

Adaptation

Lorsque vous êtes resté quelques minutes dans une pièce où l'éclairage était vert, puis en êtes sorti pour repasser à un éclairage blanc, tout vous est apparu rose (rouge bleuté). Un peu comme si l'éclairage était rose et non pas blanc. L'effet a duré moins d'une minute et s'est dissipé progressivement.

Mais pourquoi voyez-vous "tout en rose" en sortant ? L'explication réside dans un aspect moins frappant de l'expérience : dans la pièce éclairée en vert, plus les minutes s'écoulent, moins vous voyez "tout en vert". On parle d'adaptation. Vos yeux s'adaptent. Tout comme ils s'adaptent au niveau d'éclairage (lorsque vous passez d'une ambiance peu lumineuse à une ambiance plus lumineuse ou l'inverse), ils s'adaptent à la composition spectrale de l'éclairage, ce que l'on nomme **adaptation chromatique**, pour la distinguer justement de l'adaptation au niveau lumineux.

On entend par là que vos yeux modifient progressivement leur comportement (la sensibilité de leurs trois types de cônes) pour faire comme si l'éclairage était blanc, c'est-à-dire pour vous faire voir les choses comme elles seraient si l'éclairage était blanc. Une fois dans le couloir, vos yeux sont toujours adaptés à cet éclairage vert, toujours un peu "insensibilisés" au vert : ils continuent à tout voir "moins vert". Et, apparemment donc, "moins vert" signifie "plus rose".

Pour faire simple : si vos cônes M ("verts") deviennent moins sensibles, alors, relativement, vos cônes L et S ("rouges" et "bleus") deviennent, eux, plus sensibles. (L'explication donnée ici joue donc au niveau réceptoral mais des modifications au niveau postréceptoral existent aussi très certainement.)

Les appareils photo disposent aussi d'un processus automatisé accomplissant la même tâche que l'adaptation, processus appelé **balance des blancs**.

Sur la plupart des modèles, la balance des blancs peut aussi être réalisée manuellement. Il suffit de viser une surface blanche et d'appuyer sur le bon bouton. La photo ci-dessous a été réalisée dans l'ancien local de couleur au 427 après une balance des blancs réalisée en visant une surface verte...



Température de couleur illuminants standards Indice de rendu des couleurs

Tant l'**adaptation chromatique** que la **constance des couleurs***, poursuivent le même but avec des moyens différents.

Les deux constituent un ajustement de votre système visuel à l'éclairage, mais l'un est sans doute plus physiologique (l'adaptation), l'autre plus mental (la constance des couleurs).

Ils présupposent tous les deux un **éclairage blanc** qui constitue pour votre système visuel une sorte de référence, de standard, d'idéal. Il y a bien sûr, pour votre système visuel, l'idée que cet éclairage est idéal dans le sens où il donne aux choses qu'il éclaire leur "**vraie couleur**".

Dans le langage standard préconisé par la CIE**, on utilise le terme de "**couleur inhérente**" pour parler de la couleur d'un objet indépendamment de la couleur de l'éclairage***, c'est-à-dire, pour l'exprimer autrement, la couleur qu'a ou aurait cet objet sous cet éclairage idéal.

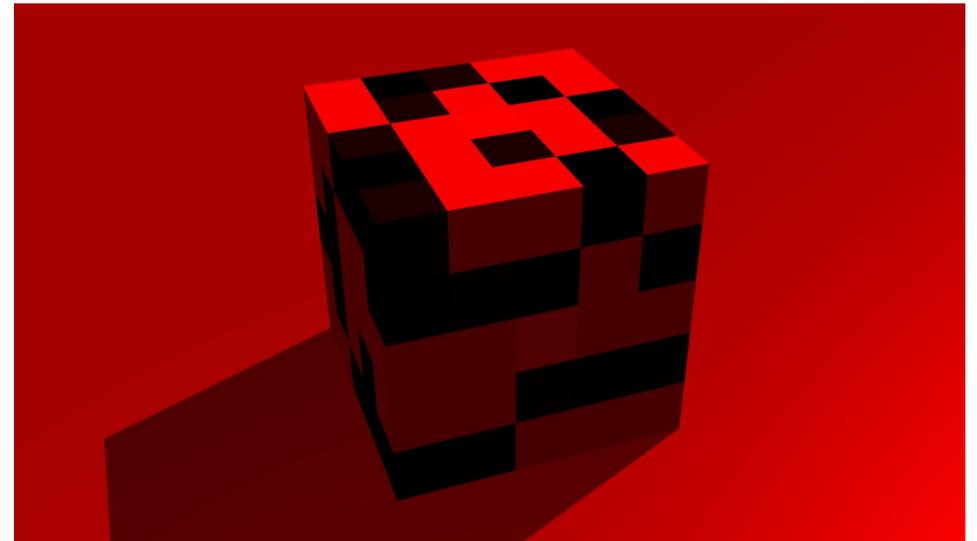
* cf. p. 3 et 4 de [09 Le paradigme des couleurs complémentaires.pdf](#)

** La Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) est une organisation internationale dédiée à la lumière, l'éclairage, la couleur et les espaces de couleur (WIKI)

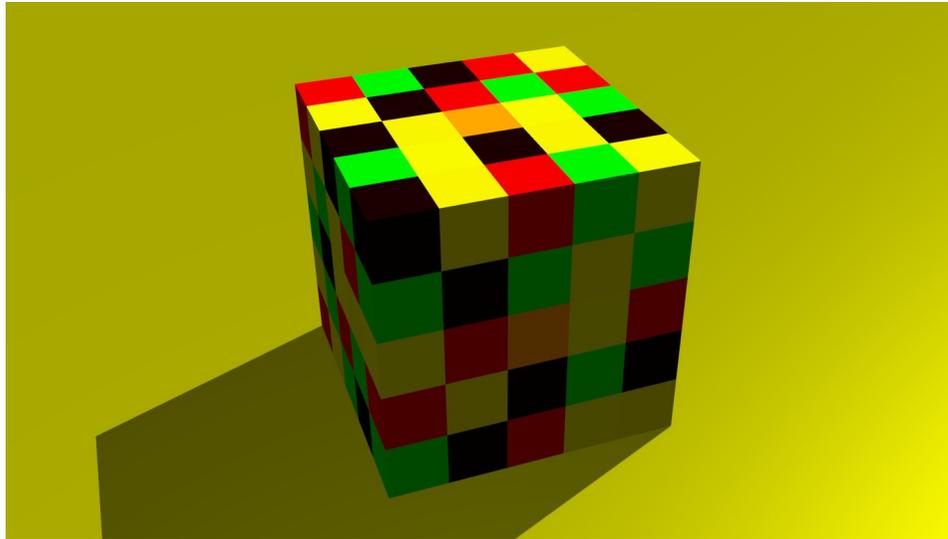
***Indépendamment aussi du niveau d'éclairage (entre l'ombre et la pleine lumière, par exemple). On en reparle plus loin.

L'éclairage rouge très chromatique de l'expérience des cartes à jouer a un spectre très incomplet, seules quelques grandes longueurs d'onde sont présentes. Ce qui fait que certaines différences (entre le blanc, le rouge et le jaune par exemple) sont carrément annulées. La *constance des couleurs* joue (vous décomptez l'illuminant) mais elle ne permet pas à votre système visuel de construire une couleur inhérente "plausible".

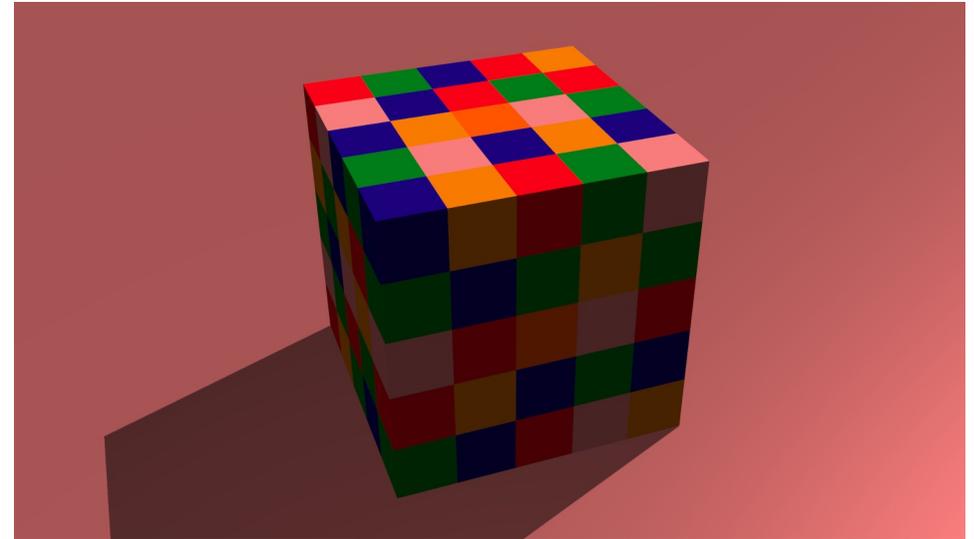
Ci dessous une modélisation de cet éclairage rouge sur un Rubik's cube :



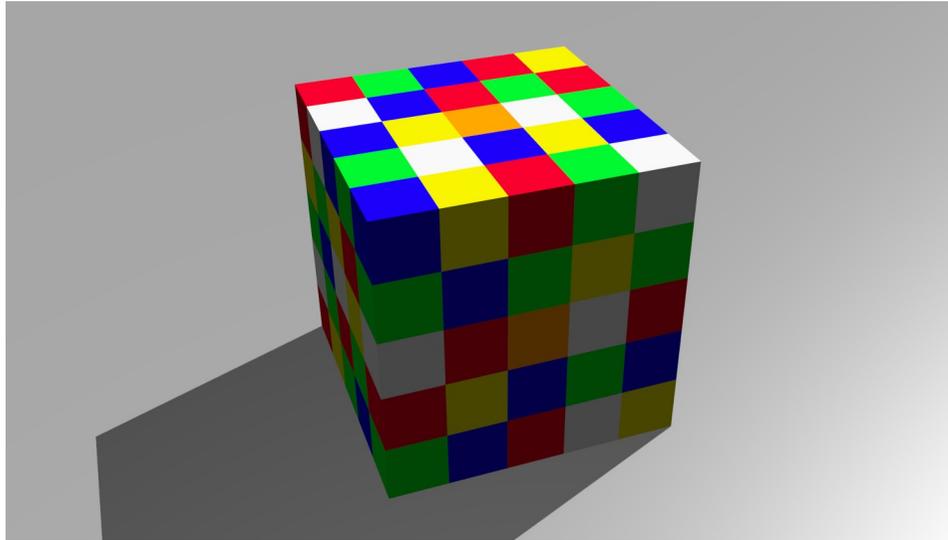
Un éclairage aussi chromatique mais jaune présente généralement un spectre beaucoup plus complet que celui de cet éclairage rouge (les longueurs d'onde moyennes et longues y sont présentes, soit environ deux tiers du spectre). Il permet déjà de mieux comprendre les "vraies" couleurs, de construire une couleur inhérente plus plausible pour les différentes facettes du Rubik's cube :



Un éclairage blanchâtre (toutes les longueurs d'onde sont alors présentes), et de teinte rouge par exemple, le permet encore mieux :



Un éclairage blanc, lui, ne demande aucun décompte de l'illuminant, aucun processus de constance des couleurs :



Mais comme le formulait une ancienne brochure OSRAM, "**La lumière peut être blanche, blanche, blanche ou blanche.**"

Toujours la relativité de la couleur. Impossible de choisir un certain blanc comme étant LE blanc. Dans l'image ci-contre, le blanc correspond au blanc de votre écran, auquel vous êtes pour le moment **adapté**. Du moins si votre écran remplit une portion assez grande de votre champ visuel.

Sinon, si vous étiez plutôt adapté au blanc de l'éclairage de la pièce dans laquelle vous vous trouvez, et si ce blanc est différent de celui de l'écran, vous pourriez trouver l'éclairage de la dernière image un peu coloré aussi.

La CIE (la Commission Internationale de l'Éclairage) ne choisit pas vraiment de blanc de référence mais définit une échelle de "**température de couleur**" et des "**illuminants standards**".

La température de couleur

La lumière naturelle, approximativement blanche, change avec l'heure (la position du soleil dans le ciel) et les conditions du ciel (couverture nuageuse, etc.). Elle varie essentiellement entre des teintes allant du rouge au jaune, ou, à l'inverse, d'un bleu un peu vert à un bleu un peu rouge.

L'évolution de votre système visuel dans un tel environnement naturel a rendu ces teintes beaucoup plus "normales" pour lui. Elles sont beaucoup moins "particulières", ou "frappantes", pour reprendre les adjectifs de Wittgenstein (cf. rem II 21 du cahier brun p. 13 du cours), que d'autres teintes, vertes, magenta ou violettes par exemple.

La température de couleur se base sur le fait que la plupart de ces lumières naturelles ont des couleurs très proches de celles des lumières qu'émettent les "corps chauffés".

Les éclairages artificiels ont, eux, longtemps été des "corps chauffés" : bougies, lampes à l'huile, au gaz, ampoules à incandescence (à filament de tungstène chauffé dans un gaz noble ou un gaz halogène).

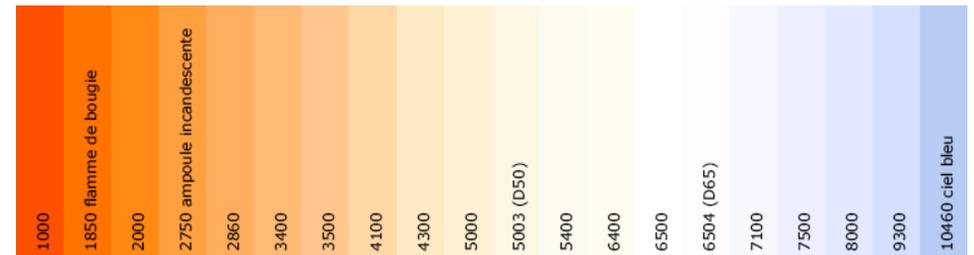
Vous avez appris à l'école que, dans une flamme, la partie bleue est la plus chaude et la partie jaune la plus froide. La couleur d'un métal en fusion, pour prendre un autre exemple, dépend aussi de sa température. Elle est, au fur et à mesure de l'augmentation de température, d'abord rouge, puis orangée, jaune, blanche, et enfin bleue. En fait, peu importe la matière chauffée : la séquence de couleur est toujours la même et dépend presque uniquement de la température.

La température de couleur en tant que standard scientifique est toutefois définie par rapport à la lumière émise par un corps théorique idéal, le "corps noir" ou "radiateur de Planck" (*Max Planck*, physicien allemand), chauffé à différentes températures. On utilise cette séquence de couleurs comme une échelle servant à repérer les

lumières blanches, caractérisées alors par leur température de couleur exprimée en **degrés Kelvin (K)**.

Une lumière de telle ou telle température de couleur est donc une lumière qui a la même couleur que celle qu'émet le radiateur de Planck chauffé à cette température.

Ci-dessous une illustration de cette échelle des températures de couleur :



On suppose dans cette illustration que le blanc de votre écran est d'une température de couleur de 6500K (que votre écran est calibré sur une t° de 6500K) et que vous y êtes adaptés. Pour d'autres suppositions, le "blanc" pourrait se trouver à une autre température de couleur.

Par rapport à cette échelle des températures de couleur, l'échelle des lumières naturelles présenterait, pour les couleurs proches du blanc, une teinte **jaune** plus affirmée du côté rouge et un peu plus **verte** du côté bleu. Les deux échelles, même si très proches, ne sont pas parfaitement équivalentes.

C'est pourquoi, tant pour caractériser les lumières naturelles qu'artificielles on parle plus généralement de la **température de couleur proximale** ou CCT* d'une source de lumière, c'est à dire la température de couleur la plus proche de la couleur de cette source.

* Le terme abrégé "CCT" est dérivé du terme anglais "correlated colour temperature".

Vous aurez remarqué que cette manière de coder les différents "blancs" est contre-intuitive, puisque les blancs chauds (au sens usuel) correspondent à des faibles températures de couleur et les blancs froids à des hautes températures de couleur.

La plupart des ampoules LED sont disponibles en différentes températures de couleur. Sur la lampe ou sur l'emballage, vous trouvez parfois une vague indication utilisant le sens usuel ("blanc chaud"), parfois une valeur précise ("3000K").

L'image ci-dessous combine les deux type d'informations (usuelle et CCT), tout en plaçant le blanc vers 4000K, ce qui pourrait être parfaitement plausible dans la situation réelle, face aux différentes ampoules, en admettant que vous soyez alors adapté à un éclairage de 4000K.

Ici l'image "triche", puisque vous la regardez sur un écran qui a de fortes chances d'être calibré sur 6500K. Le 4000K de l'image est représenté par un 6500K.



Si la CIE ne définit pas de blanc idéal, on peut dire sans trop s'avancer, qu'elle a une petite préférence pour la température de couleur de 6500K.

Le 6500K est en tout cas devenu un standard technique, en particulier pour la calibration des écrans.

Le blanc idéal, si tant est que le concept fasse sens, doit se situer quelque part sur cette échelle des températures de couleur, là où l'adaptation est pratiquement complète. Sans doute quelque part entre 5000K et 6500K.

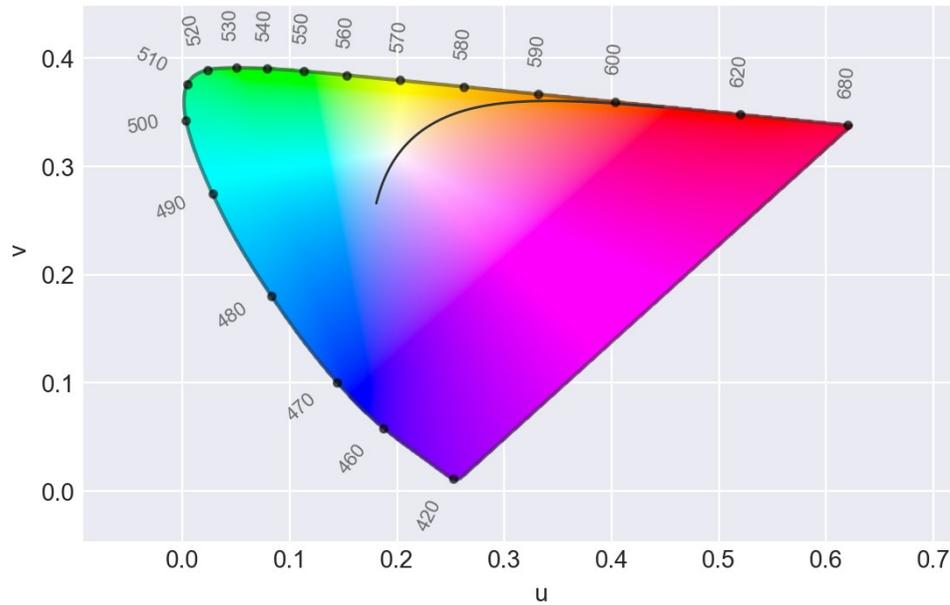
A 2750K, par exemple, le soir dans votre salon, vous n'êtes que très partiellement adapté, puisque vous vous rendez bien compte que l'éclairage est un peu jaune-rouge.

Les illuminants standards

Les illuminants standards définissent des éclairages "blancs" par leur courbe spectrale. La plupart correspondent à la lumière naturelle du jour (illuminants D, pour "Daylight").

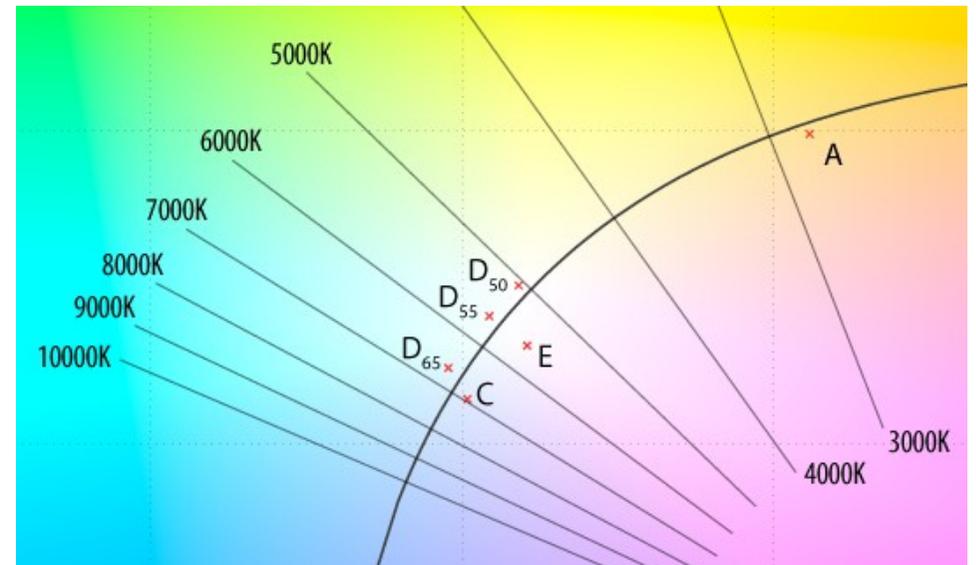
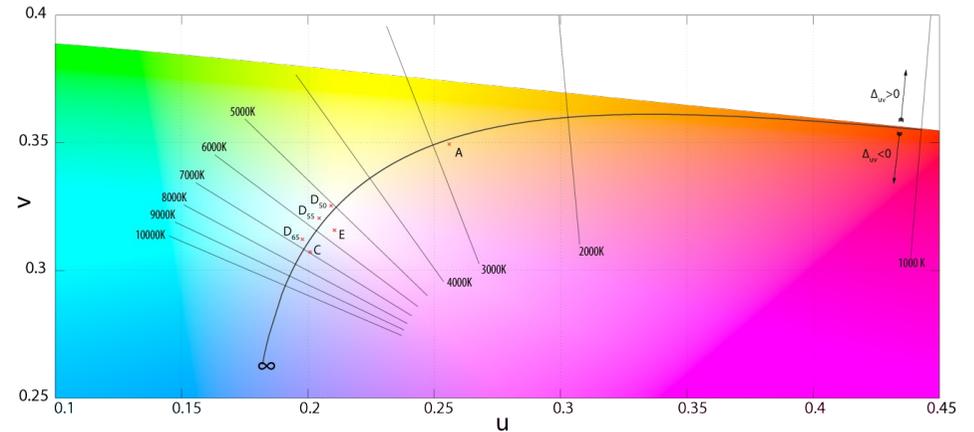
Les deux plus connus sont le **D65** (température de couleur proximale de 6504K, temps couvert) et le **D50** (température de couleur proximale de 5003K, un peu plus de rayonnement solaire direct).

Dans l'image ci-dessous, l'échelle des températures de couleur (le "lieu Planckien" cf. "radiateur de Planck", p.4) suit une ligne courbe dans le diagramme de chromaticité uv* :



* Un diagramme de chromaticité uv est une représentation 2D de l'ensemble des couleurs (ou plus justement des teintes et des saturations - manque l'information de luminosité) issu de la colorimétrie, un peu, mais pas totalement, comparable à un plan horizontal dans l'espace Lab par exemple.

Les zooms suivants montrent en plus les perpendiculaires au lieu planckien où se trouvent des couleurs d'une même température de couleur proximale, et les principaux "illuminants standards" :



IRC, Indice de rendu des couleurs

Des éclairages ayant la même température de couleur proximale (voire la même température exactement) peuvent évidemment avoir des courbes spectrales très différentes (c'est le "métamérisme", cf. p.5 de 04Système visuel.pdf et 07Relativité de la couleur.pdf).

La température de couleur seule ne suffit pas à déterminer si un éclairage donnera aux choses leur "vraie couleur" : la courbe spectrale d'un éclairage influe aussi sur la qualité de cet éclairage, c'est à dire son aptitude à "**bien rendre**" les couleurs des objets qui sont vus sous ces éclairages.

On parle du **rendu des couleurs** de tel ou tel éclairage.

Le rendu des couleurs est parfait si l'éclairage considéré donne aux objets la même couleur que le ferait un éclairage de référence d'une même température de couleur proximale : généralement un illuminant standard, ou le corps noir théorique, ou une source réelle à incandescence, en résumé des sources à spectre "complet" et "continu".

Le rendu des couleurs est donc toujours relatif à une température de couleur donnée.

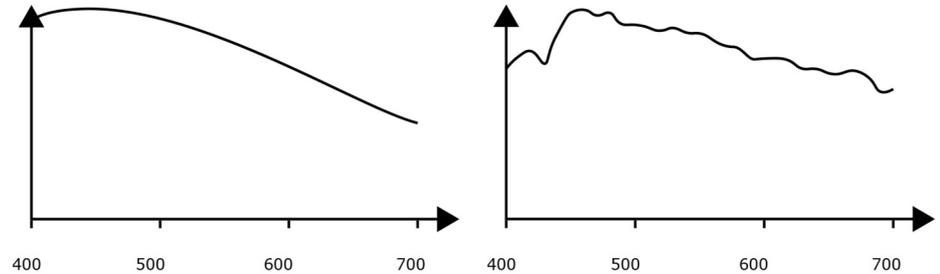
Par "bien rendre les couleurs des objets", on entend donc "donner aux objets la même couleur que sous l'éclairage de référence" mais on entend aussi "permettre de bien les distinguer les uns des autres".

En effet un éclairage au spectre "discontinu"*, ou pire, "incomplet", pourrait, pour deux surfaces qui ont des courbes de réflexion spectrales juste un peu différentes, donner deux lumières réfléchies de même courbe spectrale ou du moins métamères. Donc ne pas permettre de les distinguer.

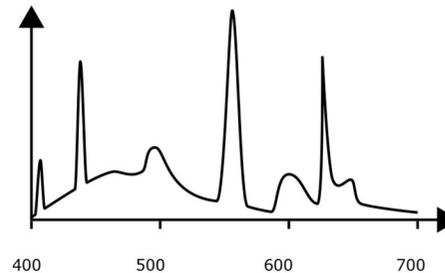
* présentant des déficiences ou au contraire des excès dans certaines portions du spectre.

Ci-dessous, 4 spectres correspondant tous les 4 à une lumière de température de couleur de 6500K :

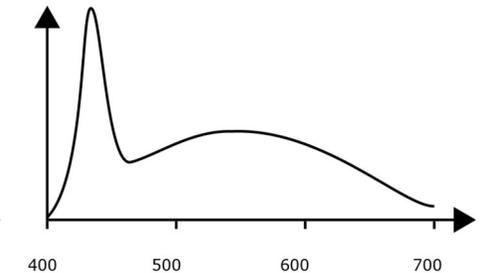
Corps noir (radiateur de Planck) : D65 :



Tube fluorescent :



LED :



Les deux lumières artificielles (fluorescente -comme dans le local couleur- et LED) présentent des spectres plus discontinus que les deux spectres de référence (corps noir et illuminant standard) et donc offrent sans doute un moins bon rendu des couleurs.

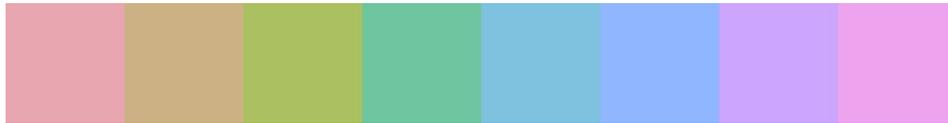
Pour chiffrer le rendu des couleurs, on utilise l'**indice de rendu des couleurs** (IRC).

L'IRC est excellent de 100 à 90, bon de 90 à 80, passable de 80 à 70 et médiocre ou mauvais en dessous.

L'IRC repose sur l'évaluation colorimétrique de la différence de couleur que présentent 8 échantillons-test entre la couleur qu'ils ont sous l'éclairage dont on mesure l'IRC et la couleur qu'ils ont sous l'éclairage de référence.

Les 8 échantillons-test (TCS Test Color Sample)

TCS01 TCS02 TCS03 TCS04 TCS05 TCS06 TCS07 TCS08



Le résultat pour l'échantillon-test 1 est appelé R1 (R pour Rendering score), celui l'échantillon-test 2 est appelé R2, etc. L'IRC est calculé comme la valeur moyenne des résultats de R1 à R8, souvent nommée Ra (average).

Techniquement, **Ra** n'est qu'un symbole dans les formules de calcul de l'IRC, mais il est devenu largement utilisé comme synonyme de l'**IRC**.

Dans le choix d'un éclairage, en plus de l'intensité lumineuse (en Lumens) les deux aspects à prendre en compte sont donc la **température de couleur proximale (CCT)** et l'**Indice de rendu des couleurs (IRC ou Ra)**.

Ci-dessous l'emballage d'une ampoule LED de 6500K et d'un IRC supérieur à 80 :



Dans le local couleur, les tubes fluorescents sont des "965", une notation dans laquelle vous trouvez "65" pour indiquer une température de couleur proximale de 6500K, et "9" pour indiquer un IRC de plus de 90.



Les ombres bleues



Claude Monet, *Meules, Effet de Neige, Le Matin*, 1891

Déjà remarquées par Buffon et Goethe, peintes par les impressionnistes, les ombres bleues trouvent leur explication dans cette notion de température de couleur.

La température de couleur de la "pleine lumière" n'est pas la même que celle des ombres. Le rayonnement solaire direct (jaune) vient s'y ajouter à la lumière qui provient du ciel (bleue), qui, a contrario, joue seule dans les ombres. Les parties en pleine lumière sont donc éclairées à une température de couleur beaucoup plus basse que les ombres.

Lorsque vous êtes adapté à la température de couleur des zones en pleine lumière, forcément les ombres vous paraissent bleues.

Dans le cas contraire, lorsque vous êtes adapté à la température de couleur des zones dans l'ombre, c'est le côté jaune de la pleine lumière qui vous apparaît.

Et bien sûr, vous pourriez aussi être imparfaitement adapté à l'une ou à l'autre de ces lumières, ou être adapté à un entre-deux des ces lumières, et dès lors percevoir à la fois le côté jaune de la pleine lumière et le côté bleu des ombres.

Puisque deux sources de lumière sont en jeu, le **phénomène des ombres colorées** doit aussi participer au spectacle :

Si vous n'êtes que partiellement adapté à la température de couleur des zones en pleine lumière, vous les percevez toujours comme jaunâtres, donc vous décomptez cet illuminant (vous "enlevez du jaune") pour maintenir une constance des couleurs et lorsque vous le faites pour les ombres qui elles, n'ont rien de jaune, vous renforcez leur côté bleuté, voire vous le décalez un peu vers le violet.

La robe



Vous connaissez déjà l'histoire : en 2015, sur sa page tumblr, Swiked poste une photo et commente : *"Les gars s'il vous plaît aidez-moi - est-ce que cette robe est blanche et dorée ou bleue et noire ? Mes amis et moi on est pas d'accord et ça nous fait totalement flipper"*. On en parle toujours aujourd'hui.

Pour expliquer pourquoi les deux visions sont possibles (certains passent même de l'une à l'autre sans contrôler le phénomène), il faut reprendre depuis le début : voir c'est interpréter une scène entière, comprendre le contexte. Et justement l'image est cadrée tellement serré que cette interprétation est problématique. La robe est-elle en pleine lumière (une lumière de faible température de couleur, telle qu'on l'aperçoit à l'arrière plan) ou au contraire, à l'ombre (là où on suppose que l'éclairage pourrait être d'une température de couleur beaucoup plus élevée) ? Suivant l'option qu'il retient, votre cerveau décompte un illuminant ou l'autre et le processus de constance des couleurs génère soit une robe blanche et dorée, soit une bleue et noire.

Les deux illustrations de la page suivante vous explique la chose en image.



例のドレス問題



明るい場所の青黒

暗い場所の白金

※どちらも同じ色です
スポットで確かめてみてください

RETWEETS
6,731

FAVORITES
4,095



3:52 AM - 27 Feb 2015



例のドレス問題



明るい場所の青黒

暗い場所の白金

※どちらも同じ色です
スポットで確かめてみてください

RETWEETS
6,731

FAVORITES
4,095



3:52 AM - 27 Feb 2015