

Mesure de la couleur du bois. Intérêt forestier et industriel

G. JANIN

*INRA, Station de Recherches sur la Qualité des Bois
Centre de Recherches de Nancy
Champenoux, F 54280 Seichamps*

Résumé

L'étude de la variabilité de la couleur du bois prend en compte l'influence des éléments anatomiques, du plan ligneux de l'espèce étudiée : fibres, vaisseaux, rayons ligneux, les constituants chimiques du bois, les modes de débit des produits industriels et les conditions d'éclairage du bois.

Les principes de la colorimétrie permettent de définir les coordonnées chromatiques d'un échantillon de bois dans différents systèmes de couleur dont le plus utilisé est le CIELAB. Les valeurs intéressantes définissant un point de couleur sont L^* : la luminance, $\pm a^*$: axe des composantes vert-rouge, $\pm b^*$: axe des composantes bleu-jaune.

Elles sont obtenues à l'aide d'un colorimètre avec des filtres colorés ou d'un spectrocolorimètre en fonction des longueurs d'onde dans le domaine visible de 400 à 700 nm. Ces nombres permettent de quantifier la couleur d'un échantillon et de calculer les écarts de couleurs totaux ΔE .

Les applications de ces mesures dans le domaine forestier concernent la détermination de la couleur individuelle des arbres : Chênes, Pin maritime... sur placages ou carottes de sondage, et la définition des conditions de milieu qui produisent les arbres de meilleure couleur.

Dans le domaine industriel, ces mesures conduisent à des opérations de classement, de tri et de réarrangement des produits sur des critères de couleur (L^* , a^* , b^*) pour les parquets, les lambris ou les assortiments de placages pour les panneaux de décor. La mesure de la couleur du bois apportera aussi une contribution à une description plus précise des espèces ligneuses tempérées et tropicales (Guyane française).

Mots clés : Couleur, bois, mesure, écarts de couleur CIELAB, classement, tranchage, placages, parquet, lambris, panneaux, chênes, pin maritime, bois tropicaux.

1. Introduction

La couleur d'un bois est le plus souvent la couleur de la partie centrale de l'arbre, appelée bois de cœur ou duramen, où se déposent progressivement lors de la dégénérescence du cytoplasme des cellules, des substances chimiques qui, dans les parois des fibres, vaisseaux et rayons ligneux, absorbent sélectivement la lumière des diverses sources lumineuses et donnent une résultante colorée au bois.

A ce rôle évidemment primordial des substances chimiques qui colorent le bois s'ajoute l'absorption de l'énergie lumineuse par les constituants du bois : cellulose, hémicelluloses et lignines.

Dans l'aspect d'ensemble des impressions visuelles que l'on ressent à l'examen d'un échantillon de bois et qui conduit à la reconnaissance ou la désignation d'une espèce, la couleur ne constitue qu'une composante de l'estimation de la qualité.

En effet, tous les détails de structure du plan ligneux de l'espèce observée qui apparaissent à la surface de l'échantillon de bois contribuent à la sensation colorée : trace des rayons ligneux, des vaisseaux, des tissus de parenchyme et des fibres avec leur orientation particulière : de droit fil, ondées dans le plan longitudinal, radial ou tangentiel.

A cette structure fine anatomique se superpose la trace des accroissements annuels larges ou étroits, sciés, déroulés ou tranchés suivant différentes inclinaisons par rapport à l'axe principal de l'arbre. Chacun des modes de préparation apportant ses « figures » propres à l'état de surface final de l'échantillon de bois.

On conçoit alors aisément que la couleur d'un bois va dépendre :

- de son mode de débit,
- de la direction de ce débit par rapport aux 3 axes du plan ligneux,
- de la composition chimique des constituants des parois végétales,
- de la nature des sources lumineuses utilisées,
- de l'orientation de la surface de l'échantillon par rapport à ces sources lumineuses.

Toutes ces remarques se trouvent souvent résumées dans des expressions usuelles pour désigner la couleur d'un bois, à savoir : chêne clair, noyer foncé ou noyer clair, qui font précéder du nom générique de l'espèce examinée l'impression de clarté qui en résulte.

Les méthodes de colorimétrie qui ont été développées à l'heure actuelle permettent de préciser et de quantifier la couleur, les écarts de couleur entre échantillons en tenant compte de leur état de surface pour obtenir un classement des produits des Industries du Bois.

2. La colorimétrie

2.1. *Mesure de la couleur*

Les principes de base de la colorimétrie font intervenir simultanément des notions de fonctions psychophysiologiques et des phénomènes physiques.

Pour l'aspect psychophysiologie, c'est le couple : œil-cerveau qui joue ce rôle, et pour les phénomènes physiques, c'est l'ensemble : source lumineuse-objet qu'il faut considérer.

Ces quatre réalités doivent être associées pour définir une couleur et la quantification de cette couleur. Les théories de la vision sont par ailleurs largement développées,

et nous donnerons ici les éléments qui conduisent à la compréhension de la mesure (KOWALISKI, 1978).

L'œil constitue un capteur hautement spécialisé qui donne les informations nécessaires à la perception des couleurs. Les cellules principales (il en existe d'autres avec des fonctions complémentaires) sont les bâtonnets et les cônes. Les bâtonnets sont sensibles à des différences d'intensité lumineuse et renseignent ainsi sur la luminosité ou luminance des objets, mais en lumière atténuée et faible. Les cônes dont le fonctionnement est plus complexe, sont de trois sortes dont le maximum de sensibilité se situe à des longueurs d'ondes différentes dans le bleu ($\lambda = 447$ nm), le jaune vert ($\lambda = 547$ nm) et l'orangé ($\lambda = 577$ nm).

Cette mise en évidence des maxima de sensibilité des cônes a conduit à établir à partir de l'observation de nombreux individus par la C.I.E. (Commission Internationale de l'Eclairage) dès 1931 les courbes de sensibilité en fonction de la longueur d'onde de l'observateur standard pour les angles de vision de (2°) et (10°) : $\bar{z}_{(\lambda)}$ dans le bleu, $\bar{y}_{(\lambda)}$ dans le jaune-vert, $\bar{x}_{(\lambda)}$ dans le rouge.

L'œil travaille aussi comme un réducteur de données à partir de toutes les informations reçues dans tout le spectre visible, ce qui permet de recomposer entre elles les sensations des cônes à dominante rouge, bleu et jaune-vert qui sont les stimuli de base de la vision colorée et de les comparer entre elles. Il y a ainsi une interdépendance des différents domaines de trois couleurs primaires dans les messages transmis au cerveau.

La fonction de luminance : $V_{(\lambda)}$, proche de la courbe de sensibilité $\bar{y}_{(\lambda)}$ dans le jaune-vert, mesure l'efficacité de la réponse de l'œil à l'énergie lumineuse émise de façon monochromatique tout au long du spectre visible. Elle possède un maximum dans le vert-jaune vers $\lambda = 550$ nm. Cette fonction servira de base de comparaison avec les intensités lumineuses perçues dans le bleu et le rouge (voir fig. 1), et constituera des paires de couleurs opposées qui permettront de repérer les couleurs.

On peut présenter le fonctionnement des échanges œil-cerveau ainsi :

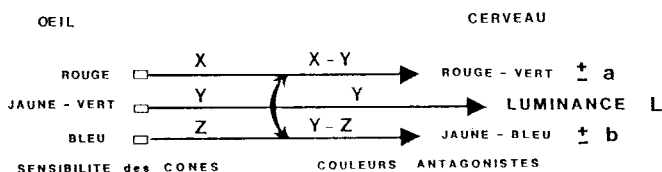


FIG. 1

Œil = eye ; cerveau = brain ; rouge = red ; jaune-vert = yellow-green ; bleu = blue ; jaune-bleu = yellowness-blueness ; rouge-vert = redness-greenness ; sensibilité des cônes = sensibility of cones ; couleurs antagonistes = opponent colors ; luminance = lightness.

Pour définir une couleur, il faudra donc connaître les valeurs de X, Y et Z appelées Tristimulus.

- Le cerveau met en mémoire à chaque instant toutes ces informations, les traite et les interprète en continu. C'est lui qui, en retour, donne la *sensation colorée*. À l'aide des informations acquises et contenues en mémoire, et associées à des formes

d'objets donnés, il peut aussi créer une sensation colorée sans que l'objet décrit soit de nouveau soumis à la vision.

On voit ainsi que les couleurs n'ont pas d'existence physique. Elles résultent d'une activité purement cérébrale par une association d'informations préexistantes dans le cortex ou reçues instantanément au cours de l'observation.

• Les sources lumineuses ou illuminants sont caractérisés par l'énergie émise en fonction de la longueur d'onde encore appelée énergie spectrale $W : f(\lambda)$ (fig. 2), exemple de 3 illuminants :

- A : lampe à incandescence,
- B : lumière solaire directe au voisinage de la troposphère,
- C : lumière du jour moyenne.

Répartition Spectrale des illuminants C.I.E. A,B,C.

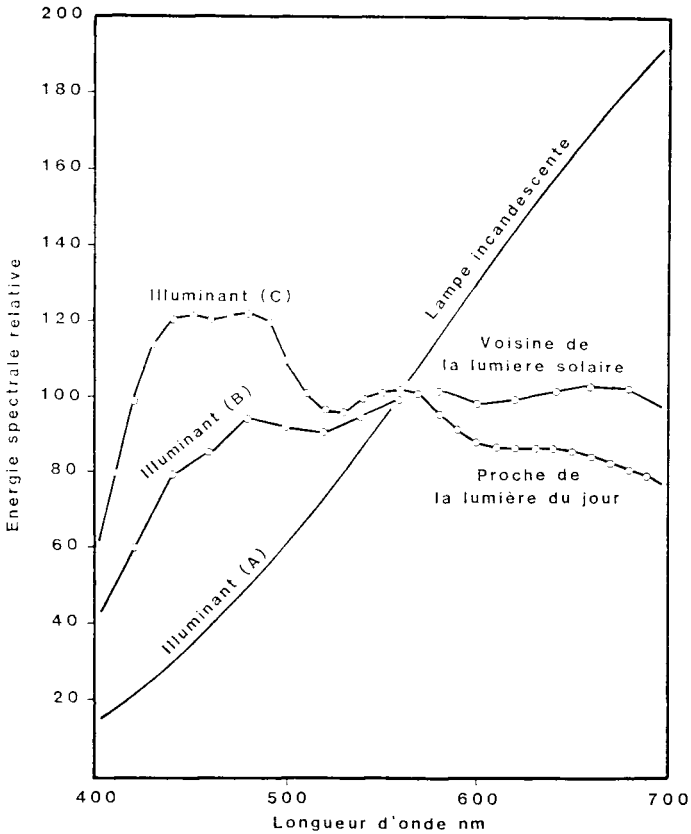


FIG. 2

Répartition spectrale des illuminants C.I.E. A, B, C.
Spectral distribution of C.I.E. Sources A, B and C.

Energie spectrale relative = relative spectral energy ; longueur d'onde = wavelength ; illuminant (C) proche de la lumière du jour = source C near daylight ; illuminant (B) voisine de la lumière solaire = source B near sunlight ; illuminant (A) lampe incandescente = source A incandescent lamp.

Le flux lumineux émis par ces sources va être plus ou moins important dans les domaines du bleu, jaune-vert et rouge, et il se mesure par photométrie. Chaque flux lumineux $E_{(\lambda)}$ des différentes sources va être pondéré par l'efficacité lumineuse de l'œil : courbe $V(\lambda)$ de chaque individu qui traduit la subjectivité dans les sensations visuelles et qui est la trace évidente des différences de sensation chromatiques entre individus.

• Les objets que reçoivent le flux lumineux $E_{(\lambda)}$ des différentes sources peuvent être transparents, absorbants ou réfléchissants. Dans le cas d'objets réfléchissants, la réflectance de chaque objet est différente suivant les sources lumineuses utilisées. On trace donc la courbe de réflectance $R_{(\lambda)}$ en $f(\lambda)$ qui caractérisera l'objet et servira à calculer le flux lumineux réfléchi $E(\lambda) \cdot R(\lambda)$ à prendre en compte pour chaque sorte de cône de sensibilité $\bar{z}_{(\lambda)}$, $\bar{y}_{(\lambda)}$, $\bar{x}_{(\lambda)}$, pour le calcul des valeurs tristimulaires X, Y, Z (fig. 3 : exemple de réflectance de différents chênes).

Comparaison de chênes

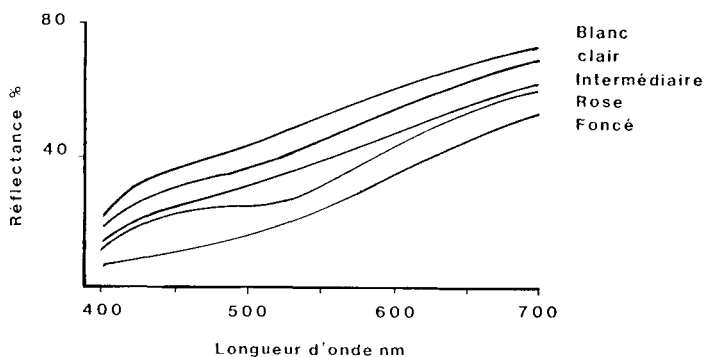


FIG. 3

*Comparaison de chênes.
Oaks comparison.*

Réflectance = *reflectance* ; longueur d'onde = *wavelength* ; blanc = *white* ; clair = *light* ; intermédiaire = *medium* ; rose = *pink* ; foncé = *dark*.

2.2. Expression des valeurs tristimulaires X, Y, Z

Lorsque l'on dispose pour la mesure d'un objet donné des valeurs suivantes en fonction des longueurs d'onde du spectre :

- E_{λ} : énergie lumineuse de l'illuminant,
- R_{λ} : réflectance de l'objet;
- \bar{x}_{λ} , \bar{y}_{λ} , \bar{z}_{λ} : courbes de l'observateur standard (2°) ou (10°),
- y_{λ} : courbe d'efficacité lumineuse de l'œil humain,

on peut calculer la luminosité de l'objet parfaitement diffusant sous l'illuminant E utilisé :

soit : $\int E_\lambda \cdot \bar{y}_\lambda \cdot d_\lambda$

et rapporter à cette luminosité la contribution tout au long du spectre de la réflexion de l'objet :

dans le rouge : $X = 100 \frac{\int E_\lambda \cdot R_\lambda \cdot \bar{x}_\lambda \cdot d_\lambda}{\int E_\lambda \cdot \bar{y}_\lambda \cdot d_\lambda}$

dans le jaune-vert : $Y = 100 \frac{\int E_\lambda \cdot R_\lambda \cdot \bar{y}_\lambda \cdot d_\lambda}{\int E_\lambda \cdot \bar{y}_\lambda \cdot d_\lambda}$

dans le bleu : $Z = 100 \frac{\int E_\lambda \cdot R_\lambda \cdot \bar{z}_\lambda \cdot d_\lambda}{\int E_\lambda \cdot \bar{y}_\lambda \cdot d_\lambda}$

Les valeurs tristimulaires sont donc les coefficients spécifiques à appliquer à l'objet mesuré sous l'illuminant considéré et elles définissent parfaitement un objet donné pour sa couleur. A l'aide de ces trois nombres, on peut obtenir dans le système C.I.E. (HUNTER, 1975 ; KOWALISKI, 1978) :

— la luminance ou clarté : L^* ,

— les coordonnées trichromatiques :

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad z = 1 - (x + y)$$

— la longueur d'onde dominante : λ_D sur le diagramme C.I.E.,

— la pureté de la teinte en p. 100.

Ces renseignements peuvent être complétés par l'utilisation d'autres systèmes de représentation des couleurs dans l'espace comme le système CIELAB qui est le plus utilisé pour le repérage des couleurs et leur quantification.

Dans ce système, il est nécessaire de définir la luminance L^* et les coordonnées chromatiques a^* et b^* .

L^* est la luminance qui varie de $L^* = 0$ pour le noir à $L^* = 100$ pour le blanc de référence.

a^* positionne sur l'axe rouge-vert des paires de couleurs opposées la valeur caractérisant l'objet mesuré : + a dans la direction du rouge, - a dans la direction du vert.

b^* positionne sur l'axe jaune-bleu des paires de couleurs opposées le même objet : + b dans la direction du jaune, - b dans la direction du bleu.

La représentation dans des plans successifs des valeurs croissantes de L^* permet de définir la mesure des écarts de couleurs ΔE entre deux points de couleur comme étant égale à :

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

où ΔL , Δa , Δb sont les différences respectives en luminance et coordonnées chromatiques entre les deux points de couleur.

Les relations entre les quantités L^* , a^* , b^* et les valeurs tristimulaires X , Y , Z sont les suivantes (HUNTER, 1975 op. cit.) :

$$L^* = 116 Y^* - 16$$

$$a^* = 500 (X^* - Y^*)$$

$$b^* = 200 (Y^* - Z^*)$$

$$\text{où } Y^* = 3 \sqrt{Y/Y_n} \quad X^* = 3 \sqrt{X/X_n} \quad Z^* = 3 \sqrt{Z/Z_n}$$

et X_n , Y_n , Z_n sont les valeurs tristimulaires de référence de l'étalon de blanc pour l'illuminant utilisé.

3. Matériel de mesure

Les appareils de mesure de la couleur utilisés sont un colorimètre et un spectrocolorimètre.

3.1. Colorimètre

Il fonctionne avec 4 filtres colorés à large bande correspondant aux filtres Tristimuli (X_n et X_n) pour le rouge, Y pour le jaune-vert et Z pour le bleu. La courbe de réponse spectrale est ajustée à la lumière du jour moyennée, répondant aux spécifications de l'illuminant C défini par la C.I.E.

L'angle d'incidence des faisceaux lumineux est à 45° par rapport à l'échantillon et la mesure du faisceau réfléchi se fait à la normale à 0° . L'ouverture correspondant à la mesure est de 51 mm, ce qui permet d'obtenir une moyenne satisfaisante des caractéristiques colorimétriques de la surface mesurée.

Cette géométrie de mesure 0° - 45° est favorable pour le bois dont la surface est structurée : fibres dans le sens du fil ou « ondées », traces de vaisseaux coupés longitudinalement, rayons ligneux et limites de cernes parce que tous ces détails modifient la « sensation colorée » qui résulte de l'examen visuel et, qui plus est, les coordonnées colorimétriques lorsque l'on fait varier l'angle de positionnement de 0° à 90° de l'échantillon de bois devant l'ouverture du colorimètre (JANIN & MAZET, 1987a) pour le bois d'Ovok (*Cleistopholis Glauca*) fourni comme exemple caractéristique de changement de couleur avec l'orientation par rapport à la lumière incidente.

Le temps de mesure est très réduit ; en effet, le flux lumineux qui traverse les 4 filtres est mesuré en permanence et la transformation en données colorimétriques est instantanée dans les différents systèmes CIELAB, Hunter L, a, b, Y, x, y, etc.

3.2. Spectrocolorimètre

Il est équipé d'une sphère d'intégration à éclairage diffus, avec une source de lumière fournissant les illuminants définis par la C.I.E. On peut en effet par le calcul reproduire d'autres illuminants du type A : source de lumière à filament de carbone, C : lumière du jour, etc. avec ou sans ultraviolet. Il fonctionne sur le principe de la sensibilité de l'œil en fonction de la longueur d'onde (λ) et fournit la mesure de

l'invariant d'un objet, c'est-à-dire sa réflectance en fonction de $R(\lambda)$ qui est à la base du calcul des coordonnées chromatiques dans tous les systèmes d'échelles de couleur existants.

Le temps de mesure de $R(\lambda)$ est de 2 millisecondes et les lectures de $R(\lambda)$ sont répétées pendant la même mesure pour fournir une mesure très reproductible, déviation standard $\pm 0,01$. On peut obtenir une mesure par seconde, et pratiquer une évaluation des différents points de couleur d'une surface, ainsi que ses données statistiques. Ces dernières renseignent sur l'hétérogénéité de la surface mesurée, ce qui est très utile dans les différents plans radial, tangentiel, longitudinal, ou suivant un plan de coupe quelconque.

4. Applications pratiques de la mesure de la couleur

L'étude de la couleur du bois a pour fondement la valorisation des produits forestiers, des espèces forestières qui possèdent un bois de cœur apprécié pour sa couleur. Notre rôle est de connaître la variabilité de ce caractère et de décrire les conditions de milieu et les interventions humaines par des traitements sylvicoles qui favorisent la production d'arbres de qualité pour leur couleur (JANIN & MAZET, 1987a, op. cit.).

Lors du débit, les produits industriels présentent des différences de couleur, et ce caractère permettra de procéder à des classements par un tri automatique pour obtenir des assortiments par couleur pour des parquets aux dessins nouveaux et avec des motifs choisis, pour des panneaux de décor et des lambris réalisés avec diverses espèces : chêne, pin maritime ou bois tropical.

4.1. Qualité du bois de chêne

4.1.1. Chênes de tranchage

L'application de la méthode de mesure de la couleur au bois de chêne a déjà permis (JANIN, 1986a et b) de montrer qu'il existait une grande variabilité individuelle dans la couleur des chênes de tranchage. Elle est aussi liée au prix du m^3 de bois qui peut varier au moins de 1 à 5 et quelquefois plus selon sa clarté et sa couleur, et donc son aspect final en placage (JANIN & MAZET, 1987a et b, op. cit.).

Nous rappelons que dans ces mesures (JANIN, 1986a, op. cit.), nous avons mis en évidence l'influence de la nature de l'illuminant sur le type de réflexion spéculaire incluse ou exclue et entre arbres pour les valeurs de L^* , a^* , b^* (tabl. 1). De plus, nous avons mis en relief la différence de réflectance en fonction de la longueur d'onde permettant au-delà de 640 nm de distinguer les arbres entre eux, et ce critère n'avait jamais été observé jusqu'ici.

Ces remarques nous amènent à penser que *le choix de l'illuminant* pour pratiquer des mesures de couleur des bois peut être déterminant suivant les espèces à étudier. En effet, la composition chimique des constituants présents dans le bois de cœur varie suivant les espèces et entraîne donc des réflectances différentes en fonction de la source lumineuse utilisée.

TABLEAU 1

Influence de l'illuminant (A) incandescent (C) lumière du jour sur la variabilité du CIELAB entre les arbres avec réflexion spéculaire incluse ou exclue.

Effect of incandescent lamp (A), near daylight (C) on the CIELAB variability between trees with and without specular reflexion.

Facteur	Illuminant	L *	a *	b *
Réflexion	Incandescent (A)	3,7 N.S.	10,9 *	13,4 *
	Lumière du jour (C)	4,1 N.S.	24,3 **	17,9 **
Arbres	Incandescent (A)	74,4 **	710,2 **	4,9 N.S.
	Lumière du jour (C)	73,9 **	405,0 **	5,8 *

F_k^1 significatif 5 p. 100 $\geq 5,8$.

Facteur = factor ; réflexion = reflexion ; arbres = trees ; incandescent (A) = (A) incandescent lamp ; lumière du jour (C) = (C) near daylight ; significatif = significant level.

4.12. Contrôle de teintes de placages après application de colorants

Teinte brun clair

Des mesures de luminance, d'indice de jaune ont été obtenues à partir des valeurs tristimulaires sur des bois de placage de chênes teintés en vue de les rendre uniformes et pour pouvoir assembler des panneaux de façade de meubles. Elles ont montré les possibilités de distinguer les teintes entre elles et de procéder à des essais de teinte sur des éprouvettes d'essais pour fixer les doses de colorants et examiner les écarts de teinte.

On remarque que la luminance L * rend déjà bien compte des différences entre les 8 échantillons (tabl. 2).

TABLEAU 2

Echantillons de chênes teintés clairs. Light tinted Oak samples.

Essais de teintes	X	Y	Z	L *	W
1	25,7	24,4	13,4	49,4	27,8
2	24,3	23,0	12,5	48,0	27,1
3	23,9	22,7	12,0	47,7	27,5
4	23,8	22,6	12,5	47,5	25,2
5	22,7	21,5	11,2	46,4	26,7
6	22,4	21,2	11,4	46,1	25,0
7	22,3	21,2	11,6	46,0	24,0
8	21,1	20,0	10,2	44,6	25,2

z p. 100 = z/z' z' standard.

Coordonnées tristimulaires X.Y.Z. = C.I.E. tristimulus values ; indice de blanc W_1 = white index W_1 .

Teinte brun foncé

Nous avons étudié de la même façon 5 échantillons de placage de chênes teintés très sombres en comparaison avec le témoin d'application de la teinte. Là encore, la luminance et l'indice W montrent que l'on peut trouver une teinte conforme et acceptable (tabl. 3).

TABLEAU 3
Echantillons de chênes teintés sombres.
Dark tinted Oak samples.

	X	Y	Z	L *	W
Mise en teinte plus claire	19,0	18,0	11,9	42,5	13,9
Témoin d'application	16,4	15,7	11,4	39,6	8,5
Mise conforme	15,4	14,7	10,6	38,4	8,3
Mise acceptable	14,6	13,9	10,0	37,3	7,7
Mise en teinte plus foncée	13,7	13,1	9,9	36,2	6,0

Mise en teinte plus claire = *lighter tinted* ; témoin d'application = *control sample* ; mise conforme = *up to control sample* ; mise acceptable = *acceptable* ; mise en teinte plus foncée = *darker tinted*.

Ces exemples de mesures de couleur montrent bien l'aide que peuvent apporter les mesures objectives dans ce domaine.

4.13. Assortiment de lames de parquet de chêne à « damiers »

Le parquet de chêne à « damiers » est constitué de bâtons de chêne juxtaposés et l'observation de ceux-ci montre qu'ils peuvent être très variables et contrastés entre eux sur le même damier.

Nous avons pratiqué des mesures dans le système CIELAB de L *, a *, b *. Nous avons observé que :

— la luminance L * varie dans une large étendue de 60 à 72, ce qui apporte des différences entre bâtons très fortes. La courbe des fréquences relatives des différentes luminances est donnée dans la figure 4 ;

— les coordonnées chromatiques a * et b * viennent corroborer ces différences.

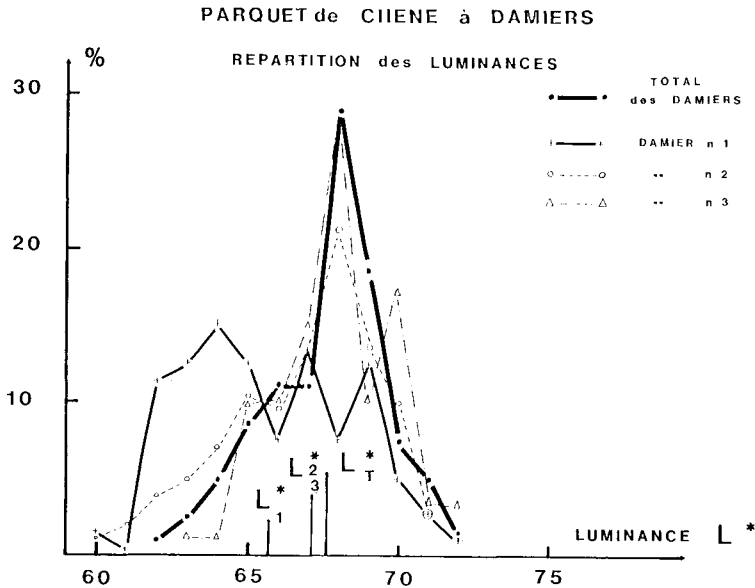


FIG. 4

*Parquet de chêne à damiers.
Checker board Oak parquetry.*

Répartition des luminances = *lightness distribution* ; luminance = *lightness* ; total des damiers = *checkers grand total* ; damier = *checker*.

Nous avons donc effectué un tri sur le critère de luminance qui nous a permis manuellement après les mesures :

- de classer les « bâtons » de diverses luminances,
- de regrouper ces « bâtons » suivant des valeurs voisines,
- de reconstituer des « damiers » équilibrés en aspect et de meilleure qualité.

Ce tri sur L^* pourrait être effectué sur les planches de chêne avant le débit en petits bâtons ou après le débit pour constituer des « lots » homogènes et permettre d'élaborer un produit fini de plus grande qualité parce que plus homogène.

Le réarrangement des « bâtons » selon la valeur de leur luminance ou L^* avec une tolérance ΔL^* donnée permet de disposer côte à côte des carreaux clairs uniformes et des carreaux sombres qui peuvent donner lieu à des « effets » en lignes diagonales très valorisants pour le parquet de chêne.

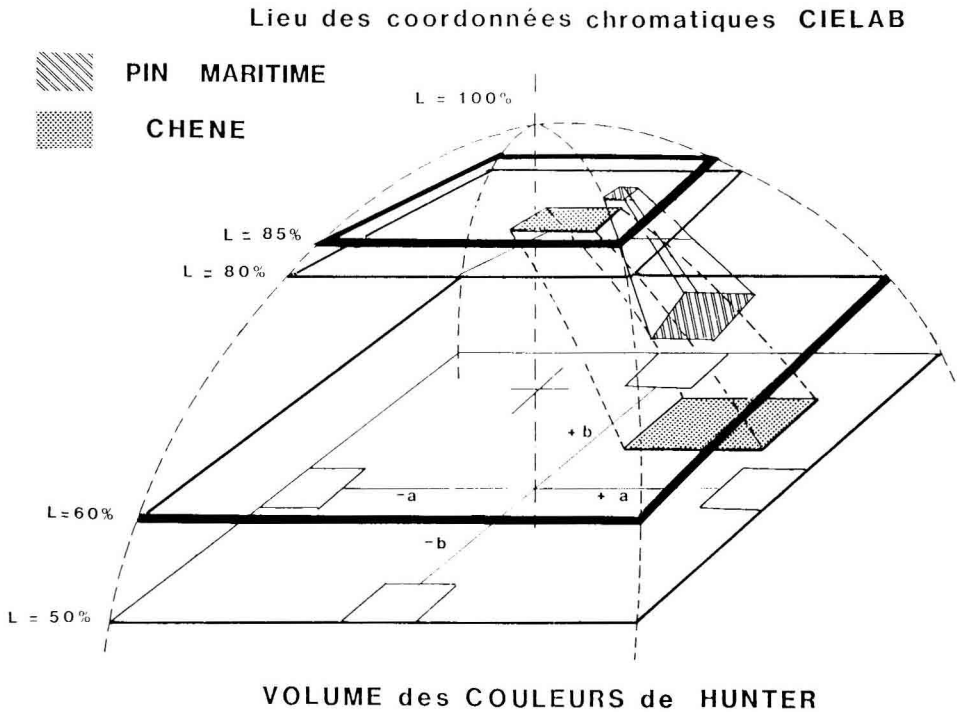


FIG. 5

*Volume des couleurs de HUNTER.
HUNTER L a b color solid.*

Pin maritime = *maritime pine* ; chêne = *oak* ; lieu des coordonnées chromatiques CIELAB = *CIELAB chromatic coordinates space*.

4.2. Qualité du bois de pin maritime

4.21. Variabilité de l'aspect et de la couleur

Le bois de pin maritime débité en planches présente des dessins ou « figures » très variés en surface. Elles proviennent de la découpe, soit sur dosse dans le plan longitudinal tangentiel (L.T.), ou sur quartier dans le plan longitudinal radial (L.R.). Mais cet effet peut être accentué si l'arbre découpé suivant (L.T.) présente des zones d'accroissements annuels fins qui donnent des figures serrées dues aux épaisseurs de bois final sombre et très réfléchissant, ou larges dans le cas d'arbres à croissance forte. On voit que la texture de l'accroissement annuel (rapport de la largeur du bois final/largeur totale du cerne) influence l'aspect des lames de parquet.

La découpe suivant le plan L.R. donne des produits présentant des stries alternées claires et sombres dont la luminance moyenne change beaucoup.

Il résulte que le pin maritime présente en lames de lambris ou parquet des différences de teintes et d'homogénéité en surface qui peuvent être mises à profit pour un tri de qualité sur un critère d'aspect et de couleur suivant l'aspect final du parquet à obtenir à dominante claire et homogène ou sombre en mélange.

En effet, la constitution de lots aléatoires de lames de lambris et parquet pourrait être abandonnée ou diversifiée au profit de l'utilisateur, et répondre ainsi à son attente d'une meilleure qualité et d'un plus grand choix.

4.22. Classement des lames de parquet

Le parquet et le lambris de décoration en bois de pin maritime (*Pinus pinaster*) possèdent les classements en qualité suivants :

- 1^{er} choix, sans nœuds ou défauts apparents,
- 2^e choix, avec nœuds,
- déclassé avec nœuds et dont quelques lames montrent des défauts dans les tenons et mortaises d'assemblages.

Ce classement qui repose sur la présence ou l'absence de nœuds, s'il convient pour le 2^e choix et le « déclassé », pourrait être amélioré, affiné et diversifié pour le 1^{er} choix.

En effet, les lames de 2^e choix ne pourront évidemment pas être purgées des nœuds, ce qui conduirait à des pertes de matière première ou des réductions de longueurs qui rendraient plus coûteuses la pose de parquet.

Mais, les lames de 1^{er} choix montrent à un examen attentif des variations d'« aspect et de couleurs » très surprenantes et dont on pourrait tirer parti pour valoriser la production de produits finis en bois de pin maritime.

La liste suivante a été dressée à la suite de mesures pratiquées sur des lames de parquet extraites d'un assortiment commercial et classées en valeur décroissante de L^* :

Coordonnées chromatiques L^ , a^* , b^* du parquet de pin maritime mesurées sous illuminant C, observateur standard 2°*

Lame de parquet	L^*	a^*	b^*	Aspect et couleur
1	80.84	4.58	25.42	jaune très clair
2	80.41	4.92	27.56	jaune très clair
3	77.68	6.04	26.69	jaune clair
4	77.27	6.85	28.97	jaune foncé
5	76.06	6.81	30.75	jaune foncé
6	74.31	7.73	25.86	jaune-rouge
7	72.73	8.71	28.28	bicolore jaune-rouge
8	72.43	7.81	31.69	jaune très foncé
9	70.95	9.90	27.31	bicolore jaune-rouge
10	68.88	12.72	25.51	rouge foncé

Dans cet exemple, qui représente une partie de nos observations prises dans le même lot, on peut voir que :

— la luminance L^* décroît, la coordonnée a^* dans le rouge augmente, ce qui traduit une diminution de la clarté et une augmentation de la couleur brun-rouge, et qui donne un mélange très hétérogène. Ceci est encore accentué par la présence de lames de parquet *bicolores* blanches et rouges qui proviennent de la limite bois d'aubier-bois de cœur.

— la coordonnée b^* n'est intéressante que lorsque a^* est faible ; dans ce cas, elle indique une couleur proche du jaune clair.

4.3. Bois tropicaux

Ils sont utilisés depuis très longtemps en bois massif ou placages. Leurs noms sont souvent évocateurs de teintes et couleurs connues ou associées à des décorations prestigieuses.

Leurs couleurs très variées difficiles à définir peuvent cependant être quantifiées par leurs coordonnées chromatiques, ainsi que l'étendue de leurs variations pour la même espèce.

Cette nouvelle approche de l'étude de la qualité des bois tropicaux permettra d'associer à la description des espèces des différents genres la mesure de l'aspect du bois et de ses attributs : luminance, couleur et variabilité.

Nous avons à ce jour examiné de nombreuses espèces avec l'aide de la Division d'Anatomie du C.T.F.T. pour jeter les premières bases de comparaison des espèces entre elles, dont quelques-unes de Guyane française (Bois de Guyane).

La méthode de mesure de la couleur, qui permet en outre de déterminer la longueur d'onde dominante λ_D et la saturation en p. 100, est parfaitement illustrée ici par l'étendue des valeurs que l'on rencontre chez les bois tropicaux.

TABLEAU 4

Bois tropicaux. Coordonnées chromatiques CIELAB.
Tropical woods. CIELAB color space.

Espèces	L^*	a^*	b^*
Ebène	26,2	0,5	0,8
Wenge quartier	31,5	6,2	6,3
Wenge dosse	36,6	7	8,4
Cèdre apici	61	11,3	26
Cèdre apici	61,6	11,9	26,7
Guariuba	70,4	7,9	40,4

Espèces = *species* ; ébène = *ebony* ; wenge quartier = *wenge quartered logs* ; wenge dosse = *wenge slabwood* ;
cèdre apici = *ocotea scromburgkii* and *ocotea globifera* ; Guariuba = *Guariuba* ; Spectrophotomètre Hunterlab
= *Hunterlab spectrophotometer*.

La longueur d'onde dominante varie en effet : de 577 nm pour le Lohonfe (*Celtis Adolphi-friderici*) à 612 nm pour l'Amarante (*Peltogyne venosa*).

Dans le tableau 4, on note que les modes de débit, dosse ou quartier, donnent des couleurs différentes au placage. Ceci nous amènera à préciser pour chaque échantillon le sens du débit dans lequel il a été mesuré, et aussi suivant les trois directions du plan ligneux principal.

5. Conclusion

La mesure de la couleur du bois, qui est devenue très précise, fiable et rapide, grâce aux développements des appareils de mesure, ne doit pas demeurer un simple constat de l'apparence du bois. Elle doit constituer pour tous les participants de la Filière-Bois : gestionnaires et propriétaires forestiers, industriels et chercheurs, un nouvel élément du langage concernant l'appréciation de la qualité du bois à mettre en œuvre (GAILLARD, 1984 ; DIRCKX, 1984).

Les possibilités de mesure et de tri fondées dans un premier temps sur la valeur de la luminance L^* au cours de la fabrication, peut permettre de mieux définir les productions industrielles : classement objectif en qualité, assortiment de panneaux, spécification dans le cahier des charges des contrats de commandes.

Rappelons que la couleur du bois n'est qu'un aspect de l'apparence du bois, mais lorsqu'une technologie devient plus élaborée, elle conduit à un meilleur classement et à une valorisation plus grande des produits du bois.

Dans le domaine de la recherche, la mesure de la couleur apportera :

— en agronomie : une meilleure connaissance du bois en relation avec la structure du plan ligneux, sa composition chimique, son origine géographique, la sylviculture, l'espoir d'une sélection génétique et une contribution à une description plus précise des espèces ligneuses tempérées et tropicales ;

— en économie : une meilleure appréciation du prix au m^3 du matériau-bois dès l'origine en forêt ou sur les parcs à bois avant sa mise en œuvre, en considérant que le prix au m^3 d'une bille peut varier de 1 à 5 fois suivant son aspect, sa forme, et enfin sa couleur ;

— en technologie : une méthode pratique d'évaluation de la couleur au cours du débit, du façonnage ou de la teinture des pièces de bois : parquet, lambris, panneaux pour le décor, avec des tolérances et des écarts de couleur choisis.

Nous rappellerons enfin que des études sont entreprises aussi pour connaître l'influence de notre environnement sur la stabilité naturelle de la couleur naturelle du bois, et que la mesure de l'évolution de cette couleur dans le temps fera partie de nos futures préoccupations (DEGLISE *et al.*, 1985 ; DIRCKX, 1986).

Reçu le 7 janvier 1987.

Accepté le 1^{er} juin 1987.

Summary

Wood colour measurement. Forestry and industry interest

The wood colour variability study takes in account the effect of orthotropic anatomical features of examined wood : fibers, vessels, wood rays, chemical wood components, the industrial wood products converting methods, and the wood lighting.

The colorimetry principles allow us to specify numerically the wood sample perceived attributes of colour within different colour systems wich the most convenient is CIELAB colour space. The interesting colour specifications are L^* : lightness, $\pm a^*$: redness-greenness axis, $\pm b^*$: yellowness-blueness axis. They are obtained by mean of colorimeter using coloured filters, or spectrophotometer along the visible range spectrum from 400 to 700 nm.

Other useful characteristics are the dominant wavelength (λ_D) associated with the purity (p. 100) and the dL, da, db data are used for computing the total color differences dE.

The individual pine or oak wood colour tree measured on the veneer or sliced increment core and the study of the environment conditions which produce the trees with best colour, is of interest for forestry field research.

In the industry the wood colour measurement lead to process control and sorting the wood floor products, wainscoting and veneer for panel on the (L^* , a^* , b^*) basis colour criteria. Wood colour measurement will contribute to the precise description of temperate or tropical wood species (e.g. French Guiana).

Key words : Colour, wood, measurement, color differences CIELAB, classifying, slicing, veneers, parquetry, wainscoting, panels, oak, maritime pine, tropicals wood.

Zusammenfassung

Messung der Holzfarbe. Anwendung in forst und industrie

Die Studie der Variabilität der Holzfarbe berücksichtigt den Einfluss der anatomischen Elemente, der Ligninfläche der untersuchten Spezies : Fasern, Gefässe, Lignin Markstrahl, chemische Bestandteile des Holzes.

Die Prinzipien der Colorimetrie ermöglichen eine Definierung chromatischer Koordinaten einer Holzprobe in verschiedenen Farbsysteme, wobei CIELAB das meist verwendete ist. Die interessantesten Werte, die einen Farbpunkt definieren sind L^* : die Helligkeit $\pm a^*$: grün-rot Achse, $\pm b^*$: gelb-blau Achse. Diese Werte werden durch ein Colorimeter mit farbigen Filtern oder durch ein Spectrophotometer je nach Wellenlänge im seharen Bereich (400 bis 700 nm) ermittelt. Diese Zahlen ermöglichen die Farbe einer Probe megenmässig auszudrücken und die gesamt Farbdifferenzen ΔE auszurechnen. Die Anwendungen dieser Messungen im forstlichen Bereich betreffen die Festlegung der individuellen Farbe der Bäume (Eiche, Keifer...) in Form von Furnier oder Bohrkernen, und die Definierung der Umweltbedingungen, die die Bäume mit der besten Farbe hervorbringen.

Im industriellen Bereich führen diese Messungen zu Klassifizierungen Sortierungen und Neueinteilungen der Produkte auf Farbbasis (L^* , a^* , b^*) für Parkette, Paneele, oder Furniersortimente für Dekorationsplatten. Die Messung der Holzfarbe wird auch dazu beitragen, ligninhaltige Arten in gemässigttem und tropischem Klima (franz. Guyana) genauer zu beschreiben.

Références bibliographiques

- A.F.N.O.R. : Couleurs-Colorimétrie. Normes X 08.000 à X 08.016.
- CHRISMONT A., 1986. Méthodes et appareils de mesure de la couleur. Séminaire de colorimétrie, Royaumont (S^{re} Mica, 67, rue Robespierre, 93558 Montreuil).
- DEGLISE X., DIRCKX O., MASSON D., ROUX M.L., 1985. UV and IR spectrometry analysis on wood photodiscoloration. Communication présentée au Symposium on Weathering and Photodegradation of Wood and Cellulose fibers, (ACS), Chicago, 8-13 septembre 1985.
- DIRCKX O., 1984. *Mise en évidence de la photodégradation et des variations de couleur du bois sous irradiation UV par des techniques spectroscopiques*. D.E.A. « Sciences du Bois », Université de Nancy I, octobre.
- DIRCKX O., MASSON D., DEGLISE X., 1986. *Wood photodegradation and photodiscoloration*. Communication au 18^e Congrès Mondial de l'I.U.F.R.O., Ljubljana (Yougoslavie), 7-13/9.
- GAILLARD J.M., 1984. *Photodégradation de systèmes bois-finitions (résines alkydes)*. Thèse de 3^e Cycle. Université de Nancy I, mai.
- HUNTER R.S., 1975. *The measurement of appearance*. Wiley Interscience publication.
- JANIN G., 1986a. Etude de la variabilité de la couleur du chêne de tranchage. *Le Bois National*, 11 janvier, 19-21.
- JANIN G., 1986b. La couleur du bois, un facteur clé de qualité. *mesures*, 17 mars, 61-65.
- JANIN G., MAZET J.F., 1987a. Mesure de la variabilité de la couleur du bois. Nouvelle méthode appliquée aux carottes de sondage. *Ann. Sci. For.*, **44** (1), 119-126.
- JANIN G., MAZET J.F., 1987b. Influence de l'anatomie et de la structure des bois sur l'aspect et la couleur naturelle des produits forestiers. Particularités des bois colorés artificiellement. Communication présentée au 2^e Colloque « Sciences et Industries du Bois », Nancy, 22-24 avril.
- KOWALISKI P., 1978. *Vision et mesure de la couleur*, Masson, Paris.
- NEVEU C., 1986. Cours au Séminaire de colorimétrie à Royaumont (S^{re} Color assistance, 60790 Valdampierre).
- PECHMANN H.V., AUFESSS H.V., 1973. Critères de qualité du bois de placage en Chêne : structure et coloration. *Holzforschung*, **27**, 52-54.
- BOIS DE GUYANE, 1980. Publication du Centre Technique Forestier Tropical (Nogent/Marne), Office National des Forêts (Paris et Cayenne), Ministère D.O.M.-T.O.M.