

Clarté + Chroma

VS

Luminosité + Niveau de coloration

Vous avez sûrement déjà vu cette image, l'échiquier d'Adelson (un professeur de science de la vue au MIT). On la décrit très souvent comme une "illusion d'optique". Mais il s'agit pourtant d'un phénomène tout à fait fondamental, constitutif, de la perception que vous avez déjà rencontré dans le cours, à savoir la **constance des couleurs***.

La constance des couleurs se joue aussi -c'est le cas ici- non pas relativement à la couleur de l'éclairage mais relativement à la quantité d'éclairage qui arrive sur telle ou telle surface (ce qu'on appelle l'*éclairement***) .

Dans le langage standard préconisé par la CIE, on utilise aussi le terme de **"couleur inhérente"** pour parler de la couleur d'un objet indépendamment de l'éclairement.

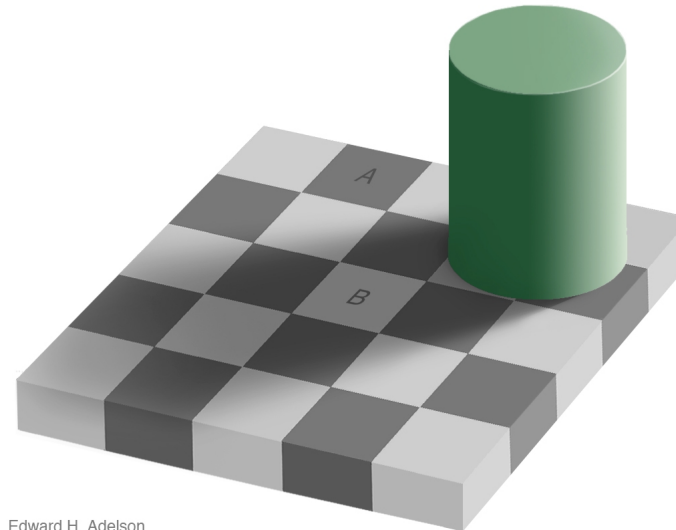
L'inverse, la couleur d'un endroit particulier de votre champ visuel, ou pour le dire autrement, la couleur formée par un objet pour un éclairement particulier, est juste dénommée "couleur" par la CIE. Mais on pourrait inventer le terme de **"couleur absolue"** pour bien distinguer les deux.

Dans l'échiquier d'Adelson, A et B ont une couleur inhérente différente mais la même couleur absolue.

* cf. 09 Le paradigme des couleurs complémentaires.pdf : la constance des couleurs est un « *processus mental par lequel le cerveau essaie de maintenir un monde matériel stable, constant, malgré les changements d'éclairage* »

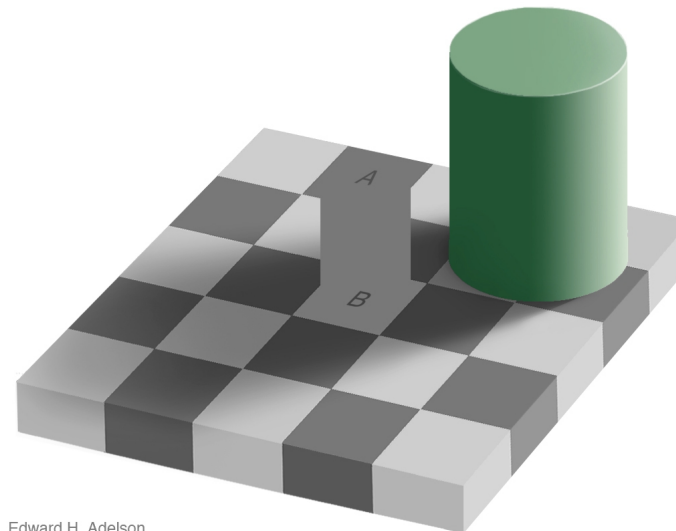
** Tout comme, parallèlement à l'adaptation chromatique, il y a une adaptation à la quantité de l'éclairage.

Couleur inhérente : $A \neq B$



Edward H. Adelson

Couleur "absolue" : $A = B$



Edward H. Adelson

À l'inverse de l'échiquier d'Adelson, l'image ci-contre montre deux surfaces orange qui ont une même couleur inhérente, mais une couleur absolue différente.

En masquant le contexte comme dans la deuxième version de l'image, seules subsistent des couleurs absolues : il n'y a plus d'objet, ni d'éclairage, ni d'ombre.

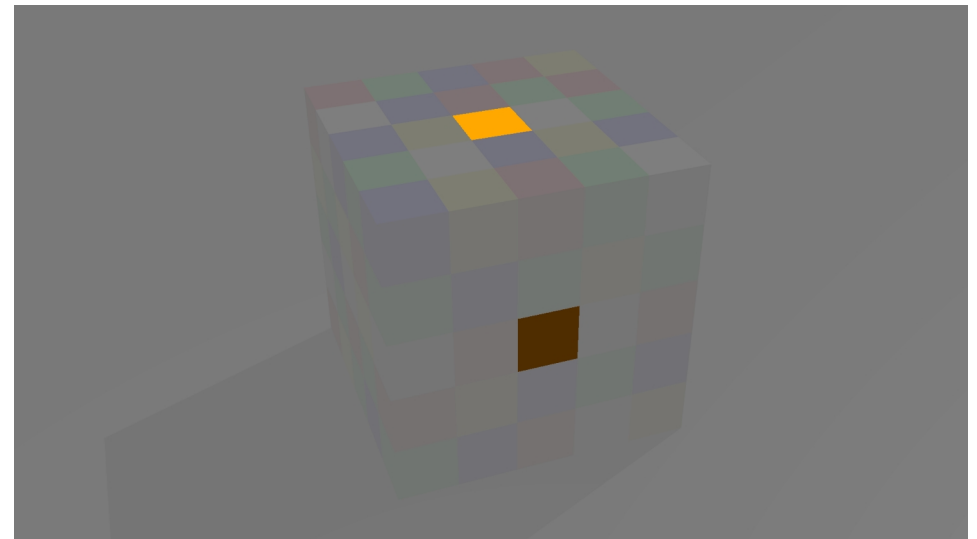
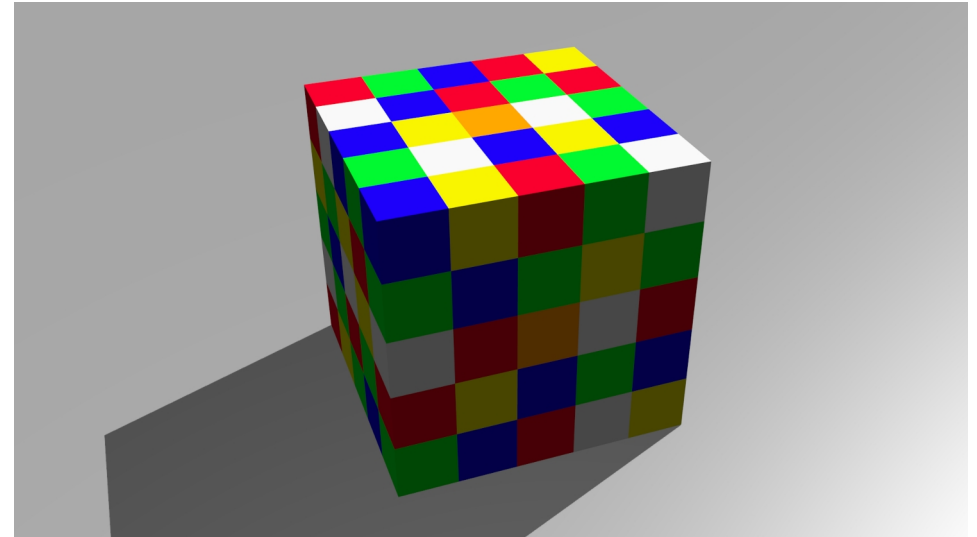
La CIE prévoit deux vocabulaires différents, selon que l'on décrit une couleur inhérente ou un couleur d'un point de vue absolu :

Les caractéristiques que vous employez depuis le début du cours, "**Clarté**" et "**Chroma**", s'utilisent pour les couleurs inhérentes.

Pour les couleurs absolues, il faut employer respectivement les caractéristiques de "**Luminosité**" et de "**Niveau de coloration**".

Donc :

Les deux surfaces orange ont une même clarté et un même chroma mais la surface en pleine lumière est plus lumineuse et d'un niveau de coloration supérieur à la surface à l'ombre.

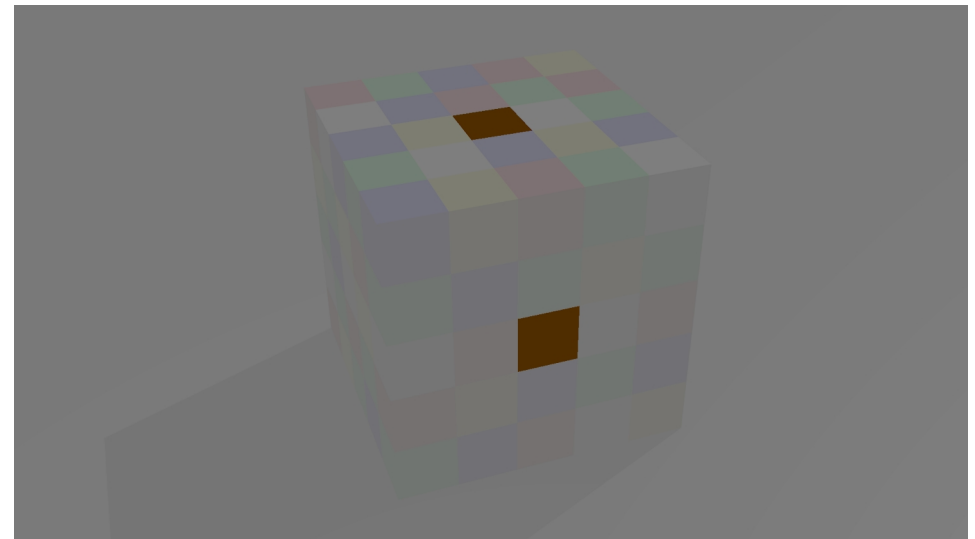
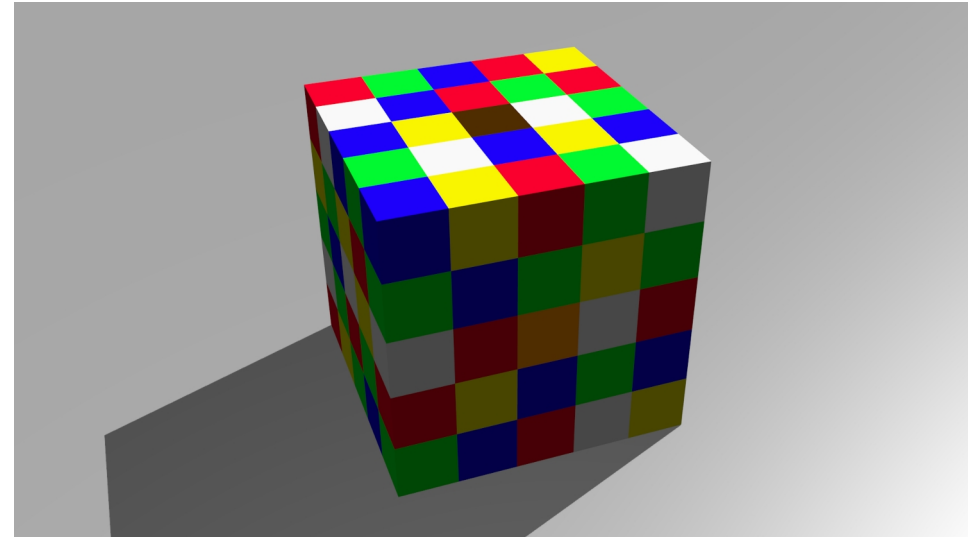


Si on reprend, comme dans l'image ci-contre, le rapport de couleur de l'échiquier d'Adelson, la description devient :

La surface orange à l'ombre est plus claire et d'un chroma supérieur à la surface en pleine lumière mais les deux surfaces ont une même luminosité et un même niveau de coloration.

Ce qui surprend dans ce rapport, ce qui donne l'effet "illusion d'optique", c'est qu'il est très difficile de percevoir que les deux surfaces ont, d'un point de vue absolu, la même couleur. Leur identité de luminosité et de niveau de coloration ne vous saute pas du tout aux yeux (à moins, bien sûr, de masquer le contexte comme dans la deuxième version de l'image).

Cette surprise, cet effet, sont révélateurs des finalités et des inaptitudes de votre système visuel : il est focalisé sur la couleur inhérente et très imprécis pour juger de la couleur d'un point de vue absolu lorsque le contexte est un tant soit peu compliqué.



Aspect chromatique

Si on conserve deux couleurs absolues orange d'une même luminosité et d'un même niveau de coloration tout en augmentant cette luminosité et ce niveau de coloration par rapport à l'image précédente, on obtient l'image ci-contre. L'illusion d'optique y change de niveau :

La surface située à l'ombre n'a plus du tout l'air d'une **surface éclairée** mais bel et bien d'une **surface éclairante**, c'est à dire d'une surface qui produit de la lumière plutôt que d'une surface qui ne fait que la réfléchir.

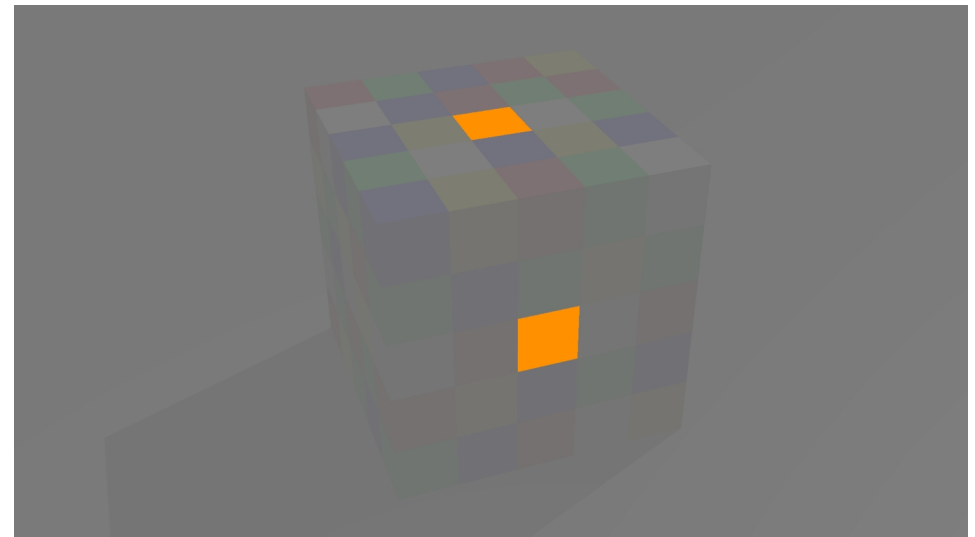
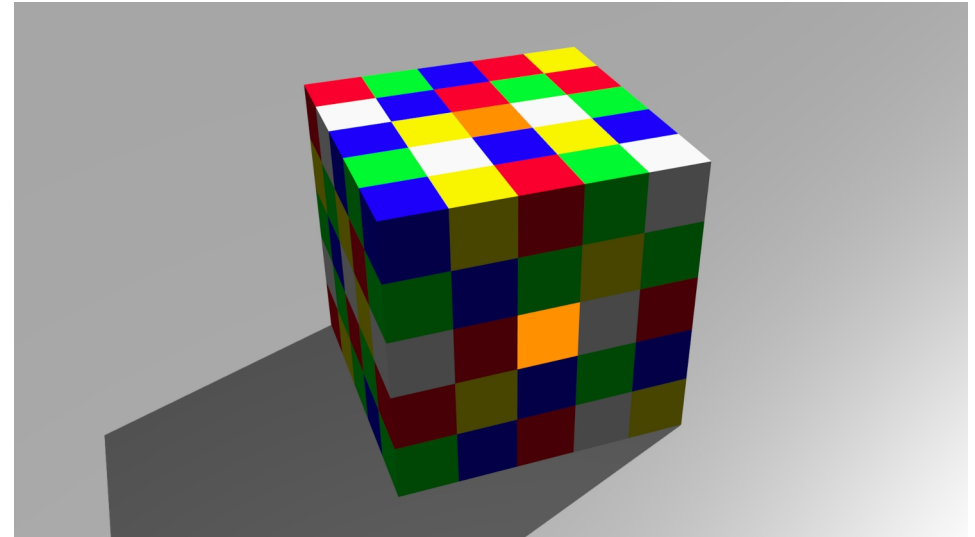
La CIE utilise le concept d'**aspect chromatique*** pour définir la différence entre ces deux perceptions.

Un aspect chromatique (ou un "mode" d'aspect chromatique) s'exprime généralement par une expression du type "couleur-cesti" ou "couleur-cela". La plupart des aspects chromatiques s'associent par paire de contraires.

Par exemple, pour les deux surfaces qui nous occupent : "**couleur non lumineuse**" s'oppose à "**couleur-lumière**".

Le vocabulaire propre aux couleurs inhérentes (clarté et chroma) ne s'applique pas aux couleurs-lumière puisqu'il n'est plus question de séparer objet et éclairage.

Pour les couleurs-lumière, on parle forcément uniquement de luminosité et de niveau de coloration.



*anciennement "mode d'apparence"

Le concept d'aspect chromatique est plutôt difficile à définir. L'aspect chromatique est de l'ordre d'un jugement déductif, d'une hypothèse perceptive, opéré(e) par votre esprit quant à la réalité physique dans laquelle s'ancre une couleur. En paraphrasant quelque peu la définition de la CIE, on pourrait dire que l'aspect chromatique a pour but de distinguer différents aspects qualitatifs ou géométriques par lesquels la couleur peut perceptivement se manifester.

La paire "**couleur non lumineuse**" / "**couleur-lumière**" distingue un aspect qualitatif. Remarquez que couleur-lumière correspond à la couleur de la source lorsque vous la regardez directement (lorsque vous regardez la surface émettrice). Sinon on parle de "**couleur-éclairage**" (ou "couleur-illuminant") qui pourrait être décrite comme la couleur que décompte votre esprit dans le phénomène de la constance des couleurs (le rouge dans l'expérience mettant en jeu des cartes à jouer, le vert baignant la pièce éclairée par des tubes fluorescents verts). Une tache de lumière projetée sur une surface doit sans doute aussi être qualifiée de couleur-éclairage.

La paire "**couleur de surface**" / "**couleur-volume**" distingue, elle, un aspect géométrique. Imaginez par exemple, le rouge d'une tomate versus le rouge d'un verre de grenadine. La "**couleur-film**" peut se comprendre comme une version de la couleur-volume où le volume se réduit à une fine couche. Mais elle présente aussi des similitudes avec la couleur-éclairage.

La paire "**couleur-objet**" / "**couleur de champ**" distingue elle aussi un aspect géométrique, dans le sens où elle distingue des couleurs "perçues comme appartenant à un objet" ou, au contraire, "perçues comme n'appartenant à aucun objet". La "**couleur-Ganzfeld**" est un cas particulier de la couleur-champ où le champ est uniforme. Le bleu du ciel lorsque vous êtes allongé dans l'herbe s'en approche sans doute, mais un champ parfaitement

uniforme, sans variations, sans texture, sans rien, vous rend temporairement aveugle (jusqu'à ce que vous cligniez des yeux). La "**couleur-ouverture**" est aussi un cas particulier de la couleur-champ. Elle correspond à ce que voient les observateurs (les "cobayes") dans les expériences colorimétriques, un couleur perçue à travers une ouverture (un petit trou auquel l'observateur colle son œil) et qui ne peut pas être localisée dans l'espace.

Voilà pour les quelques aspects chromatiques envisagés par la CIE.

Ils sont évidemment cumulables. On peut avoir par exemple une couleur-lumière qui est aussi une couleur-surface. C'est ce qu'on voit sur le Rubik's cube de la page précédente.

D'autres aspects chromatiques, d'autres nuances, sont sûrement encore à inventer...

La distinction principale, reste toutefois celle qui oppose "couleur non lumineuse" et "couleur-lumière".

Espace mental

Pour vous aider à penser les différentes caractéristiques (teinte, clarté, chroma, luminosité, niveau de coloration, saturation, noirceur) et les deux aspects chromatiques principaux ("couleur non lumineuse" / "couleur-lumière") les uns par rapport aux autres, essayons de les ranger tous dans votre espace mental :

Dans l'image de la page suivante, on retrouve le schéma décrit dans 07 Relation spectre-couleur.pdf, augmenté de plusieurs nouveautés :

La principale nouveauté étant la présence supplémentaire des **couleurs-lumière** :

- Le triangle fini du schéma précédent était celui des couleurs non lumineuses.*
- La forme infinie du présent schéma est due à la présence supplémentaire des couleurs-lumière.

Les axes verticaux et horizontaux, en plus de repérer les couleurs par la **clarté** et le **chroma**, les repèrent aussi par la **luminosité** et le **niveau de coloration**.

Les 4 caractéristiques sont valables pour les couleurs non lumineuses (leur utilisation dépend alors du point de vue adopté : couleur inhérente ou couleur absolue)

Mais seuls la luminosité et le niveau de coloration sont valables pour les couleurs-lumière.

* On parle du **gamut** (ou de la gamme) des couleurs non lumineuses. Du volume fini de ce gamut, on ne voit évidemment dans le schéma qu'une (demi-)tranche verticale, celle des couleurs de teinte rouge.

Teinte et saturation

On ne l'a pas encore relevé mais la **teinte** et la **saturation*** ne présentent pas, elles, de version couleur-inhérente / couleur absolue.

Peu importe le niveau d'éclairement d'une surface une teinte orange reste une teinte orange**.

La même chose est vraie de la saturation. Elle ne change pas avec le niveau d'éclairement. Le niveau d'éclairement fait varier la couleur absolue d'une même surface le long d'une ligne de même saturation.

Ce qui s'explique par le fait que le niveau d'éclairement fait varier l'intensité de la lumière réfléchiée par une surface, mais pas le rapport entre les différentes longueurs d'onde la composant (la "forme de sa courbe spectrale").

Donc, pareillement, pour une même "forme de courbe spectrale", la teinte et la saturation ne change pas non plus avec l'intensité d'une source***.

Toutes les surfaces orange des différents Rubik's cubes des pages précédentes ont une même teinte (orange) et une même saturation (très forte).

* pour la définition de saturation, reportez-vous 07 Relation spectre-couleur.pdf

** Cette affirmation est approximativement vraie. Elle est "conceptuellement vraie" mais dans une situation réelle, la teinte pourrait changer quelque peu avec le niveau d'éclairement ou l'intensité d'une source.

*** Pour les couleurs-lumière, il est d'ailleurs plus courant de préciser leur luminosité, leur teinte et leur saturation (plutôt que leur niveau de coloration).

Noirceur

Les remarques 41 et 65 de Wittgenstein (citations14.pdf) vous le faisaient remarquer : **La noirceur est un aspect propre aux seules couleurs non lumineuses.**

Le fait est repris sur les "camemberts" du schéma de la page précédente :

Le long des lignes d'égale saturation, en partant du noir et en augmentant graduellement l'intensité de la lumière réfléchie, la proportion de noir diminue jusqu'à être nulle sur la limite entre les couleurs non lumineuses et les couleurs-lumière.

Ensuite, puisque l'augmentation de l'intensité ne peut plus se traduire par une diminution de la proportion du noir (déjà nulle), elle se traduit par une augmentation de la seule luminosité, représentée alors par une augmentation de la taille des camemberts.

Limite entre les couleurs non lumineuses et les couleurs-lumière

La limite entre les couleurs non lumineuses et les couleurs-lumière est "mobile" : dans le schéma, on pourrait la déplacer par une translation rectiligne (l'amenant soit plus près soit plus loin du point d'origine noir).

La position de cette limite est relative tant vis à vis de l'échelle physique des intensités de lumière*, que de l'échelle perceptive des luminosités (et des niveaux de coloration).

Sa position dépend en grande partie de l'**adaptation** du système visuel.

Mais en plus de cette réponse physiologique (l'adaptation au niveau lumineux) doit aussi jouer un phénomène plus mental, celui à la base de la **constance des couleurs**, c'est à dire un jugement, une hypothèse perceptive quant à la cause de l'intensité de lumière de

telle ou telle zone de votre champ visuel dans le contexte particulier où vous vous trouvez.

Cette hypothèse perceptive dépend des différences entre l'intensité lumineuse de tous les stimuli qui composent votre champ visuel.

La clarté, la luminosité, la noirceur, sont des manières qu'a votre esprit de classer ces différences d'intensité lumineuse afin de construire une représentation du monde tridimensionnelle faite de surfaces réfléchissantes, de sources de lumière, d'éclairages, ...

Pour ne prendre que l'exemple du blanc non lumineux :

Sa position est relative tant vis à vis de l'échelle physique des intensités de lumière, que de l'échelle perceptive des luminosités.

C'est à dire que vous parvenez à la fois à déterminer quelle est l'intensité lumineuse à traduire en une surface blanche non lumineuse, et, à la fois, à donner à cette surface blanche une luminosité qui vous renseigne sur l'intensité de l'éclairage.

En passant d'une pièce peu éclairée à une pièce plus éclairée, cette surface blanche reste blanche (même clarté), ce qui "donne une constance" à votre monde matériel, mais elle change de luminosité, ce qui vous permet de vous rendre compte, en plus, que l'intensité de l'éclairage a changé.

* En toute rigueur, sur le schéma, on devrait trouver deux types de courbes pour les couleurs non lumineuses : des courbes de réflexion spectrales (celles caractérisant les matériaux, avec une ordonnée en %) et des courbes spectrales (celles caractérisant les lumières, avec une ordonnée en Watt). Les courbes de réflexion spectrales se rapportant à la couleur inhérente, et les courbes de réflexion à la couleur absolue. Pour les couleurs-lumière ne subsisteraient que les courbes de réflexion. Sur la distinction courbes de réflexion spectrales / courbes spectrales, voir 07 Relation spectre-couleur.pdf.

Couleur non isolée" / Couleur isolée"

Les comparaisons qu'opère votre esprit sont fondamentales. La distinction d'aspect chromatique que fait aussi la CIE entre "couleur non isolée" et "couleur isolée" prend dès lors sens.

Le concept de "couleur isolée" sous-entend une couleur vue seule, isolément de toute autre couleur.

Bien qu'une couleur rigoureusement isolée soit en pratique impossible (cf. "Couleur-Ganzfeld", p. 5), le contexte le plus simple, tel qu'employé dans les expériences de colorimétrie, est celui d'une couleur d'ouverture, une aire circulaire vue sur un fond achromatique de même luminosité et qui remplit le reste du champ de vision.

Dans un tel "non contexte", et quelle que soit son intensité lumineuse, un stimulus ne vous apparaîtra jamais noirâtre.

Mais placez ce même stimulus parmi d'autres, faites-en une "couleur non isolée", et sa couleur peut alors tout à fait "devenir" noirâtre.

Sur les deux pages suivantes vous trouvez deux images d'un dispositif recréant cette différence (même si le concept de couleur isolée y est assez lâche).

Sur la première image, 4 filtres transparents superposés (2 noirs et 2 rouges) ont été placés sur la vitre d'un rétroprojecteur. Un carré de couleur rouge est visible sur le mur. **Le rouge apparaît peu lumineux mais pas noirâtre.***

Sur la deuxième image, les 4 filtres transparents superposés se décalent les uns par rapport aux autres, laissant en plus une zone sans filtre. Sur le mur, 5 rectangles apparaissent.

Le rectangle rouge de gauche, correspondant à la lumière projetée à travers les 4 filtres (comme le rouge de la première image), **apparaît maintenant comme très visiblement noirâtre.**

Le grand carré de la première image et le rectangle de gauche de la deuxième sont donc un même stimulus. **Ce n'est que lorsque ce stimulus est perçu comme une couleur non isolée qu'il acquiert une noirceur.**

Quand de nombreux stimuli sont présents, celui qui, pour une certaine teinte et une certaine saturation, est de l'intensité lumineuse la plus forte, n'apparaît jamais noirâtre (le quatrième rectangle rouge, à droite, dans la deuxième image).

Et évidemment, les stimuli moins intenses que lui (de même teinte et de même saturation que lui) sont, eux, noirâtres.

* L'effet est bien visible face au dispositif réel, mais difficile à reproduire en photographie.

Tout dépend de l'étendue de la photo dans votre champ visuel, de l'absence d'autres couleurs que le fond noir (passez en mode plein écran), et sans doute aussi de la capacité de l'image à vous faire comprendre que vous voyez une lumière projetée (une couleur-éclairage) sur un mur et non pas un quadrilatère abstrait sur fond noir.



Écrans et projecteurs

Dans les modélisations 3D rudimentaires des Rubik's cubes toute cette répartition entre couleurs non lumineuses et couleurs-lumière, entre noirceur et impossibilité d'une noirceur, semble reposer uniquement sur les différentes intensités lumineuses composant une scène particulière.

Mais face à une scène réelle, les choses peuvent être un peu plus complexes : en plus de l'intensité des lumières réfléchies ou émises, beaucoup d'autres indices visuels sont pris en compte par votre esprit pour fixer si il s'agit d'une couleur non lumineuse ou d'une couleur-lumière : présence ou absence de reflets, concordances ou non concordances diverses avec l'éclairage (variation graduelle de l'éclairement, t° de couleur, ...), ...

L'objet le plus courant pouvant mettre à mal cette répartition un peu trop simpliste est l'**écran** (de télévision, d'ordinateur, de téléphone).

Il s'agit physiquement d'une source de lumière mais qui présente de nombreuses caractéristiques pouvant le faire ressembler à une couleur non lumineuse : une surface assez étendue, des faibles intensités lumineuses, des couleurs non isolées.

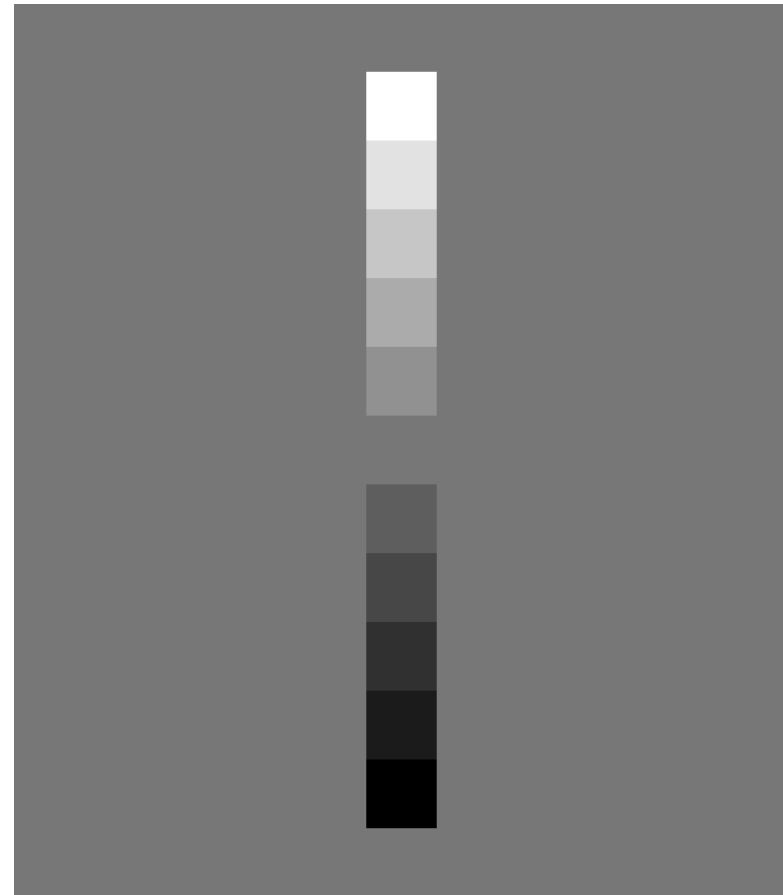
Mais, parallèlement, un écran conserve beaucoup de caractéristiques qui sont autant d'indices visuels de sa qualité de source de lumière. Aucun problème pour voir des couleurs noirâtre sur un écran, mais, en même temps difficile de ne pas le comprendre comme affichant des couleurs-lumière...

Paradoxalement donc, le gamut (la gamme) des couleurs reproductibles sur un écran est approximativement celui des couleurs non lumineuses.

Et cela quel que soit le réglage de luminosité que vous appliquez à votre écran ! Affichez une échelle de gris sur votre écran, elle s'échelonne de noir à blanc non lumineux. Diminuez la luminosité de

votre écran, ré-augmentez-la, rien ne change vis à vis de cette répartition. Seule change la luminosité des gris et du blanc. Pas leur clarté, pas leur noirceur.

Comme si tout se passait dans un "référentiel particulier", l'écran, équivalent à celui que constituerait une impression sur papier par exemple : les couleurs-écran ont à la fois une clarté, une noirceur et une luminosité.



FLUO

Robert Sève décrivant une expérience relatée par R.M. Evans :

*« Une surface plane d'environ 10 cm sur 15, de couleur uniforme, par exemple brun orangé sombre est disposée sur un fond neutre gris clair. Un dispositif d'éclairage permet d'éclairer cette surface colorée, à l'exclusion parfaite du fond. On peut par exemple utiliser un projecteur de diapositives réglable en intensité, munis d'un cache approprié. La surface colorée est de préférence placée devant une cavité obscure en ménageant entre elle et l'entourage neutre un léger espace de quelques millimètres permettant, c'est l'essentiel, de ne pas percevoir les limites de la zone éclairée. Quand, dans une pièce sombre on éclaire faiblement et uniformément l'ensemble, on perçoit une surface brune à côté d'un fond clair. Si on accroît l'éclairage de la surface sans modifier celui du fond qui l'entoure, on constate que la surface s'éclaircit en passant du brun sombre au brun clair puis à l'orangé avant de paraître **comme fluorescente**. En accroissant l'intensité de l'éclairage de la surface colorée celle-ci paraît même devenir lumineuse comme si elle était translucide avec une source de lumière placée derrière elle. »*

Robert Sève, *Science de la couleur, Aspects physiques et perceptifs*, éd. Chalagam, 2009.

On retrouve donc dans cette expérience tout ce qui a déjà été dit via les images 3d des Rubik's cubes.

Les différentes couleurs que prend cette surface brune (grâce à l'éclairage "caché" qui l'éclaire seule) s'ordonneraient sur une ligne oblique de même saturation dans le schéma de la p. 7.

La nouveauté, ici, tient à la description de la couleur de cette surface lors de son passage d'un mode d'aspect chromatique couleur non lumineuse à celui de couleur-lumière : elle paraît « comme fluorescente ».

Dans le schéma, les couleurs fluo (les "fluos") sont d'ailleurs positionnées juste au-dessus de la limite entre les couleurs non lumineuses et les couleurs-lumière.

Les couleurs fluo réfléchissent un peu trop de lumière vis à vis de ce que vous percevez comme étant leur éclairement. Elles sont un peu trop lumineuses et d'un niveau de coloration un peu trop élevé par rapport à ce qui serait la norme pour des couleurs non lumineuses.* Votre esprit en déduit qu'elles doivent aussi émettre, produire, un peu de lumière en plus de la réfléchir, ce qu'il traduit normalement par un aspect chromatique couleur-lumière.

Mais, encore une fois, beaucoup d'autres indices visuels vous les feraient néanmoins classer dans les couleurs non lumineuses.

Vous les classez dès lors dans une catégorie à part (un aspect chromatique particulier), celle des couleurs fluo.

Comment les couleurs fluo parviennent-elles, sans éclairage caché, à créer ce **surplus de lumière réfléchi** qui leur donne cet aspect fluo ?

Les couleurs fluo sont des pigments ou des colorants qui, en plus d'une réflexion tout à fait classique de la lumière, absorbent les **ultraviolets**** et les réémettent à des longueurs d'onde plus grandes, dans le visible.

Comme ces ultraviolets sont invisibles, il n'entrent pas en compte dans l'hypothèse, le calcul, que vous faites quant à l'éclairage que reçoit la surface. La lumière réfléchi par ce processus est donc comprise comme venant de nulle part, c'est à dire émise par la surface comme le ferait une source.

* "trop lumineuses et d'un niveau de coloration trop élevé" sous-entendu "pour leur teinte et leur saturation".

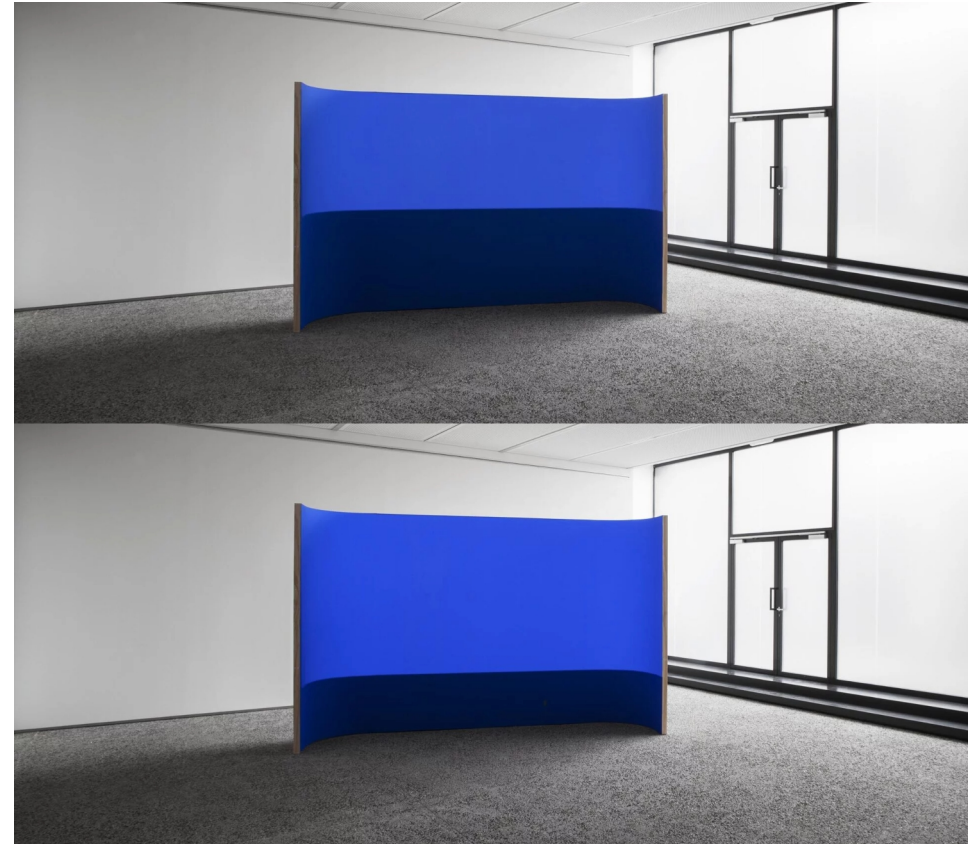
** les ultraviolets et/ou les longueurs d'onde très courtes (violettes) du spectre visible, ce qui produit le même résultat, les longueurs d'onde très courtes générant très peu de luminosité au contraire des longueurs d'onde plus grande dans lesquelles la fluorescence va les "transformer".

Stijn Cole a créé une œuvre qui met en jeu le dispositif à "éclairage caché" de R.M. Evans. La différence tient juste au fait que Stijn Cole montre le trucage perceptif par une zone sur-éclairée dont la dimension varie (la limite couleur non lumineuse / couleur-lumière est mobile).

Dans l'image photographique de l'œuvre, se pose le problème de la transcription dans le gamut (la gamme) de luminosités réduit de votre écran (réduit aux couleurs non lumineuses).

Toutes les couleurs (absolues) de la scène réelle ont été modifiées de concert le long des lignes de même saturation du schéma de la p. 7, perdant en luminosité et en niveau de coloration.

Toutefois, en tant qu'image, ça fonctionne. La couleur-lumière bleue est devenue une couleur non lumineuse bleu vif, mais comme toutes les autres couleurs ont subi le même traitement dans l'image, votre esprit la comprend comme une couleur lumière. Toujours l'importance des rapports.



Stijn Cole, 2022

Dans l'image ci-contre le problème de la transcription photographique se résout un peu différemment.

La couleur-lumière verte très saturée de la surface du "néon" est transcrite dans la couleur la plus lumineuse du gamut de l'écran -le blanc-, mais, ce faisant, elle perd entièrement sa saturation.

Les couleurs-éclairage qu'on voit sur le plafond par contre se sont déplacées, comme les couleurs de l'image précédente, le long d'une ligne de même saturation, perdant forcément en luminosité et en niveau de coloration, mais ne perdant pas en saturation.

Ce qu'on pourrait résumer en disant que, vis à vis de l'image précédente, la perte de luminosité des couleurs est moins importante, mais que, parfois, pour les couleurs les plus lumineuses, cela se fait au détriment de la saturation.



Lap-See Lam, 2023