



KONICA MINOLTA

# ANALYSE DES COULEURS, PARLONS CLAIR

DE L'APPRECIATION VISUELLE DE LA COULEUR À SA MESURE PRÉCISE





## ANALYSE DES COULEURS, PARLONS CLAIR

Apprécier und couleur.  
Apprécier un objet par sa  
couleur.  
Nous vivons dans un monde  
de couleurs.



Nous sommes tous les jours entourés par une multitude de couleurs et cela nous semble tout à fait naturel, si bien que nous n'y attachons plus aucune importance. Cependant, la couleur joue de très nombreux rôles dans la vie quotidienne. D'une part, elle influence notre goût lorsqu'il s'agit de manger ou d'acheter quelque chose ; d'autre part, elle nous permet de savoir si une personne est en bonne santé ou malade simplement en regardant son teint. Mais bien que les couleurs nous affectent autant, et que leur importance ne cesse de grandir, nos connaissances sur la couleur et son contrôle restent souvent bien faibles. Puisque l'appréciation est très souvent fonction de l'impression ou de l'expérience d'un individu, il est impossible de croire que tout le monde peut apprécier la couleur selon des critères identiques. Y a-t-il alors un moyen d'exprimer une couleur \* donnée avec précision, de la décrire à quelqu'un d'autre qui à son tour pourrait la reproduire correctement ? Comment peut-on communiquer les données de couleur entre les différents domaines de l'industrie et de la recherche ? Nous devons bien évidemment réunir davantage d'informations et acquérir plus de connaissances dans le domaine de la couleur.

\* Dans le présent guide, la notion de couleur est exprimée par rapport à la couleur d'un objet donné.



# ANALYSE DES COULEURS, PARLONS CLAIR

## »» Partie I

### Etudions la couleur

Simplement en regardant autour de nous, nos yeux s'imprègnent d'une multitude de couleurs. Nous sommes continuellement envahis par une infinité de couleurs. Or, contrairement à la longueur et au poids, il n'existe pas de grandeur physique pour mesurer la couleur, ce qui veut dire que chacun de nous répondrait différemment à la question : quelle est la couleur de cet objet ? Par exemple, si nous parlons de „bleu océan“ ou de „bleu ciel“, chacun de nous imagine un bleu différent car l'appréciation des couleurs et l'expérience de chacun est différente. Tout le problème est là. Aussi, penchons-nous sur la question et cherchons à savoir quels sont les critères à prendre en compte pour définir une couleur.

### »» Sommaire

- »» [De quelle couleur est cette pomme ?](#)
- »» [Pour une couleur, il y a souvent autant de définitions que de personnes qui tentent de la décrire.](#)
- »» [Deux boules rouges. Comment décrire la différence de couleur à quelqu'un d'autre ?](#)
- »» [Teinte. Clarté. Saturation. Le monde de la couleur s'organise selon trois critères.](#)
- »» [Teinte, clarté et saturation. Construisons le solide des couleurs.](#)
- »» [En créant des échelles de valeurs pour la teinte, la clarté et la saturation, on peut établir des données numériques pour la couleur.](#)
- »» [Penchons-nous sur quelques espaces couleur...I](#)
- »» [Penchons-nous sur quelques espaces couleur...II](#)
- »» [Penchons-nous sur quelques espaces couleur...III](#)
- »» [Mesurons plusieurs couleurs avec un colorimètre.](#)
- »» [Les colorimètres savent détecter des différences de couleur minimes.](#)
- »» [Deux couleurs identiques pour l'œil humain sont différentes pour le colorimètre](#)
- »» [Caractéristiques des colorimètres](#)

## Partie I

### Quelle est la couleur de cette pomme ?

Pour une couleur, il y a souvent autant de définitions que de personnes qui tentent de la décrire.

„Définir une couleur“ est un travail ardu.

Si vous montrez la même pomme à quatre personnes et vous leur demandez sa couleur, vous obtiendrez quatre réponses différentes.



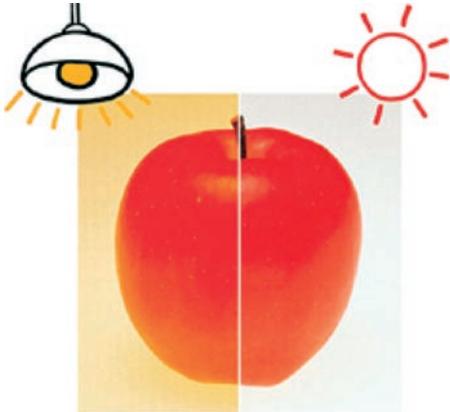
La notion de couleur est liée à la perception et à l'interprétation subjective de chacun. Le même objet (dans notre exemple, une pomme) sera vu selon les repères et l'expérience de chacun et sa couleur exprimée avec des mots très différents. Puisqu'il existe une telle gamme de possibilités pour définir une couleur, la décrire à quelqu'un est une tâche difficile et imprécise. Si vous dites à quelqu'un que la couleur de la pomme est „rouge vif“, pensez-vous que cette personne est capable de reproduire exactement cette couleur ? L'expression verbale de la couleur est beaucoup trop complexe. Cependant, s'il était possible d'utiliser une méthode standard nous permettant d'exprimer les couleurs de manière précise et accessible à tout le monde, la définition des couleurs deviendrait plus simple et exacte. De cette façon, il serait possible d'éliminer les problèmes liés à l'expression de la couleur.



A quel point les mots peuvent-ils exprimer une couleur ?  
Des noms de couleur universels et des noms de couleur systématiques.

Les mots qui expriment la couleur changent toujours avec les époques et les modes. Si nous considérons, par exemple, la couleur rouge, nous pouvons parler de „vermillon“, „cinabre“, „cramoisi“, „rose“, „fraise“, „écarlate“, pour n'en citer que quelques-uns. Ces noms de couleur sont universels. Par analyse et ajout d'adjectifs tels que „vif“, „terne“, „intense“, nous pouvons décrire les couleurs de façon plus précise. L'expression „rouge vif“ qu'utilise le jeune homme de la page précédente est ce que l'on appelle un nom de couleur systématique. Bien qu'il y ait un éventail de possibilités pour décrire une couleur, si des personnes différentes entendent les expressions „cramoisi“ ou „rouge vif“, elles les interpréteront encore de manières différentes. Il est clair que l'expression verbale des couleurs n'est pas assez précise. Alors comment décrire les couleurs sans risque de confusion ?

## Partie I



### C'est pourtant la même couleur! Pourquoi semble-t-elle différente ?

De nombreuses conditions affectent la façon dont on perçoit les couleurs.

#### Différences de luminosité

Une pomme devant l'étalage sous le soleil met l'eau à la bouche, alors qu'elle n'est pas aussi appétissante sous le néon de la cuisine. De nombreuses personnes ont sûrement déjà fait la même constatation. Soleil, lampe électrique, lampe au tungstène, etc.; autant de lumières qui rendent la même pomme différente en apparence.

#### Différences de fond

Si la pomme est placée sur un fond clair, elle apparaîtra plus terne que si elle est placée sur un fond sombre. Ceci est dû à l'effet de contraste, qui est peu souhaitable pour apprécier une couleur.

#### Différences directionnelles

Quand vous regardez une voiture, si vous l'examinez sous un angle légèrement différent vous pouvez apercevoir un point qui apparaît plus brillant ou plus sombre. Ceci est dû aux caractéristiques directionnelles de la peinture de la voiture. Certains matériaux colorants, les peintures à effet métallique ou nacré surtout, ont des caractéristiques directionnelles très marquées. L'angle d'observation de l'objet et l'angle d'illumination doivent être constants pour définir une couleur avec précision.

#### Différences d'observateur

La sensibilité visuelle de chaque individu est différente; même chez les individus qui ont une vision des couleurs dite „normale“, il peut y avoir un penchant pour le rouge ou le bleu. La vue d'un individu change aussi avec l'âge. Tous ces facteurs font que les couleurs sont perçues différemment par différents observateurs.

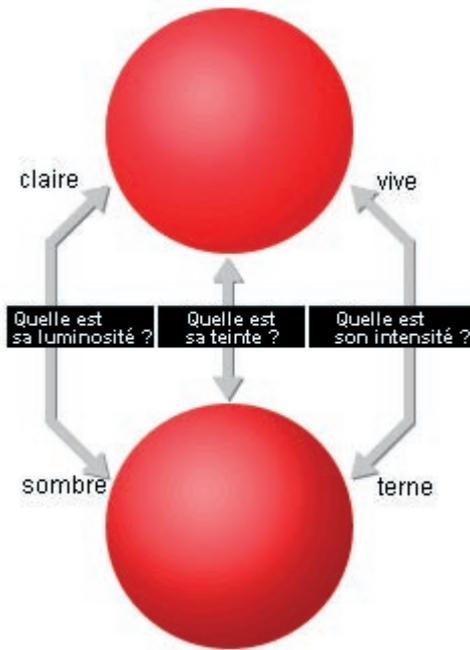
#### Différences de taille

Après avoir sélectionné un papier mural d'après un échantillon, il arrive parfois que ce même papier soit trop vif lorsqu'il est posé sur le mur. En effet, les couleurs qui couvrent de larges surfaces semblent plus vives et plus criardes que ces mêmes couleurs sur de petites surfaces. Ceci est dû à l'effet de surface. Si vous sélectionnez des objets de grandes surfaces, à partir d'un échantillon de petite surface, vous risquez de commettre des erreurs.

**Partie I**

**Deux boules rouges. Comment décrire différence de couleur à quelqu'un d'autre ?**

Pour mieux comprendre la notion de couleur, jetons un coup d'oeil au monde de la couleur.



Il existe de nombreux „rouges“ différents. Les rouges des de gauche sont très similaires. En quoi sont-ils différents ?

Nous avons deux boules rouges. Au premier coup d'œil ces deux boules semblent identiques, mais en se penchant de plus près, on remarque qu'il existe quelques différences. Ces deux boules sont rouges, mais le rouge de la boule supérieure est plus clair et le rouge de la boule inférieure est plus sombre. De plus, la couleur de la boule supérieure semble plus intense. Ainsi, nous pouvons voir que même si les deux boules sont rouges, leur rouge est différent. La classification des couleurs se fait en fonction de trois critères : la teinte (couleur), la clarté (luminosité) et la saturation (intensité)

**Partie I**

Figure 1

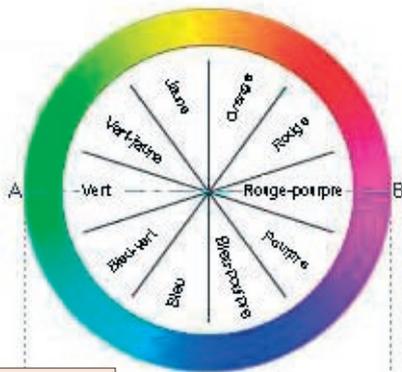


Figure 2

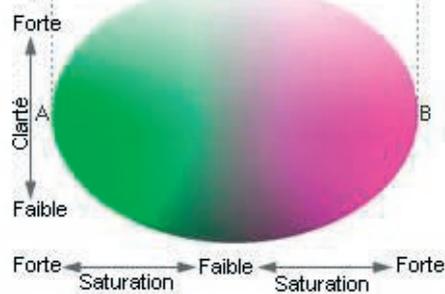
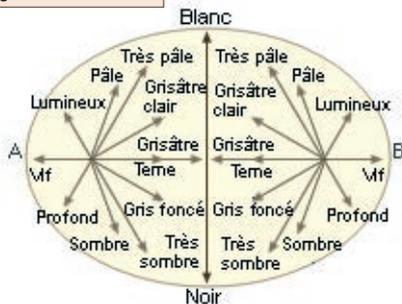


Figure 3



**Teinte. Clarté. Saturation. Le monde de la couleur s'organise selon ces trois critères.**

Teinte. Clarté et saturation :  
Voilà le monde de la couleur.

**Teinte** Rouge, jaune, vert, bleu...  
Les teintes constituent la roue des couleurs.

Les cerises sont rouges, les citrons sont jaunes, le ciel est bleu ; c'est ainsi que nous exprimons la couleur de tous les jours. La teinte est le terme utilisé dans le domaine de la couleur pour classer le rouge, le jaune, le bleu, etc... Aussi, bien que le jaune et le rouge soient deux teintes complètement différentes, si l'on mélange du jaune et du rouge on obtient de l'orange (qui est parfois appelée jaune-rouge), si l'on mélange du jaune et du vert on obtient du vert-jaune, si l'on mélange du bleu et du vert on obtient du bleu-vert (turquoise) et ainsi de suite. La roue des couleurs qui apparaît dans la figure 1 représente le continuum de ces teintes.

**Clarté** Couleurs claires, couleurs foncées. La clarté des couleurs augmente ou diminue selon un axe vertical.

On peut distinguer des couleurs claires et des couleurs foncées en comparant leur clarté. Prenons par exemple le jaune du citron et du pamplemousse. Sans aucun doute, le jaune du citron est beaucoup plus clair. Et que pouvons-nous dire du jaune du citron et du rouge de la cerise ? Là encore, le jaune du citron est beaucoup plus clair. La clarté peut être mesurée indépendamment de la teinte. Observons maintenant la figure 2. Cette figure représente la coupe longitudinale passant par A (vert) et B (rouge-pourpre). Comme le montre la figure, la clarté augmente lorsqu'on se déplace vers le haut et diminue lorsqu'on va vers le bas.

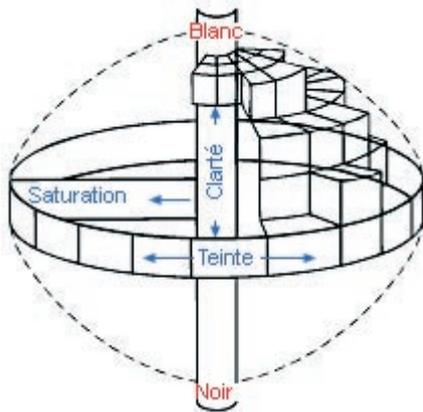
**Saturation** Couleurs vives, couleurs ternes. La saturation augmente ou diminue par rapport à un point central.

Si nous revenons au jaune de tout à l'heure, comment comparer alors le jaune du citron et celui d'une poire ? Bien sûr, vous pouvez dire que le jaune du citron est plus vif, mais comparé à celui de la poire, il est criard et la poire semble bien plus terne. Ceci met en évidence une autre grande différence : celle de la saturation des couleurs. La saturation est complètement indépendante de la teinte et de la clarté. Si nous regardons encore une fois la figure 2, nous pouvons constater que la saturation du rouge-pourpre et du vert varie en fonction de la distance au centre sur l'axe horizontal. Les couleurs se ternissent en s'approchant du centre et s'intensifient en s'éloignant du centre. La figure 3 donne les adjectifs les plus utilisés pour décrire la clarté et la saturation des couleurs. Revenez à la figure 2 pour savoir ce qu'expriment les mots de la figure 3.

**Partie I**

**Teinte, clarté et saturation. Construisons le solide de couleurs.**

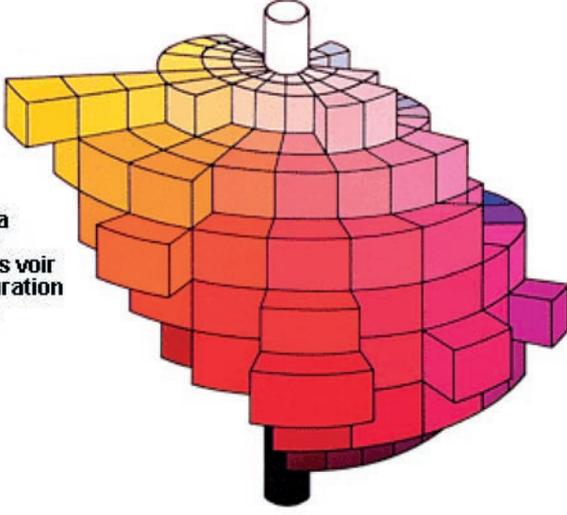
Figure 4



Utilisons l'axe de la roue des couleurs pour exprimer la variation de clarté et les rayons pour exprimer la variation de saturation.

Teinte, clarté et saturation. Prenons les trois critères de couleur, teinte, clarté et saturation, pour construire le solide tridimensionnel de la figure 4. Les teintes constituent le cercle externe du solide, avec l'axe vertical pour la clarté et les rayons horizontaux pour la saturation. Si les couleurs réelles qui existent dans le monde étaient placées sur le solide de la figure 4, on obtiendrait le solide de la figure 5. La forme du solide est quelque peu complexe car la taille du pas correspondant à la saturation est fonction de chaque teinte et de chaque clarté. Mais, malgré tout, le solide des couleurs nous aide à mieux comprendre les relations qui existent entre teinte, clarté et saturation.

Figure 5



Si nous cherchons la couleur de la pomme de notre exemple dans le solide des couleurs, nous pouvons voir que sa teinte, sa clarté, et sa saturation se situent dans la zone du rouge.



# ANALYSE DES COULEURS, PARLONS CLAIR

## Partie I

**En créant des échelles de valeurs pour la teinte, la clarté et la saturation, on peut établir des données numériques par la couleur.**



Les colorimètres simplifient la quantification des couleurs.

A l'aide d'un colorimètre, vous pouvez obtenir des résultats immédiats dans chaque espace couleur.

Si nous mesurons la couleur de la pomme, nous obtenons les résultats suivants :

Espace couleur de Munsell	Espace couleur L*a*b*	Espace couleur L*C*h
001 MUNSSELL 2.5R 4.2/11.5	001 L 43.31 a+47.63 b+14.12	001 (R) L 43.31 C 49.68 h 16.5
Espace couleur Hunter Lab	Espace couleur XYZ (Yxy)	
001 HL 36.56 a+42.18 b +8.84	001 Y 13.37 x .4832 y .3045	

### Histoire de la mesure des couleurs



De nombreuses méthodes ont été développées pour quantifier la couleur et permettre de l'exprimer avec plus de facilité et de précision. Ces méthodes, qui faisaient souvent appel à des formules complexes, essayaient d'exprimer la couleur par des valeurs numériques, de la même façon que l'on mesure la longueur et le poids. Par exemple, en 1905, l'artiste américain A.H. Munsell conçut une méthode qui consistait à comparer visuellement un échantillon donné avec un grand nombre de jetons de couleur, classés selon leur teinte (teinte de Munsell), leur clarté (valeur de Munsell) et leur saturation (saturation de Munsell). De nombreuses expériences firent évoluer ce système pour aboutir au Système de Notation de Munsell utilisé de nos jours. Dans ce système, toute couleur donnée est caractérisée par une combinaison lettre/chiffre(HV/C) qui exprime sa teinte (H), sa clarté (V) et sa saturation (C) par comparaison visuelle à l'aide des tables colorimétriques de Munsell. D'autres méthodes pour mesurer les couleurs ont été développées par un organisme international qui s'occupe des questions d'éclairage et de couleur : la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE). Les deux méthodes les plus connues sont l'espace couleur Yxy, développé en 1931, qui s'appuie sur les valeurs tristimulus XYZ définies par la CIE, et l'espace couleur L\*a\*b\*, conçu en 1976. Ces espaces couleur \* sont aujourd'hui utilisés dans le monde entier pour déterminer les couleurs.

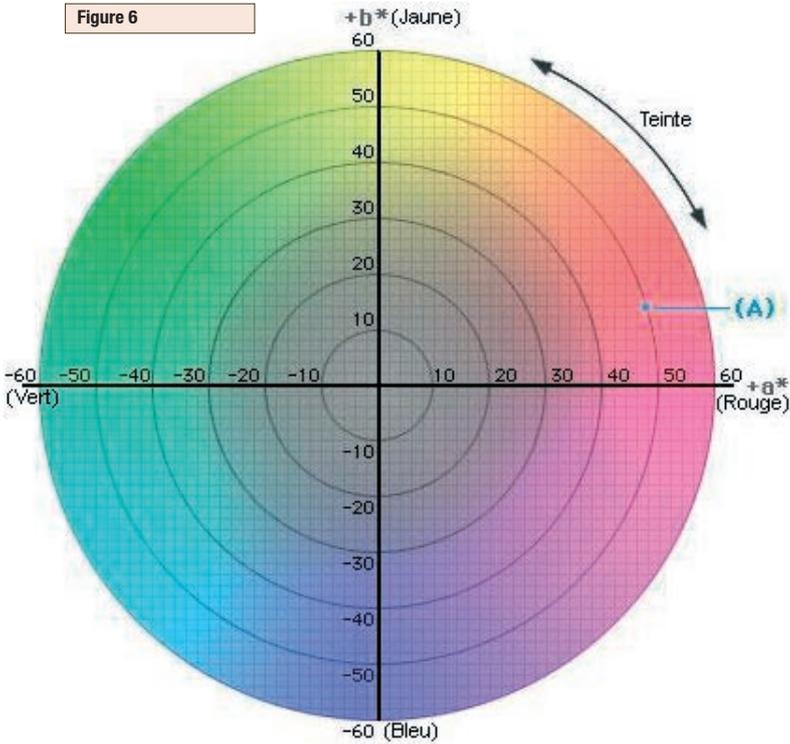
\* Espace couleur : Méthode qui permet d'exprimer la couleur d'un objet ou d'une source lumineuse au moyen d'une notation spécifique, telle que des chiffres.

## Partie I

### Jetons un coup d'oeil sur chaque espace couleur... I

#### Espace couleur L\*a\*b\*

Figure 6



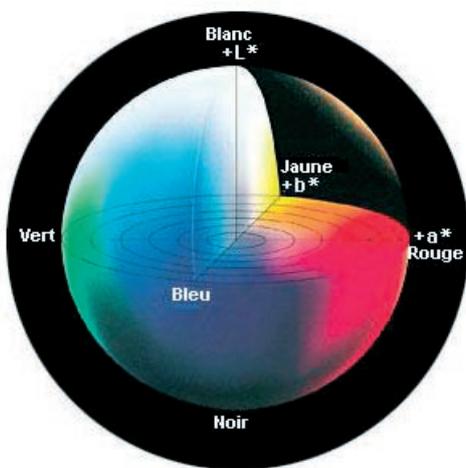
L'espace couleur L\*a\*b\* (appelé aussi CIELAB) est actuellement l'un des plus utilisés pour mesurer la couleur des objets dans pratiquement tous les domaines. C'est l'un des espaces couleur uniformes définis par la CIE en 1976 de façon à réduire l'un des principaux problèmes de l'espace couleur Yxy, à savoir que des distances égales sur le diagramme de chromaticité x, y ne représentent pas des différences égales des couleurs perçues. Dans cet espace couleur, L\* indique la clarté, tandis que a\* et b\* sont les coordonnées de chromaticité. La figure 6 montre le diagramme de chromaticité a\*, b\*. Dans ce diagramme, a\* et b\* indiquent la direction des couleurs : +a\* va vers le rouge, -a\* vers le vert, +b\* vers le jaune, et -b\* vers le bleu. Le centre du diagramme est achromatique. Au fur et à mesure que les valeurs a\* et b\* augmentent, et que l'on s'éloigne du centre, la saturation augmente. La figure 8 représente le solide des couleurs pour l'espace couleur L\*a\*b\*; la figure 6 représente une coupe horizontale de ce solide à valeur constante L\*.



Si nous mesurons la couleur de la pomme en utilisant l'espace couleur L\*a\*b\*, nous obtenons les résultats suivants :

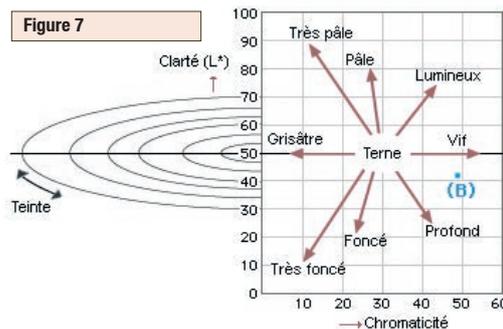
001	L 43.31
a+47.63	b+14.12

Figure 8



Pour savoir à quelle couleur correspondent ces valeurs, rapportons d'abord les valeurs a\* et b\* (a\* = +47.63, b\* = +14.12) sur le diagramme a\*, b\* de la figure 8. Nous obtenons le point (A), qui donne la chromaticité de la pomme. Si nous faisons maintenant une coupe verticale du solide des couleurs de la figure 8, passant par le point (A) et le centre, nous obtenons une représentation de la chromaticité par rapport à la clarté (voir figure 7).

Figure 7



**Partie I**

**Jetons un coup d'oeil sur chaque espace couleur... II**

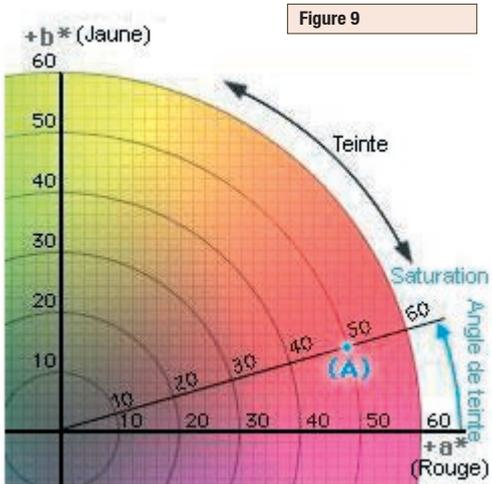
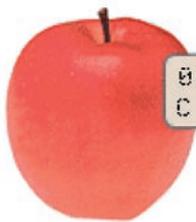


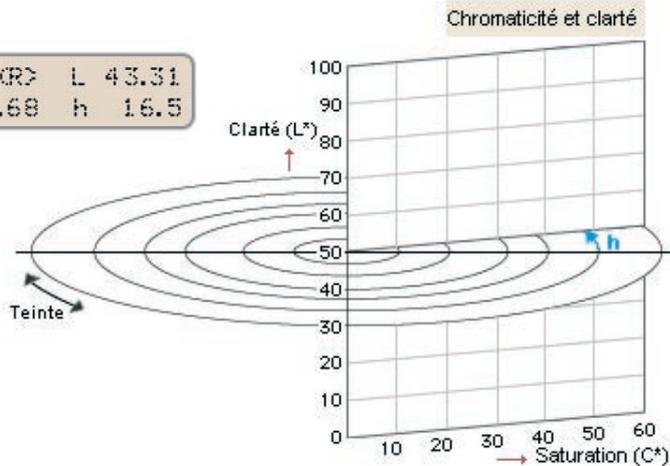
Figure 9

**Espace couleur L\*C\*h\***

L'espace couleur L\*C\*h\* utilise le même diagramme que l'espace couleur L\*a\*b\* mais avec des coordonnées polaires au lieu de coordonnées cartésiennes. Dans cet espace couleur L\* indique la clarté et correspond à la valeur L\* de l'espace couleur L\*a\*b\*, C\* indique la saturation et h est l'angle de teinte. C\* est égale à 0 au centre du diagramme et augmente selon sa position par rapport au centre. L'angle de teinte h part de l'axe +a\* et est exprimé en degrés : Un angle de 0° correspond à +a\* (rouge), 90° à +b\* (jaune), 180° à -a\*, et 270° à -b\* (bleu). Si nous mesurons la pomme avec l'espace couleur L\*C\*h, nous obtenons les résultats ci-dessous. En reportant ces valeurs sur la figure 9, nous obtenons (A).



001 (R) L 43.31  
C 49.68 h 16.5



Saturation  $C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$

Angle de teinte  $h = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right)$



001 HL 36.56  
a+42.18 b +8.84

**Espace couleur Hunter Lab**

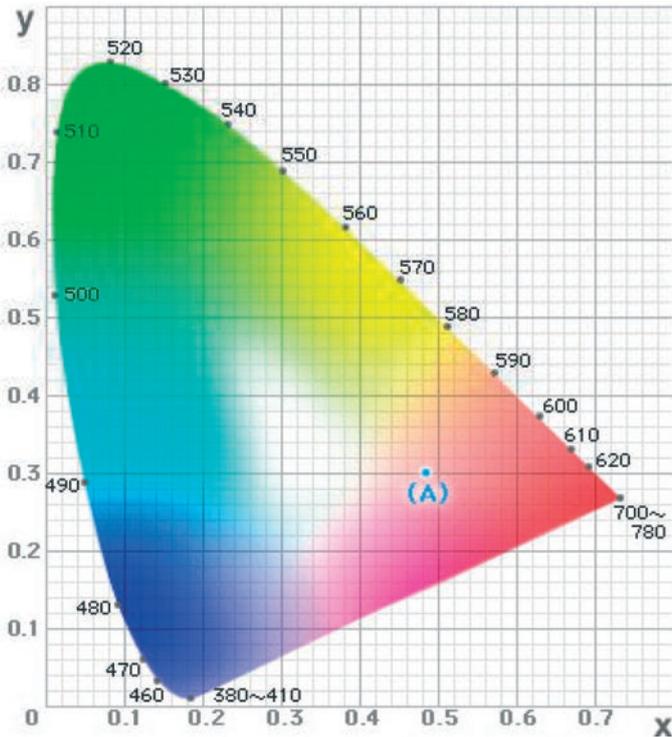
L'espace couleur Hunter Lab, mis au point par R. S. Hunter, est un espace couleur visuellement plus uniforme que l'espace couleur Yxy de la CIE (1931). Tout comme l'espace couleur L\*a\*b\* de la CIE, l'espace couleur Hunter Lab est encore utilisé dans de nombreux domaines, notamment dans l'industrie des peintures aux Etats-Unis.

**Partie I**

**Jetons un coup d'oeil sur chaque espace couleur... III**

Figure 12

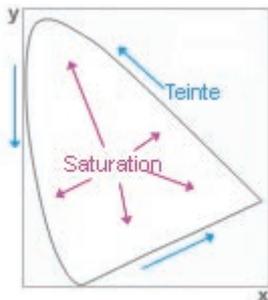
Espace couleur XYZ (Yxy)



Les valeurs tristimulus et l'espace couleur associé Yxz sont à la base de l'espace couleur actuel de la CIE. Le concept des valeurs tristimulus XYZ vient de la théorie que la perception des couleurs se fait selon trois composants; l'œil possède des récepteurs pour les trois couleurs primaires (rouge, vert et bleu) et toutes les couleurs sont perçues comme des mélanges de ces trois couleurs. Les valeurs tristimulus XYZ sont calculées en utilisant les fonctions de mélange de l'observateur standard. Si nous mesurons la pomme d'après l'espace couleur Yxy, nous obtenons, comme coordonnées de chromacité; les valeurs  $x=0.4832$ ,  $y=0.3045$ , qui correspondent au point (A) du diagramme de la figure 12. La valeur Y (égale à 13.37) indique que la pomme possède une réflectance de 13.37%.

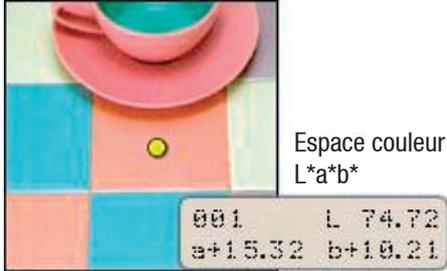


001 Y 13.37  
x .4832 y .3045

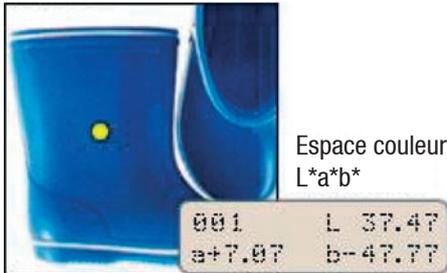


**Partie I**

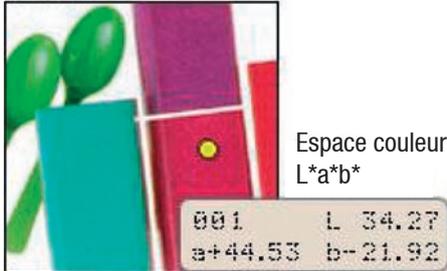
**Carrelage**



**Chaouchouc**



**Plastique**



**Impression**

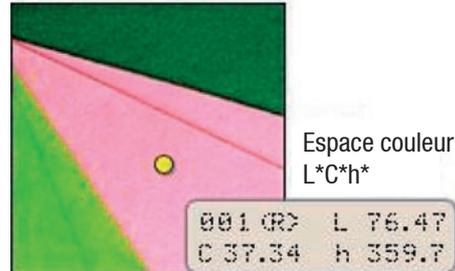


**Mesurons plusieurs couleurs avec un colorimètre.**

Puisque l'œil humain ne peut pas quantifier les couleurs avec précision, utilisons un colorimètre. Nous avons vu dans les pages précédentes que contrairement aux expressions subjectives employées couramment par les individus pour décrire les couleurs, les colorimètres expriment les couleurs par le biais de données numériques conformes aux normes internationales. De cette façon, quiconque peut reconnaître une couleur correctement. De plus, la perception d'un individu pour une seule couleur peut changer en fonction de l'environnement et de la source lumineuse qui éclaire la couleur. Les colorimètres ont des sensibilités comparables à celles de l'œil humain, mais comme les mesures sont toujours prises avec la même source lumineuse et la même méthode d'illumination, les conditions sont toujours les mêmes, qu'il fasse jour ou nuit, que ce soit à l'extérieur ou à l'intérieur. Ce qui permet d'obtenir des résultats plus précis.

A l'aide des espaces couleurs décrits précédemment, vérifions les valeurs numériques des objets ci-dessous.

**Textiles**

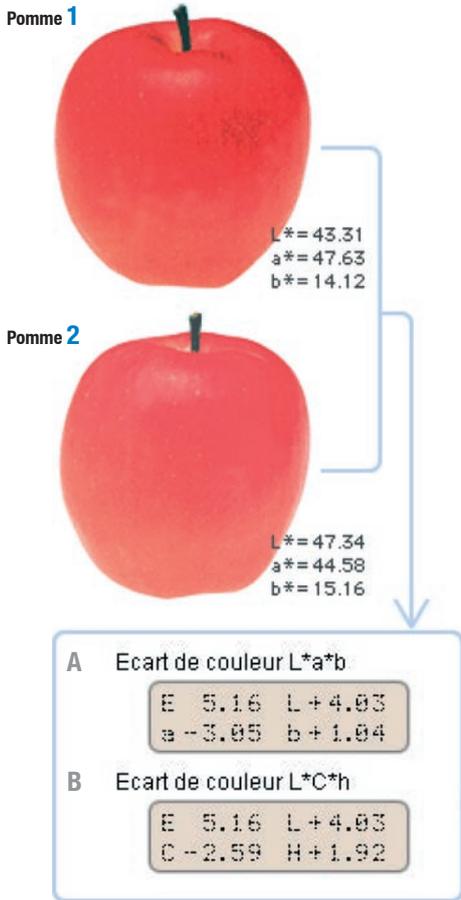


**Peinture**



● indique le point de mesure.

## Partie I

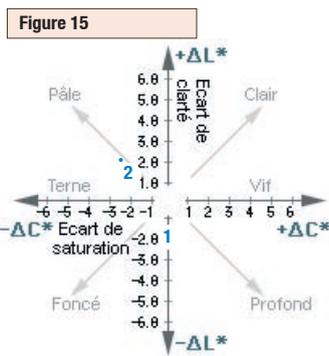
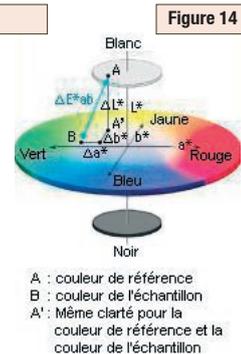
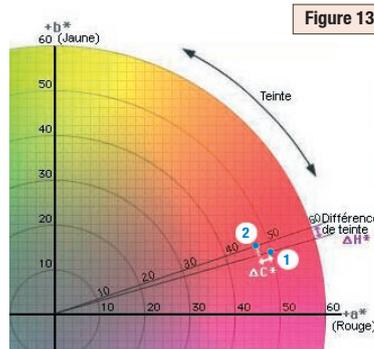


### Les colorimètres savent détecter des différences de couleur minimales.

Les valeurs numériques montrent la différence.

Ecart de couleur

Les différences minimales de couleur sont le principal casse-tête partout où la couleur joue un rôle important. Mais le colorimètre peut détecter facilement ces différences minimales et les exprimer sous forme numérique. Utilisons les espaces couleur L\*a\*b\* et L\*C\*h pour examiner l'écart de couleur entre deux pommes. Prenons la couleur de la pomme 1 (L\*=43.31, a\*=+47.63, b\*=-14.12) comme référence. Si nous mesurons l'écart de couleur de la pomme 2 (L\*=47.34, a\*=+44.58, b\*=+15.16) par rapport à la couleur de la pomme 1, nous obtenons les résultats affichés dans le cadre (A et B) ci-dessous. Le diagramme de la figure 13 montre aussi cette différence de couleur. Le diagramme de la figure 14 permet de mieux voir l'écart de couleur dans l'espace couleur L\*a\*b\*.



Dans l'espace couleur L\*a\*b\*, l'écart de couleur peut être exprimé par une seule valeur numérique,  $\Delta E^*_{ab}$ , qui indique de combien et non pas comment ces deux couleurs sont différentes.  $\Delta E^*_{ab}$  est défini par l'équation suivante :  $\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$ . Si nous prenons les valeurs affichées dans le tableau A ( $\Delta L^* = +4.03$ ,  $\Delta a^* = -3.05$ , et  $\Delta b^* = +1.04$ ), l'équation ci-dessus montre que  $\Delta E^*_{ab} = 5.16$ , ce qui correspond à la valeur affichée en haut et à gauche du tableau A. Si nous mesurons l'écart de couleur des deux pommes dans l'espace couleur L\*C\*h, nous obtenons les résultats affichés dans le tableau B ci-dessous. La valeur  $\Delta L^*$  est la même que celle obtenue dans l'espace couleur L\*a\*b\*.  $\Delta C^* = -2.59$  indique que la couleur de la pomme 2 est moins saturée. L'écart de teinte entre les deux pommes,  $H^*$  (défini par l'équation  $\Delta H^* = [(\Delta E^*_{ab})^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2]^{1/2}$ ), est de +1.92, ce qui signifie d'après la figure 13 que la couleur de la pomme 2 est plus près de l'axe +b\*, donc plus jaune. Bien que les mots ne soient pas aussi précis que les chiffres, nous pouvons utiliser des mots pour décrire des écarts de couleur. La figure 15 montre quelques termes utilisés pour décrire les écarts de clarté et de saturation.

Mais sans ajouter de modificatif supplémentaire (à peine, très, etc.) il n'est pas possible de voir le degré des écarts de couleur. Si nous regardons les valeurs rapportées sur le graphique pour les deux pommes, nous constatons que la couleur de la pomme 2 est plus „pâle“ que celle de la pomme 1; bien que l'écart de saturation ne soit pas très important, nous pouvons ajouter un modificatif pour indiquer le degré d'écart de saturation et dire que la pomme 2 est „un peu plus pâle“ que la pomme 1.

• „ $\Delta$ “ (delta) exprime l'écart de couleur.

**Partie I**

**Contrôle de la couleur dans l'imprimerie**



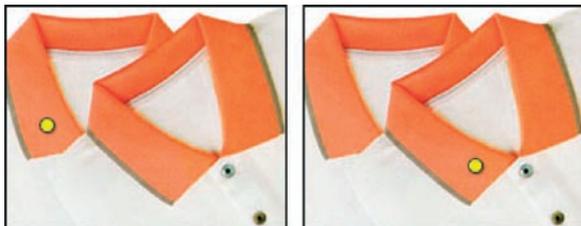
E	0.77	L	-0.32
a	-0.01	b	+0.70

$\Delta E^*_{ab}=0.77$   
 $\Delta L^*=-0.32$   
 $\Delta a^*=-0.01$   
 $\Delta b^*=-0.70$

**Deux couleurs identiques pour l'œil humain sont différentes pour le colorimètre**

Même si deux couleurs semblent identiques pour l'œil humain, comme dans notre exemple des deux pommes rouges Part I-11, des écarts sensibles apparaissent quand on les mesure avec un colorimètre. De plus, le colorimètre exprime exactement de tels écarts sous forme numérique. Supposons que, pour une quelconque raison, on expédie un produit sans remarquer que la couleur est erronée. Le client constate alors l'erreur et retourne le produit, à la suite de quoi l'entreprise expéditrice tout entière (pas seulement les services de vente et de production) en subira les conséquences. Le contrôle des couleurs joue donc un rôle très important dans la prévention de ce type de problèmes.

**Contrôle de la couleur dans le textile**



E	0.18	L	+0.11
a	-0.06	b	+0.13

$\Delta E^*_{ab}=0.18$   
 $\Delta L^*=0.11$   
 $\Delta a^*=-0.06$   
 $\Delta b^*=0.13$

**Contrôle de la couleur dans les produits plastique**



E	0.15	L	-0.08
a	-0.02	b	+0.13

$\Delta E^*_{ab}=0.15$   
 $\Delta L^*=-0.08$   
 $\Delta a^*=-0.02$   
 $\Delta b^*=0.13$

● indique le point de mesure.

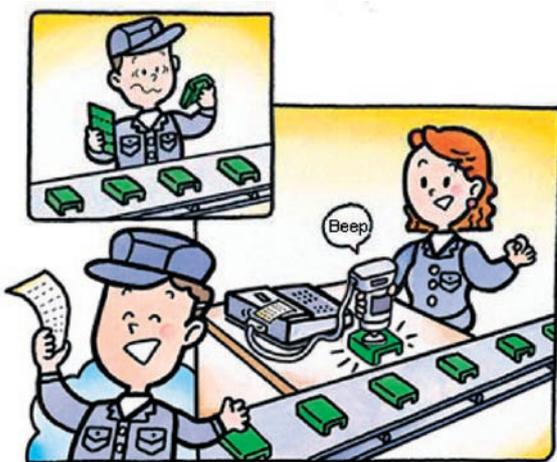
**Un exemple d'utilisation d'un colorimètre dans le contrôle qualité**

Voyons en quoi un colorimètre peut être utilisé pour le contrôle des couleurs.

L'entreprise A fabrique des pièces d'aspect en plastique pour l'entreprise B. Mais l'entreprise B commande aussi ce même type de pièces à d'autres entreprises. L'entreprise A emploie une équipe de contrôleurs spécialisés pour vérifier la couleur des pièces sur la chaîne de production. La vérification se fait par comparaison visuelle du produit à des échantillons de référence.

Le contrôle visuel dépend de l'œil du contrôleur expérimenté, qui doit évaluer si l'écart de couleur se trouve dans les tolérances définies par les échantillons de référence. C'est un travail qui n'est pas à la portée de tous, car il demande des années d'expérience avant d'acquérir une certaine acuité et habileté visuelles. Pour cette raison, il y a très peu de personnes capables de le faire. De plus, ce type de contrôle ne peut se faire que quelques heures par jour ou par semaine. Il dépend aussi de l'âge et de la forme physique du contrôleur.

Parfois l'entreprise B se plaint car les pièces provenant de l'entreprise A ne correspondent pas exactement à celles des autres fournisseurs. L'entreprise B renvoie alors la marchandise à l'entreprise A. C'est alors que l'entreprise A décide d'utiliser des colorimètres pour contrôler la couleur des pièces dans la chaîne de production. Les colorimètres sont devenus des outils de travail indispensables. Ils offrent une grande maniabilité, possibilité de les utiliser sur la chaîne de production, simplicité de manipulation et rapidité de mesure. De plus, les résultats des mesures accompagnent les produits comme preuve du contrôle qualité de l'entreprise.



## Partie **I**

### Caractéristiques des colorimètres

**Les colorimètres possèdent un grand nombre de fonctions remarquables.**

#### Source lumineuse incorporée

La source lumineuse incorporée et le système à double faisceau avec couplage retour assurent l'éclairage uniforme de l'objet pendant les mesures. Les données sont calculées en fonction de l'illuminant standard C ou D<sub>65</sub> de la CIE.

#### Mémorisation des données

Les résultats des mesures sont stockés automatiquement pendant la mesure et peuvent être imprimés instantanément ou plus tard.

#### Transfert des données

Une interface RS-232C permet de transmettre les données et de piloter le colorimètre à distance.

#### Affichage des données

Plutôt que des impressions subjectives, le colorimètre affiche des données numériques précises dans différents espaces couleurs, assurant ainsi la cohérence totale de l'information, et facilite la communication entre les personnes.

#### Angles d'éclairage/lecture

La géométrie d'éclairage/lecture est constante pour assurer des conditions de mesure identiques.

#### „Observateur“ constant

„L'observateur“ du colorimètre se compose d'un jeu de trois photocellules filtrées pour correspondre aux fonctions de mélange de l'Observateur Standard 1931 de la CIE. Ainsi les conditions d'observation sont identiques pour toutes les mesures.

#### Élimination de l'effet de surface et de l'effet de contraste

Comme le colorimètre ne mesure que l'échantillon qui doit avoir la taille minimum spécifiée, les effets dus aux tailles différentes et à l'arrière-plan sont éliminés.

#### Mesure de l'écart de couleur

Le colorimètre mesure et affiche instantanément sous forme numérique l'écart de couleur par rapport à une couleur de référence.



Photographie du colorimètre KONICA MINOLTA CR-400 et CR-410.

# ANALYSE DES COULEURS, PARLONS CLAIR

## ▶▶ Partie II

### Etudions la couleur de plus près

Dans les pages précédentes, nous avons vu la façon dont on perçoit la couleur et la façon dont on l'exprime. Dans cette nouvelle section, nous allons parler des notions de base de la couleur, à savoir pourquoi une pomme est rouge et pourquoi cette même couleur semble différente dans des conditions différentes. La plupart des gens pensent le savoir, et le considèrent comme un acquis. Mais il est surprenant de constater qu'en réalité peu de personnes connaissent et maîtrisent ce sujet. Comme l'on demande d'être beaucoup plus strict quand on contrôle la couleur dans la chaîne de production d'une entreprise ou dans un laboratoire de recherche, il devient indispensable de connaître la nature de la couleur. Allons donc plus loin et pénétrons dans le monde de la couleur.

### ▶▶ Sommaire

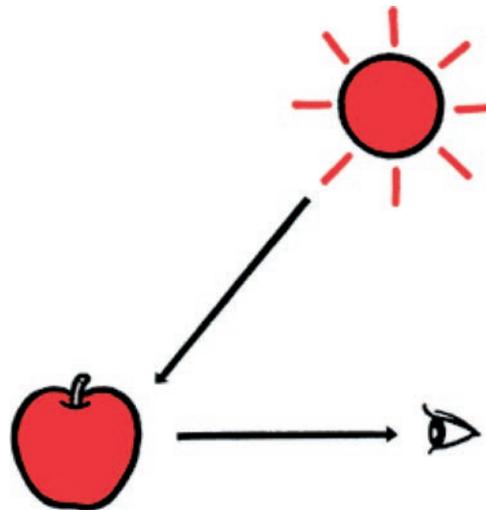
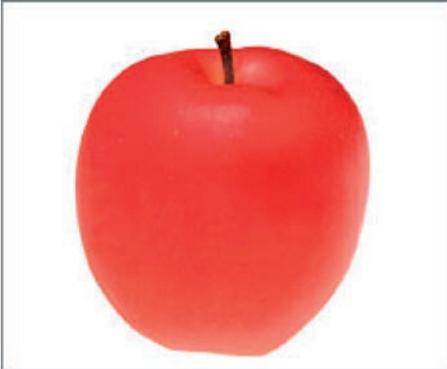
- ▶▶ [Pourquoi une pomme semble-t-elle rouge ?](#)
- ▶▶ [L'être humain perçoit certaines longueurs d'onde comme des couleurs.](#)
- ▶▶ [Voyons comment la lumière qui pénètre dans notre œil nous donne la sensation de couleur et comment le colorimètre mesure la couleur.](#)
- ▶▶ [Que dire des composants de la lumière \(et de la couleur\) ? Voyons un peu avec un spectrocolorimètre.](#)
- ▶▶ [Mesurons plusieurs couleurs à l'aide d'un spectrocolorimètre.](#)
- ▶▶ [Différences entre la méthode tristimulus et la méthode spectrocolorimétrique.](#)
- ▶▶ [Variations dans la couleur perçue en fonction de la source lumineuse ?](#)
- ▶▶ [Un spectrocolorimètre peut même déterminer le métamérisme, un problème complexe.](#)
- ▶▶ [Caractéristiques des spectrocolorimètres.](#)

## Partie II

### Pourquoi une pomme semble-t-elle rouge ?

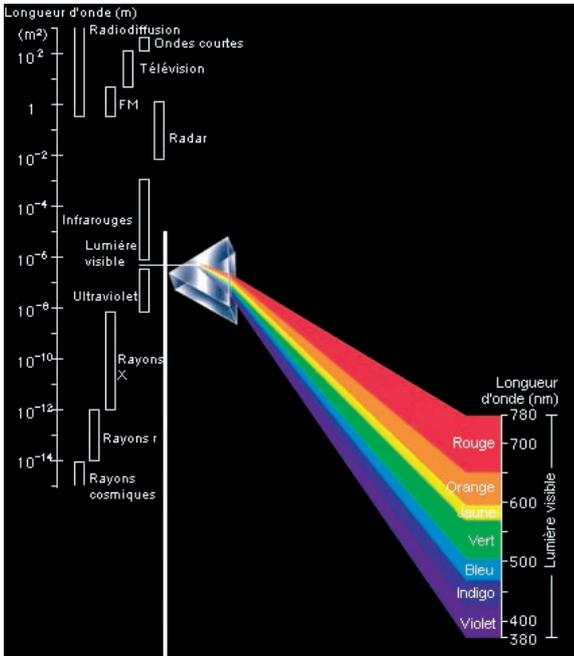
Sans lumière, pas de couleur. Les trois éléments que sont la lumière, la vision et l'objet sont nécessaires à la perception de la couleur.

Dans l'obscurité la plus complète, nous ne pouvons pas reconnaître les couleurs. Si nous fermons les yeux, nous ne pouvons pas voir la couleur d'un objet. Et s'il n'y a pas d'objet, il n'y a pas de couleur. Lumière, vue et objet : sont indispensables pour percevoir la couleur. Mais quels sont les mécanismes qui permettent de distinguer le rouge de la pomme du jaune du citron ?



Partie **II**

**L'être humain perçoit certaines longueurs d'onde comme des couleurs.**



Tout le monde sait que la lumière du soleil qui traverse un prisme, est décomposée en couleur comme un arc-en-ciel.

En séparant la lumière dans ses différentes longueurs d'onde, nous obtenons un spectre. Nous pouvons alors obtenir de nouvelles couleurs en mélangeant les différentes longueurs d'onde selon diverses intensités.

Cette distribution des couleurs est appelée spectre ; la séparation de la lumière dans un spectre est appelée dispersion spectrale. Si l'oeil humain peut voir le spectre de lumière, c'est parce que ses longueurs d'onde spécifiques stimulent la rétine. Le spectre se présente dans l'ordre suivant, selon les différentes longueurs d'onde\*1 de la lumière : rouge, orange, jaune, vert, bleu, indigo et violet. Dans la région où les longueurs d'onde sont les plus grandes, la lumière est rouge ; au contraire, dans la région où les longueurs d'onde sont les plus courtes, la lumière est violette. La région que l'oeil humain peut percevoir est appelée région de lumière visible.

Si nous nous déplaçons vers la zone de longueurs d'onde, nous rentrons dans la zone des infrarouges ; dans le cas contraire, dans la zone des ultraviolets. L'oeil humain ne peut percevoir ni les infrarouges ni les ultraviolets. La lumière représente une partie seulement des différentes ondes électromagnétiques qui se promènent dans l'espace. Le spectre électromagnétique couvre une gamme extrêmement large qui va des ondes radioélectriques dont les longueurs peuvent atteindre plusieurs milliers de kilomètres, jusqu'aux rayons gamma y dont la longueur d'onde est  $10^{-13}$ m et moins. La région de lumière visible représente une toute petite partie comprise approximativement entre 380 et 780nm \*2. La lumière réfléchi par un objet et qui est perçue comme couleur est (sauf la lumière monochromatique artificielle) en mélange de lumière à plusieurs longueurs d'onde situées dans la région visible.

\*1 Longueur d'onde La lumière a des propriétés ondulatoires ; la longueur d'onde est la distance comprise entre les crêtes de deux ondes adjacentes.



\*2 nm (nanomètre) : Unité de mesure souvent utilisée pour les longueurs d'onde de la lumière ; le micromètre (mm) est aussi utilisé parfois.

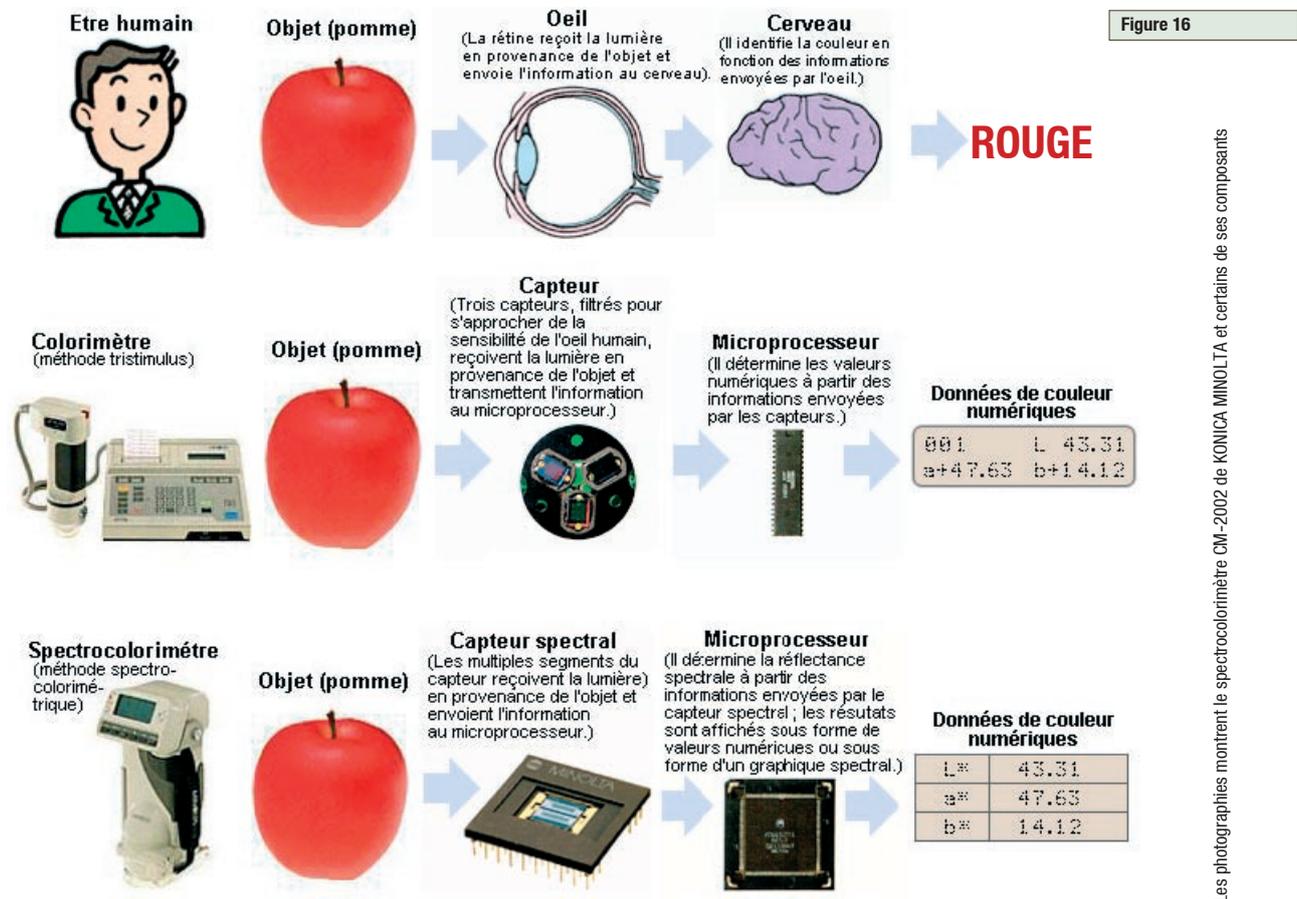
$$1\text{nm} = 10^{-6}\text{mm} = 10^{-3}\mu\text{m}$$

$$1\mu\text{m} = 10^{-3}\text{mm} = 1000\text{nm}$$

## Partie II

### Voyons comment la lumière qui pénètre dans notre oeil nous donne la sensation de couleur et comment le colorimètre mesure la couleur.

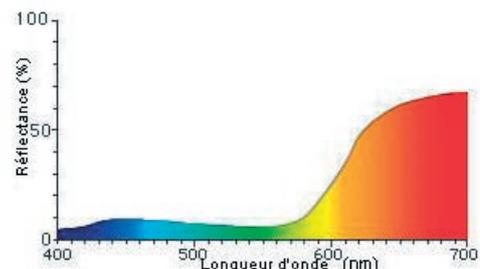
L'œil humain peut voir la lumière dans la région visible; cependant „lumière“ n'est pas synonyme de „couleur“. La lumière est définie comme étant „un rayonnement qui stimule la rétine de l'œil et rend possible la vue“. La stimulation de l'œil parvient au cerveau et c'est là que naît l'idée de „couleur“, qui constitue la réponse du cerveau à l'information envoyée par l'œil. Comme nous avons vu dans la figure 16, le fonctionnement du colorimètre est comparable au principe de la perception des couleurs par l'œil humain. La méthode utilisée par les colorimètres de la Partie I est appelée méthode tristimulus. Les colorimètres qui utilisent cette méthode mesurent la lumière de façon à correspondre à la sensibilité de l'œil humain. Dans les chapitres suivants, nous allons étudier une autre méthode pour mesurer la couleur : la spectrorimétrie. Les instruments qui utilisent cette méthode mesurent les caractéristiques spectrales de la lumière puis calculent les valeurs tristimulus selon les fonctions de l'Observateur Standard de la CIE. En plus des valeurs numériques dans différents espaces couleur, les instruments spectrorimétriques affichent des données spectrales qui apportent des informations plus détaillées.



Les photographies montrent le spectrorimètre CM-2002 de KONICA MINOLTA et certains de ses composants

#### Courbe de réflectance spectrale

Le spectrorimètre affiche les données de couleur numériques et la courbe spectrale de réflectance de la couleur. Les couleurs sont des mélanges de différentes longueurs d'onde de lumière dans diverses proportions. Un spectrorimètre mesure la lumière réfléchie par un objet pour chaque longueur d'onde ou pour chaque gamme de longueur d'onde. Ces données sont ensuite affichées sur un graphique qui donne des informations plus détaillées sur la nature de la couleur de l'objet.



## Partie II

### Que dire des composants de la lumière (et de la couleur) ? Voyons un peu avec un spectrorimètre.

Un objet absorbe une partie de la lumière qu'il reçoit et en réfléchit le reste. La lumière réfléchie pénètre dans l'œil humain et la stimulation qui en résulte au niveau de la rétine est reconnue par le cerveau comme la „couleur“ de l'objet. Chaque objet absorbe et réfléchit différentes quantités de lumière à plusieurs niveaux du spectre ; ces différences d'absorption et de réflexion font que les couleurs des objets sont différentes.

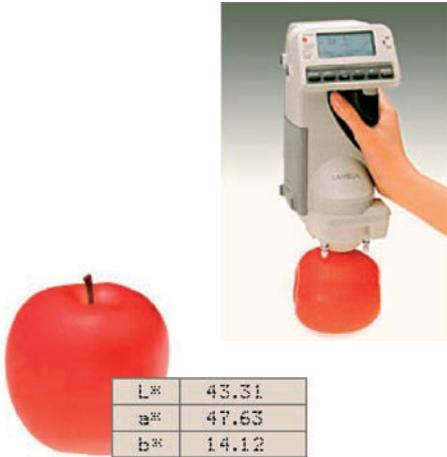


Figure 17 a

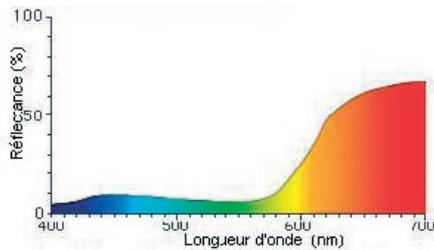


Figure 17 b

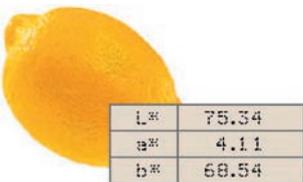
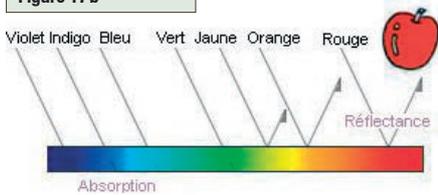
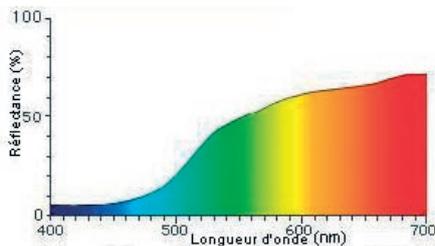


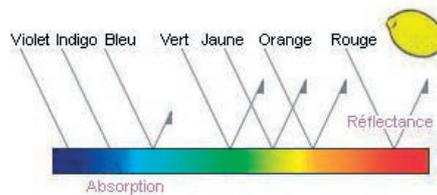
Figure 18 a



### Citron

Si nous mesurons un citron, nous obtenons la courbe spectrale de la figure 18a. En regardant ce graphique, nous constatons que dans la zone correspondant à la longueur d'onde du jaune et du rouge, la réflectance (quantité de lumière réfléchie) est élevée, tandis que dans les zones de longueurs d'onde de l'indigo et du violet, la réflectance est faible. La figure 18b montre que le citron réfléchit la lumière dans les zones de longueurs d'onde du vert, du jaune et du rouge et absorbe la lumière dans les zones de longueur d'onde de l'indigo et du violet. La nature de la couleur du citron est ainsi. Un tel niveau de précision ne peut être atteint ni par l'œil humain, ni par les colorimètres présentés dans la Partie I ; le spectrorimètre est seul capable d'atteindre ce haut niveau de précision.

Figure 18 b



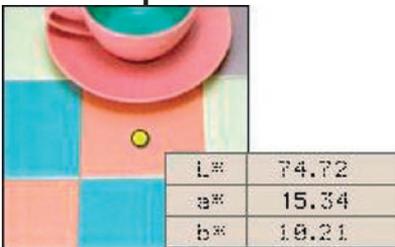
**Partie II**

**Mesurons plusieurs couleurs à l'aide d'un spectrocolorimètre.**

Quand nous mesurons des objets à l'aide d'un colorimètre (voir Partie I-10) in Partie I, les résultats sont affichés seulement sous forme de données numériques dans différents espaces couleur. Avec un spectrocolorimètre, nous pouvons obtenir non seulement le même type de données mais aussi afficher la courbe spectrale de réflectance pour la couleur étudiée. De plus, comme le spectrocolorimètre dispose de capteurs de haute précision et les données pour de nombreux illuminants, la précision des mesures est bien plus grande que celle d'un colorimètre tristimulus.

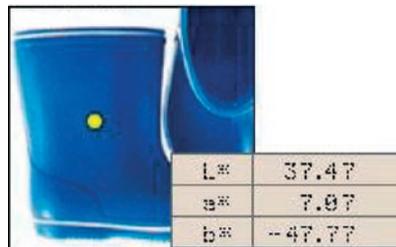
● indicates the measurement point

**A : Céramique**



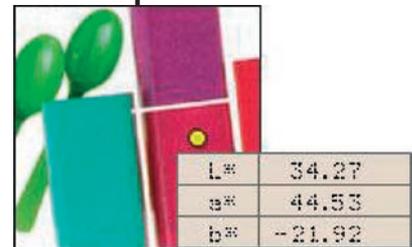
On mesure un carrelage rose. Si nous regardons la courbe spectrale de réflectance, nous remarquons que le carrelage réfléchit la lumière à toutes les longueurs d'onde et que la réflectance spectrale dans les longueurs d'onde supérieures à 600nm (zone du rouge et du orange) est un peu plus élevée que dans les autres zones.

**B : Caoutchouc**



C'est un bleu vif. La réflectance spectrale dans la zone de longueur d'onde de 400 à 500nm (zone de l'indigo et du bleu) est élevée alors que la réflectance spectrale pour les longueurs d'onde supérieures à 550nm est faible. Presque toute la lumière dans cette zone est absorbée.

**C : Plastique**



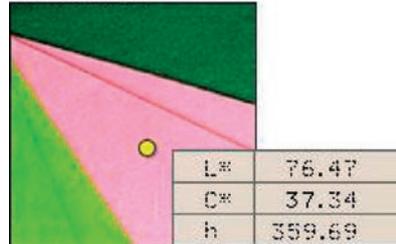
On mesure un objet en plastique couleur pourpre. Les zones de longueurs d'onde aux alentours de 400 et 700nm ont une forte réflectance spectrale, tandis que celles comprises entre 500 et 600nm ont une réflectance spectrale faible ; dans cette zone, la lumière est absorbée.

**D : Impression**



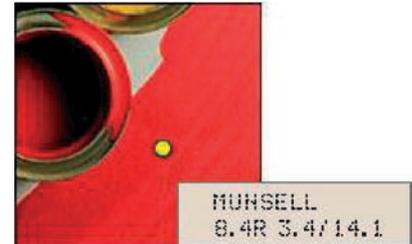
On mesure le logo bleu. La réflectance spectrale est à peu près la même que celle de l'exemple B. Mais, si nous regardons de plus près, nous constatons que la réflectance spectrale dans la zone de longueur d'onde supérieure à 600nm est encore plus faible que dans B. Ici, nous avons un bleu sensiblement plus foncé.

**E : Textiles**

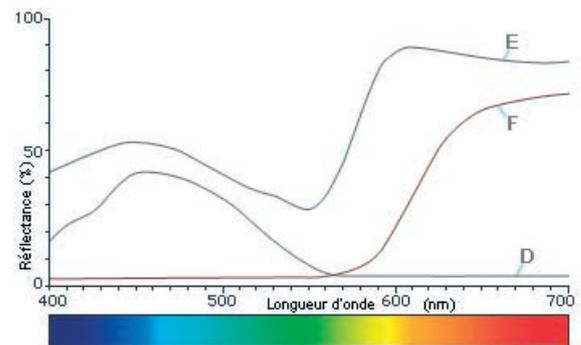
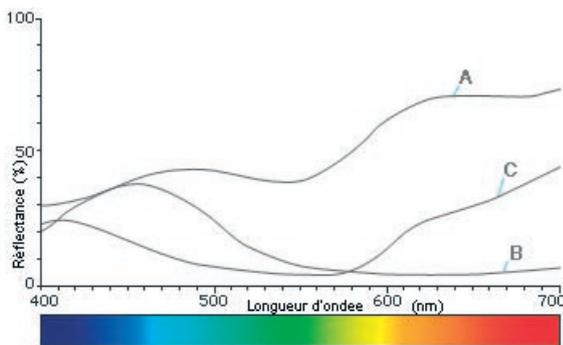


On mesure le tissu rose. La réflectance spectrale dans toute la gamme de longueurs d'onde est élevée, surtout autour de 600nm. D'autre part, la réflectance spectrale est plus faible autour de 550nm, ce qui permet de dire que les lumières jaune et verte sont absorbées.

**F : Peinture**



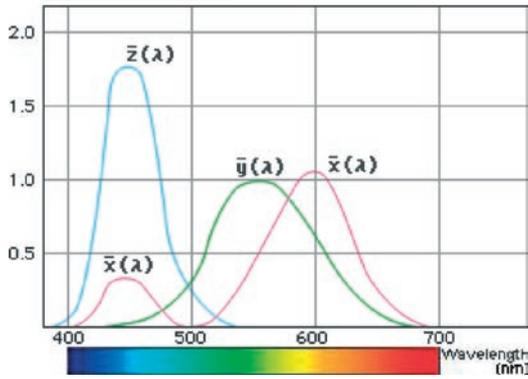
C'est une peinture rouge vif. Seule la zone comprise entre 600 et 700nm (zone du rouge et du orange) possède une forte réflectance spectrale ; presque toute la lumière dont la longueur d'onde est inférieure à 600nm est absorbée.



## Partie II

### Différences entre la méthode tristimulus et la méthode spectrorimétrique

Figure 19



Nous avons parlé des couleurs du spectre (rouge, orange, jaune, vert,...) dans la Part II-2. Parmi ces couleurs, le rouge, le vert et le bleu sont en général considérées comme les trois couleurs primaires de la lumière. En effet, l'œil humain possède des cellules appelées cônes qui sont sensibles à ces trois couleurs primaires et qui nous permettent de percevoir la couleur. Sur le graphique de la figure 19 sont tracées les courbes de la sensibilité spectrale de l'œil humain selon la définition de l'Observateur Standard 1931 de la CIE. Ces courbes représentent les fonctions de mélanges.  $\bar{x}(\lambda)$  a une forte sensibilité dans la zone du rouge,  $\bar{y}(\lambda)$  dans la zone du vert, et  $\bar{z}(\lambda)$  dans la zone du bleu. Les couleurs que nous percevons résultent de proportions (stimulus) de  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ , et  $\bar{z}(\lambda)$  de la lumière que nous recevons d'un objet.

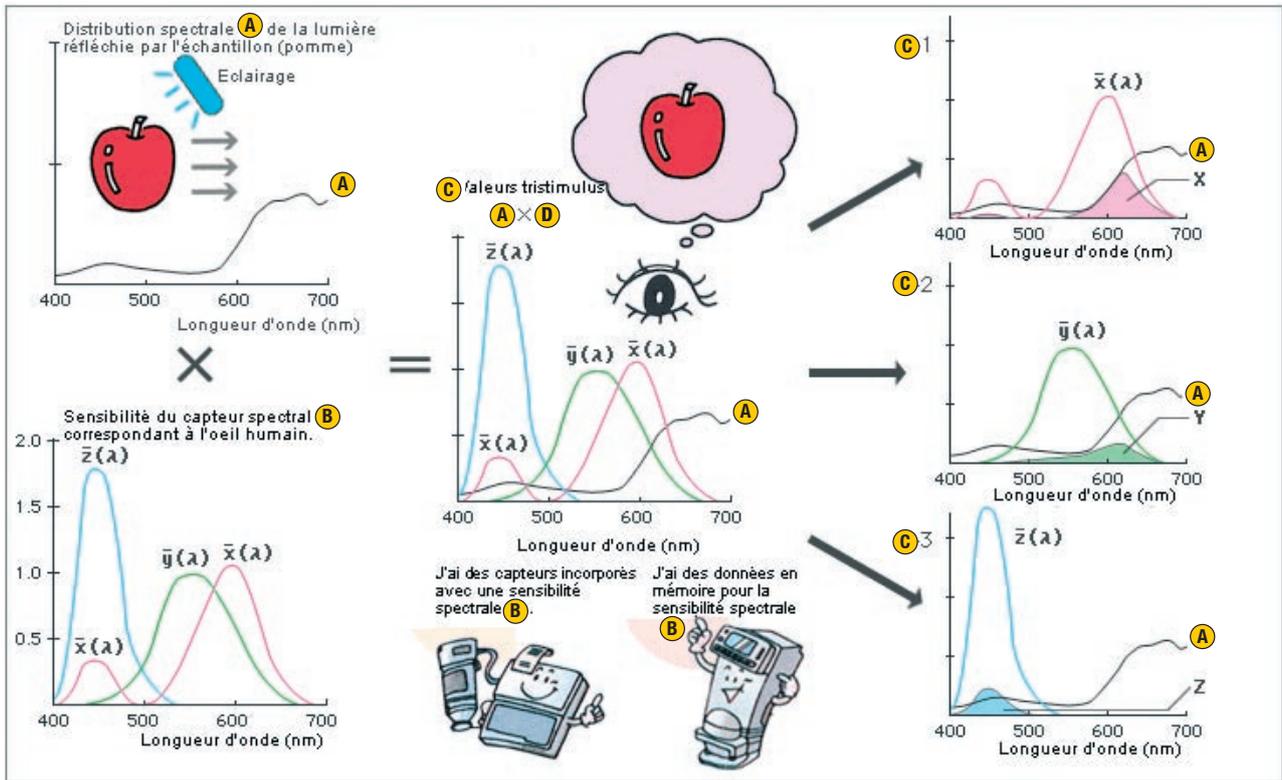
Figure 20

<p><b>20a : Oeil humain</b></p> <p>Echantillon (pomme)</p>	<p><b>Eclairage</b></p> <p>Oeil</p> <p>Cerveau</p> <p>Rouge Vert Bleu</p> <p>Trois types de cônes dans la rétine</p> <p>Le "rouge" est perçu.</p>	<p>Voilà comment je vois la couleur de la pomme.</p> <p>L'œil humain a une grande capacité pour comparer les couleurs, mais il existe des différences selon les individus et les caractéristiques de la mémoire.</p>
<p><b>20b : Méthode tristimulus</b></p> <p>Echantillon (pomme)</p>	<p><b>Eclairage</b></p> <p>Récepteur</p> <p>Microprocesseur</p> <p>Capteur <math>\bar{x}(\lambda)</math> → X = 21.21 Capteur <math>\bar{y}(\lambda)</math> → Y = 13.37 Capteur <math>\bar{z}(\lambda)</math> → Z = 9.32</p> <p>Trois capteurs correspondant aux cônes de l'œil humain.</p> <p>Valeurs numériques Les valeurs tristimulus X, Y et Z sont calculées et peuvent ensuite être converties dans d'autres espaces couleurs.</p>	<p>Voilà comment je mesure la couleur. C'est le même principe que l'œil humain.</p> <p>Les instruments tristimulus ont l'avantage d'être compacts et portables. Ils sont surtout utilisés pour les mesures d'écart de couleur dans la chaîne de production ou de contrôle.</p>
<p><b>20c : (méthode spectrorimétrique)</b></p> <p>Echantillon (pomme)</p>	<p><b>Eclairage</b></p> <p>Récepteur</p> <p>Microprocesseur</p> <p>Capteur spectral (capteurs multiples, sensibles pour chaque longueur d'onde).</p> <p>Valeurs numériques X = 21,21 Y = 13,37 Z = 9,32 Les valeurs tristimulus X, Y et Z sont calculées et peuvent ensuite être converties dans d'autres espaces couleurs aussi bien qu'utilisées par différentes fonctions de l'instrument.</p> <p>Courbe spectrale</p>	<p>J'offre des mesures plus précises avec mes capteurs multiples.</p> <p>Les spectrorimètres offrent une très grande précision et une grande capacité pour les mesures absolues des couleurs. Ils sont surtout utilisés dans le domaine de la recherche.</p>

Comme le montre la figure 20b, la méthode tristimulus mesure la lumière réfléchiée par un objet. Pour ce faire, on utilise trois capteurs qui sont filtrés pour que leur sensibilité corresponde à celle de l'œil humain  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ , et  $\bar{z}(\lambda)$ , puis on mesure directement les valeurs tristimulus X, Y et Z. Par contre, la méthode spectrorimétrique (voir figure 20c) utilise des capteurs multiples (40 dans le CM-2002) pour mesurer la réflectance spectrale d'un objet pour chaque longueur d'onde. Le microprocesseur de l'appareil calcule par intégration les valeurs tristimulus à partir des données de réflectance spectrale. Pour la pomme de l'exemple, les valeurs tristimulus sont les suivantes : X=21.21, Y=13.37, et Z=9.32. Ces valeurs peuvent être utilisées pour calculer des valeurs dans d'autres espaces couleur Yxy ou L\*a\*b\*.

## Partie II

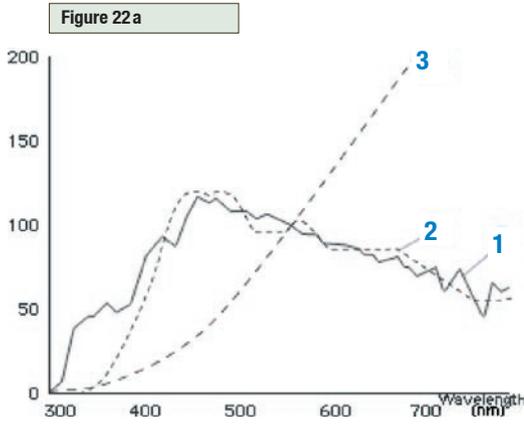
Figure 21



La figure 21 montre la façon de déterminer les valeurs tristimulus X, Y, et Z. La lumière réfléchiée par l'objet et dont la distribution spectrale est (A) arrive aux capteurs de sensibilité spectrale (B) où des filtres séparent la lumière en zones de longueur d'onde qui correspondent aux trois couleurs primaires. Puis les capteurs se chargent de fournir les valeurs tristimulus (C) (X, Y et Z). Ainsi,  $C = A \times B$ . Les résultats des trois zones de longueur d'onde de (C) apparaissent aussi comme suit : (C-1) :  $\bar{x}(\lambda)$ , (C-2) :  $\bar{y}(\lambda)$ , et (C-3) :  $\bar{z}(\lambda)$ . Les valeurs tristimulus sont égales aux intégrations de la zone hachurée sur les trois graphiques.

## Partie II

### Variations dans la couleur perçue en fonction de la source lumineuse ?



Comme nous avons vu dans la Partie I-2, la couleur d'un objet peut sembler différente sous plusieurs sources lumineuses. Pour mesurer la couleur, la CIE a défini les caractéristiques spectrales de différents types d'illuminants. La figure 22 montre la distribution d'énergie spectrale pour quelques-uns de ces illuminants. Normalement, les instruments de mesure de la couleur incorporent une source lumineuse. Cette source peut correspondre ou non à l'un des illuminants de la CIE. Mais ceci est sans importance, puisque l'instrument effectue la mesure à l'aide de sa source lumineuse intégrée, puis corrige ces valeurs en fonction des données de distribution spectrale et d'énergie enregistrées en mémoire pour l'illuminant voulu.

Figure 22a : Illuminants standards

**1** Illuminant standard D65 Lumière du jour moyenne (comprenant la zone des ultraviolets) avec une température de couleur corrélée de 6504K; utilisé pour mesurer des échantillons qui sont éclairés par la lumière du jour et les rayons ultraviolets. **2** Illuminant standard C Lumière du jour moyenne (ne comprenant pas la zone des ultraviolets) avec une température de couleur corrélée de 6774K; utilisé pour mesurer des échantillons qui sont éclairés par la lumière du jour dans les limites de la région visible, sans rayons ultraviolets. **3** Illuminant standard A Lumière incandescente (type tungstène) avec une température de couleur corrélée de 2856K; utilisé pour mesurer les échantillons qui sont éclairés par des lampes à incandescence.

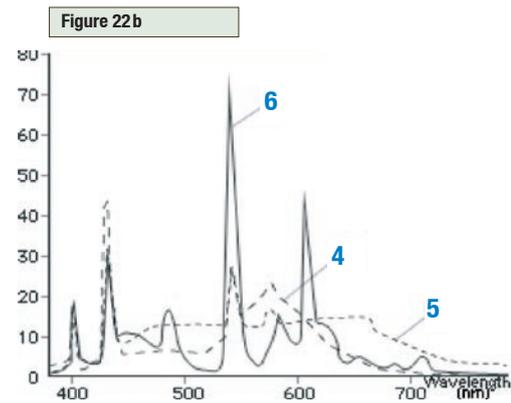


Figure 22b : Illuminants fluorescents (recommandé par le JIS)

**4** F6 : Blanc froid (CWF)  
**5** F8 : Lumière du jour  
**6** F10 : Blanc froid à trois bandes étroites (équivalent au TL84)

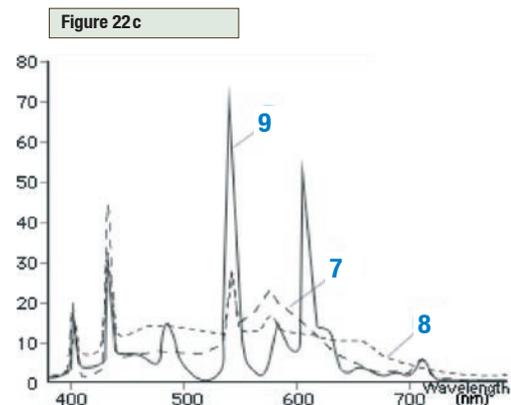


Figure 22c : Illuminants fluorescents (recommandé par la CIE)

**7** F2 : Blanc froid (CWF)  
**8** F7 : Lumière du jour  
**9** F11 : Blanc froid à trois bandes étroites (équivalent au TL84)

J'ai seulement des données pour **1** et **2**.



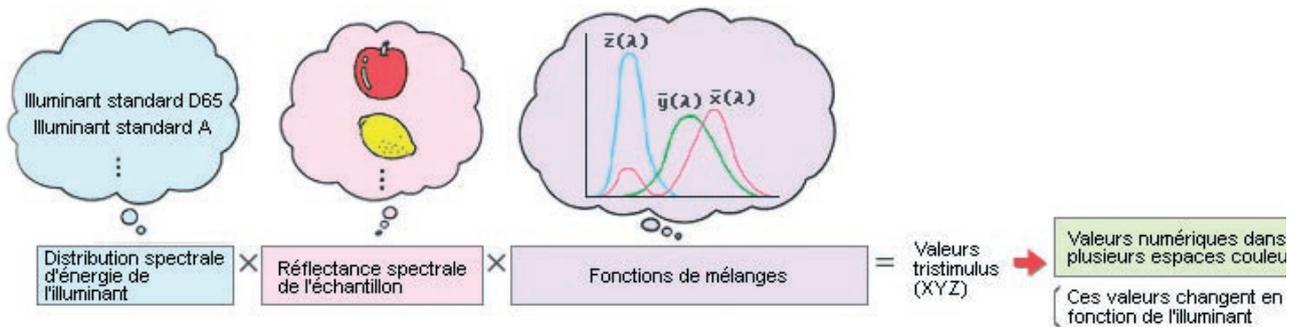
J'ai des données pour tous du **1** au **9**.



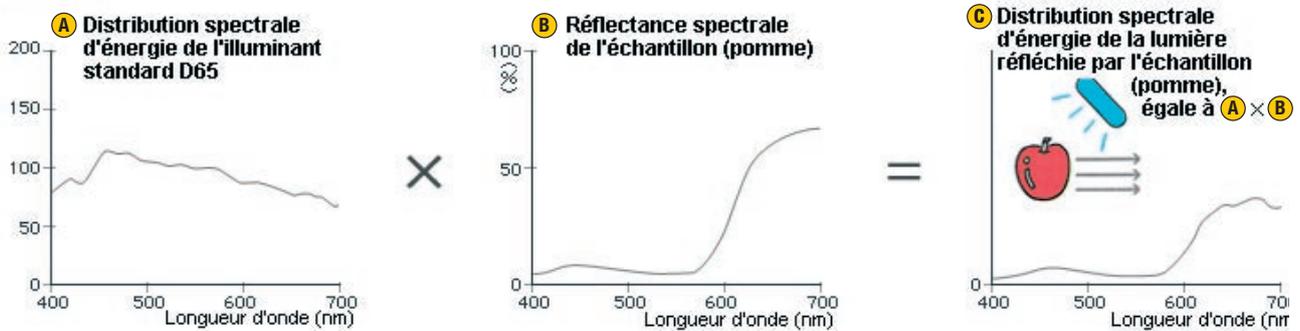
## Partie II

Examinons ce qui se passe lorsque nous mesurons notre échantillon (une pomme) à l'aide d'un spectrorimètre sous l'illuminant standard D65 (exemple 1) et l'illuminant standard A (exemple 2).

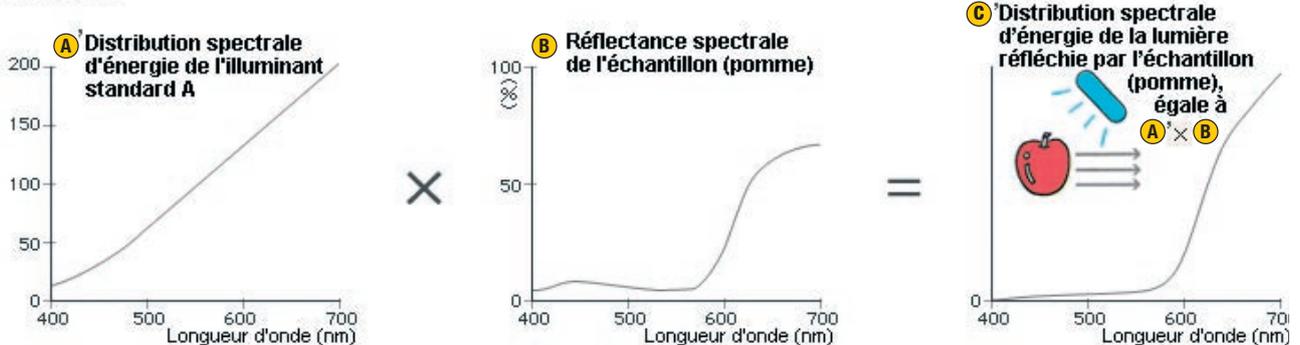
Dans l'exemple 1, **A** est la courbe de la distribution spectrale d'énergie de l'illuminant standard D65 et **B** est la courbe spectrale de réflectance de la pomme. **C** est la courbe de la distribution spectrale d'énergie de la lumière réfléchie par l'échantillon (pomme), égale au produit  $A \times B$ . Dans l'exemple 2, **A** est la courbe de distribution spectrale de l'illuminant standard **A** et **B** est la courbe spectrale de réflectance de la pomme, qui est le même que dans l'exemple 1. **C'** est la courbe de la distribution spectrale d'énergie de la lumière réfléchie par l'échantillon (pomme), égale au produit  $A' \times B$ . Si nous comparons **C** et **C'**, nous constatons que la lumière dans la zone du rouge est plus forte en **C'**, ce qui signifie que la pomme semble plus rouge sous l'illuminant standard **A**. Ceci montre que la couleur d'un objet change en fonction de la lumière qui l'éclaire. Le spectrorimètre mesure la réflectance spectrale de l'échantillon; il peut ensuite calculer les valeurs colorimétriques numériques dans plusieurs espaces couleurs en utilisant les données de distribution spectrale d'énergie de l'illuminant sélectionné et les données pour les fonctions de mélange de l'Observateur Standard.



### Exemple 1



### Exemple 2



## Partie II

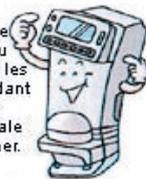
### Un spectrocolorimètre peut même déterminer le métamérisme, un problème complexe



Je ne peux pas apprécier le métamérisme.



Je peux calculer le métamérisme et tu peux voir de suite les résultats en regardant les graphiques de réflectance spectrale que je peux afficher.



Dans le chapitre précédent, nous avons vu que la couleur d'un objet dépend de la source lumineuse qui l'éclaire. A ce problème vient se rattacher le fait que les couleurs de deux objets peuvent sembler identiques à la lumière du jour, mais différentes à la lumière artificielle. Le phénomène où deux couleurs semblent identiques sous une lumière et différentes sous une autre est appelé métamérisme. Quand on compare deux objets métamériques, les caractéristiques de réflectance spectrale des couleurs sont différentes, mais les valeurs tristimulus sont les mêmes sous une source lumineuse et différentes sous une autre source. Ce problème vient souvent de l'utilisation de pigments ou de matériaux différents.

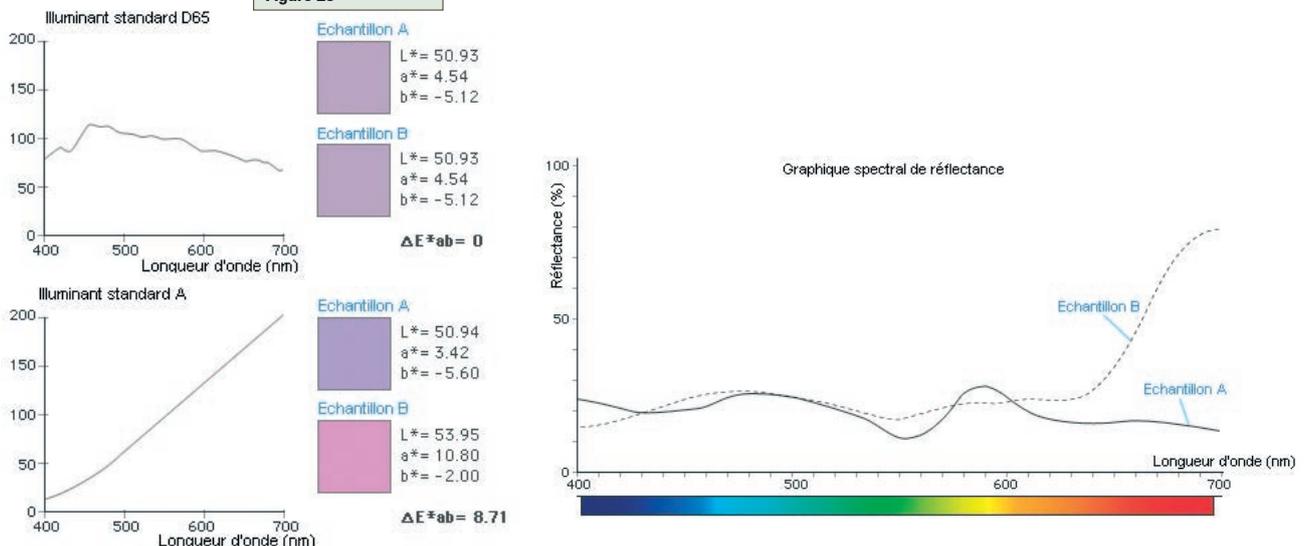
Regardons la figure 23. En regardant les courbes spectrales de réflectance des deux échantillons, nous constatons immédiatement que ces deux échantillons sont différents. Cependant, les résultats des mesures de l'espace couleur  $L^*a^*b^*$  sous l'illuminant standard D65 sont identiques. Par contre, ces valeurs sont différentes sous l'illuminant standard A. Ceci conduit à dire que même si les deux échantillons ont des caractéristiques de réflectance spectrale différentes, ils semblent cependant identiques à la lumière du jour (illuminant standard D65).

Comment donc déterminer le métamérisme ? Pour ce faire, il faut mesurer les échantillons sous deux ou plusieurs illuminants avec des distributions spectrales d'énergie très différentes, comme l'illuminant standard D65 et l'illuminant standard A. Bien que le colorimètre et le spectrocolorimètre utilisent une seule source lumineuse, ils peuvent calculer les résultats des mesures en fonction des données de l'illuminant stockées en mémoire et donner ainsi des résultats sous plusieurs illuminants.

En principe, les colorimètres tristimulus ne peuvent prendre les mesures que sous les illuminants standards C et D65. Ces deux illuminants correspondent à la lumière du jour et ont des distributions spectrales d'énergie très proches. Par contre, le spectrocolorimètre peut calculer le métamérisme car il est équipé d'une vaste gamme d'illuminants avec différentes distributions spectrales d'énergie. De plus, le spectrocolorimètre peut afficher des courbes spectrales de réflectance, qui permettent de voir immédiatement si les couleurs des deux échantillons sont différentes.

\* Pour des raisons liées au processus d'impression, il se peut que les couleurs ne soient pas reproduites exactement.

Figure 23



## Partie II

### Caractéristiques des spectrorimètres.

La gamme de spectrorimètres Konica Minolta offre une large variété de fonction et une extrême précision.

#### Illuminant

Les données pour une large gamme d'illuminants de la CIE sont stockées en mémoire pour permettre le calcul des résultats des mesures sous plusieurs illuminants.

#### Mémorisation des données

Les données de mesure sont automatiquement sauvegardées en mémoire pendant la prise de mesures.

#### Transfert des données

Une interface RS-232C permet de transmettre les données et de piloter le spectrorimètre à distance.

#### Affichage de la courbe spectrale de réflectance

Les résultats des mesures peuvent être affichés sur une courbe spectrale de réflectance.

#### Angles d'éclairage/lecture constants

La géométrie d'éclairage/lecture est constante pour assurer des conditions de mesure identiques..

#### Capteur spectral

Le capteur spectral comprend de nombreux segments qui permettent de mesurer la lumière à chaque intervalle de longueur d'onde, pour plus de précision.

#### Espace couleur

Les données des mesures sont affichées sous forme numérique dans une grande variété d'espaces colorimétriques tels que Yxy, L\*a\*b\*, Hunter Lab, etc.

#### Mesure d'écart de couleur

L'écart de couleur par rapport à une couleur de référence peut être mesuré et affiché immédiatement sous forme numérique ou sur une courbe spectrale de réflectance.



Photographie :  
Spectrorimètre CM-2600d  
de Konica Minolta.



# PRECISE COLOR COMMUNICATION

## »» Part III

### Connaissances de base et choix du spectrocolorimètre

Après une première approche simplifiée de la couleur dans les **Part I** et **Part II**, nous allons découvrir maintenant que les couleurs peuvent être analysées sous différents angles par des spectrocolorimètres. Etudions particulièrement les couleurs et les critères spéciaux qui permettent de sélectionner le spectrocolorimètre le plus adapté à votre mesure de couleurs.

### »» Sommaire

- »» [Comparons les colorimètres et les spectrocolorimètres](#)
- »» [Couleurs et brillance \(Méthodes SCE et SCI\)](#)
- »» [Mesurons des couleurs spéciales](#)
- »» [Notes concernant les conditions de mesure et les objets mesurés](#)

Partie **III**

**Comparons les colorimètres et les spectrocolorimètres**



Le colorimètre est principalement utilisé en production pour du contrôle qualité. Il mesure l'écart de couleur par rapport à une couleur de référence.

Le spectrocolorimètre est utilisé pour une analyse de haute précision et pour une gestion très précise de la couleur, principalement pour des applications dans le laboratoire, pour la recherche et le développement.

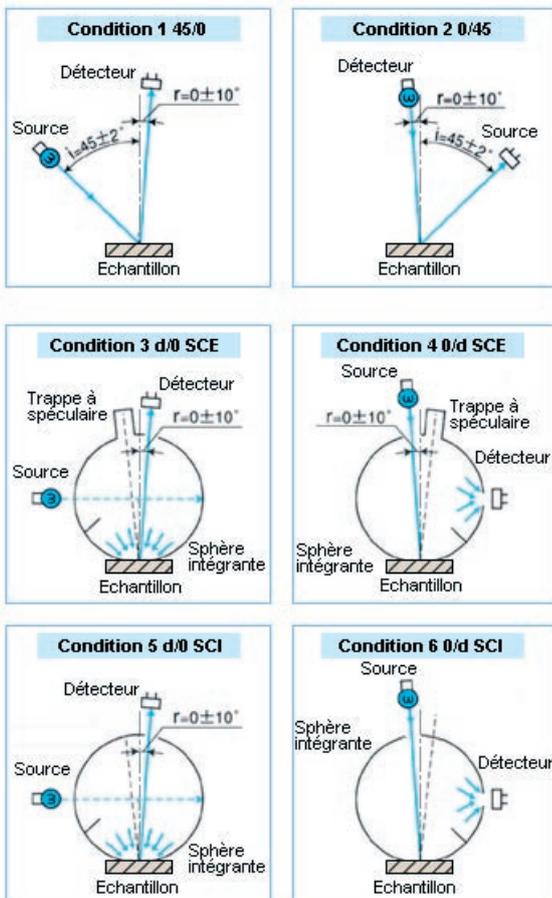


Comme décrit dans la **Part II**, les caractéristiques du colorimètre tristimulus peuvent se résumer de la façon suivante ; son encombrement est minime, il a une grande mobilité, et son utilisation est simple. Les colorimètres peuvent déterminer facilement des données tristimulus. Cependant, le colorimètre ne peut pas effectuer d'analyses complexes des couleurs, comme le métamérisme, ou la force colorante. Le spectrocolorimètre est très précis dans son analyse de la couleur et permet une plus grande adaptabilité. Il convient à l'analyse complexe des couleurs parce qu'il en détermine la réflectance spectrale à chaque longueur d'onde. Avant de faire un choix entre colorimètre et spectrocolorimètre, nous conseillons de bien évaluer le besoin que l'application spécifique requiert.

**Géométries optiques**

Nous avons expliqué que la couleur de l'objet varie en fonction des conditions d'observation, des angles de vision et d'éclairage (voir Part I-2). Quand un appareil mesure un échantillon, l'angle sous lequel la lumière incidente atteint l'objet coloré, et l'angle sous lequel cet objet est observé s'appelle la géométrie optique de mesure.

Figure 24



**Système à éclairage dirigé**

Dans ce type de configuration, l'éclairage provient d'une direction, il est dirigé – canalisé. Avec la géométrie 45/0, l'objet est éclairé sous une incidence de 45±2 degrés par rapport à la normale, et est mesuré à 0±10 degrés. Avec la géométrie 0/45, l'objet est éclairé sous une incidence de 0±10 degrés par rapport à la normale, et est mesuré à 45±2 degré.

**Système à sphère d'intégration**

Dans ce type de configuration, une sphère d'intégration sert à éclairer ou observer l'objet. (Une sphère d'intégration est une sphère creuse dont la surface intérieure est recouverte d'un matériau blanc, diffusant, comme le sulfate de baryum. La lumière est donc uniformément diffusée par les parois). Avec la géométrie d/0, l'objet est éclairé uniformément de manière diffuse, et est mesuré à la normale (0 degré). Avec la géométrie 0/d, l'objet est éclairé à la normale (0 degré) et est mesuré en collectant la lumière réfléchiée dans toutes les directions par la sphère. (La lumière réfléchiée à +/- 5 degrés de la direction spéculaire peut être incluse ou exclue en utilisant la fonction SCE/SCI.)

## Partie III

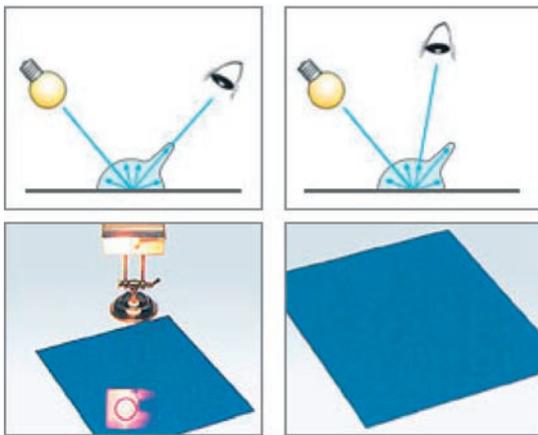
### Couleurs et brillance (Méthodes SCE et SCI)



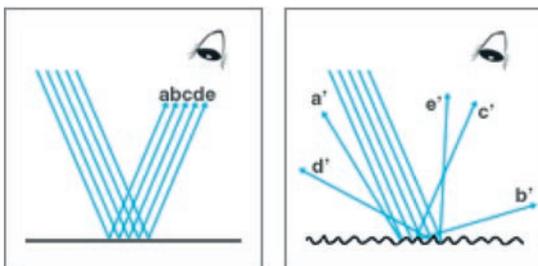
Nous pouvons également constater que pour les objets composés de matériaux identiques, il y a des variations de couleurs en fonction de l'aspect des surfaces. Par exemple, pourquoi la couleur bleue semble-t-elle plus terne après qu'un papier de verre a poli un échantillon brillant ou glacé ?



Quand une balle rebondit sur un mur, l'angle de rebond est parfaitement symétrique. De la même manière, l'angle sous lequel la lumière se réfléchit s'appelle la réflexion spéculaire. Cette réflexion spéculaire se réfléchit comme dans un miroir. La lumière qui n'est pas spéculaire mais diffusée dans toutes les directions est appelée réflexion diffuse. La somme de la réflexion spéculaire et de la réflexion diffuse s'appelle la réflexion totale.



Pour les objets qui ont une surface brillante, la réflexion spéculaire est relativement forte et la lumière diffuse est faible. Sur les surfaces rugueuses à faible brillance, la réflexion spéculaire est faible et la lumière diffuse forte. Quand une personne observe un objet en plastique bleu de surface brillante sous l'angle de réflexion spéculaire, l'objet ne semble pas aussi bleu. C'est parce que l'effet de miroir venant de la source de lumière s'ajoute à la couleur de l'échantillon. Habituellement, les gens observent la couleur d'un objet et ignorent la réflexion spéculaire de la source de lumière. Pour mesurer la couleur d'un échantillon comme nous la voyons, la réflexion spéculaire doit être exclue, seule la réflexion diffuse doit être mesurée. La couleur d'un objet peut sembler différente en raison d'une variation du niveau de la réflexion spéculaire.



Ces illustrations montrent que  $a + b + c + d + e = a' + b' + c' + d' + e'$ .

Nous avons admis qu'une couleur peut être perçue différemment si la texture de la surface de l'objet change, parce que nous ne voyons que la lumière diffuse. Cependant, les couleurs ne devraient pas changer si les textures sont identiques. Comment pouvons-nous reconnaître la couleur des textures elles-mêmes ?

La réflexion totale (réflexion spéculaire et réflexion diffuse) change en fonction de la surface de l'objet. Cependant, la quantité de lumière réfléchie est toujours la même si la texture et les couleurs des objets sont inchangées. Pour cette raison, si un échantillon de plastique bleu est rugueux, la réflexion spéculaire est réduite et la réflexion diffuse augmente. C'est pourquoi il est nécessaire de mesurer la réflexion totale (spéculaire et diffuse) afin de rendre la mesure indépendante de l'état de surface de l'objet.

## Partie III

La position du piège à lumière conditions 3 (SCE) et 4 (SCE), comme présenté sur la figure 24 de la Partie III-1, montre comment la réflexion spéculaire est exclue de la mesure de couleur de l'échantillon. Si ce piège est remplacé par une surface blanche, comme c'est le cas conditions 5 (SCI) et 6 (SCI), la réflexion spéculaire sera incluse dans la mesure de couleur. La méthode de mesure de couleur, qui exclut la réflexion spéculaire est appelée SCE – réflexion spéculaire exclue (Specular Component Excluded). Si la réflexion spéculaire est incluse dans la mesure de couleur en complétant la sphère d'une surface blanche, la méthode de mesure de couleur est appelée SCI – réflexion spéculaire incluse (Specular Component Included). Dans le mode SCE, la réflexion spéculaire est exclue de la mesure, et seule la réflexion diffuse est enregistrée. Ceci donne une évaluation de la couleur de l'objet telle que la voit un observateur, et est dépendante de son état de surface.

En utilisant le mode SCI, la réflexion spéculaire est incluse dans la mesure en plus de la réflexion diffuse. Cette mesure évalue la couleur globale de l'objet, elle est indépendante de l'état de la surface de l'objet. Ces critères doivent être minutieusement considérés pour sélectionner un appareil de mesure. Certains appareils peuvent simultanément mesurer les deux modes SCE et SCI.

Le mode SCE permet de contrôler les productions en accord avec l'observation visuelle.



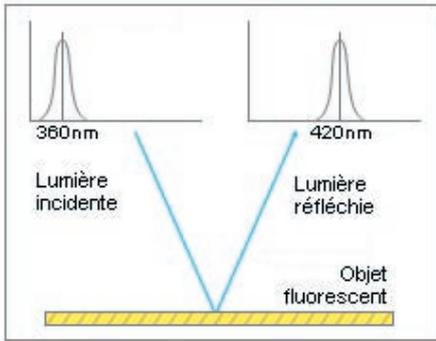
Le mode SCI permet d'observer des éléments colorés en s'affranchissant de leurs états de surface, comme le requiert la rectification de formules de production.



**Partie III**

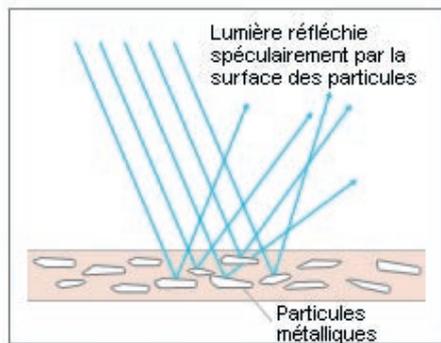
**Mesurons des couleurs spéciales**

Couleurs fluorescentes



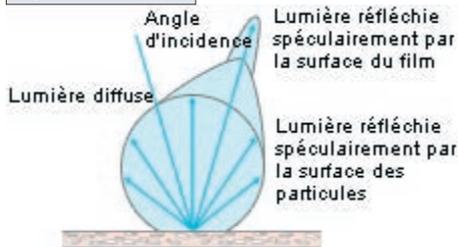
Quand vous regardez une teinte fluorescente, elle est éclatante, semble émettre de la lumière bien que ce ne soit pas une source de lumière. Lorsque la lumière atteint le matériau fluorescent, le rayonnement est absorbé à certaines longueurs d'onde, puis est ré-émis à d'autres longueurs d'onde, habituellement supérieures. Comme c'est expliqué dans la Part II-2, le domaine de la lumière visible correspond aux radiations électromagnétiques comprises entre 380nm et 780nm. Si, par exemple, la radiation absorbée à 360 nm est ré-émise à 420nm, la valeur mesurée à 420nm peut excéder 100%. Étant donné que la quantité de lumière visible est plus importante que ce à quoi on s'attendait, le matériau semble émettre de la lumière. Pour la mesure d'objet non-fluorescent, l'élément dispersant la lumière – monochromateur – peut être placé soit entre la source et l'objet, soit placé entre l'objet et le détecteur. Par contre, pour la mesure d'objet fluorescent (azuré), il est impératif que l'élément dispersant la lumière soit placé entre l'objet et le détecteur, afin que l'objet lui-même soit éclairé par toutes les radiations de la source simultanément. Lors de la mesure de matériaux fluorescents, la distribution spectrale de l'énergie émise par la source, y compris dans le domaine ultraviolet, doit être contrôlée.

Particules métalliques

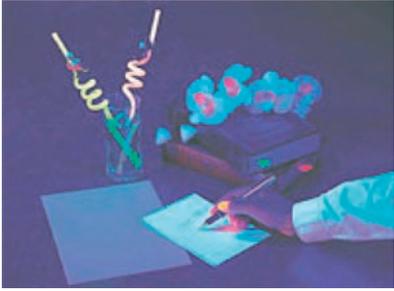


Baucoup de revêtements, particulièrement dans le domaine de l'industrie automobile, utilisent une combinaison de particules métalliques et de particules colorées afin d'obtenir un effet particulier. Dans une couche contenant des particules métalliques, la lumière est réfléchi sous plusieurs angles par ces particules, bien que ces dernières soient généralement alignées. La figure 25 illustre comment la réflexion spéculaire et la réflexion diffuse interagissent avec la lumière réfléchi par les particules métalliques. Puisque l'angle de réflexion de la lumière par les particules métalliques est différent de l'angle de la réflexion diffuse, la sensation visuelle varie avec l'angle d'observation. A un angle proche de la réflexion spéculaire, la „brillance“ (face) de la couleur – très sensible aux particules métalliques – est observée. A un angle pour lequel les particules métalliques n'agissent pas, la nuance (flop) est observée. Il est recommandé de mesurer et contrôler ce type de teintes avec un spectrorimètre possédant plusieurs angles (multi-angles).

Figure 25



## Partie III



### Lumière noire et matière fluorescente

Vous est-il déjà arrivé d'être dans une pièce où les couleurs sont très lumineuses ? Où les chemises blanches, les chaussettes ou encore les affiches sur les murs semblent flamboyer et briller intensément alors que la pièce est dans le noir, illuminée de lumières bleues-violettes ?



En fait, cette pièce est éclairée par une source appelée „lumière noire“ ou lampe de Wood. La lumière noire est un éclairage utilisant des longueurs d'ondes qui ne sont pas visibles dans le spectre. Elle a été utilisée pour éclairer des puzzles ou des minéraux fluorescents. Cette lumière noire émet un rayonnement ultraviolet. Un élément fluorescent, qui a la particularité d'absorber et de le ré-émettre dans le domaine du visible, a été ajouté à l'objet. Les matières semblent flamboyer lorsqu'elles sont éclairées par une lumière noire.

Un objet semble blanc lorsque ses réflectances pour toutes les longueurs d'ondes du domaine visible sont proches de 100%. Cependant, si l'objet ré-émet un peu moins pour les longueurs d'ondes bleues (réflectances plus faibles), il semble jaunâtre. Dans ce cas, une matière fluorescente (parfois référencée en tant qu'azurant optique) est ajoutée pour contrecarrer cet effet. Cette matière fluorescente provoque une augmentation de la réflectance pour les longueurs d'ondes bleues, ce qui donne l'impression que l'objet est blanc. C'est ainsi qu'une chemise blanche est lumineuse lorsqu'elle est éclairée par la lumière noire et semble blanche à la lumière du jour. Lorsqu'un vêtement blanc est souvent lavé, il devient jaunâtre. Ce n'est pas parce qu'il est tâché de jaune, mais parce qu'il ne contient plus de matière fluorescente : la couleur d'origine du vêtement réapparaît. Pour éviter ce phénomène, il est fréquent de laver ce type de vêtement blanc avec une lessive contenant des agents fluorescents (lessive „spécial blanc“).

## Partie **III**

### Notes concernant les conditions de mesure et les objets mesurés

Influence de la température sur la couleur des céramiques BCRA, en termes d'écart ( $\Delta E^*ab$ )

	$\Delta E^*ab$
Blanc	0.01
Gris pâle	0.02
Gris moyen	0.05
Gris	0.05
Gris foncé	0.05
Rose foncé	0.60
Orange	1.52
Rouge	1.32
Jaune	0.92
Vert	0.92
Vert dif	0.91
Cyan	0.46
Bleu foncé	0.17
Noir	0.02

Selon les conditions standards Konica Minolta

#### Mesure des poudres

Lorsque l'on mesure des poudres avec un spectrocolorimètre, la valeur mesurée dépend de la densité de la poudre et de l'état de surface. Afin d'éviter des erreurs, des méthodes spécifiques sont recommandées, telles que placer une quantité fixe de poudre dans un récipient de forme définie, tout en conservant la même qualité de surface par pressage.

Si les grains sont gros (agrégats), utilisez un spectrocolorimètre dont l'ouverture de mesure est grande ; cela permet d'intégrer à la mesure les défauts de surface et d'obtenir une bonne répétabilité sur les agrégats.

#### Mesure de produits semi-transparent

Ces produits ne sont pas assez transparents pour être mesurés en transmission. Leur mesure en réflexion est spécifique car la lumière pénètre en partie le matériau ; les résultats sont influencés par la couleur du fond placé derrière le produit. Pour résoudre ce problème, augmentez l'épaisseur de l'objet afin d'éviter le retour de la lumière qui est transmise puis réfléchi par le fond. Une autre solution consiste à placer une surface de couleur constante (souvent blanche) sous le produit à mesurer.

#### Mesure de produits avec motifs

Lorsque des produits à motifs ou texturés sont mesurés, les valeurs varient en fonction de l'emplacement et de la taille de la surface mesurée. Il est alors conseillé d'effectuer des mesures avec la plus grande ouverture possible afin de moyenniser tous les petits motifs, ou à l'opposé de mesurer à des endroits précis avec une petite surface d'analyse, puis de moyenniser les valeurs.

#### Influence de la température

Parfois, lorsque la température d'un produit varie, sa couleur change.

Ce phénomène s'appelle le thermochromisme.

Pour augmenter la précision des mesures, il est nécessaire de les effectuer dans une pièce à température constante après que le produit a été lui aussi stabilisé à la température de la pièce.

# PRECISE COLOR COMMUNICATION

## ►► Part IV

### Termes de couleur

Vous trouverez dans cette brochure des informations détaillées concernant la terminologie, les standards et les espaces couleurs.

### ►► Sommaire

- [Observateur Standard 2° et Observateur Standard Supplémentaire 10°/ Formules de calcul applicables aux objets colorés](#)
- [Valeurs tristimulus XYZ \(CIE 1931\) /  \$X\_{10}\$ ,  \$Y\_{10}\$ ,  \$Z\_{10}\$  Valeurs tristimulus \(CIE 1964\)](#)
- [Coordonnées de chromacité xyz / xy et  \$X\_{10}\$ ,  \$Y\_{10}\$  Diagramme de chromacité](#)
- [Espace couleur L\\*a\\*b\\* Color Space / Espace couleur uniforme](#)
- [Espace couleur L\\*C\\*h](#)
- [Espace couleur Hunter Lab / Espace couleur Munsell](#)
- [Espace couleur L\\*u\\*v\\*](#)
- [Diagramme UCS CIE 1976 /  \$\Delta E^\*\_{94}\$  Formule d'écart de couleur \(CIE 1994\)](#)
- [Différence entre objet coloré et source colorée ... I](#)
- [Différence entre objet coloré et source colorée ... II](#)

## Partie IV

### Termes de couleur

Observateur Standard 2° et Observateur Standard Supplémentaire 10°

La sensibilité de l'œil à la couleur change en fonction de l'angle d'observation (taille de l'objet). La CIE définit en 1931 un observateur standard qui utilisait un champ de vision de 2°, d'où son nom d'Observateur Standard 2°. En 1964, la CIE en définit un supplémentaire, basé cette fois-ci sur un champ de vision de 10°, d'où l'Observateur Standard Supplémentaire 10°. Si maintenant, nous comparons les champs de vision 2° et 10°, à une distance de 50 cm, nous aurons pour le champ de vision 2°, un cercle de 1,7 cm de diamètre, et pour le champ de vision 10° un cercle de 8,8 cm de diamètre. Dans ce guide, nous avons surtout considéré un Observateur Standard 2°. L'Observateur Standard 2° doit être utilisé pour des angles de lecture de 1° à 4°, et l'Observateur Standard 10° avec des angles de lecture supérieurs à 4°.

Champ de vision 2°

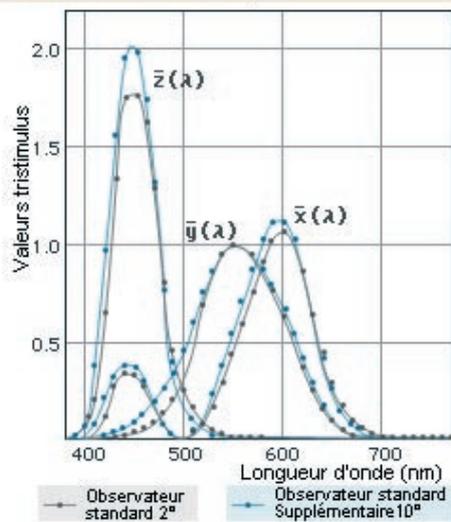


Champ de vision 10°



Fonctions de mélanges

#### Fonctions de mélanges



Les fonctions de mélanges correspondent aux valeurs tristimulus du spectre d'égal énergie en fonction de la longueur d'onde. Ces fonctions se rapprochent de la sensibilité de l'œil humain. Des fonctions de mélange ont été spécifiées pour l'Observateur Standard 2° et ensuite pour l'Observateur Standard 10°.

## Partie IV

### Termes de couleur

Valeurs tristimulus XYZ (CIE 1931)

Les valeurs tristimulus sont déterminées d'après les fonctions de mélange des couleurs  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$  et  $\bar{z}(\lambda)$  définies par la CIE en 1931. Ces valeurs sont aussi appelées valeurs tristimulus XYZ 2°. Elles sont utilisées pour un angle de lecture inférieur ou égal à 4° et calculées par les formules suivantes :

$$X = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{x}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Y = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Z = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{z}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$K = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d(\lambda)}$$

où

$S(\lambda)$  : Distribution relative spectrale d'énergie de l'illuminant

$\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$  : Fonctions de mélange des couleurs pour l'Observateur Standard 2° de la CIE (1931)

$R(\lambda)$  : Réflectance spectrale de l'échantillon

Valeurs tristimulus X<sub>10</sub> Y<sub>10</sub> Z<sub>10</sub> (CIE 1964)

Les valeurs tristimulus sont déterminées d'après les fonctions de mélange des couleurs  $\bar{x}_{10}(\lambda)$ ,  $\bar{y}_{10}(\lambda)$  et  $\bar{z}_{10}(\lambda)$  définies par la CIE en 1964. Ces valeurs sont aussi appelées valeurs tristimulus XYZ 10°. Elles sont utilisées pour un angle de lecture supérieur ou égal à 4° et calculées par les formules suivantes :

$$X_{10} = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{x}_{10}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Y_{10} = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}_{10}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Z_{10} = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{z}_{10}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$K = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}_{10}(\lambda) d(\lambda)}$$

où

$S(\lambda)$  : Distribution relative spectrale d'énergie de l'illuminant

$\bar{x}_{10}(\lambda)$ ,  $\bar{y}_{10}(\lambda)$ ,  $\bar{z}_{10}(\lambda)$  : Fonctions de mélange des couleurs pour l'Observateur Standard Supplémentaire 10° de la CIE (1964)

$R(\lambda)$  : Réflectance spectrale de l'échantillon

Coordonnées de chromaticité xyz

Les coordonnées de chromacité sont calculées à partir des valeurs tristimulus XYZ d'après les formules suivantes :

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$

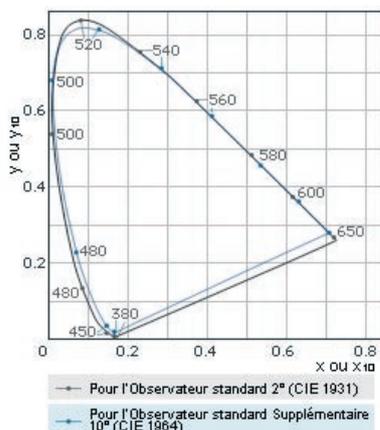
$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

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

Si vous utilisez ces formules avec les valeurs tristimulus X<sub>10</sub> Y<sub>10</sub> Z<sub>10</sub>, les coordonnées de chromacité seront X<sub>10</sub> Y<sub>10</sub> Z<sub>10</sub>.

Diagramme de chromaticité xy et X<sub>10</sub> Y<sub>10</sub>

Diagramme en deux dimensions où sont rapportées les coordonnées de chromacité xy ou X<sub>10</sub> Y<sub>10</sub>.



## Partie **IV**

### Termes de couleur

Espace couleur L\*a\*b\*

L'espace couleur L\*a\*b\* (aussi appelé espace CIELAB) est l'un des espaces couleurs uniformes définis par la CIE en 1976. Les valeurs L\*a\*b\* sont calculées d'après les formules suivantes :

L\* : variable de clarté

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

a\* et b\* : Coordonnées de chromacité

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

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

où

$$\frac{Y}{Y_n} > 0.008856$$

$$\frac{X}{X_n} > 0.008856$$

$$\frac{Z}{Z_n} > 0.008856$$

X, Y, Z :

Les valeurs tristimulus XYZ (Pour l'Observateur Standard 2°) ou (pour l'Observateur Standard Supplémentaire 10°) d'un échantillon.

Xn, Yn, Zn :

Les valeurs tristimulus XYZ (Pour l'Observateur Standard 2°) ou (pour l'Observateur Standard Supplémentaire 10°) d'un diffuseur par réflexion idéal.

Si les rapports X/Xn, Y/Yn, ou Z/Zn sont inférieurs à 0.008856, les équations ci-dessus sont corrigées comme suit :

$$\left( \frac{X}{X_n} \right)^{1/3} \rightarrow 7.787 \left( \frac{X}{X_n} \right) + \frac{16}{116}$$

$$\left( \frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \rightarrow 7.787 \left( \frac{Y}{Y_n} \right) + \frac{16}{116}$$

$$\left( \frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \rightarrow 7.787 \left( \frac{Z}{Z_n} \right) + \frac{16}{116}$$

Espace couleur uniforme

C'est un espace couleur où des distances égales sur le diagramme de chromacité correspondent à des écarts de couleur égaux perçus par l'œil humain.

## Partie IV

### Termes de couleur

L'écart de couleur  $\Delta E^*_{ab}$  dans l'espace couleur  $L^*a^*b^*$ , qui indique le degré d'écart de couleur mais pas la direction, est défini d'après l'équation suivante :

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

où

$\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$  : sont les valeurs d'écart de couleur entre l'échantillon et la couleur de référence dans l'espace couleur  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ .

Espace couleur  $L^*C^*h^*$

L'espace couleur  $L^*C^*h^*$  utilise le même diagramme que l'espace couleur  $L^*a^*b^*$  mais avec des coordonnées polaires. La clarté  $L^*$  est identique à  $L^*$  dans l'espace couleur  $L^*a^*b^*$ . La saturation métrique  $C^*$  et l'angle de teinte métrique  $h$  sont définis par les formules suivantes :

$$\text{Metric Chroma : } C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$\text{Metric Hue-Angle : } h = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \text{ (degree)}$$

où

$a^*$ ,  $b^*$  : sont les coordonnées de chromacité dans l'espace couleur  $L^*a^*b^*$ .

Dans les mesures d'écart de couleur, on ne mesure pas l'écart d'angle de teinte métrique  $h$ ; à la place, on calcule la différence de teinte métrique  $\Delta H^*$  d'après la formule suivante :

$$\Delta H^* = \sqrt{(\Delta E^*_{ab})^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2} = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 - (\Delta C^*)^2}$$

$$\Delta L^* = L^* - L^*_t$$

$$\Delta C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} - \sqrt{(a^*_t)^2 + (b^*_t)^2} = C^* - C^*_t$$

L'écart de teinte métrique est positif si l'angle de teinte métrique  $h$  de l'échantillon est supérieur à celui de la couleur de référence et négatif dans le cas contraire.

## Partie IV

### Termes de couleur

Espace couleur Hunter Lab

R.S Hunter développa en 1948 un espace couleur uniforme appelé Hunter Lab, que l'on peut lire directement avec un colorimètre photoélectrique (méthode tristimulus). Dans cet espace couleur, les valeurs sont définies d'après les formules suivantes :

$$L = 100 \left( \frac{Y}{Y_0} \right)^{1/2}$$

$$a = 175 \left[ \frac{0.0102X_0}{(Y/Y_0)} \right]^{1/2} \cdot \left[ \left( \frac{X}{X_0} \right) - \left( \frac{Y}{Y_0} \right) \right]$$

$$b = 70 \left[ \frac{0.00847Z_0}{(Y/Y_0)} \right]^{1/2} \cdot \left[ \left( \frac{Y}{Y_0} \right) - \left( \frac{Z}{Z_0} \right) \right]$$

où

X, Y, Z : sont les valeurs tristimulus de l'échantillon (on peut aussi utiliser les valeurs tristimulus X<sub>10</sub>, Y<sub>10</sub>, Z<sub>10</sub>.)

X<sub>0</sub>, Y<sub>0</sub>, Z<sub>0</sub> : sont les valeurs tristimulus d'un diffuseur par réflexion idéal

Pour l'Observateur Standard 2° et l'illuminant C, les équations ci-dessus s'écrivent :

$$L = 10Y^{1/2}$$

$$a = \frac{17.5 (1.02X - Y)}{Y^{1/2}}$$

$$b = \frac{7.0 (Y - 0.847Z)}{Y^{1/2}}$$

L'écart de couleur ΔE<sub>H</sub> dans l'espace couleur Hunter Lab, qui indique le degré d'écart de couleur mais pas la direction, est défini d'après l'équation suivante :

$$\Delta E_H = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$$

Espace couleur Munsell

Le système de couleur de Munsell consiste en une série de tables qui permettent d'établir une comparaison visuelle avec l'échantillon. Les couleurs sont définies comme teinte de Munsell (H indique la teinte), valeur de Munsell V (indique la clarté) et saturation de Munsell C (indique la saturation) et s'écrivent HV/C.

Par exemple, la notation de Munsell pour la couleur dont les valeurs sont H=5.0R, V=4.0, et C=14.0, sera 5.0R 4.0/14.0

## Partie **IV**

### Termes de couleur

Espace couleur  $L^*u^*v^*$

L'espace couleur  $L^*u^*v^*$  (auss appelé espace CIELUV) est l'un des espaces couleurs uniformes définis par la CIE en 1976. Les valeurs  $L^*$ ,  $u^*$ , et  $v^*$  sont calculées d'après les formules suivantes :

$$L^* = 116 \left( \frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} - 16 \quad \text{when } \frac{Y}{Y_0} > 0.008856$$

$$u^* = 13L^*(u' - u'_0) \quad v^* = 13L^*(v' - v'_0)$$

où

$Y$  : est la valeur tristimulus  $Y$  (on peut également utiliser la valeur tristimulus  $Y_{10}$ .)

$u'$ ,  $v'$  : sont les coordonnées de chromacité (diagramme UCS de la CIE 1976)

$Y_0$ ,  $u'_0$ ,  $v'_0$  : sont les valeurs tristimulus  $Y$  (ou  $Y_{10}$ ) et les coordonnées de chromacité  $u'$ ,  $v'$  d'un diffuseur par réflexion idéal.

L'écart de couleur  $\Delta E^*_{uv}$  dans l'espace couleur  $L^*u^*v^*$ , qui indique le degré d'écart de couleur mais pas la direction, est défini d'après l'équation suivante :

$$\Delta E^*_{uv} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2]^{1/2}$$

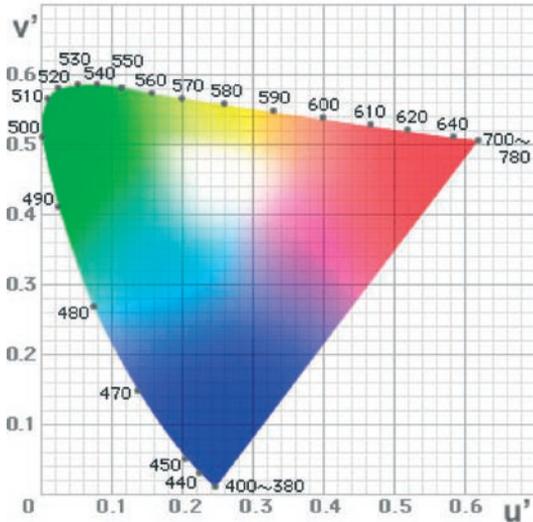
où

$\Delta L^*$ ,  $\Delta u^*$ ,  $\Delta v^*$  : sont les valeurs d'écart de couleur entre l'échantillon et la couleur de référence dans l'espace couleur  $L^*$ ,  $u^*$ ,  $v^*$ .

## Partie IV

### Termes de couleur

Diagramme UCS de la CIE 1976



Le diagramme UCS a été défini par la CIE en 1976. Il a été développé pour que la distribution des couleurs soit plus homogène dans le cas des couleurs ayant des clartés très proches. Les valeurs de  $u'$  et  $v'$  peuvent être calculées à partir des valeurs tristimulus XYZ (ou  $X_{10}$ ,  $Y_{10}$ ,  $Z_{10}$ ) ou des coordonnées de chromaticité  $xy$ , d'après les formules suivantes :

$$u' = \frac{4X}{X+15Y+3Z} = \frac{4x}{-2x+12y+3}$$

$$v' = \frac{9Y}{X+15Y+3Z} = \frac{9y}{-2x+12y+3}$$

où

$X, Y, Z$  :

sont les valeurs tristimulus (pour les valeurs tristimulus  $X_{10}$ ,  $Y_{10}$ ,  $Z_{10}$ , on aura les valeurs  $u'_{10}$  et  $v'_{10}$ .)

$x, y$  :

sont les coordonnées de chromaticité (pour les coordonnées  $x_{10}$   $y_{10}$ , on aura les valeurs  $u'_{10}$  et  $v'_{10}$ .)

Différence de couleur  $\Delta E^*_{94}$  (CIE 1994)

Cette formule d'écart colorimétrique incorpore des coefficients de pondération aux données de luminance, saturation et teinte ( $L^*C^*h$ ) de l'espace couleur  $L^*a^*b^*$ . Ces coefficients de pondération varient et dépendent du positionnement du point de couleur considéré dans l'espace CIE 1976. La formule a été proposée en 1994 par le comité technique de la CIE.

$$\Delta E_{94} = [(\Delta H^*/S_H)^2 + (\Delta L^*/S_L)^2 + (\Delta C^*/S_C)^2]^{1/2}$$

où

$$S_L = 1$$

$$S_C = 1 + 0.045C^*$$

$$S_H = 1 + 0.015C^*$$

## Partie IV

### Différence entre objet coloré et source colorée

**Formules de calcul applicables aux objets colorés**

$$X = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{x}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Y = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Z = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{z}(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$K = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda}$$

où  
 $S(\lambda)$  : Distribution relative spectrale d'énergie de l'illuminant  
 $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$  : Formules de calcul applicables aux objets colorés  
 $R(\lambda)$  : Réflectance spectrale de l'échantillon

**Formules de calcul applicables aux sources lumineuses**

$$X = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

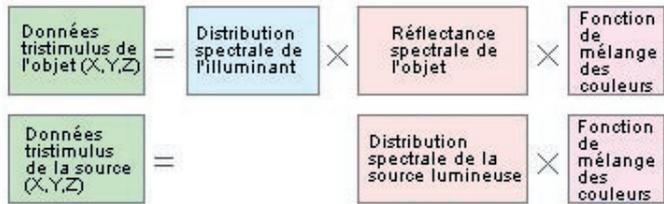
$$Z = K \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

où  
 $S(\lambda)$  : Distribution relative spectrale d'énergie de l'illuminant  
 $\bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$  : Formules de calcul applicables aux objets colorés  
 $K$  : facteur de normalisation  
 (La valeur du tristimulus Y est fixée pour être en conformité avec la quantité de lumière mesurée.)

Utilisons l'équation suivante pour la déterminer lorsque  $S(\lambda)$  correspond à la valeur absolue de densité de radiation spectrale pour l'espace XYZ.  
 $K = 683 \text{ lm} \cdot \text{w}^{-1}$

Différences de définitions

Quand nous observons un objet, trois éléments sont impliqués : l'illumination, l'objet et la perception de l'œil. Cependant, lorsqu'une source est directement observée, il n'y a plus que deux facteurs : la distribution spectrale de la source et la perception de l'œil. Ces deux concepts sont illustrés ci-dessous par leurs formules respectives.



Pour un objet coloré, il est nécessaire de connaître la distribution spectrale de l'illuminant (et non de la source) sous laquelle nous souhaitons les résultats, car ses données tristimulus varient lorsque l'illuminant change. Dans le cas d'une source colorée, il n'est pas nécessaire de faire appel aux données des illuminants car c'est sa propre couleur qui doit être déterminée.

Différences de géométries

Les conditions géométriques d'illumination et de réception optique doivent être prises en compte car elles peuvent aboutir à des valeurs de mesure différentes de la couleur de l'objet. Les six géométries optiques de mesure d'objet décrites dans la Partie III-1 ont été définies par la CIE. Elles ne permettent pas de déterminer la couleur de source. Cependant, certaines sources de lumière, comme les diodes électroluminescentes LCD sont sensibles aux caractéristiques angulaires d'observation. Pour ces sources, l'angle d'observation doit être défini et fixé.

Représentation de l'espace colorimétrique

Il existe plusieurs méthodes pour décrire numériquement une source lumineuse. Elles incluent les coordonnées xy, les coordonnées uv de l'espace CIE 1960 UCS, les coordonnées  $u^*, v^*$  de l'espace CIE 1976 UCS, la température de couleur. L'espace CIELUV est parfois utilisé. Comme il fait appel à un point d'origine, il est impératif de déterminer auparavant la lumière standard avant utilisation de ce système.

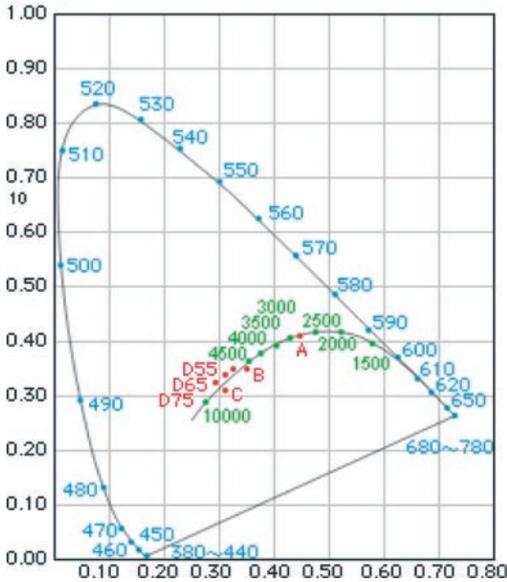
\* Reportez-vous aux pages suivantes pour plus d'informations sur la température de couleur d'une source de lumière.

## Partie IV

### Différence entre objet coloré et source colorée

Température de couleur

Figure 26

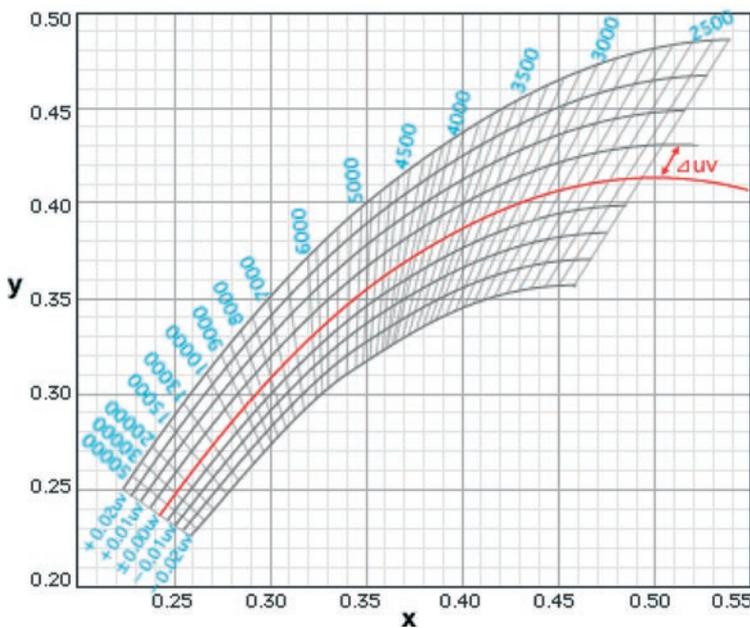


Quand la température d'un objet augmente, son rayonnement thermique augmente aussi. Dans le même temps, sa couleur varie du rouge au blanc en passant par l'orange. Un corps noir est un objet idéal qui absorbe toutes les radiations incidentes et qui émet un rayonnement généralement thermique, et quelquefois lumineux. De cette manière, sa température est directement liée à la couleur du rayonnement produit. La température absolue du corps noir est appliquée au terme température de couleur. La figure 26 indique le lieu du corps noir idéal dans le diagramme xy lorsque sa température varie.

La température de couleur peut être définie pour les couleurs proches du lieu du corps noir ; c'est la température de couleur proximale ou corrélée. Pour déterminer cette température de couleur corrélée, il est nécessaire de déterminer la ligne d'isotempérature qui contient le point de couleur de la source. Toutes les sources dont les points de couleur appartiennent à la même droite d'isotempérature apparaissent visuellement de même couleur ; leur température de couleur corrélée est égale à la température de couleur du point de couleur correspondant à l'intersection de la droite d'isotempérature et de la courbe du lieu du corps noir.

La figure 27 illustre le lieu du corps noir idéal, les droites d'isotempérature et les écarts  $\Delta uv$  par rapport au lieu du corps noir. Par exemple, une source lumineuse de température de couleur 7000K dont la différence ( $\Delta uv$ ) est de 0,01 dans la direction du vert est notée 7000K+0,01 (unité uv).

Figure 27



Notes  
Consultez la partie IV intitulée „Terminologie des couleurs“ pour obtenir des explications sur ( $\Delta uv$ ).

„K“ est l'abréviation de Kelvin. Kelvin correspond à l'échelle de température absolue.

European Headquarter/BENELUX  
German Office  
French Office  
UK Office  
Italian Office  
Belgian Office  
Swiss Office  
Nordic Office  
Polish Office

Nieuwegein, Netherland  
München, Germany  
Roissy CDG, France  
Warrington, United Kingdom  
Milan, Italy  
Zaventem, Belgium  
Dietikon, Switzerland  
Västra Frölunda, Sweden  
Wroclaw, Poland

Phone: +31(0)30 248-1193  
Phone: +49(0)89 4357 156 0  
Phone: +33(0)1 80-11 10 70  
Phone: +44 (0) 1925-467300  
Phone: +39 02 849 488.00  
Phone: +32 (0)2 7170 933  
Phone: +41(0)43 322-9800  
Phone: +46(0)31 7099464  
Phone: +48(0)71 33050-01

Fax: +31(0)30 248-1280  
Fax: +49(0)89 4357 156 99  
Fax: +33(0)1 80-11 10 82  
Fax: +44 (0) 1925-711143  
Fax: +39 02 849 488.30  
Fax: +32(0)2 7170-977  
Fax: +41(0)43 322-9809  
Fax: +46(0)31 474945  
Fax: +48(0)71 734 52 10

info.sensing@seu.konicaminolta.eu  
info.germany@seu.konicaminolta.eu  
info.france@seu.konicaminolta.eu  
info.uk@seu.konicaminolta.eu  
info.italy@seu.konicaminolta.eu  
info.benelux@seu.konicaminolta.eu  
info.switzerland@seu.konicaminolta.eu  
info.nordic@seu.konicaminolta.eu  
info.poland@seu.konicaminolta.eu



Certificate No: 1KA 0937 154  
Registration Date:  
March 3, 1995



Certificate No: JQA-E-80027  
Registration Date:  
March 12, 1997

