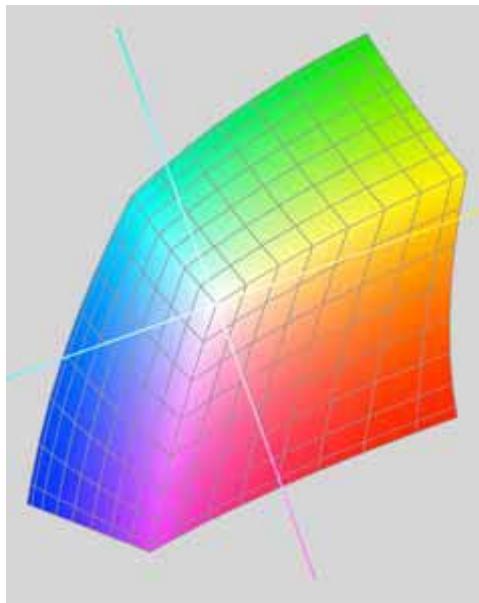


Les différents modèles colorimétriques

Un espace colorimétrique est un système qui permet de créer des couleurs, de les spécifier et de les visualiser. Cette définition est assez générale pour prendre en compte toutes les situations depuis la simple roue chromatique au système le plus élaboré.

Nous allons faire connaissances avec plusieurs types d'espaces colorimétriques :

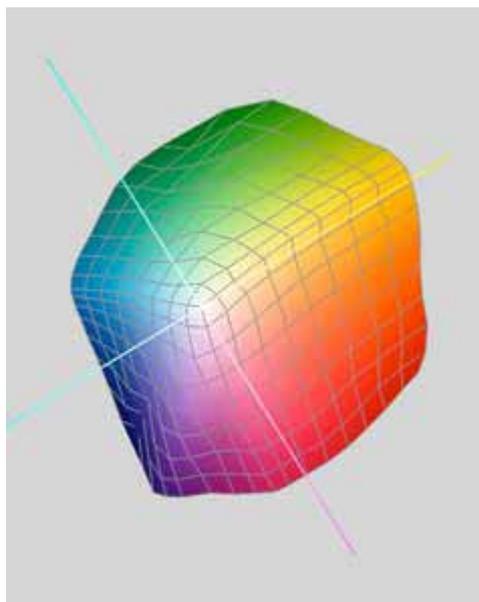
- 1) Les espaces perceptuels : ils nous permettent de comprendre de façon intuitive et instinctive les 2 valeurs accordées à chaque couleur comme le TSL ou ses dérivés. La manière la plus efficace d'ajuster les couleurs dans Photoshop.
- 2) Les espaces dépendants d'un matériel : les plus importants pour nous sont le RVB et le CMJN et seront particulièrement approfondis car ce sont eux qui sont concernés par les profils colorimétriques
- 3) Un espace hybride entre le perceptuel et le nuancier : l'Atlas de Munsell qui sera une excellente introduction à l'espace CIELAB.



La photo qui contient des bleus très saturés s'exprime bien dans l'espace d'un moniteur.

Le graphique de l'espace colorimétrique de ce moniteur confirme un large gamut dans la région des bleus.

(bleus saturés = bleus éloignés de l'axe central)



La même image imprimée sur une presse offset est constituée de bleus beaucoup plus ternes.

On se rend compte sur le graphique que l'espace couleur d'une presse d'imprimerie (ici ISO-Offset) est particulièrement déficient dans la région des bleus (Comparativement à celui de l'écran.)

Description d'un espace colorimétrique

Prenons un premier exemple pour être bien clair. Si vous utilisez une feuille de papier blanc, un crayon noir, vous ne pourrez produire que du noir et une gamme de gris et bien sûr du blanc. L'espace colorimétrique décrit par un crayon à papier sur du papier blanc est donc formé par les nuances de gris compris entre le blanc et le noir. La couleur bleu sera hors de notre espace colorimétrique.

La première remarque et la plus importante est de constater que tout espace a des limites, c'est-à-dire que certaines couleurs sont acceptées et d'autres hors gamut (hors de la gamme). S'il ne devait avoir qu'une seule notion à retenir dans ce chapitre, c'est bien celle de gamme de couleurs (ou plage de couleurs) ou gamut en anglais. Décrire un espace colorimétrique c'est décrire un contenant et les couleurs qui sont à l'intérieur.

La deuxième remarque est que le nombre de couleurs est infini. Si le noir est considéré comme ayant la valeur 1 et le blanc la valeur 0, toute valeur intermédiaire sera notée $1/x$. Par exemple un gris intermédiaire prendra la valeur $1/2$. La possibilité de mélange intermédiaire est infinie.



Le dessin ci-contre a été fait au crayon noir sur une feuille de papier blanc. Entre la couleur la plus claire qui est le blanc du papier et la couleur noir s'échelonne toute une gamme de gris qu'on peut considérer comme le gamut d'un petit espace couleur contonné dans les gris. Un espace colorimétrique est constitué par la totalité des couleurs qu'il peut produire.

La troisième remarque est que notre espace de couleurs est très limité - uniquement des couleurs grises - parce qu'il dépend du matériel utilisé. On dit de cet espace qu'il est "dépendant du matériel".

Une première conclusion est de dire que tous les périphériques que nous utilisons en informatique, en photographie ou en imprimerie ont un "gamut" qui leur est propre, et que leur espace colorimétrique est dépendant du matériel.

Prenons un second exemple, une machine fréquemment utilisée dans les arts graphiques appelée flasheuse qui est capable de simuler des couleurs grises avec des points noirs de différentes grosseurs (votre imprimante peut faire la même chose mais de façon moins précise). La gamme de couleurs sera la même que celle du papier et du crayon (accordons-nous cette approximation), et sera formée de noir, de blanc et des différents gris intermédiaires, ils auront donc un espace colorimétrique similaire. Par contre ce périphérique va nous apporter une information supplémentaire : il permet de spécifier chaque niveau de gris par une notation spécifique. Par exemple, si les points noirs sont suffisamment gros pour recouvrir 10 % de la surface du film, on dira qu'on a un noir à 10 %. Cet espace colorimétrique est fondé sur un système capable de doter chaque couleur d'une grandeur mesurable. Le nombre de couleurs est ici arbitrairement limité à 100 valeurs distinctes avec blanc = 0 et noir = 100. Le nombre de valeurs peut être choisi différemment en fonction du matériel concerné.



La photo ci-contre représente une image obtenue par photogravure avec une trame de points noirs. Dans la loupe, la surface des points noirs occupent 10 % de la surface totale. On peut donc nommer et quantifier le gris correspondant : «10 % de noir». L'espace colorimétrique de ce système s'étend du blanc (0 %) au noir (100 %).

Ne pas confondre mode colorimétrique et modèle colorimétrique. Photoshop est capable d'éditer les images directement dans certains modèles colorimétriques, c'est-à-dire de séparer l'image en plusieurs couches correspondant aux critères de description des couleurs. On appelle "mode" cette capacité d'utiliser un modèle. Photoshop dispose du mode RVB, CMJN et Lab mais pas du mode TSL, par contre il peut éditer une couleur grâce au modèle TSL alors qu'on se trouve en mode RVB.

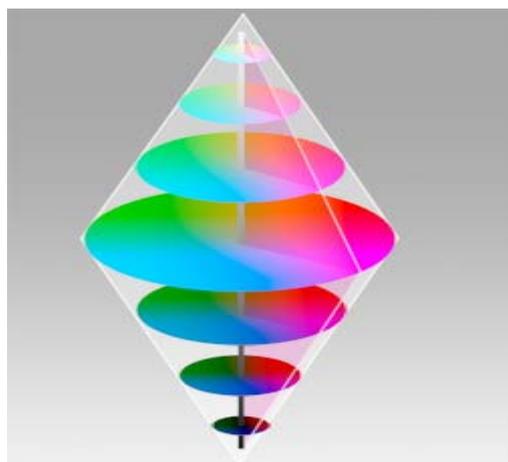
Le modèle TSL

Le modèle TSL, (HSB en anglais) acronyme de Teinte, Saturation, Luminosité est le plus intuitif de tous les modèles que nous étudierons. Il est basé sur le fonctionnement de la perception humaine, c'est pour cela qu'on le classe dans les espaces perceptuels. Chaque critère de couleur est clairement séparé, ce qui en fait la référence absolue pour la retouche d'image ou l'ajustement des couleurs.

Le modèle TSL est basé sur les trois caractéristiques que nous avons découvertes précédemment : La teinte est mesurée par un angle autour de la roue chromatique qui décrit toutes les couleurs du spectre et ses complémentaires.

La saturation est mesurée du centre de la roue vers les bords en partant des couleurs neutres vers les couleurs les plus vives.

La luminosité est mesurée entre le noir (pas de lumière ou valeur 0) et le blanc (lumière maximum ou valeur 1).



Le modèle TSL a de très fortes affinités avec la synthèse soustractive. Les couleurs du cercle chromatique peuvent être soit éclaircies par dilution ou ajout de blanc, soit assombries par mélange. C'est le modèle de référence pour les artistes et tous ceux qui sont amenés à faire des mélanges de couleurs sous forme d'encre, de pigments ou de teintures.

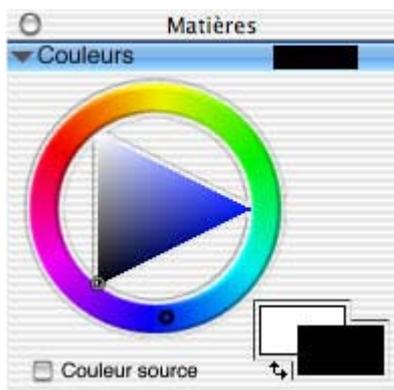
Il a l'avantage de définir clairement l'échelle des luminosités entre le noir et le blanc.

Le TSL est donc basé sur un cercle chromatique qui a l'avantage de présenter les teintes complémentaires face à face et dans l'ordre logique des couleurs spectrales. En contrepartie, il a l'inconvénient d'apporter une notation polaire (exprimée en degrés autour du cercle) plus ou moins inexploitable pour les conversions vers les autres modèles. Ce gamut de forme circulaire n'a aucune légitimité mathématique, il est adopté par convenance grâce à sa simplicité. Dans ce système les mélanges entre complémentaires vont donner toujours une couleur neutre, et un gris à 50 % sur la roue chromatique centrale.

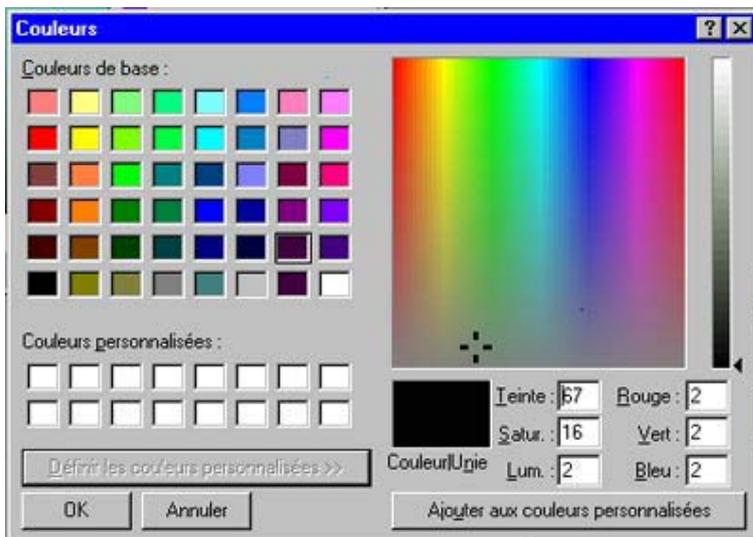
La saturation varie de la couleur saturée vers le gris. Le choix d'une luminosité de 50 % pour définir le gris dans le centre de la roue chromatique est tout à fait arbitraire et ne correspond à rien dans le monde réel. C'est d'ailleurs le défaut majeur de ce système et on est en droit de se demander s'il est bien normal qu'une couleur clair comme le jaune pur se trouve au même niveau de luminosité que le bleu-violet.

Un des grands avantages du modèle TSL est de bien séparer clairement la composante luminosité des composantes chromatiques. Teintes et saturation sont sur un même plan en conformité avec la sensation colorée de l'œil et la luminosité quant à elle, est placée sur un axe perpendiculaire.

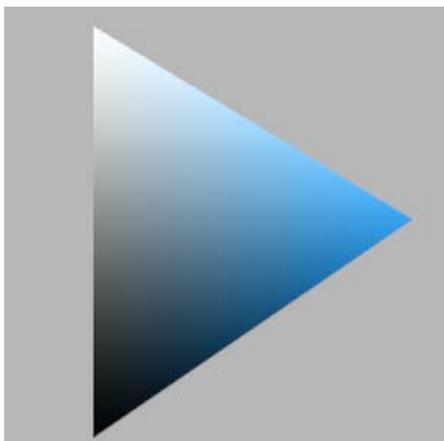
On peut également définir pour chaque teinte, un plan de teinte constante où on voit les couleurs varier en luminosité et saturation et qui se traduit par une coupe verticale dans l'espace colorimétrique.



Dans les logiciels, les sélecteurs de couleurs ont une prédilection pour les modèles TSL Ici, dans Painter.



Le sélecteur couleur de Windows utilise le modèle TSL. C'est la méthode la plus intuitive : d'un côté le carré donne accès aux teintes et aux saturations, de l'autre, le curseur vertical est paramétrable du noir au blanc. Le système MacOS donne accès à six sélecteurs couleur dont un TSL identique à Windows et un TSV ressemblant à celui de Photoshop.



Une coupe verticale dans le modèle TSL fait apparaître toutes les variations pour une même teinte.

On appelle plan de teinte constante, la surface qui permet de déterminer les deux paramètres restants.

Chaque fois qu'on a déterminé l'un des paramètres teinte, saturation ou luminosité, les deux autres s'expriment dans un plan.

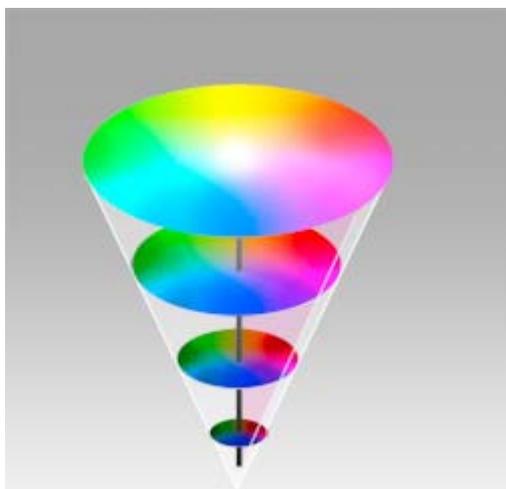
clarté	Pâle	Clair	Lumineux
	Gris /délavé	Moyen	Vif / Franc Saturé / Intense
	Sombre / rabattu	Foncé	Profond
	saturation		

Certains auteurs parlent des « tons » d'une couleur pour qualifier les déclinaisons entre la couleur pure, le blanc et le noir. Le triangle ci-contre serait représentatif des tonalités d'une teinte bleue. D'autres emploient ce terme uniquement comme synonyme de teinte. Il est donc souvent source de confusion et il faut toujours déterminer le sens que lui donne l'auteur. Ici nous l'éviterons tout simplement.

Le modèle TSV

Le modèle TSV est un dérivé du modèle TSL où on a abandonné la notion de luminosité pour se rapprocher du modèle RVB. On part du noir (valeur 0) pour évoluer vers les couleurs à valeur maximum (valeur 1). Arrivé à ce stage, on se trouve sur le cercle de chromaticité, et on peut encore évoluer vers davantage de luminosité en diminuant la pureté des couleurs, c'est-à-dire en s'approchant du blanc au centre du cercle.

Dans ce système la luminosité se fait en deux étapes sur deux axes perpendiculaires : du noir vers la couleur, puis de la couleur vers le blanc.



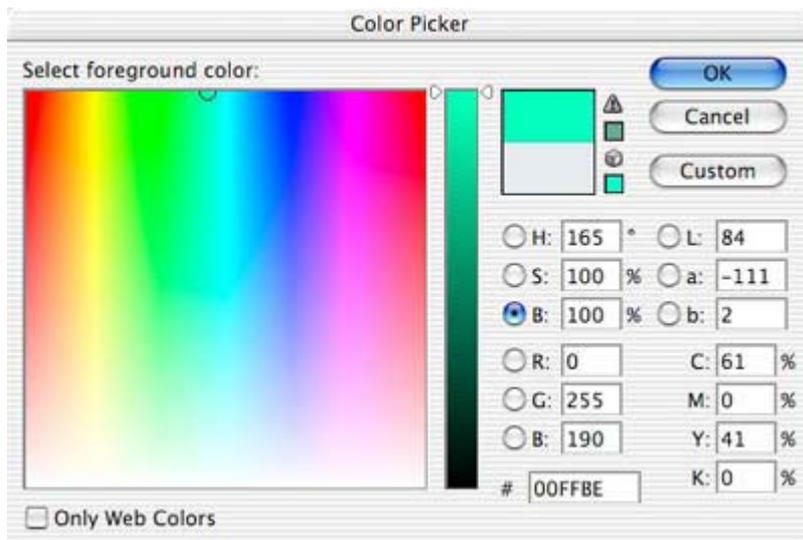
Le modèle TSV a de très fortes affinités avec la synthèse additive. C'est en quelque sorte l'adaptation du modèle RVB vers des critères perceptuels.

Il ne définit pas clairement la luminosité, qui s'exprime en deux étapes : la valeur du noir vers la couleur, puis la saturation de la couleur vers le blanc.

Le TSV a été très en vogue avec l'avènement de l'informatique car facilement transposable depuis le modèle RVB des moniteurs couleur. En effet, quelque soit la couleur choisie, sa valeur baisse proportionnellement à la puissance des faisceaux lumineux.

En contrepartie, il donne une fausse idée de la saturation puisqu'on a l'impression que cette grandeur évolue de la couleur vers le blanc. En réalité, si on tient compte des différents niveaux de valeurs, la saturation d'une manière générale varie vers le neutre (vers le gris).

A titre indicatif, sachez que les anciennes versions de Photoshop possédaient un mode TSL. Il a été remplacé avantageusement par le mode Lab.



Le sélecteur couleurs de Photoshop est basé sur le TSV. Lorsqu'on choisit Luminosité (Brightness), il n'est pas possible d'aller directement du noir au blanc, il faut continuer par le paramètre saturation.

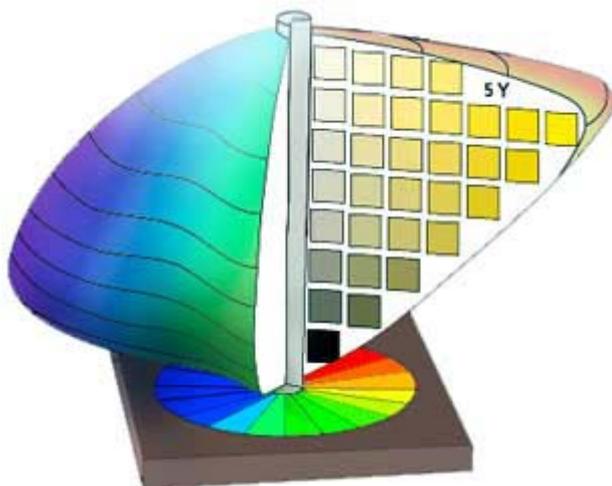
Le modèle couleur de Munsell

Un modèle en avance sur son époque

Au début du 20e siècle, les espaces colorimétriques apportent les réponses essentielles à la compréhension de la couleur, mais d'autres besoins se font sentir comme le classement des couleurs sous forme de nuancier pour l'industrie des colorants.

Parmi les innombrables tentatives pour la construction d'un système chromatique capable à la fois d'organiser la couleur selon un plan logique et de respecter leurs rapports visuels, celle du peintre américain Albert Henry Munsell (1858-1918) est l'une des plus abouties. L'Atlas des couleurs de Munsell est de nos jours encore très utilisé surtout aux USA.

En explorant ce modèle colorimétrique, nous allons découvrir de nouvelles notions que Munsell met en avant pour la première fois dans un système de couleurs. Il s'agit de la "luminance" et de la "brillance", notions évoluées de colorimétrie.



L'atlas de Munsell est à la fois un nuancier d'une grande précision où les couleurs sont classées par planches de teintes constantes. C'est aussi un modèle colorimétrique innovant où pour la première fois les couleurs sont réparties en fonction de leur brillance.

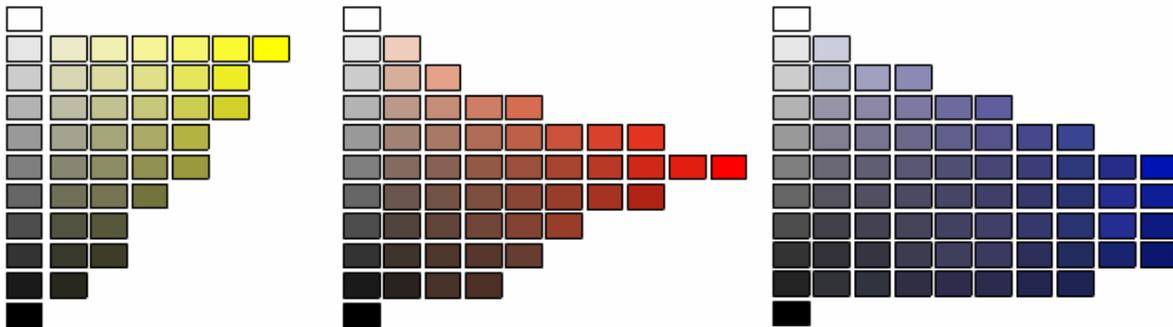
les teintes

L'atlas de Munsell a pour base un cercle chromatique divisé en 40 teintes. Il ne s'attarde pas à définir prioritairement des couleurs primaires mais plutôt 10 teintes principales dont l'espacement est soigneusement choisi pour leurs écarts perceptuels. Les couleurs sont disposées de façon à ce que les paires complémentaires (dont le mélange donne un gris neutre) soient diamétralement opposées : ainsi le jaune et le bleu marine, l'orange et le bleu glacier, le rouge et le vert, le violet

et le vert tendre. Il choisit comme référence non pas le rouge mais le mélange rouge/magenta, exactement comme le futur modèle CIELAB. Est-ce une géniale intuition ou une coïncidence ?



l'Atlas de Munsell est un véritable nuancier constitué de planches de teintes constantes. On remarque immédiatement que la couleur jaune, la couleur rouge et la couleur bleu ne produisent pas le même type de chrominance.



Valeur, luminosité et luminance

Jusqu'à maintenant, nous avons employé le terme de luminosité de façon générique pour décrire les différentes intensités lumineuses. Munsell va être le premier à s'apercevoir que la luminosité ressentie ne correspond pas avec l'intensité lumineuse réelle (luminance).

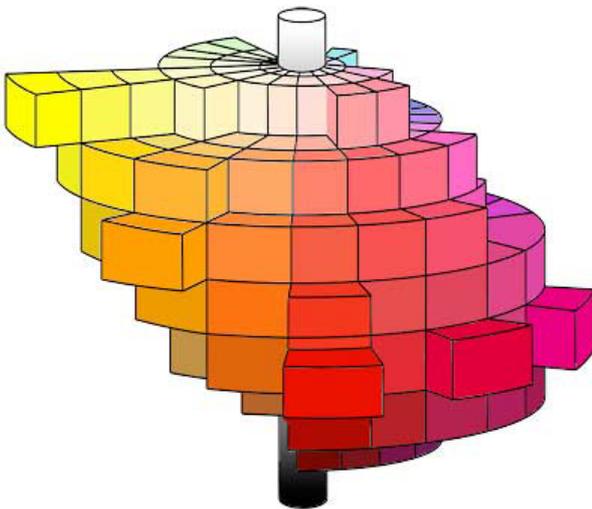
La distinction entre ces deux termes relève de notions évoluées de colorimétrie et il existe encore une part d'ambiguïté non résolue à l'heure actuelle. Pour en savoir plus, consultez la

Pour construire son échelle de valeurs du noir au blanc, Munsell utilise 9 nuances intermédiaires. Contrairement à ce qui se faisait jusqu'alors, il va proposer une progression lumineuse entre les nuances de gris non pas linéaire comme cela se faisait avant lui, mais en adoptant une progression basée sur la perception visuelle, c'est-à-dire que le gris central ne sera pas physiquement un gris à 50 %, mais un gris beaucoup plus clair (20 %) de telle sorte que notre sensation visuelle nous le fait ressentir véritablement à mi-chemin entre le noir et le blanc. Pour qualifier l'échelle des valeurs d'intensité lumineuse Munsell emploie le terme de Value (valeur) qui dans les faits se révèle très proche de la luminosité des espaces colorimétriques modernes. C'est grâce à son expérience de la peinture artistique et sa grande sensibilité pour les couleurs qu' il construit un système de perception uniforme. La "Valeur" définissant la luminance est également un paramètre de perception uniforme.

Chrominance (Chroma) et brillance (Brightness)

Munsell révolutionne aussi le classement classique par saturation depuis la colonne grise de l'axe central jusqu'à la couleur la plus pure. Il va proposer une répartition de la couleur par chrominance (Chroma en anglais) basée sur la perception visuelle, c'est-à-dire que toutes les couleurs ne seront pas à la même distance de l'axe central selon leur réelle saturation. On voit donc apparaître des bosses de saturation sur l'atlas à l'emplacement des couleurs les plus saturées. Par exemple au niveau de l'équateur le vert et le bleu font des bosses de saturation qui placent le cyan dans un creux.

Munsell va exploiter la notion de brillance pour classer les couleurs : les bosses de chrominance se sont pas regroupées uniquement sur l'équateur, mais réparties plus ou moins en hauteur sur l'axe des valeurs pour tenir compte de leur « brillance ». La brillance (brightness en anglais) est un terme qui revêt plusieurs acceptions. Dans le cas qui nous intéresse ici c'est le sens suivant : apparence de l'intensité d'une couleur combinant les effets de la luminosité et de la saturation. Le jaune le plus saturé se trouve donc très haut, près du blanc et le bleu le plus saturé se retrouve très bas près du noir. La première conséquence de ce bouleversement est qu'il n'existe plus dans ce modèle de plan de chromaticité qui rassemble les couleur les plus saturées.

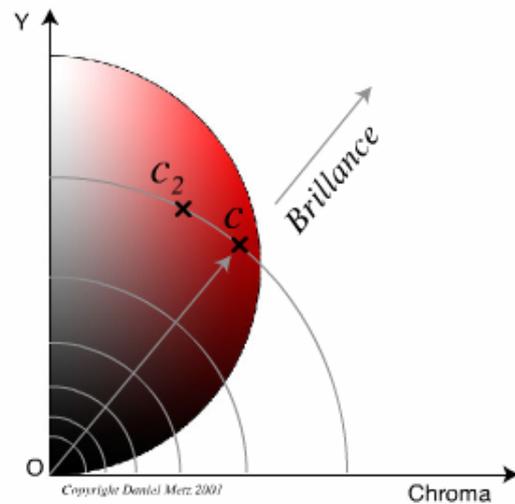
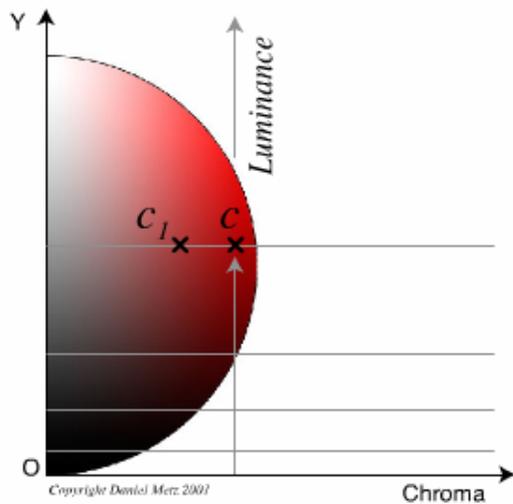


Toutes les couleurs ne sont pas logées à la même enseigne : le jaune, le rouge le magenta forment des bosses de saturation.

Si l'on compare les trois couleurs primaires d'un moniteur à leur puissance maximum, on constate une nette différence de brillance entre les trois couleurs. Le vert considéré comme la couleur la plus brillante cumule une somme de luminance et de saturation plus élevée que les autres couleurs. Le vert est la plus brillante des couleurs. De même le jaune est plus brillant que le bleu car à saturation identique, il a une luminance plus élevée.

Alors que la luminance situe une couleur sur l'axe de luminance, la brillance situe une couleur par rapport à la distance absolue depuis le noir.

La Compagnie Internationale de l'Eclairage a essayé dans un premier temps de définir la couleur avec le paramètre de brillance, mais devant la difficulté de la tâche, elle y a renoncé officiellement en 1948. Cette grandeur, oubliée de nos jours, nous donne un aperçu de la difficulté à cerner un espace colorimétrique dans son ensemble. La notion de luminance est la notion la plus proche de la notion de Brillance.

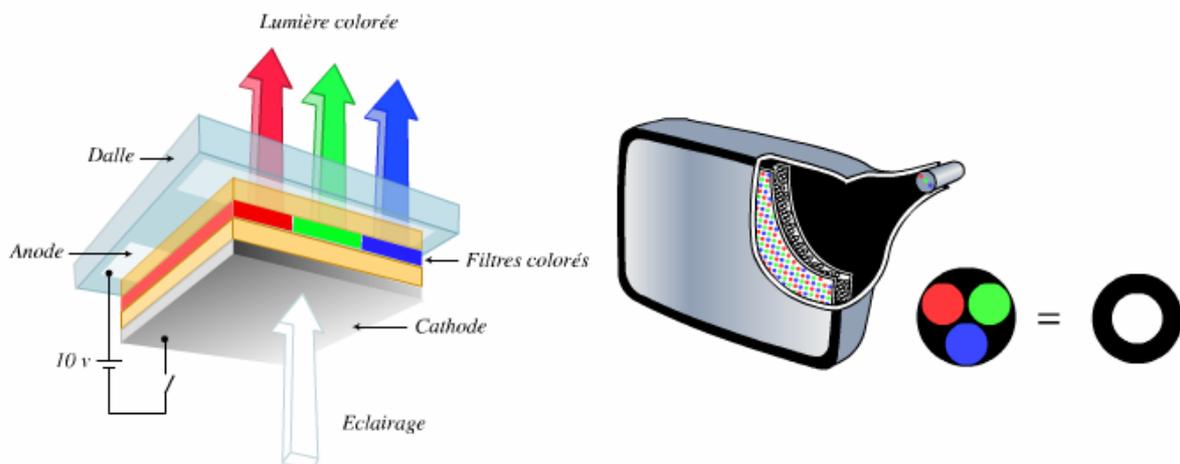


Le principe du RVB

Le modèle couleur RVB est au centre de la colorimétrie numérique, non pas parce qu'il apporte des avantages particuliers par rapport à d'autres modèles mais simplement parce qu'il dérive de la technologie la plus souvent employée dans l'environnement numérique.

Les moniteurs LCD comme les moniteurs CRT sont basés sur le principe additif de trois couleurs primaires, rouge, vert et bleu. Les scanners et les appareils photo analysent en RVB. L'œil humain analyse également les images dans un modèle RVB. On peut dire que le modèle RVB est au centre du principe de la gestion des couleurs.

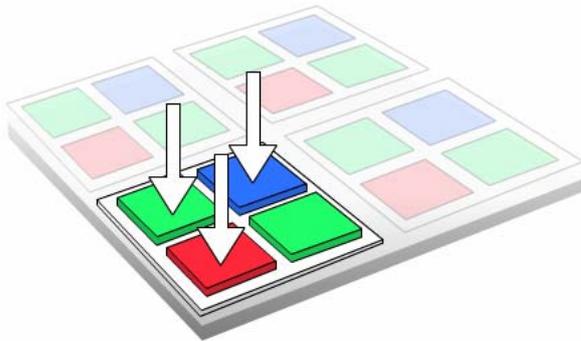
Dans une dalle LCD, les cristaux liquides vont modifier la propagation de la lumière, ou plus exactement sa polarisation. Si on leur applique un champ électrique, les molécules, de forme allongée, s'ordonnent naturellement de manière parallèle les unes aux autres. Le principe de l'écran LCD consiste à placer des cristaux liquides en sandwich entre deux plaques gravées et orientées à 90°. La dalle est éclairée par l'arrière avec une lumière polarisée et lorsque les sillons changent d'orientation, la lumière passe au travers. Sous l'effet d'une tension de commande, les cristaux vont progressivement s'orienter dans le sens du champ électrique et la lumière sera bloquée par le deuxième polariseur. Chaque pixel de l'image est constitué d'une cellule de ce type devant laquelle est placé un filtre rouge, vert, ou bleu.



Dans le tube cathodique d'un moniteur CRT, trois faisceaux d'électrons viennent bombarder la face intérieure de l'écran qui est tapissée d'une mosaïque de pastilles phosphorescentes rouge, vert et bleu agencées trois par trois, qui sont capables de reproduire toute la gamme des couleurs par mélange et valeurs des faisceaux. La découverte de Thomas Young, qui dit que avec seulement

trois couleurs spectrales, on peut reconstituer toutes les autres, est exploitée magistralement sur les écrans de télévision ou d'ordinateur.

On retrouve aussi cette technologie basée sur les primaires RVB, sous une forme un peu différente que l'on nomme « capteurs CCD ». Elle est depuis très longtemps dans les scanners à tambour sous la forme d'un capteur unique ou dans les scanners à plat sous la forme d'une barrette de capteurs.



La technologie des appareils photo numériques a repris le principe du capteur CCD en l'utilisant sous forme de "grille" rectangulaire au rapport 3/4.

L'espace RVB

Ce qui va nous intéresser principalement dans la représentation géométrique du modèle, c'est de mettre en évidence les trois paramètres qui interviennent dans les profils RVB. Le premier est le gamma qui détermine la perception lumineuse de l'image. Le deuxième est le point blanc qui détermine une référence à un éclairage. Le troisième est la chromaticité des primaires qui va déterminer le gamut.

A screenshot of a software dialog box titled "Custom RGB". It contains several input fields and dropdown menus for defining an RGB color profile. The fields are organized into sections: Name, Gamma, White Point, and Primaries. Each section has a table of values for x and y coordinates.

Name:	
ECI-RGB.icc	

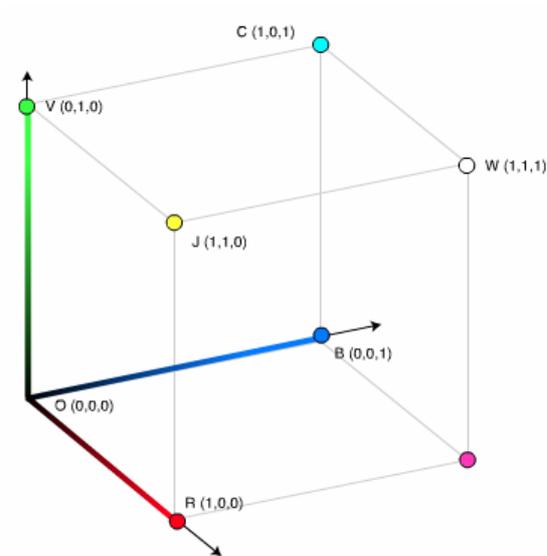
Gamma	
Gamma:	1,80

White Point: 5000° K (D50)		
x	y	
White:	0,3457	0,3585

Primaries: NTSC (1953)		
	x	y
Red:	0,6700	0,3300
Green:	0,2100	0,7100
Blue:	0,1400	0,0800

Quand on ouvre la fenêtre d'un profil RVB, on remarque que les couleurs qui le définissent (point blanc et couleur des primaires) sont notées en "coordonnées réduites". Uniquement deux valeurs par couleur, notées en minuscules.

La représentation cubique



L' espace RVB est très souvent représenté à partir d'un cube. Le choix de placer les trois repères à angle droit correspond simplement à un choix didactique ou perceptuel comme pour le modèle TSL. Il est vrai que le cube avec ses 6 faces apporte une représentation claire de la répartition des mélanges de couleurs.

L'enveloppe de cet espace, appelé aussi gamut, est représentée par la surface du cube dont les côtés sont formés par les vecteurs des trois primaires. Le point d'origine O est le point noir, le sommet opposé est le point blanc W.

Le vecteur OW qui relie le point noir au point blanc est l'axe achromatique, c'est-à-dire l'axe dont les couleurs passent du noir au blanc par des niveaux de gris.

Les sommets RVB sont l'emplacement des trois primaires et les trois sommets restants sont occupés par les couleurs secondaires Cyan, Jaune et Magenta.

Par convention en colorimétrie chaque primaires peut varier de la valeur 0 à la valeur 1. En informatique, elles varient selon la profondeur dans laquelle elles sont décrites : de 0 à 255 en profondeur de 8 bits ou de 0 à 65535 en profondeur 16 bits.

Il existe aussi une notation spécifique des couleurs RVB utilisée pour le langage HTML, le codage hexadécimal. Pour plus de détails sur cette notation, consulter la [page couleur web hexadécimale](#).

La composition de toute couleur C contenue dans le cube est obtenue par la somme des trois vecteurs qui la composent :

$$C = R + V + B \text{ ou sous forme vectorielle : } OC = OR + OV + OB$$

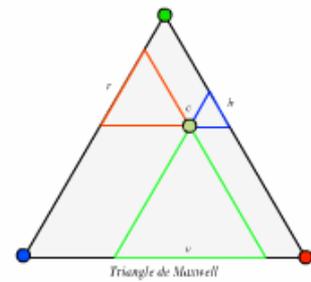
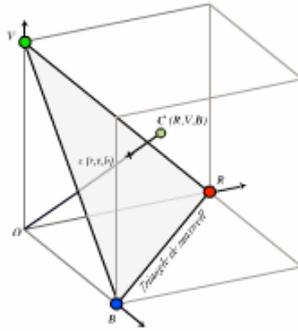
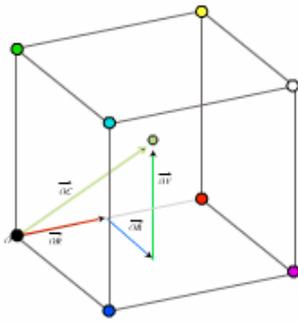
Prenons deux exemples :

Le point blanc W est obtenu par la somme des trois vecteurs : $OW = OR + OV + OB$

Le point A (127,192,255), mais qu'on préfère noter ici (1/2, 3/4, 1) aura pour position : $OA = 1/2(OR) + 3/4(OV) + 1(OB)$.

L'intérêt d'un tel cube est de montrer clairement la répartition des couleurs. Tous les sommets opposés sont des couleurs complémentaires. Le centre du cube est le gris moyen noté 128,128,128 ou dans notre notation géométrique 1/2,1/2,1/2.

Nous savons donc maintenant qu'un certain mélange de couleur RVB correspond toujours à une position géométrique précise dans le cube. Mais cela ne nous avance pas beaucoup car ce type de formule ne nous indique rien de précis ni sur la luminosité, ni sur la couleur. Imaginez que vous souhaitez trouver la complémentaire de la couleur A avec une notation RVB (1/2, 3/4, 1) ou (127,192,255). Le problème est surmontable, mais pas simple !



Il existe pourtant un moyen de noter clairement le mélange de couleur rouge, vert ou bleu pour obtenir une nouvelle couleur. Il faut accepter de se passer des informations de luminosité, c'est-à-dire dans la pratique de ne considérer qu'un plan en deux dimensions à la place du cube à trois dimensions. Cette méthode a été inventée par Maxwell et nous l'avons déjà abordée dans l'animation du chapitre "le triangle de Maxwell".

Pour exposer sa méthode, Maxwell nous fait une brillante démonstration géométrique à l'aide de son triangle. Cette méthode consiste à faire une projection de n'importe quel point (couleur) du cube sur un plan déterminé par les trois primaires. Sur ce plan qu'on appelle triangle de Maxwell, chaque couleur occupe une place géométrique conforme à la quantité de mélange des trois primaires, mais aussi et c'est essentiel une nouvelle notation. On appelle cette nouvelle notation, la notation réduite ou coordonnée réduite. Par convention, elle est toujours utilisée avec des lettres minuscules en opposition à la notation RVB toujours notée en majuscules.

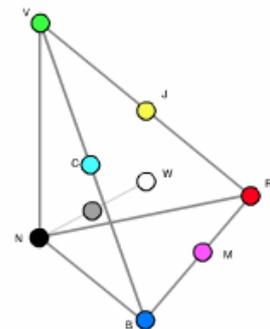
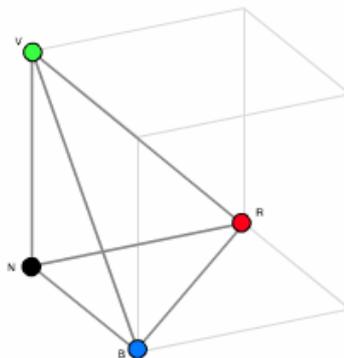
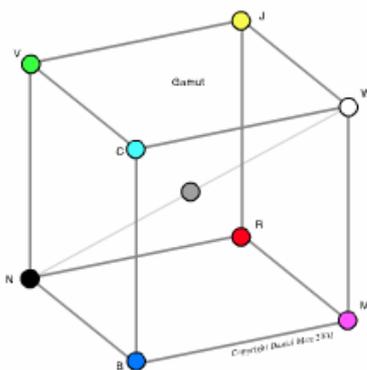
A côté de la démonstration géométrique présentée dans l'animation ci-dessus, on peut bien entendu, arriver au même résultat avec une démonstration algébrique. Comme la philosophie de ce site est de faire intervenir au minimum les formules mathématiques, vous trouverez cet exposé algébrique sur la page Coordonnées réduites RVB du site couleur.net.free.fr/

Gamut d'un système RVB

le couple point blanc/primaires d'un moniteur

le couple point blanc/primaires d'un profil virtuel

Le modèle RVB est certainement celui que l'on est amené à utiliser le plus souvent dans la manipulation des images numériques, que ce soit pour apporter des corrections aux images ou pour les récupérer depuis différentes sources. Pourtant il n'en reste pas moins difficile à maîtriser notamment pour les mélanges de couleurs. Bref, il ne sera pas notre référence en tant que palette de mélanges, mais il est incontournable pour sa souplesse dans les montages d'images complexes et sophistiquées.



Le modèle couleur CIE RGB

C'est la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) qui fut en charge dans les années 1920 de concevoir un système de couleur de référence. Le cahier des charges était simple et clair : construire le modèle colorimétrique d'un matériel très répandu sur notre planète, l'oeil humain. Autrement dit, Il faut définir l'espace colorimétrique correspondant à la vision d'un observateur moyen. La réalisation d'un tel système était un vrai défi car l'espace devait être représentatif et la notation des couleurs devait rester accessible.

L'Observateur Standard de la CIE

Wright et Guild entreprennent de modéliser la vision humaine. Ils font une série d'expériences avec un groupe de personnes représentatives d'une vision humaine moyenne. C'est "l'Observateur de Référence" exposé en 1931, dit CEI 1931. Il correspond à une vision des couleurs sous un angle de 2°.

L'expérience consiste à comparer deux couleurs. La première couleur qui correspond à une couleur spectrale pure est produite par une source monochromatique, c'est-à-dire possédant une longueur d'onde unique.

La deuxième couleur est produite par le mélange de trois couleurs RVB. A cette époque les connaissances physiologiques de l'œil humain sont bien avancées et l'on sait notamment que les couleurs sont captées par l'œil avec des cônes sensibles au rouge, au vert et au bleu. Donc l'idée de définir la vision humaine dans un système RVB est tout à fait justifiée.

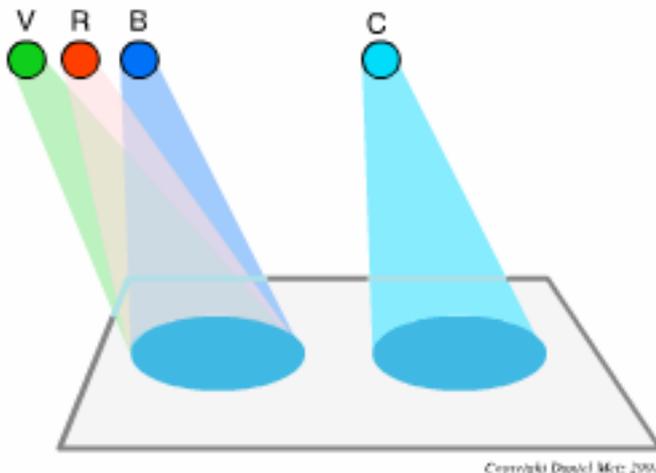
Cet espace RVB, aujourd'hui nommé CIERGB, est constitué de trois primaires :

700,0 nm pour le rouge appelé R (prononcer grand R)

546,1 nm pour le vert appelé V (prononcer grand V)

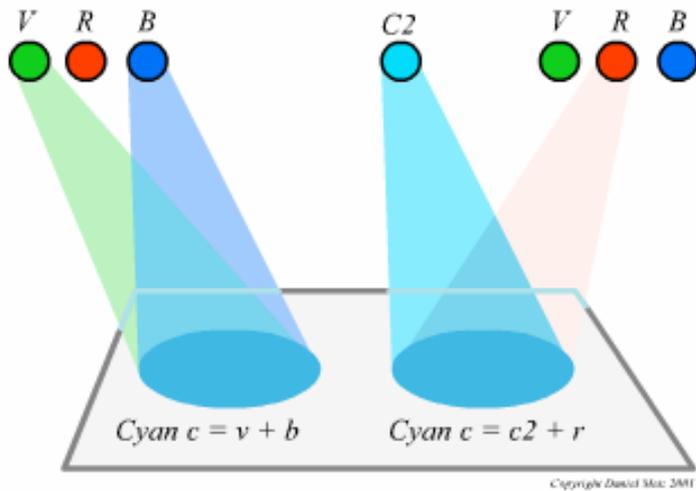
435,8 nm pour le bleu appelé B (prononcer grand B)

Le Point blanc est l'illuminant E. Ce point blanc dont la température est 5600 k (la température la plus neutre de la courbe de température kelvin) possède une légère dominante rosée.



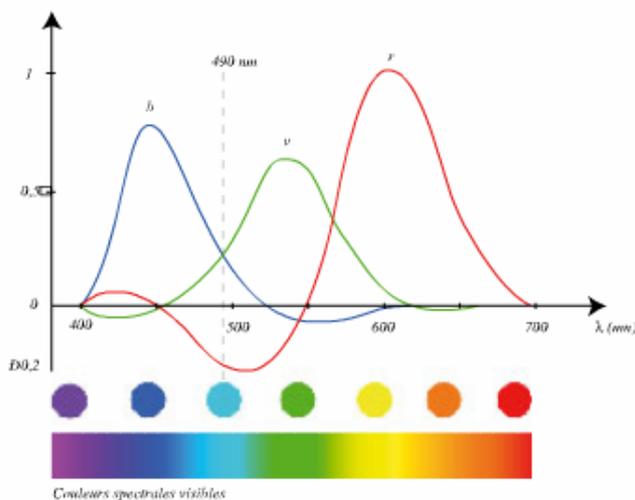
Composantes Trichromatiques Spectrales

Le résultat de cette expérience se traduit par un diagramme de la sensibilité trichromatique (ou composantes trichromatiques spectrales) qui est tout à fait représentatif de la façon dont l'œil utilise les trois composantes rouge, vert et bleu. Malheureusement certaines valeurs se retrouvent en dessous du point d'origine du diagramme, autrement dit, certaines valeurs sont négatives car on a dû utiliser l'artifice de la désaturation à l'aide de spots RVB supplémentaires.



Pour égaliser certaines couleurs spectrales fortement saturées avec celles obtenues à l'aide des primaires CIE RGB, il faut les désaturer en ajoutant une petite dose de complémentaire. La couleur obtenue va alors contenir des valeurs négatives. Dans cet exemple, la couleur C2, hors gamut sera notée : $c2 = c - r$

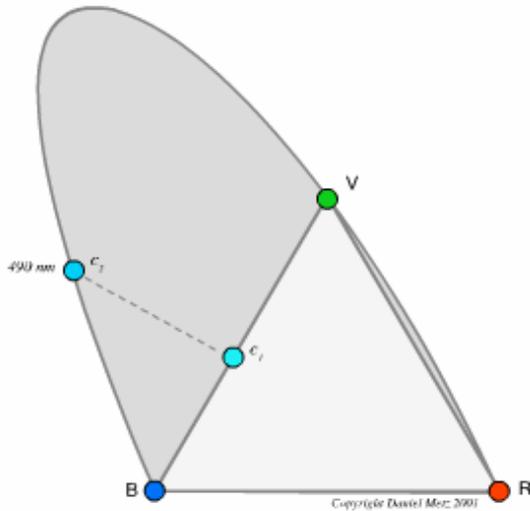
Le modèle CIE RVB qui en résulte présente donc une grande partie de ses couleurs à l'extérieur de l'espace défini par les primaires. Ce qui présente un gros problème pour un modèle que l'on veut universel et accessible à tous les professionnels devant manier des notations de couleurs.



Les résultats de l'expérience précédente sont consignés dans un graphique connu sous le nom de « Composantes Trichromatiques Spectrales ». On visualise très bien que la couleur cyan du « spot spectral » à 490 nm ne peut être comparée que lorsqu'elle est désaturée avec un peu de rouge. Le cyan est donc obtenu avec un mélange de bleu et de vert, mais aussi avec un peu de rouge négatif.

Ce graphique des "Composantes Trichromatiques Spectrales" est la fondation de toute la colorimétrie moderne. Car depuis cette base, on est en mesure de placer toutes les couleurs spectrales dans une représentation géométrique. En d'autres termes on va pouvoir construire un modèle colorimétrique représentatif de la vision humaine. Les "frontières" de cet espace colorimétrique sont les trois primaires CIE RGB. Mais nous savons désormais y inclure les couleurs hors gamut grâce aux quantités négatives introduites dans la notation.

Nous remarquons également que les valeurs attribuées aux composantes trichromatiques sont les proportions nécessaires de chaque primaire et non pas une quantité d'intensité lumineuse, autrement dit, elle s'exprime en notation réduite utilisant un code en minuscule r, v, b (prononcer "petit r, ..."). Cette notation correspond à des coordonnées dans un graphique en 2 dimensions. la construction diagramme sera des plus simples. Pour plus d'information sur la notation réduite voir la page [Le triangle de Maxwell](#) et la page [Le modèle RVB](#)



Voici enfin la représentation de l'espace CIE RGB qui correspond à la vision de l'Observateur standard.

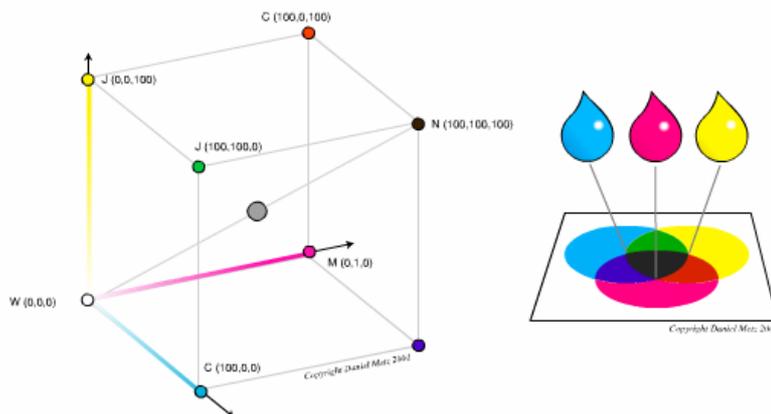
Malheureusement ce modèle ne sera pas exploitable. Les couleurs comprises dans la région grise ont des coordonnées négatives. Les calculs dans cet espace colorimétrique sont trop complexes.

Tout le travail des chercheurs pour construire ce modèle ne sera pas perdu puisqu'il servira de base pour la construction d'un modèle plus grand englobant la totalité des couleurs.

Le modèle couleur CMJ

Le modèle CMJ est le modèle universel pour obtenir des mélanges d'encre, de peintures ou de colorants. Il est basé sur les trois couleurs primaires cyan, magenta et jaune. L'application des couleurs sur un papier utilise la synthèse soustractive, les couleurs primaires ne sont donc pas les mêmes que dans la synthèse additive. Le modèle CMJN n'est qu'un cas particulier du modèle universel CMJ.

En imprimerie, les colorants primaires peuvent se mélanger deux par deux pour donner les couleurs secondaires rouge, vert, bleu. Ce mélange est toujours plus foncé qu'une couleur primaire car il applique la synthèse soustractive. La densité des couleurs rouge, verte et bleu donc est toujours plus élevée que celle du cyan, du magenta ou du jaune. Si on continue les mélanges entre couleurs secondaires, on obtient du noir, la couleur la plus foncée du système.



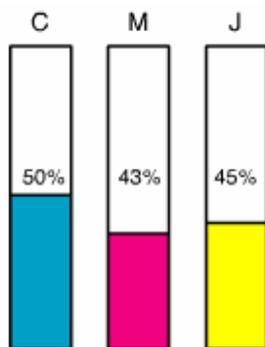
Dans le mode CMJ : l'absence d'encre correspond au blanc. Le mélange de deux primaires est une couleur deux fois plus foncée qu'une primaire. Le mélange de trois primaires donne la couleur la plus foncée produisible par le matériel.

L'équilibre chromatique

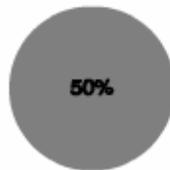
Dans un modèle RVB, il est très facile de choisir des primaires de telle sorte que leur mélange à part égale donne du gris. Par exemple dans le modèle sRGB, un mélange équilibré comme R = 127, V = 127, B = 127 fait apparaître un gris neutre à l'écran. Dans un modèle CMJ, les primaires proviennent de colorants naturels. L'encre cyan des imprimeurs, par exemple, n'est pas assez dense en comparaison des deux autres colorants. Il en résulte que pour obtenir le gris le plus neutre possible, il faut utiliser plus de cyan que les deux autres primaires.

Lorsque au milieu du 20e siècle, le standard des encres d'imprimerie a été défini, Félix Brunner établit les mélanges de référence nécessaires à l'obtention d'un gris parfait sur une presse offset. Ces proportions ne sont pas les mêmes selon les papiers mais une norme de référence a été établie. Pour obtenir la correspondance d'un gris moyen de 50 %, l'équilibre chromatique ou la balance des gris est la suivante :

50% de cyan + 43 % de magenta + 45 % de jaune



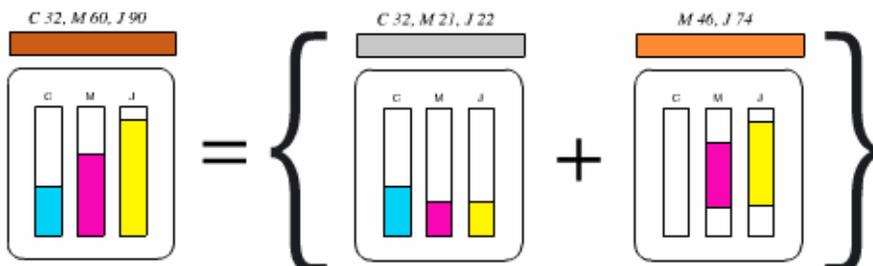
=



Pour obtenir une couleur grise, il faut faire un mélange de couleurs primaires où prédomine nettement le cyan pour compenser le manque d'intensité de cette encre.

La composante achromatique

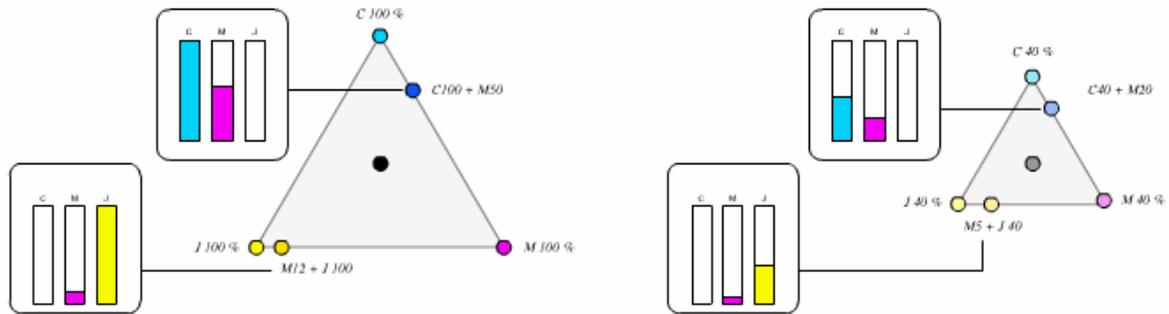
Quel que soit le modèle colorimétrique, RVB ou CMJ, etc., il est toujours possible de décomposer une couleur en deux parties. La partie achromatique qui correspond à la quantité de gris qu'elle contient et la partie chromatique qui détermine la teinte de la couleur. Le rapport qui existe entre les quantités de couleurs achromatiques et chromatiques détermine la saturation de cette couleur. Par exemple une couleur qui ne contient pas de composante achromatique est saturée au maximum. Cette notion de composantes est très importante car elle est à la base du modèle CMJN que nous aborderons plus loin.



Toutes les couleurs peuvent être décomposées en deux parties : la composante achromatique qui correspond à du gris et la partie chromatique qui correspond à la dominante (la couleur restante). Dans cet exemple le marron est composé d'une partie de gris et d'une partie d'orange. La composante grise respecte les proportions de Brunner.

Couleurs chromatiques et achromatiques

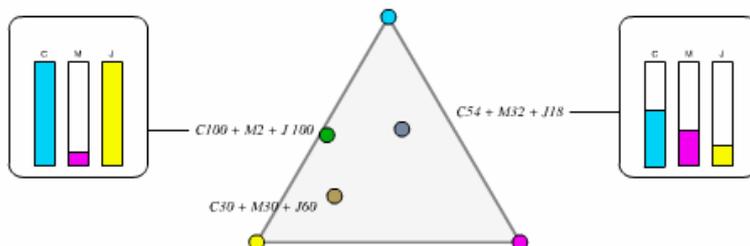
Cette possibilité de décomposer une couleur va permettre de les classer en deux catégories : les couleurs qui n'ont pas de composante grise et les couleurs qui ont une composante grise. Nous appellerons par convention les couleurs de la première catégorie, des couleurs chromatiques, et celles de la deuxième catégorie des couleurs achromatiques car elles contiennent toujours une quantité de gris.



Il ne faut pas confondre couleur chromatique et couleur pure. Une couleur pure comme celles de la figure de gauche est toujours chromatique alors qu'une couleur éclaircie, donc non pure comme sur la figure de droite est également chromatique. Le seul critère qui permet de définir une couleur chromatique est qu'elle est composée de 2 primaires au maximum.

Une couleur est dite chromatique quand elle est le mélange de deux primaires maximum. Dans ce cas, elle ne génère pas de composante grise car il n'y a pas d'introduction d'une couleur complémentaire. Une telle couleur se trouve toujours sur le périmètre du triangle de Maxwell comme sur la figure ci-dessus. Cette couleur conserve sa qualité de couleur chromatique si on modifie sa teinte ou sa luminosité.

Une couleur est dite achromatique quand les trois primaires interviennent dans le mélange. Lorsque il y a présence de couleur complémentaire dans le mélange, il y a apparition d'une composante grise. Les couleurs achromatiques se situent donc toujours à l'intérieur du triangle. Dans une couleur achromatique, la dominante est créée par les deux primaires les plus importantes. La troisième ne participe qu'à la création du gris.



Dans une couleur achromatique, la primaire la moins importante n'a qu'un rôle de complémentaire par rapport aux deux autres. C'est-à-dire qu'elle ne sert qu'à assombrir et à désaturer les deux autres sans aucune influence sur la teinte

Le modèle couleur CMJN

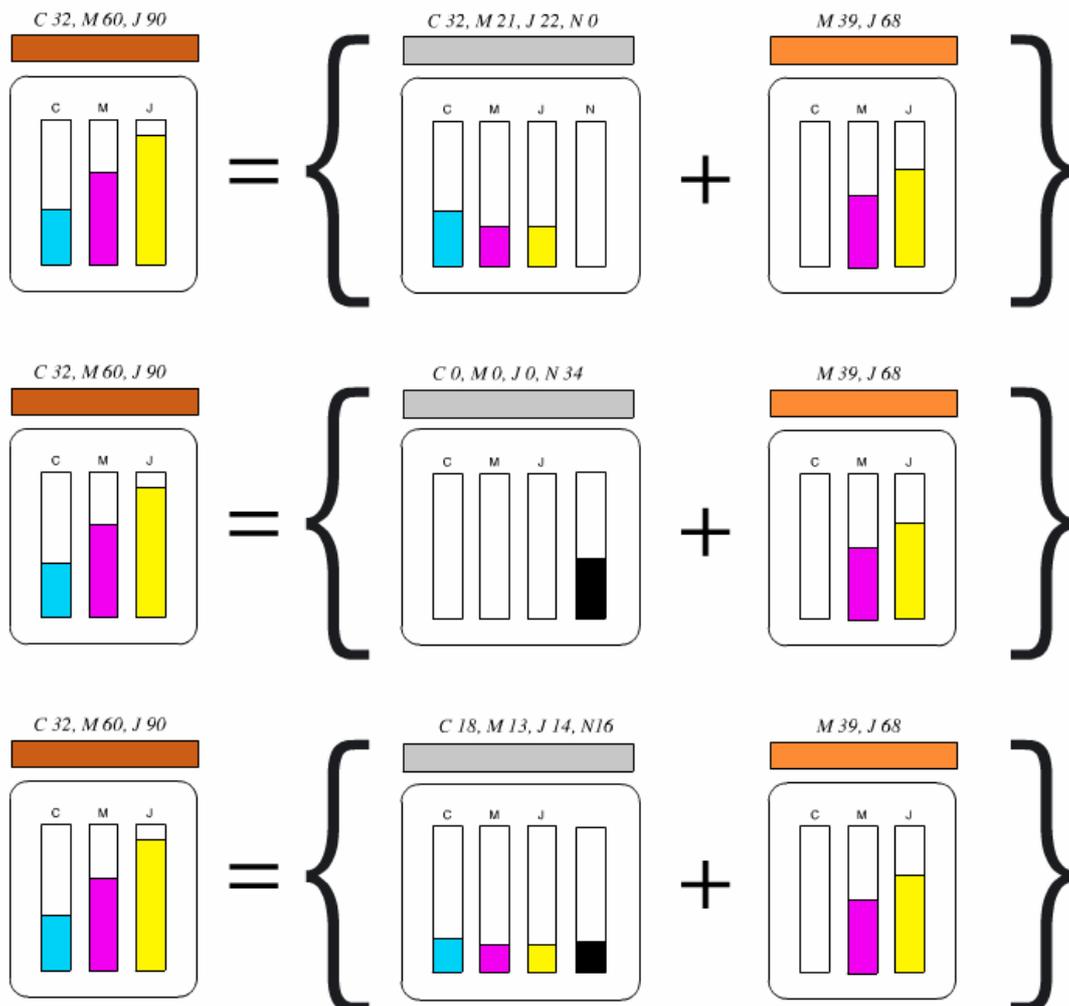
Puisque le système CMJ fonctionne très bien pourquoi utiliser 4 couleurs en rajoutant une encre noire. La première raison est historique ; au début du 20e siècle, les images dans les ouvrages en couleur étaient obtenues en trichromie car on ne connaissait pas d'autres méthodes, les textes, eux, étaient imprimés dans une couleur d'accompagnement, le noir.

On s'est vite rendu compte qu'il serait très intéressant de pouvoir soutenir les images dont les ombres étaient un peu fades, par un peu d'encre noire utilisée pour les textes. Car en réalité le noir obtenue par la trichromie n'est pas un noir très dense, mais plutôt un marron foncé.

Théoriquement on devrait pouvoir obtenir un noir parfait. Le problème vient qu'à l'époque où le standard des encres d'imprimerie a été défini, il a fallu choisir des encres pas trop denses pour qu'elles soient supportées par toutes les machines. Aujourd'hui les machines sont performantes et on pourrait très bien utiliser des encres à haute densité qui généreraient un noir presque parfait. Mais cela remettrait en cause un standard bien établi : l'Eurostandard.

Le problème de la densité du noir a donc été facilement contourné, à l'époque, en rajoutant une quatrième couleur, l'encre noire. Le nouveau problème qui se pose alors est de déplacer les couleurs noires ou grises obtenues en CMJ vers la couche de l'encre noire. Cette opération est effectuée par une table de séparation qui transforme un modèle CMJ en modèle CMJN.

Tous les logiciels qui proposent des conversions du RVB vers le CMJN, le font en deux temps : d'abord une conversion RVB vers CMJ, puis ensuite seulement en utilisant une table appropriée, une conversion CMJ vers CMJN. Cette dernière opération est connue sous le nom de séparation des couleurs.



L'opération de séparation concerne uniquement la composante achromatique de la couleur comme on peut le remarquer dans les graphiques ci-dessus.

Dans le graphique du haut, il n'y a pas de séparation, la composante grise est conservée dans le CMJ.

Dans le graphique du milieu, la composante grise CMJ est entièrement basculée dans la couche du noir.

Dans le graphique du bas, c'est seulement une partie de la composante grise qui passe dans le noir.

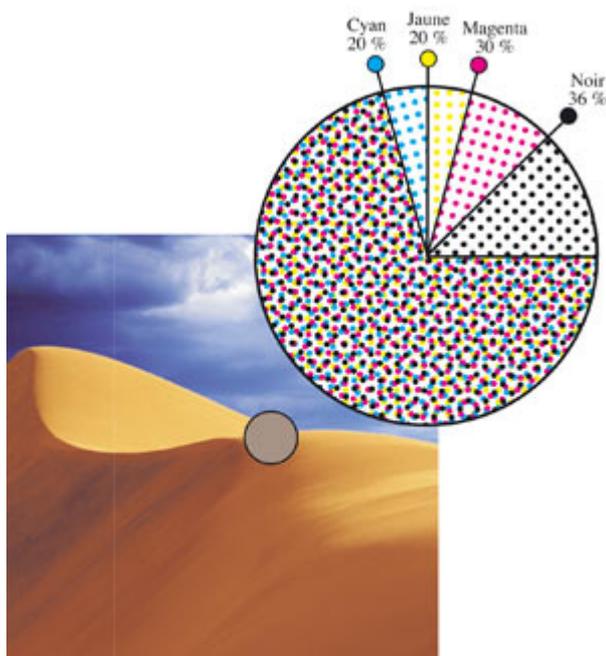
La séparation des couleurs consiste à retirer une partie de la composante grise d'une couleur CMJ et à la reporter sur la couche destinée à l'encre noire. Cette procédure complique le travail de l'imprimeur en lui imposant un quatrième passage d'encre, mais d'un autre côté, elle stabilise les couleurs neutres des pièces métalliques par exemple et apporte aussi une économie d'encre substantielle.

L'édition de la table de séparation va permettre de contrôler complètement le processus de séparation. Utilisez ce lien pour en savoir plus sur la

Les trames de photogravures

Une des notions les plus importantes du modèle CMJN est la notation particulière des couleurs en pourcentage. Cette notation s'appuie sur la technique de reproduction des demi-tons, appelée trame de photogravure qui s'échelonne de 0 à 100.

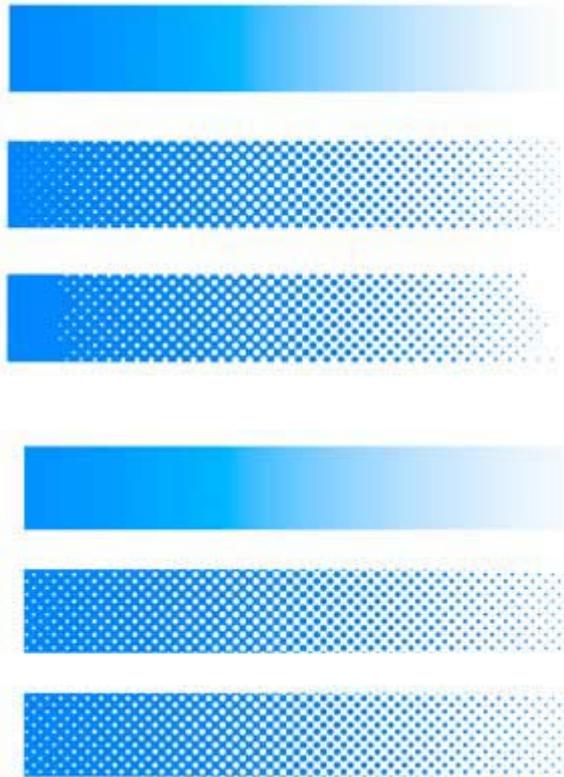
Une couleur marron sera, par exemple, notée C28, J32, M36, N20. Cela veut dire que le cyan couvre 28 % et qu'il reste 72 % de surface blanche, idem pour les autres encres.



Les couleurs dans le modèle CMJN s'expriment à l'aide d'une notation basée sur la grosseur des points de trame qui la composent. La superposition des quatre trames produit un motif en rosette qui reproduit la couleur désirée. D'autres techniques non tramées permettent aussi de reproduire des couleurs en quadri, mais la notation des couleurs reste toujours en pourcentage.

La reproduction tramée est depuis longtemps une technique éprouvée, toutefois, il y a deux défauts importants qu'il ne faudra pas négliger pour exprimer les couleurs dans un espace CMJN, c'est l'engraissement naturel du point de trame, paramètre essentiel abordé plus loin et la disparition des points de très petite taille lors du passage de l'encre sur le papier.

La conséquence de ce dernier problème est qu'une trame aux alentours de 95 % selon le papier utilisé va se boucher, c'est-à-dire que la valeur réelle de la couleur sera en définitive 100 %. De même pour les hautes lumières, les points des pourcentages aux alentours de 5 % vont disparaître, ce qui revient à avoir le blanc réel dès 5 %.



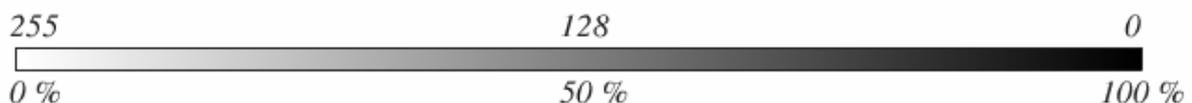
La reproduction d'un dégradé (fig. du haut) avec des valeurs entre 0 et 100 % ne pose aucun problème sur un film de photogravure (fig. du milieu).
 Lors de la fabrication de la plaque offset et lors de l'impression on perd les points de très petite taille.
 On obtient un document dont les zones proches de l'aplac et du blanc sont « brulées » (fig. du bas).

Pour corriger ce problème, on corrige systématiquement les images dans les valeurs extrêmes en les limitant de quelques pourcentages. Généralement pour du papier couché de bonne qualité, les valeurs quadri s'échelonnent entre 4 % et 95 % pour du flashage et de 98 % à 2 % pour du CTP (Direct to Plate).
 Dans cet exemple la reproduction imprimée (en bas) est conforme au film (au milieu).

Pour obtenir des images conformes, il suffit de vérifier avec l'aide de la commande niveau de Photoshop que les images ne soient pas contrastées à leur maximum comme on le ferait pour un tirage photographique, mais qu'il existe une petite réserve de 2 ou 3 points au pied de la courbe. S'il faut rajouter du contraste, cela se fera sur les niveaux intermédiaires à l'aide d'une courbe en S avec la commande " Courbe".

Le modèle niveau de gris

Le modèle niveau de gris est le plus simple des modèles puisqu'il se décline à partir d'une seule couleur. Car il suffit de définir un point blanc et un point noir et de choisir la façon dont les niveaux de gris vont être restitués entre ses deux extrémités. Si on se trouve dans un système additif l'unique primaire sera le point blanc et la reproduction tonale sera influencée par le gamma. Si on se trouve dans un modèle soustractif, l'unique primaire sera l'encre noire et la reproduction tonale sera influencée par l'engraissement.



Si nous voulons représenter ce modèle géométriquement, ce ne sera ni un volume, ni même un plan, il se réduit à une simple ligne où on va répartir les niveaux de gris. Dans le système additif, il y aura (le plus souvent) 256 niveaux de gris alors que dans le système soustractif, il y aura 100 niveaux de gris. Si on fait la comparaison avec un modèle TSL classique en 3 dimensions, le modèle niveaux de gris se réduit à l'axe de la luminosité.

Dans ce type de modèle, la seule variable qu'il faudra déterminer sera la reproduction tonale ; l'engraissement dans le cas d'une impression et le gamma dans le cas d'une représentation sur écran.

Modèle ton direct

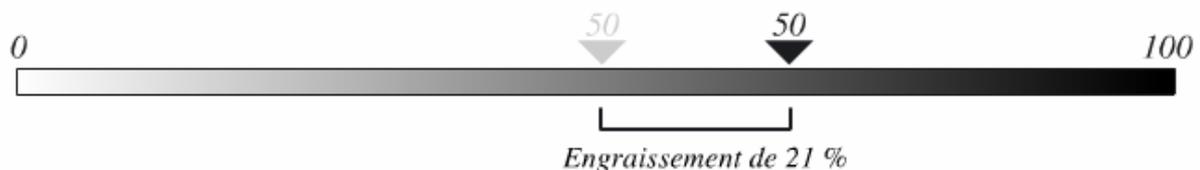
En imprimerie, si on remplace le noir par une couleur quelconque, une couleur quadri comme le cyan ou une couleur Pantone comme un bleu Reflex, on reste dans le même type de modèle que le profil niveaux de gris. Toutefois l'engraisement sera légèrement plus important du fait que les encres colorées s'étalent plus que l'encre noire. La règle est d'augmenter de 2 points l'engraisement en ton direct par rapport au niveau de gris. Le modèle ton direct n'existe pas en multimédia, le profil "ton direct" est donc uniquement défini en engraisement.

L'engraisement du profil niveaux de gris

L'engraisement, cette caractéristique liée à la façon dont l'encre s'étale sur le papier est l'unique paramètre qu'il faut connaître pour restituer une image niveau de gris avec sa bonne luminosité; Lien pour tout savoir sur .

Dans Photoshop, nous serons amenés à choisir 2 valeurs d'engraisement. Une pour le profil CMJN et une pour les niveaux de gris. Le bon sens veut que cette valeur soit absolument identique dans les 2 profils car si les images couleur et les images en niveaux de gris sont imprimées sur le même papier elles subiront exactement le même engraisement. Par exemple si vous utilisez le profil Euroscale Coated en mode CMJN (engraisement 18 %) , il faut choisir un engraisement de 18 % pour le profil niveaux de gris. Le troisième profil "ton direct" suivra simplement le niveau de gris avec 2 points de plus soit un engraisement de 20 %.

Il faut donc créer autant de paramètres.csf dans Photoshop qu'on utilise de profil CMJN avec des engraisements différents. Si un travail est destiné à un papier non couché, il ne faut pas charger uniquement un profil CMJN pour papier non couché, mais charger un paramètre.csf qui contient le profil CMJN Euroscale Uncoated (22 %) et un profil Niveaux de gris à 22 %.

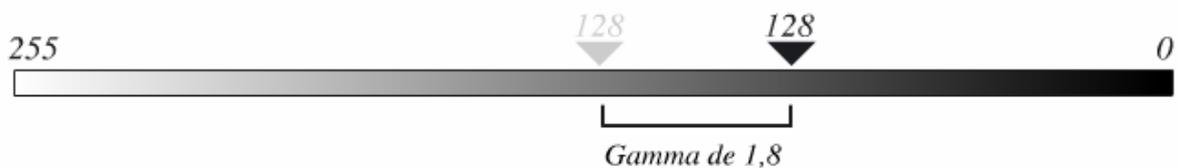


Le gamma du profil niveaux de gris

Photoshop ne fait pas de distinction entre une image en niveau de gris destinée à être affichée (multimédia) et un image destinée à être imprimée. Vous avez donc le choix de lui affecter aussi bien un profil basé sur l'engraisement qu'un profil basé sur le gamma. Ce choix permet simplement d'adapter la luminosité de l'image au flux que vous utilisez.

Si vous travaillez essentiellement pour l'imprimerie avec l'ancien flux traditionnel (vous placez des images CMJN dans Xpress) pour optez pour une concordance avec le profil CMJN, dans ce cas, les profils niveaux de gris seront exprimés en engraisement.

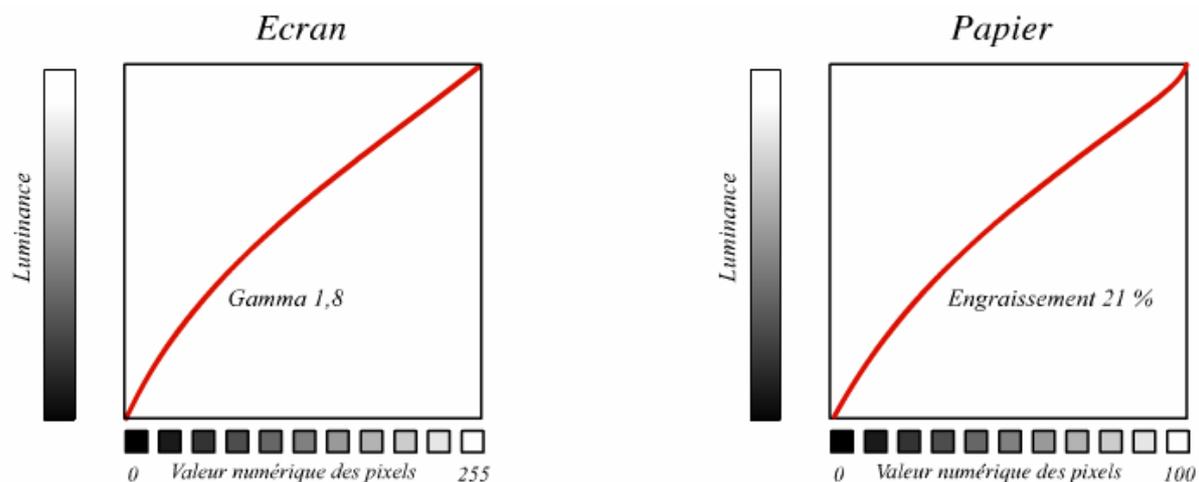
Si vous travaillez des maquettes dont toutes les images sont toujours conservées en RVB, vous opterez pour des profils niveaux de gris exprimés en gamma. Par exemple si votre RVB de travail est AdobeRGB, vous choisirez un profil niveaux de gris 2,2, si votre profil de travail RVB est ECI-RGB vous choisirez un profil niveaux de gris 1,8. En travaillant de la sorte, vous êtes certain que vos images conservent une luminosité constante.



Si par exemple, vous êtes amené à faire des conversions d'image en niveau de gris à la fois depuis des images RVB et des images CMJN, la seule manière d'être homogène est d'utiliser un profil RVB dont le gamma simule l'engraissement du profil CMJN. Pour être concret, le profil ECI-RGB (gamma 1,8) sait convertir une valeur grise moyenne de $r, v, b = 127, 127, 127$ en gris moyen à 50 % alors que AdobeRVB (gamma 2,2) ne peut pas le faire. Sans cette cohérence vous aurez des écarts de luminosité.

Correspondance entre gamma et engraissement

Il est impossible de faire correspondre avec précision une courbe de correction du gamma avec une courbe de correction d'engraissement car elles ne sont pas superposables. Toutefois il est possible de tenir compte d'une correspondance grossière. C'est ainsi qu'un engraissement moyen de 21 % peut correspondre à un gamma de 1,8 et qu'un engraissement de 28 % peut correspondre à un gamma de 2,2.



*Fig. de gauche. Choix d'un gamma de 1,8 pour le profil niveaux de gris.
 Fig. de droite. Choix d'un engraissement de 21 % pour le profil niveaux de gris.
 On remarque la similitude des courbes et la correspondance entre le gamma et l'engraissement.*

<http://www.profil-couleur.com/ec/101-espace-couleur-generalite.php>