

Couleur & Colorimétrie

NewColor vous propose un ensemble d'informations qui vous permettront de mieux appréhender la technique de la colorimétrie. La couleur résulte de l'interprétation de notre cerveau aux informations envoyées par nos yeux, eux-mêmes analysant le résultat de l'interaction physico-chimique entre la lumière et la matière. Notre œil est sensible à certaines radiations électromagnétiques, comprises dans une bande entre 400 et 700nm, dite spectre du visible. La colorimétrie est le moyen technique d'associer des chiffres à une couleur, de manière à la positionner dans un espace, de calculer des différences entre un standard et un échantillon, de déterminer des tolérances colorimétriques d'acceptation et même de faire de la formulation de couleur. La colorimétrie est une technique récente qui est constante évolution. Elle a pris son essor grâce à l'évolution de l'informatique et de l'instrumentation scientifique. Les dernières évolutions de la colorimétrie ont pour but de trouver des grandeurs qui permettent de mettre en adéquation la colorimétrie instrumentale avec la colorimétrie visuelle.

Ce cours n'a pas pour vocation d'être exhaustif. Il a pour objectif de rappeler un certain nombre de bases de la colorimétrie moderne. Pour plus de détails, reportez vous au chapitre bibliographie qui vous donnera la référence d'ouvrages traitant très complètement de ce sujet, ou au chapitre Séminaires de Formation, qui vous donnera le détail de ce que Newcolor peut vous apprendre dans le cadre de ses formations. Nous vous proposons deux modes de navigation, soit par accès direct à un chapitre particulier, soit sous forme d'un déroulé complet en cliquant sur page suivante. Bonne Lecture.

Ce cours simplifié de colorimétrie est disponible au format PDF sur simple demande en remplissant la fiche de contact.

Introduction

De nos jours, la couleur nous entoure et fait partie des critères de choix et de qualité de bon nombre de produits que nous achetons. Que la couleur soit présente pour améliorer notre environnement et le rendre plus agréable, pour nous rattacher à une catégorie sociale grâce aux effets de mode, pour décliner des produits manufacturés, ou pour se rattacher à l'identité visuelle d'une société, elle devient un élément indispensable à notre communication et à notre jugement sur les produits. Le critère que véhicule la couleur est, par exemple, évident pour tous, lorsque nous parlons de produits alimentaires. Outre la communication faite sur l'emballage du produit (packaging), la couleur du produit est un élément décisif de choix.

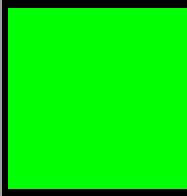
En effet, naturellement, nous choisirons de manière préférentielle, un produit qui possède la couleur que nous imaginons qu'il doit avoir, ou la couleur que nous avons été conditionné comme celle qu'il doit avoir. Par exemple, pour les produits naturels, nous choisirons sur un étalage, les tomates qui sont bien rondes et bien rouges, plutôt que celles qui sont encore oranges ou vertes. Cette couleur rouge nous laisse imaginer qu'elles ont bien pris le soleil, qu'elles sont bien mûres et qu'elles sont par conséquent bien "goûteuses". C'est naturellement le critère Couleur qui va nous guider dans notre choix. Cette couleur qui est également conditionnée par l'éclairage, qui va rendre ces produits encore plus attractifs. Observez vous et observez l'environnement la prochaine fois que vous irez choisir des tomates.



Le Classement Naturel des Couleurs

Lorsque nous devons communiquer des informations sur une couleur, nous utilisons un vocabulaire relativement restreint qui comporte quelques centaines de mots pour les milliers de couleurs industrielles et les millions de couleurs que la nature comporte. Le vocabulaire utilisé pour décrire une couleur peut être regroupé en 3 grandes catégories :

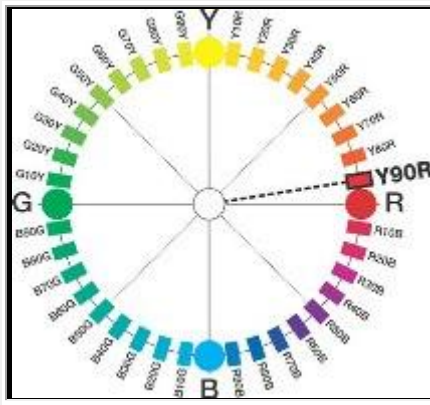
1. La tonalité chromatique
2. La clarté
3. La saturation

<p>Regardez la couleur à droite, naturellement les mots qui vont nous permettre de la décrire seront :</p> <p>Verte - Claire - Vive</p>		<p>Ce que nous pouvons affecter aux Trois catégories que nous vous définies :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tonalité Chromatique : Verte • Clarté : Claire • Saturation : Vive
--	---	--

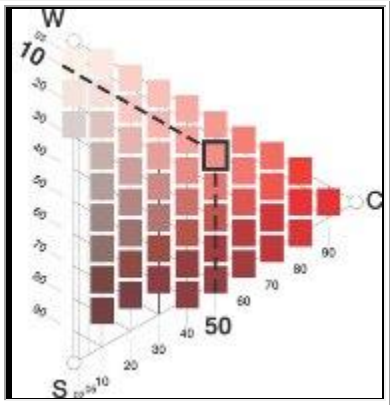
Dans certains cas les mots utilisés sont en fait le regroupement de 2 notions :

- Profonde : Foncée et saturée
 - Rabattue ou terne : Foncée et peu saturée
 - Vive : Claire et Saturée
 - Pâle : Claire et peu saturée
1. La tonalité chromatique caractérise donc la couleur en elle même qui passe l'ensemble des appellations que nous apprenons dès notre plus jeune age (rouge, vert, jaune, bleu, orange,...)
 2. La clarté caractérise la capacité de l'échantillon coloré à renvoyer plus ou moins de lumière
 3. La saturation caractérise la teneur en couleur de l'échantillon coloré.

Il existe quelques représentations tridimensionnelles de ce classement naturel des couleurs, tels que les Atlas d'Ostwald, de Munsell ou de NCS. De nos jours l'atlas NCS a été développé, et commercialisé pour répondre à ce besoin de communiquer une information couleur grâce à une représentation physique et à une numérotation précises dans un système organisé.



Le système NCS classe les couleurs suivant leur tonalité chromatique (schéma de Gauche) et suivant leur clarté et leur saturation (schéma de droite)



Nous trouvons le même principe de représentation tridimensionnelle dans les espaces colorimétriques modernes tels que le système CIELAB 1976.

La Lumière et les Illuminants

D'après l'expérience de Newton en 1666, une lumière blanche se décompose en une succession de lumières colorées lorsque elle passe au travers d'un prisme.



Ainsi une source de lumière, pourra être qualifiée par son spectre d'émission qui donne la proportion de chacune des lumières colorées dans la source.

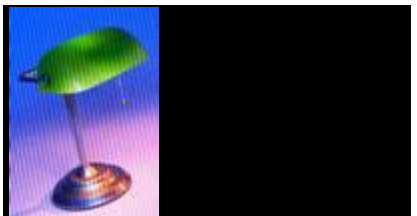



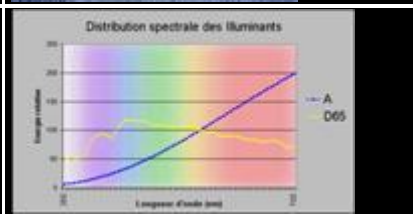

La source de lumière la plus répandue est la lumière du jour. Mais celle-ci en fonction du lieu, des conditions météorologiques, des saisons, de la pollution, de la latitude, de l'heure du jour, n'est jamais la même à 2 lieux différents ou à 2 moments différents. Ainsi, la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) a été amenée à standardiser les sources par ce que nous appelons les Illuminants.



Source Incandescente - Illuminant A

Source Lumière du Jour - Illuminant D65







	
<p>Un Illuminant est la modélisation mathématique de la source qu' il reproduit. Ainsi, la numérisation des sources de lumière est faite par l' intermédiaire des courbes de distribution spectrale des illuminants de manière à en faire le traitement mathématique</p>	
<p>Les cabines à lumières utilisent des sources qui reproduisent de manière standardisée les Illuminants. Ainsi 2 personnes peuvent avoir en 2 lieux différents, la même lumière du jour, en utilisant l' illumination D65 de leur cabine à lumières.</p>	

Les cabines à lumières sont des outils indispensables pour observer des échantillons colorés dans de bonnes conditions et permettent d'appréhender le phénomène de métamérisme que nous allons décrire.

Le métamérisme

Le métamérisme est caractérisé par le phénomène suivant : 2 échantillons apparaissent identiques sous une source de lumière et apparaissent différents sous une autre source.

Pour parler de métamérisme il doit obligatoirement y avoir 2 échantillons et 2 sources de lumière

		1	2
<p>Les 2 échantillons 1 et 2 apparaissent identiques sous une source de lumière de type Lumière du Jour (Illuminant D65)</p>	<h1>D65</h1>		
<p>Les 2 échantillons 1 et 2 apparaissent différents sous une source de lumière de type Incandescence (Illuminant A)</p>	<h1>A</h1>		

Il est important de ne pas confondre le métamérisme avec le phénomène qui fait que un même échantillon puisse avoir une apparence colorée différente en fonction de la lumière qui l'éclaire.

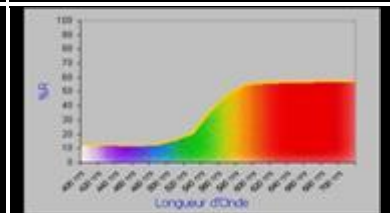
L'objet coloré

Un Objet nous apparaît coloré car il possède la capacité à absorber et à diffuser certains rayonnements lumineux auxquels notre oeil est sensible.

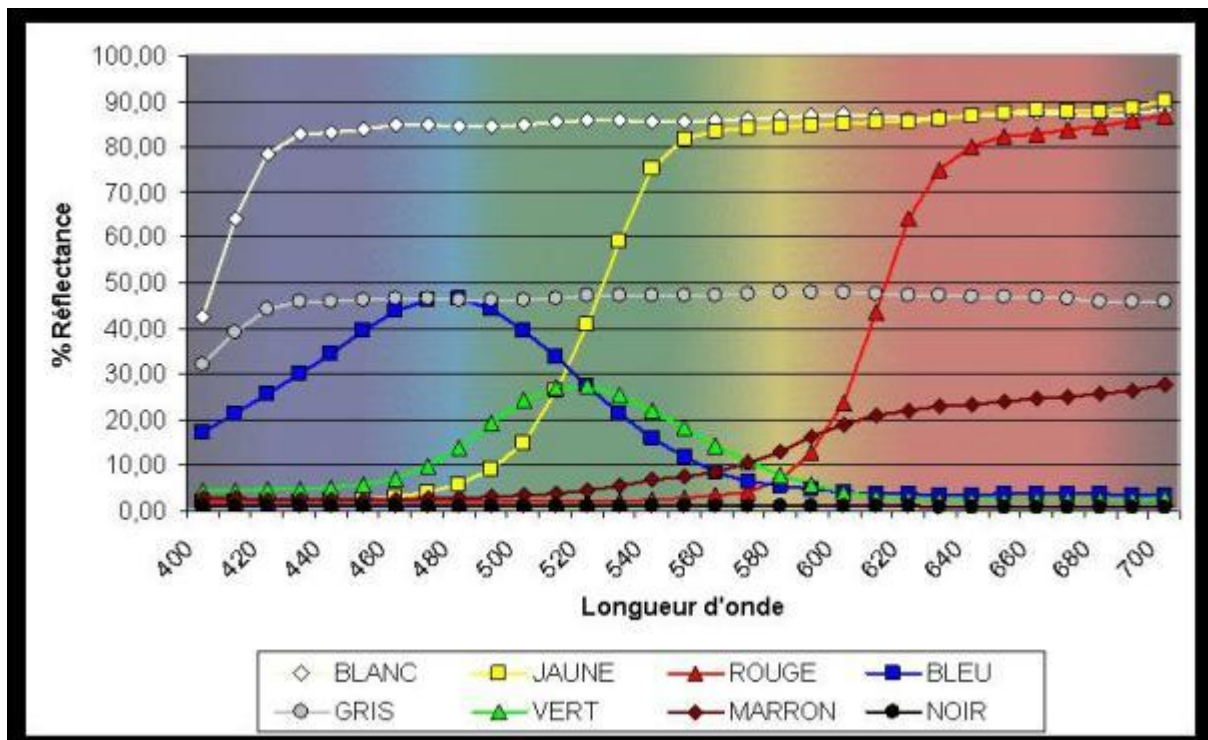
Un objet coloré Orange absorbe majoritairement les longueurs d'onde du violet, bleu, vert, jaune et rouge et réfléchit majoritairement les longueurs d'onde de l'orange.



Cet objet coloré est caractérisé par ses propriétés d'absorption et de diffusion sélectives de la lumière blanche. Sa caractéristique unique est appelée Courbe Spectrale et reflète la capacité de la matière à absorber et diffuser certaines longueurs d'onde de la lumière blanche incidente. Les valeurs spectrales définissant cette courbe sont exprimées en %. C'est un rapport énergétique à chaque des longueurs d'onde de l'énergie réfléchie, par rapport à l'énergie incidente.



Ainsi, la numérisation d'un échantillon coloré est faite par l'intermédiaire de sa courbe spectrale de manière à en faire le traitement mathématique. Cette caractéristique spectrale est l'"ADN" de la couleur.

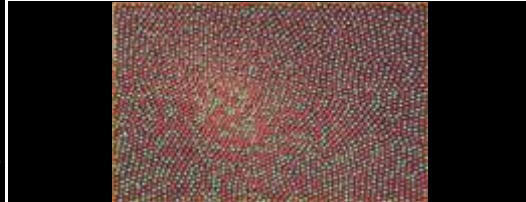


L'observateur

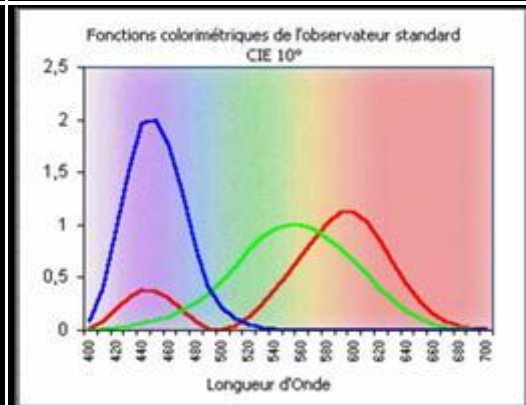
Notre oeil est sensible aux radiations électromagnétiques comprises entre 400 et 700 nm Ainsi, il perçoit la manière dont un objet coloré modifie (absorbe, réfléchit et diffuse) la lumière qu'il reçoit.

La rétine contient les organes récepteurs de la vision: les cônes et les bâtonnets. Les cônes : vision photopique (perception des couleurs) Les bâtonnets : vision scotopique (perception de la variation de clarté).

7 millions de cônes (verts, rouges et bleus) et 120 millions de bâtonnets.



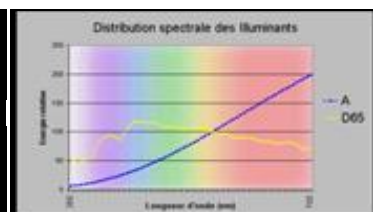
La compréhension de la neurophysiologie de l'oeil, et d'un certain nombre d'expériences a permis de modéliser l'observateur dit standard, par les fonctions colorimétriques de l'observateur standard.



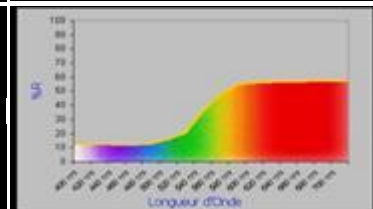
La Colorimétrie Moderne - Coordonnées trichromatiques X Y Z

La numérisation des 3 éléments indispensables pour constituer le phénomène Couleur permet de comprendre la colorimétrie moderne.

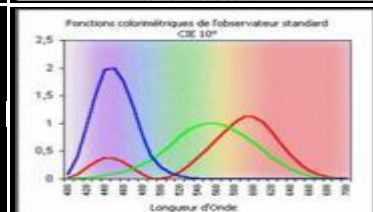
Les Sources de lumière sont numérisées sous forme d'illuminants



L'objet coloré est numérisé par sa courbe spectrale



L'observateur est numérisé par les courbes de l'observateur standard



Il est maintenant possible de transformer mathématiquement l'ensemble de ces informations afin de caractériser la couleur d'un objet perçue par un observateur standard sous un éclairage normalisé. Le système CIE 1931 permet de calculer 3 grandeurs appelées X, Y et Z, caractérisant un objet coloré perçu par un observateur standard sous un éclairage normalisé. En 1931, l'illuminant de référence utilisé est l'illuminant C (lumière moyenne du soleil) et l'observateur standard est CIE 2°

	%R	X	Y	Z	Σ	Σ	Σ
400 nm	12,82	0,089	0,000	0,393	0,0114	0,0000	0,0504
420 nm	13,03	2,919	0,085	14,033	0,3803	0,0111	1,8285
440 nm	12,43	7,649	0,511	38,518	0,9508	0,0635	4,7878
460 nm	12,31	6,641	1,382	38,120	0,8175	0,1701	4,6926
480 nm	13,11	2,364	3,206	19,584	0,3099	0,4203	2,5648
500 nm	16,16	0,089	6,910	5,752	0,0112	1,1167	0,9295
520 nm	20,67	1,198	12,876	1,442	0,2476	2,6615	0,2981
540 nm	36,03	5,591	18,258	0,357	2,0144	6,5784	0,1286
560 nm	47,25	11,750	19,588	0,073	5,5531	9,2573	0,0345
580 nm	54,78	16,794	15,991	0,028	9,1998	8,7599	0,0142
600 nm	56,55	17,896	10,696	0,013	10,1202	6,0486	0,0074
620 nm	56,85	14,018	6,261	0,003	7,9892	3,5594	0,0017
640 nm	57,00	7,457	2,902	0,000	4,2505	1,6541	0,0000
660 nm	57,13	2,746	1,008	0,000	1,5688	0,5759	0,0000
680 nm	57,24	0,712	0,257	0,000	0,4075	0,1471	0,0000
700 nm	57,57	0,153	0,055	0,000	0,0881	0,0317	0,0000
					43,9	41,1	15,3

Tableau des valeurs de réflectance %R de 400 à 700nm

Tableau du produit de l'illuminant et des 3 fonctions de l'observateur standard de 400 à 700 nm

Tableau du produit des valeurs de réflectance par les 3 produits précédents. La sommation de chacune des colonnes donnent les valeurs X Y Z.

Après la sommation à toutes les longueurs d'onde, nous obtenons le résultat suivant pour l'illuminant C et l'Observateur 2° :

$$X = 43,9$$

$$Y = 41,1$$

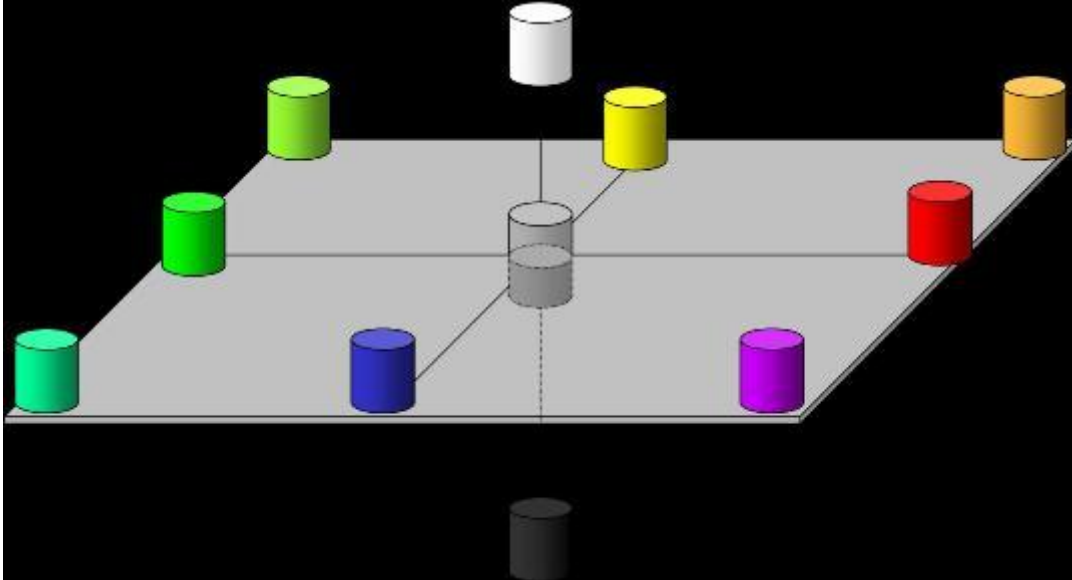
$$Z = 15,3$$



C'est le premier système permettant de donner des valeurs colorimétriques à une couleur. Les inconvénients sont que ce système ne possède pas de système de représentation graphique et que les valeurs ne sont pas faciles à manipuler.

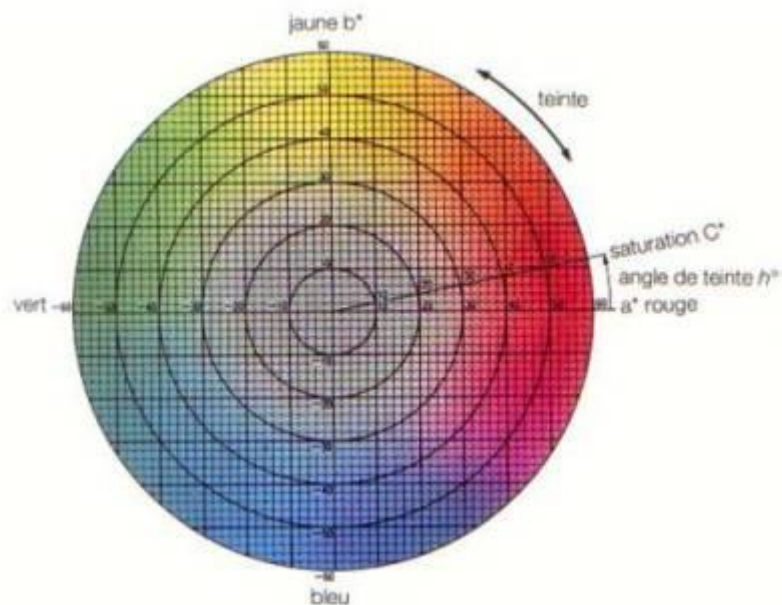
Coordonnées colorimétriques CIELAB 1976

L'histoire des espaces colorimétriques a vu l'apparition de nombreux espaces de type Lab. Le plus utilisé à ce jour pour sa facilité de compréhension, d'interprétation et d'utilisation est celui recommandé par la CIE. L'espace CIE 1976 ou système Cielab résulte d'une transformation mathématique du système CIE 1931. L'objectif de cet espace est d'obtenir un espace uniforme en écarts de couleurs, plus simple à interpréter et où les repérages sont faciles à effectuer.

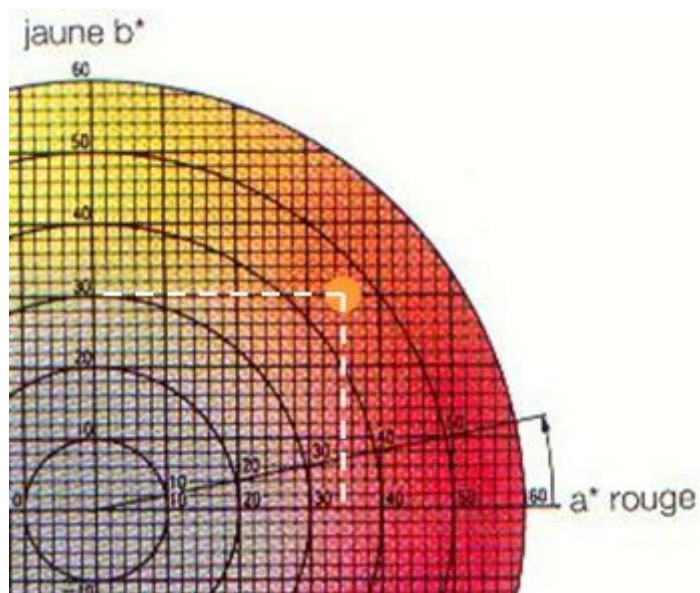


Le système CIELAB 1976 possède deux modes de représentation :

- Représentation en coordonnées rectangulaires $L^* a^* b^*$
- Représentation en coordonnées cylindriques $L^* C^* h^*$

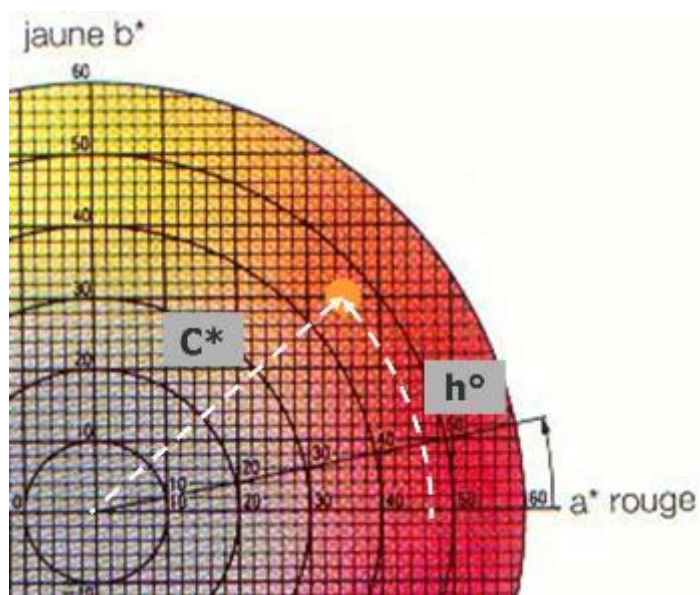


L* représente l'axe de clarté - a* représente l'axe Rouge/Vert - b* représente l'axe Jaune/Bleu



Représentation en coordonnées rectangulaires L* a* b* avec L* = 50 a* = 35 b* = 30 pour l'Illuminant D65 et l'Observateur 10°

L* représente l'axe de clarté - C* représente l'axe de Chroma (Saturation) - h° représente l'angle de teinte



Représentation en coordonnées cylindriques L*C*h* avec L* = 50 C* = 47 h° = 45° pour l'Illuminant D65 et l'Observateur 10° .

Les formules de calcul des coordonnées L* - a* - b* - C* - h° dans l'espace CIELAB 1976 sont les suivantes :

$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500 [(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}]$$

$$b^* = 200 [(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}]$$

$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16$$

$$C^* = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

$$h^\circ = \arctan (b^*/a^*)$$

X_n, Y_n, Z_n sont les valeurs XYZ du blanc de référence pour l'illuminant et l'observateur considérés.

Écarts colorimétriques CIELAB 1976

Le CIELAB 1976 permet de calculer des écarts colorimétriques entre un Standard et un échantillon dans les 2 modes de représentations et suivant chacun des axes L*, a*, b*, C*, h°.

$$dL^* = L^*_{ECH} - L^*_{STD}$$

$$da^* = a^*_{ECH} - a^*_{STD}$$

$$db^* = b^*_{ECH} - b^*_{STD}$$

$$dC^* = C^*_{ECH} - C^*_{STD}$$

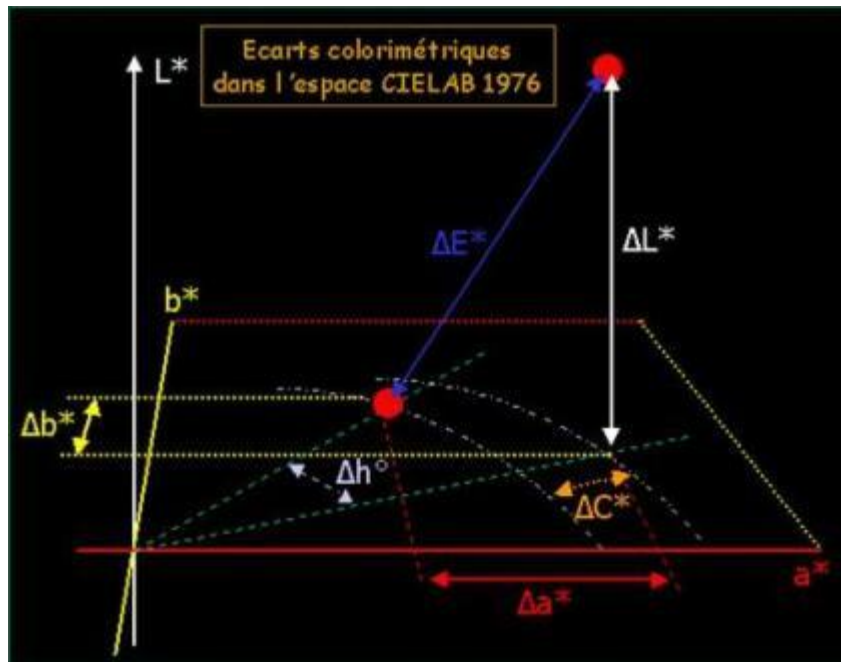
$$dh^\circ = h^\circ_{ECH} - h^\circ_{STD}$$

$$dH^* = C^*_{STD} \times dh^\circ \times (\pi/180)$$

$$dE^* = [dL^{*2} + da^{*2} + db^{*2}]^{1/2}$$

$$dH^* = [dE^{*2} - dL^{*2} - dC^{*2}]^{1/2}$$

Le CIELAB 1976 permet de calculer des écarts colorimétriques entre un Standard et un échantillon dans les 2 modes de représentations et suivant chacun des axes L*, a*, b*, C*, h°.



Les écarts colorimétriques entre un Standard et un échantillon dans les 2 modes de représentations et suivant chacun des axes L^* , a^* , b^* , C^* , h° sont donc les suivants :

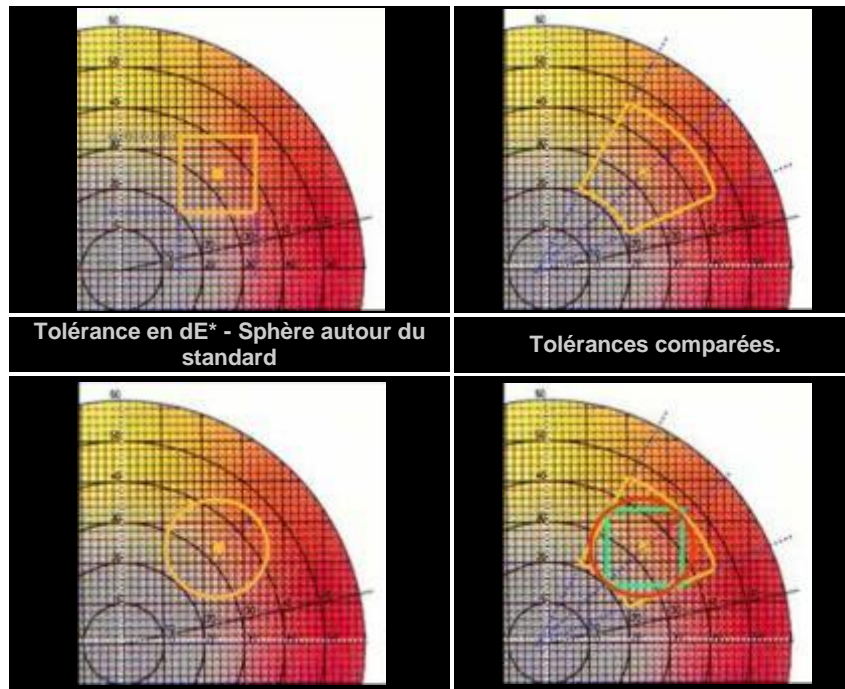
- dL^* = écart de Clarté
- da^* = écart sur l'axe Rouge/Vert
- db^* = écart sur l'axe Jaune/Bleu
- dC^* = écart de Chroma ou Saturation
- dH^* = écart de Tonalité Chromatique
- dE^* = écart total de teinte = distance géométrique entre le standard et l'échantillon.

Ecart	Positif	Négatif
dL^*	l'échantillon est plus clair	l'échantillon est plus foncé
da^*	l'échantillon est plus rouge ou moins vert	l'échantillon est plus vert ou moins rouge
db^*	l'échantillon est plus jaune ou moins bleu	l'échantillon est plus bleu ou moins jaune
dC^*	l'échantillon est plus saturé	l'échantillon est moins saturé

Nous pouvons donc établir des tolérances pour chacun de ces écarts permettant de définir les limites d'acceptation d'un échantillon par rapport à un standard.

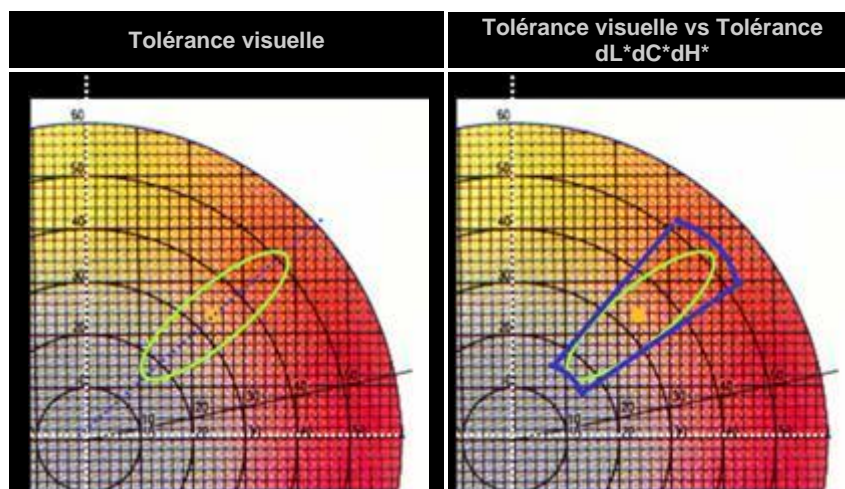
Tolérances colorimétriques CIELAB 1976

Tolérances en dL^* , da^* , db^* - Parallépipède autour du standard	Tolérances en dL^* , dC^* , dH^* - "Part de tarte tronquée"
---	---



Les représentations ci-dessus, pour des questions de facilité de représentation, ne tiennent pas compte de l'axe L^* de clarté.

Chacun des ces modes possède des avantages et des inconvénients, toutefois si nous faisons une représentation graphique de notre acceptabilité visuelle, nous nous apercevons qu'aucune de ces méthodes ne permet d'être homogène de perception visuelle.

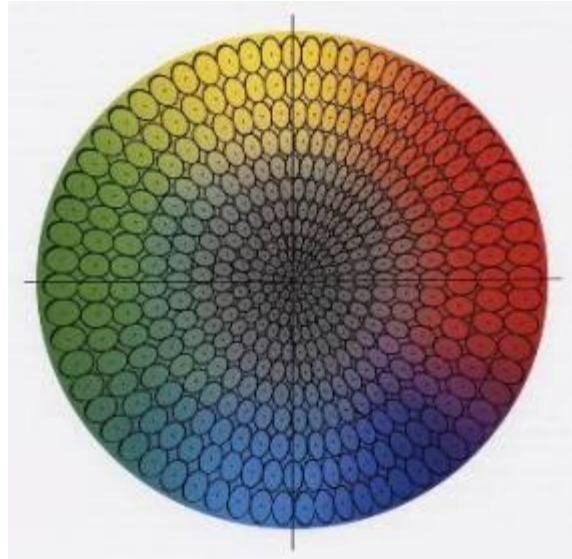


Quelque soient les valeurs de tolérance en dL^* , dC^* , dH^* , le volume défini ne permet pas de reproduire, le même volume que celui défini par l'acceptabilité visuelle. Toutefois c'est probablement celui qui permet de s'en approcher le plus. Les représentations ci-dessus, pour des questions de facilités de représentation, ne tiennent pas compte de l'axe L^* de clarté.

Les systèmes d'acceptabilité CMC, CIE 94, CIE 2000

Mac Adam a généralisé l'étude de l'acceptabilité visuelle à l'ensemble du volume des couleurs et a déterminé le graphique connu sous le nom "ellipses de Mc Adam" qui met en évidence les points suivants :

1. Les ellipsoïdes possèdent une orientation suivant le classement naturel des couleurs ($L^* C^* h^\circ$)
2. La taille de ces ellipsoïdes dépend du positionnement absolu du point de couleur dans l'espace.



Les systèmes d'acceptabilité du type CMC ou CIE94, permettent de pondérer les écarts calculés dans le système CIELAB de notre sensibilité visuelle aux écarts colorimétriques.

