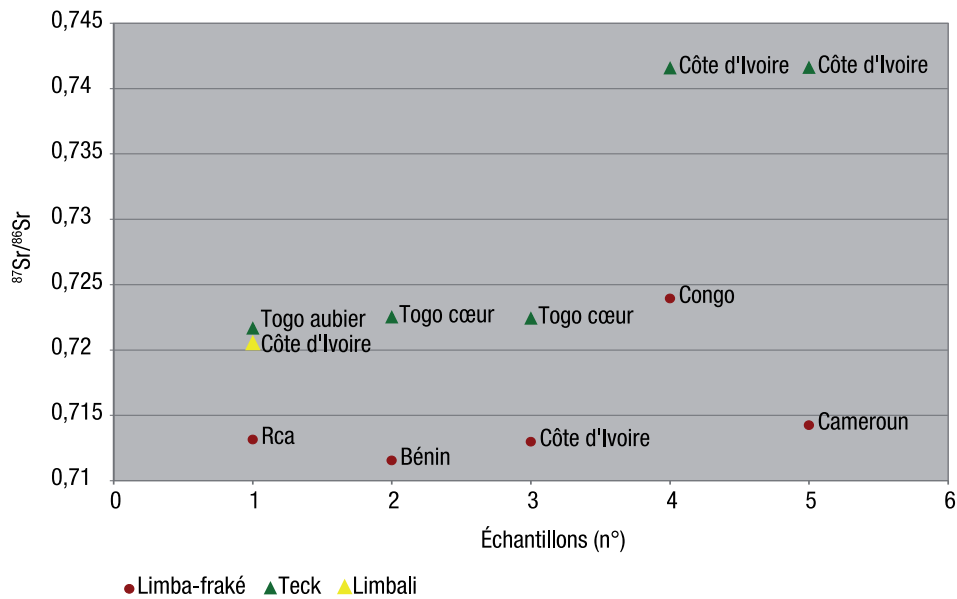
Les données obtenues pour les pays du continent africain permettent de différencier trois domaines (ensemble de données analytiques comparables) :

- Le domaine constitué du Bénin, du Cameroun, de la Côte d'Ivoire et de la République centrafricaine, Rca, (limba). L'écart maximum entre les rapports isotopiques ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) se nomme  $\delta$  Sr, il est utilisé pour rendre compte de l'homogénéité ou pas de données entre elles. Pour ce domaine, il est de 2  $10^{-3}$ .
- Le domaine constitué du Congo (limba), de la Côte d'Ivoire (limballi) et du Togo (teck) avec un  $\delta$  Sr = 3  $10^{-3}$ . Pour le Togo, l'aubier et le cœur du teck présentent un  $\delta$  Sr = 7  $10^{-4}$ .
- Le domaine représenté par la Côte d'Ivoire (teck).

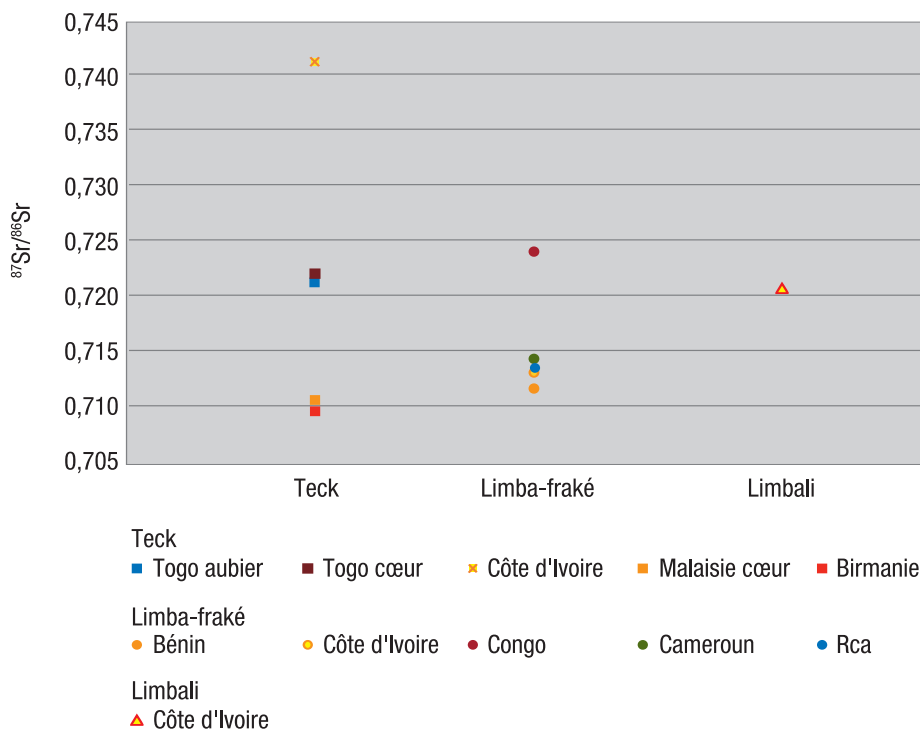
Nous notons que la Malaisie et la Birmanie (teck) ont un  $\delta$  Sr = 1  $10^{-3}$ .

Entre les échantillons de teck-cœur et teck-aubier de Malaisie :  $\delta$  Sr = 3  $10^{-5}$ .

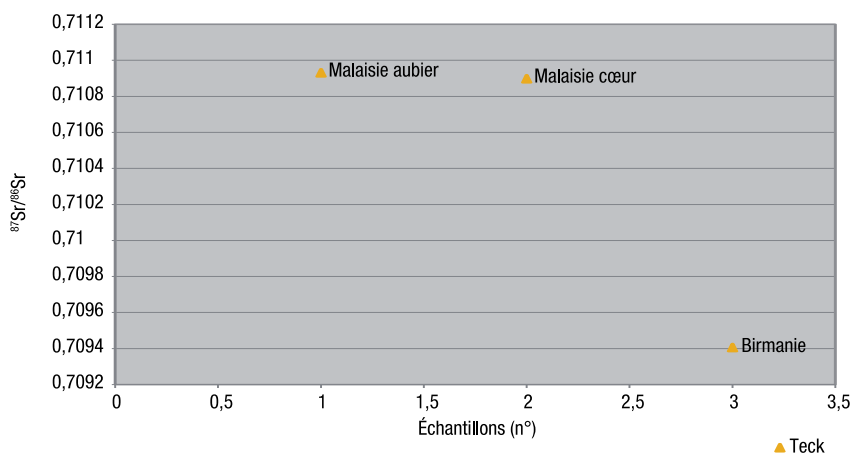
L'ensemble des données a été reporté dans le diagramme 3. Au vu des résultats des  $\delta$  Sr intra- et inter-domaines (tableau III), nous avons choisi de délimiter deux groupes pour lesquels le  $\delta$  Sr est réellement discriminant. Le premier groupe est constitué des domaines 1 et 2, le second des domaines 3 et 4.

**Diagramme 1 a.**

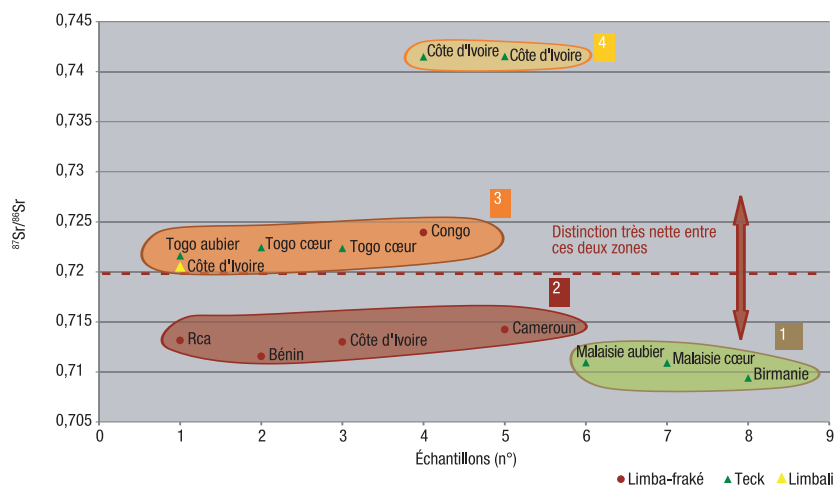
Report des échantillons du continent africain dans un diagramme  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}) = f$  (nom de l'échantillon).

**Diagramme 1 b.**

Report des échantillons du continent africain dans un diagramme  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}) = f$  (espèce).

**Diagramme 2.**

Report des échantillons du continent asiatique dans un diagramme  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}) = f(\text{nom de l'échantillon})$ .

**Diagramme 3.**

Report de l'ensemble des données dans un diagramme  $[(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}) = f(\text{nom de l'échantillon})]$ .



## Conclusion

La méthode isotopique en Sr a été utilisée dans le cadre de cette étude afin de juger de son potentiel et son intérêt dans l'authentification de la provenance géographique des bois tropicaux. Ce scindement permet de différencier de façon incontestable le teck d'Asie du teck d'Afrique.

Ces analyses mettent en évidence la différenciation de plusieurs domaines, dont deux réellement discriminants. Le premier est constitué de la Malaisie, de la Birmanie, du Bénin, du Cameroun, de la Côte d'Ivoire (limba), le second de la Rca, du Togo, du Congo et de la Côte d'Ivoire (limbali et teck).

Cependant, certaines questions se posent dont la principale est : l'espèce influence-t-elle sur le rapport isotopique en Sr ?

Nous notons que la Côte d'Ivoire, seul pays pour lequel trois espèces – teck, limba et limbali – ont été analysées, fournit trois rapports isotopiques différents. Nous suggérons que ces différences ne proviennent pas de l'espèce mais du sol. Si la répartition des espèces se fait suivant la nature des sols, nous pouvons faire l'hypothèse que la différence de signatures isotopiques serait le reflet d'une hétérogénéité géologique au sein du pays et non pas le reflet d'une différence d'espèce. Ces résultats confirment ceux issus des études qui ont été réalisées sur des cépages de vigne (BARBASTE *et al.*, 2002), des variétés de truffe ou bien encore des agrumes (orange et pamplemousse) (communication personnelle de M.-L. Harvard, 2006).

## Références bibliographiques

- ALBAREDE F., 1985. Age de la Terre et des météorites. *In* : Méthodes de datation par les phénomènes nucléaires naturels. Roth E., Poty B. (éd.), Masson, Paris, France, 47-54.
- ALMEIDA C. M., VASCONCELOS M. T., 2003. Multi-element composition of wines and their precursors including provenance soil and their potentialities as finger-prints of wine origin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51 : 4788-4798.
- ALMEIDA C.M., VASCONCELOS M.T., 2004. Does the winemaking process influence the wine  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ? A case study. *Food Chemistry*, 85 : 7-12.
- BARBASTE M., ROBINSON K., GUILFOYLE S., MEDINA B., LOBINSKI R., 2002. Precise determination of the strontium isotope ratios in wine by inductively coupled plasma sector field multicollector mass spectrometry (ICP-SF-MC-MS). *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 17 (2) : 135-137.
- BIRCK J.-L., 1979. Chronologie primitive des objets planétaires différenciés. Thèse Sciences physiques, université Paris 6 et 7, France.
- CHIORESCU S., BERG P., 2003. The fingerprint approach : using data generated by a 2-axis log scanner to accomplish traceability in the sawmill's log yard. *Forest Products Journal*, 53 (2) : 78-86.
- CHOFFEL D., CHARPENTIER P., 1999. Brevet d'invention, procédé d'identification de pièces en matière ligneuse. Brevet d'invention déposé par le Critt Bois, France, n° 9911040.
- DE PAOLO D.J., INGRAM B.L., 1985. High resolution stratigraphy with strontium isotopes. *Sciences*, 227 : 938-941.
- ENGLISH N.B., BETANCOURT J.L., DEAN J.S., QUADE J., 2001. Strontium isotopes reveal distant sources of architectural timber in Chaco Canyon, New Mexico. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 98 : 11891-11896.
- FAURE G., 1986. Principles of isotopes geology. John Wiley and Sons, 589 p.
- HOLMES A., 1946. An estimate age of the Earth. *Nature*, 157 : 680-684.
- HORN P. *et al.*, 1998. Isotope abundance ratios of Sr in wine provenance determination in a tree-root activity study and of Pb in a pollution study on tree-rings. *Isotopes in Environmental Health Studies*, 34 : 31-42.
- HORWILTZ E.P. *et al.*, 1992. A novel strontium selective extraction chromatographic resin. *Solvent Extr. Ion Extr.*, 10 : 313-336.
- LINSESET, 2003. Linking raw material characteristics with industrial needs for environmentally sustainable and efficient transformation processes, Träteknik Swedish Institute for Wood Technology Research, Suède, rapport P 0303034.
- LUDWIG K.R., 1997. Optimization of multicollector isotope-ratio measurement of strontium and neodymium. *Chemical Geology*, 135 : 325-334.
- MANHES G., 1978. Comparative uranium-thorium-lead and rubidium-strontium study of the Saint-Séverin amphoterite: consequences for early solar system chronology. *Earth and Planetary Science Letters*, 39 : 14-24.
- PIN C., BASSIN C., 1992. Evaluation of a strontium-specific extraction chromatographic method for isotopic analysis in geological materials. *Analytica Chimica Acta*, 269: 249-255.
- PLATZNER I.T., HABFAST K., WALDER A.J., GOETZ A., 1999. Modern isotope ratio mass spectrometry. Chichester, Royaume-Uni, John Wiley, 514 p.
- ROSEMARY C., 1998. Strontium Isotopes as tracers of ecosystem processes : theory and methods. *Geoderma*, 82 : 197-225.
- VERNET M., GOVINDARAJU K., 2002. Mise en solution des matériaux avant analyse. *Techniques de l'Ingénieur, Traité Analyse et Caractérisation*, 4150 p.