

École Nationale Supérieure Louis-Lumière
Mémoire de fin d'études
Tom GIBAJA
Promotion Son 2020

Influence de la lumière sur l'interprétation des musiciens

Directeur interne : Alan Blum
Directrice externe : Claudia Fritz
Rapporteur : Eric Urbain

Remerciements

Je tiens à remercier chaleureusement tous ceux qui ont contribué à la rédaction de ce mémoire :

Alan Blum, Claudia Fritz et Corsin Vogel pour leurs conseils avisés et leur exigence tout au long de ce projet.

Lou Jullien, Samuel Wade et Florent Goetgheluck pour avoir effectué la prise de son lors de la session d'enregistrement.

Egan Tizzoni pour son aide à la mise en place des lumières.

Jules Teinturier, Chloé Antoniotti, Pierre-Yves Duguey et Antoine Roux pour être venus enregistrer un morceau de grande qualité.

Tous les participants, enseignants et élèves, au test perceptif.

Alain Sarlat et Antoine Mayet pour leurs conseils quant à la mesure de la lumière et le prêt de leur colorimètre.

Eva Mathis et Marc Gibaja pour leur soutien indéfectible tout au long de mes études.

Mon ventilateur sans qui je n'aurais pas eu une telle force de travail durant la période de confinement.

Résumé

La lumière a une influence non négligeable sur les comportements, les émotions et la psychologie humaine.

Au cours du vingtième siècle, la luminothérapie a mis en évidence le rôle bénéfique de la lumière sur la santé. Ce traitement médical consiste à s'exposer quotidiennement à une lumière artificielle blanche, afin de lutter contre la dépression saisonnière due à un manque d'ensoleillement durant la période hivernale.

De nombreuses études ont également montré que la lumière avait une influence significative sur le bien-être et la performance dans un environnement de travail.

Dans les studios d'enregistrement musicaux, la lumière est généralement étudiée pour créer une sensation de confort : bien voir, être dans un environnement lumineux agréable.

Cependant, la lumière peut agir sur nos émotions de façon bien plus complexe, en suscitant de la colère, de l'euphorie ou de la mélancolie.

La musique est avant tout un vecteur d'émotions, c'est pourquoi l'étude présente propose de considérer la lumière comme un élément actif et dynamique au sein d'un studio d'enregistrement, tout comme on choisit un microphone ou une acoustique en fonction de l'œuvre à enregistrer.

Au cours de ce mémoire, des notions théoriques préliminaires sont établies afin de mieux appréhender les natures respectives de la lumière et de nos émotions, ainsi que de comprendre comment qualifier et quantifier ces deux paramètres.

Dans un second temps, une synthèse des recherches portant sur l'influence de la lumière sur les émotions et les comportements est effectuée.

Pour conclure ce travail, une expérience en studio d'enregistrement est réalisée, dans laquelle un groupe de pop-rock enregistre plusieurs prises d'un même morceau sous trois conditions de lumière différentes. Les différentes prises sont ensuite écoutées et évaluées par un panel d'auditeurs.

Il est ainsi déterminé dans quelle mesure la lumière influence l'interprétation des musiciens mais également leur confort et leur ressenti durant la session d'enregistrement.

L'étude présente a pour but d'ouvrir la voie à un nouveau domaine de recherche, qui permettra, à terme, à tout concepteur ou propriétaire d'un lieu d'enregistrement musical de mieux comprendre comment manipuler la lumière pour mettre en place les conditions d'enregistrement propices à une intention musicale donnée.

Mots-clés : musique, lumière, émotions, studio d'enregistrement, psychologie environnementale, interprétation musicale

Abstract

Light has a significant effect on human behaviors, emotions and psychology.

Throughout the twentieth century, light therapy has brought out the medical benefits of light. This treatment heals seasonal depression, a disease caused by a lack of sunshine during winter, by exposing the patient to a white artificial light. Furthermore, many studies have demonstrated that light has a significant effect on well-being and performance within a work environment.

In music recording studios, light is most often used as a way to create a feeling of comfort : the musician should be in a pleasant light surrounding and visually at ease. However, light can impact our emotions in a more complex way, creating euphoria, anger or melancholy. Music is a vector of emotions, that's why in the present study light is considered as an active and dynamic element within a recording studio, just as one chooses microphones or acoustics based on the musical content one records.

In the course of this thesis, notions about the respective natures of light and emotions and how to qualify and quantify these two parameters are established. Then, an overview of the academic research dealing with the effects of light on emotions and behaviors is made.

To conclude this thesis, an experiment within a recording studio is carried out. During this experiment, a pop-rock band records several takes of a song under three different light conditions. Then, a listeners panel listens to the different takes and judges them. Thus, it is determined to which extent light affects musicians' performance, but also their comfort and their feelings during the recording session.

The present study's goal is to pave the way to a new research area that will eventually allow music recording studio owners or designers to better understand how to manipulate light to set up the right recording conditions for a given musical intention.

Keywords : music, light, emotions, recording studio, environmental psychology, musical performance

Table des matières

Introduction.....	8
I - Notions théoriques sur la lumière	10
1 - Le spectre de la lumière visible	10
a - Lumière monochromatique et polychromatique.....	10
b - Synthèse de la lumière et métamérisme.....	12
c - Absorption et réflexion de la lumière	14
2 - Température de couleur	16
a - Définition	16
b - Blancs étalons.....	17
c - Adaptation chromatique ou constance de couleur	17
3 - Teinte dominante, saturation et luminance	18
a - Luminance et Luminosité	18
b - Saturation et Chroma	20
4 - Espaces colorimétriques	21
a - Espace RVB	21
b - Espace CIE XYZ	23
c - Espace CIE xyY et diagramme de chromaticité.....	24
d - Projection d'un espace RVB quelconque sur le diagramme de chromaticité CIE xy : notion de Gamut.....	27
e - Espace de Munsell	28
f - Espace CIE L*a*b*.....	30
II - Influence de la lumière sur les émotions et sur les comportements	33
A] Mesure des émotions : le modèle PAD	36
1 - Définition	36

2 - Échelles de mesure	38
3 - Mesures physiologiques.....	42
B] Facteurs physiologiques et cognitifs responsables des émotions	44
1 - Qu'est-ce qu'une émotion ?	44
2 - Première expérience de Schachter (1960).....	46
a - Première condition : Euphorie	48
b - Deuxième condition : Colère	48
c - Résultats	49
d - Discussion	50
e - Conclusion.....	51
3 - Deuxième expérience de Schachter (1960)	51
C] Contraste hédonique et transfert d'excitation.....	53
D] Influence de la lumière sur les émotions	55
1 - Influence de la couleur : comparaison d'études.....	55
a - Influence de la couleur sur le plaisir	59
i - Influence de la luminosité.....	59
ii - Influence de la saturation	60
iii - Influence de la teinte.....	61
b - Influence de la couleur sur l'excitation.....	63
i - Influence de la luminosité	63
ii - Influence de la saturation	65
iii - Influence de la teinte.....	66
c - Influence de la couleur sur la domination.....	67
i - Influence de la luminosité	67
ii - Influence de la saturation	67
iii - Influence de la teinte.....	68
d - Conclusion	69
2 - Musique, couleur et émotions : expérience de Palmer <i>et al.</i> (2013)	70
a - Méthode	70

b - Résultats	71
c - Conclusion.....	73

E] Influence de la lumière sur la performance cognitive 75

1 - Influence de la couleur rouge.....	75
2 - Influence de la température de couleur et de la luminosité	78

F] L'influence de la lumière sur les comportements est-elle médiatisée par les émotions ? 81

1 - Une influence directe des émotions sur les comportements ?.....	82
2 - Influence du stress sur la voix chantée	84

III - Influence de la lumière sur l'interprétation des musiciens : expérience en studio d'enregistrement.. 86

1 - Présentation du projet.....	86
2 - Sessions d'enregistrement.....	86
a - Choix des conditions de lumière	86
b - Choix des musiciens.....	89
c - Mesure des émotions et du ressenti	90
i - Auto-jugement des musiciens.....	90
ii - Mesures physiologiques.....	90
d - Protocole expérimental.....	92
i - Spécificités de la séance d'enregistrement	92
ii - Déroulement de la séance d'enregistrement.....	93
3 - Sessions d'écoute.....	95
4 - Hypothèses	96

LEXIQUE 98

BIBLIOGRAPHIE..... 100

SOURCES DES ILLUSTRATIONS..... 104

Introduction

Dans le milieu des concerts, plus particulièrement dans le cadre des musiques actuelles (rock, rap, musique électronique, pop...), le travail de la lumière est omniprésent. Lorsque les groupes partent en tournée, ils engagent un ingénieur du son mais aussi un ingénieur lumière. Le rôle de ce dernier est de créer un spectacle lumineux, cohérent avec l'univers musical, en faisant varier la couleur, l'intensité ou le rythme des lumières. La lumière dépasse alors son rôle pragmatique (éclairer la scène afin que les musiciens soient bien visibles) afin de revêtir une véritable dimension créative.

Si la lumière affecte significativement l'expérience des spectateurs, il y a peu de doutes sur le fait qu'elle a également un impact sur le ressenti des musiciens sur scène. On peut alors se demander si l'interprétation des musiciens va être influencée par leur environnement lumineux, si le dynamisme de la lumière va pousser les musiciens à jouer de manière plus frénétique, ou si la dimension atmosphérique de la lumière va rendre la performance musicale plus planante.

Dans le cadre de la musique enregistrée, l'espace et le temps de l'enregistrement sont séparés de ceux de l'écoute. L'enregistrement n'étant pas filmé la plupart du temps, l'environnement lumineux de l'écoute est celui choisi par l'auditeur. L'environnement lumineux de l'enregistrement n'étant pas perçu par l'auditeur, la lumière est généralement peu travaillée au sein des studios d'enregistrement, l'essentiel étant que les musiciens se sentent à l'aise.

Cependant, si la lumière au sein du studio n'affecte pas visuellement l'auditeur, peut-elle avoir un impact indirect sur son écoute ? C'est l'hypothèse que nous formulons ici, cette influence indirecte pouvant se schématiser comme suit : la lumière affecte l'état du musicien par le biais de ses émotions et de son rapport au monde extérieur (perception du temps, de l'espace, du volume sonore...); ce changement d'état a un impact sur son interprétation (sur l'émotion et l'énergie transmise, le tempo, le volume de jeu...); cette influence sur l'interprétation du musicien est perçue par l'auditeur et modifie son expérience d'écoute.

Dans une première partie, nous étudierons la physique de la lumière afin de mieux comprendre l'essence de cette dernière, et nous apprendrons plus particulièrement comment décrire et mesurer objectivement un environnement lumineux à travers la notion d'espace colorimétrique.

Bien que nos émotions nous apparaissent comme quelque chose de diffus et d'inquantifiable, nous verrons dans une deuxième partie qu'il est en réalité possible de les analyser, de les manipuler et de les mesurer assez précisément. Suite à cela, nous nous pencherons sur le cas précis des relations entre lumière, émotions et comportements.

Pour terminer ce travail, nous testerons l'hypothèse formulée ci-dessus par une expérience en studio d'enregistrement.

Durant cette expérience, un groupe de pop-rock enregistrera plusieurs prises d'un morceau sous trois conditions de lumière différentes. Ces conditions de lumière seront définies à partir du travail théorique préalable, afin de différer sensiblement quant à leur influence sur les émotions et la performance des musiciens.

Les musiciens devront, à la suite de chaque prise, évaluer leur état émotionnel, leur avis quant à la qualité de la prise ainsi que leur sensation de confort.

Cette première auto-évaluation sera confrontée à celle effectuée lors d'une écoute à l'aveugle des prises en fin de séance d'enregistrement.

Suite à cette expérience, un test perceptif sera réalisé, lors duquel un large panel d'auditeurs écouterait les différentes prises et les évaluera.

Cela nous permettra de voir si la condition lumineuse lors de l'enregistrement altère l'expérience d'écoute, et quels points en particulier (performance technique des musiciens, émotion, énergie...).

Cette expérience ne sera pas suffisante pour analyser de façon exhaustive l'influence de la lumière sur l'interprétation des musiciens, mais elle constituera une première mise en évidence, afin d'ouvrir une voie dans la recherche qui aura pour but d'analyser au mieux les relations entre lumière et performance musicale.

I – Notions théoriques sur la lumière

1 – Le spectre de la lumière visible

a – Lumière monochromatique et polychromatique

Le spectre de la lumière visible est compris dans un domaine de longueurs d'onde allant de 380 à 780 nanomètres (nm). Toute longueur d'onde comprise dans ce domaine est appelée teinte. Le nombre de teintes existantes est infini, car le spectre de la lumière visible est continu.

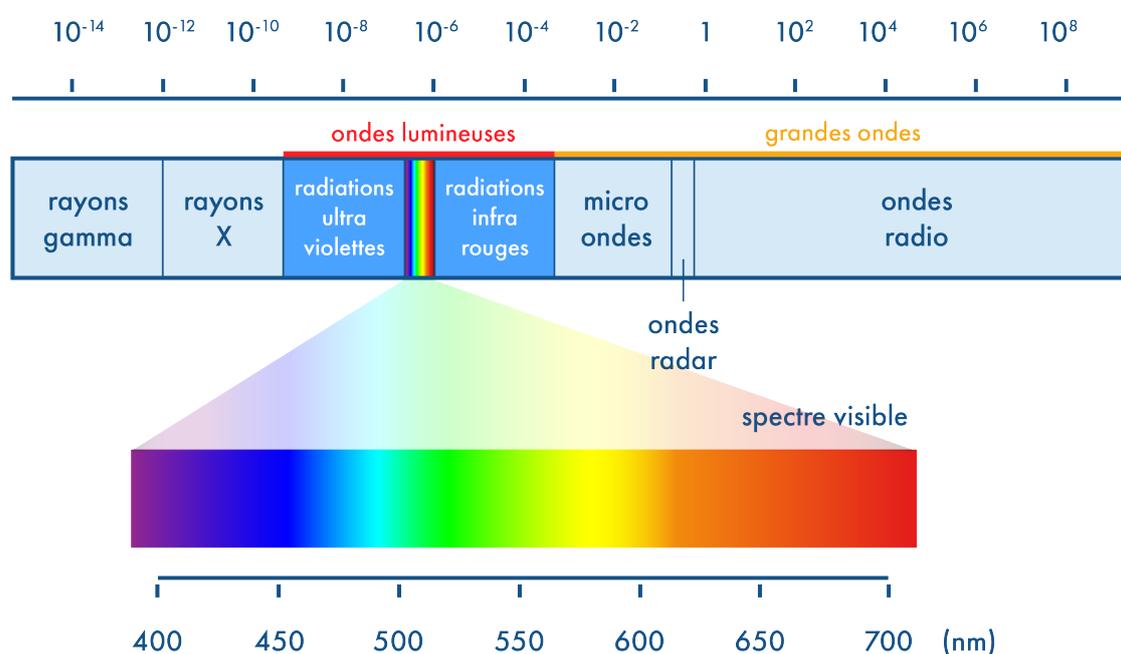


FIG 1 : Le spectre de la lumière visible

Une lumière constituée d'une seule teinte est dite monochromatique.

La lumière monochromatique est nécessairement colorée et constitue une couleur pure.¹

Une lumière constituée de plusieurs teintes est dite polychromatique.

La lumière polychromatique peut être colorée ou blanche. Plus particulièrement, une lumière polychromatique constituée de l'ensemble des teintes du spectre de la lumière visible est une lumière blanche.

La lumière blanche contient souvent des teintes dominantes, c'est-à-dire que la source lumineuse émet plus intensément dans certaines zones de teinte.

¹ Pour plus de détails sur la notion de pureté colorimétrique, voir partie I-3-b

Par exemple, une lampe à incandescence (aussi appelée lampe halogène) émet des radiations plus intenses pour les longueurs d'onde allant de 600 à 780 nm : elle produit une lumière blanche-orangée.

La lumière du jour sous un ciel découvert contient plus d'énergie dans les longueurs d'onde allant de 380 à 480 nm, c'est pourquoi on perçoit le ciel bleu. Cette lumière blanche-bleutée résulte de la diffusion de la lumière du soleil par l'atmosphère.

La lumière directe du soleil, quant à elle, émet légèrement plus intensément dans les longueurs d'onde allant de 450 à 600nm.

Par extension, on parle de lumière froide pour les lumières à dominante bleue, et de lumière chaude pour les lumières à dominante rouge ou orange.

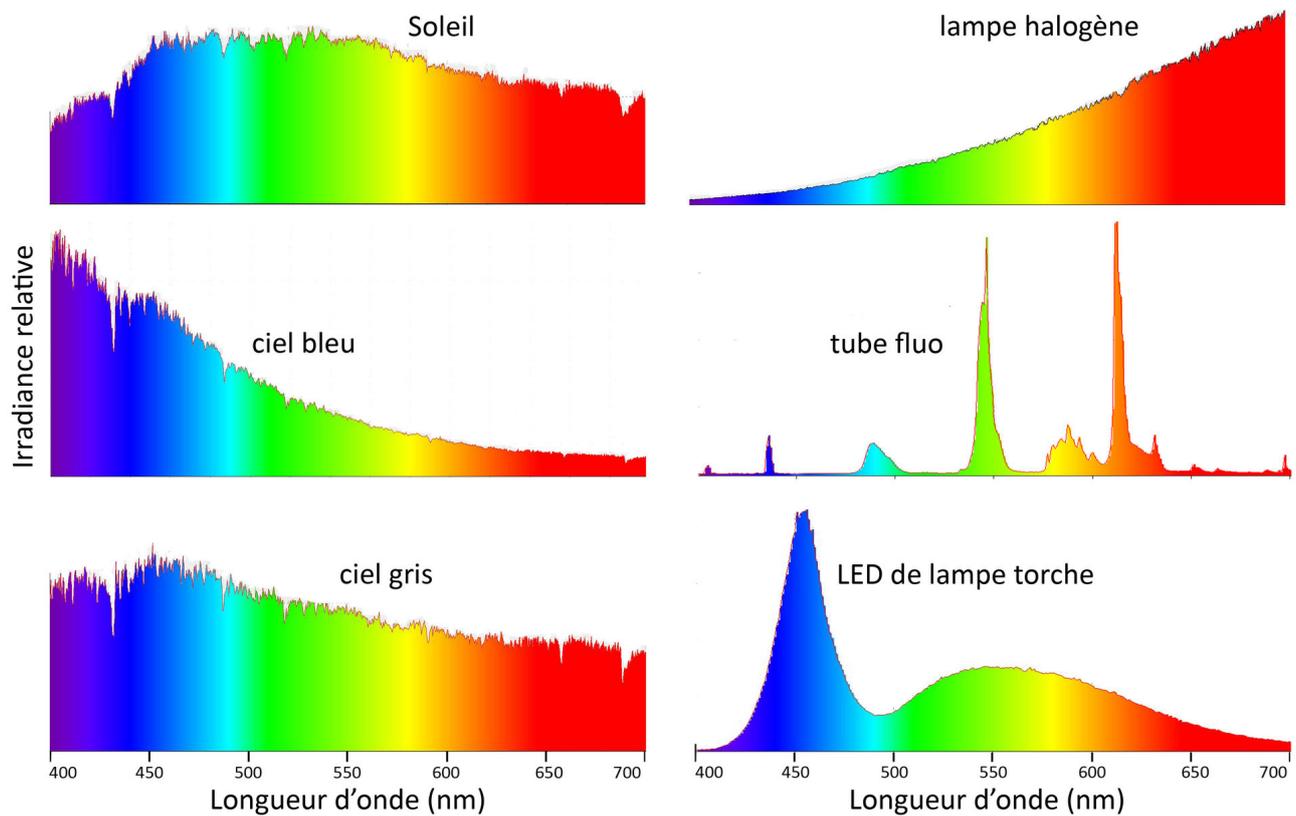


FIG 2 : Spectres d'émission de différentes sources lumineuses

b – Synthèse de la lumière et métamérisme

La lumière blanche est synthétisable par le mélange de deux lumières monochromatiques convenablement choisies. Les teintes de ces deux lumières monochromatiques sont appelées couleurs complémentaires et se font face (elles forment un angle de 180°) sur le cercle chromatique.

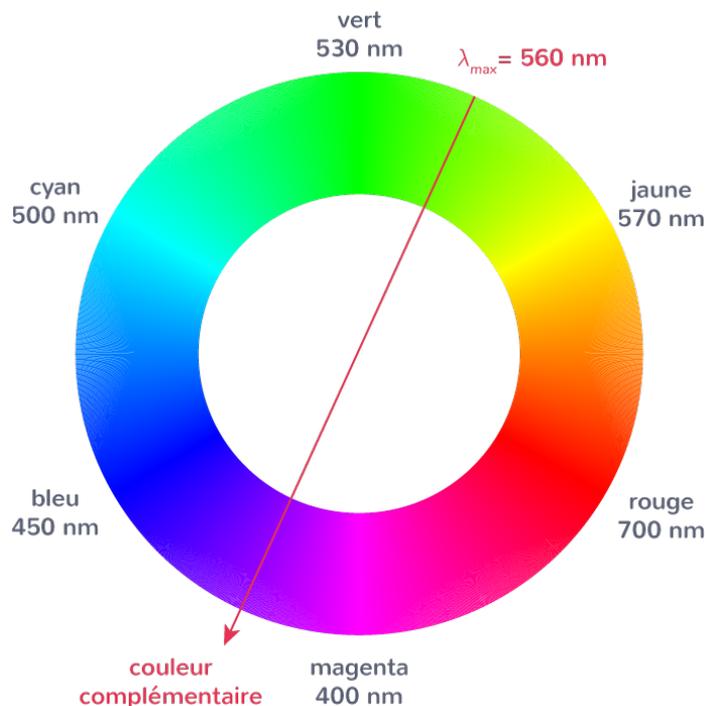


FIG 3 : Le cercle chromatique

Lorsqu'on mélange deux lumières ou plus pour créer une autre lumière, on parle de synthèse additive. On peut créer indifféremment une lumière blanche ou colorée par synthèse additive.

À l'inverse, lorsqu'on filtre la lumière d'une source de lumière blanche pour créer une lumière colorée, on parle de synthèse soustractive.

La plupart des sources lumineuses émettent naturellement une lumière blanche : on utilise donc majoritairement la synthèse soustractive pour éclairer avec des couleurs les plateaux de cinéma et de théâtre ou les concerts, en plaçant des filtres colorés devant les projecteurs.

La peinture et l'imprimerie utilisent également la synthèse soustractive : la peinture et l'encre sont des filtres qui absorbent une partie de la lumière.

Le spectre d'une lumière créée par synthèse additive est le plus souvent discontinu : la lumière ne contient que certaines longueurs d'onde non contiguës : on parle alors de spectre de raies, en opposition avec un spectre continu.

Certaines sources lumineuses, telles que les lampes à sodium et les lampes à mercure, émettent naturellement des spectres de raies.

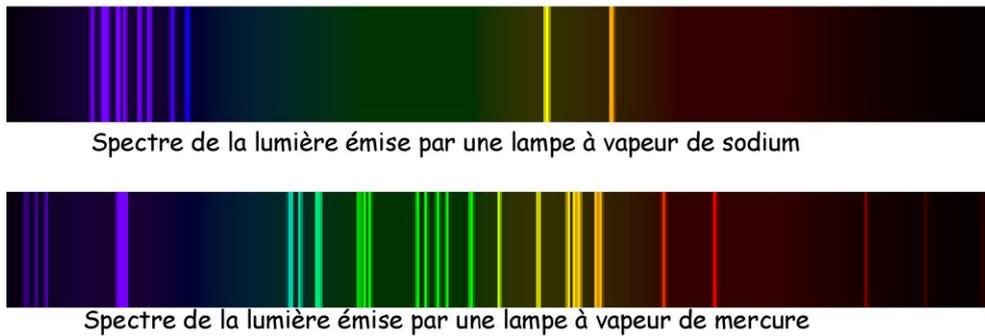


FIG 4 : Spectres de raies d'émission de deux sources de lumière

Deux lumières dont le spectre diffère mais qui produisent la même sensation de couleur (ou de blanc) sont dites métamères.

À titre d'illustration, le spectre de raies d'une lumière blanche créée par synthèse additive de trois lumières monochromatiques rouge, verte et bleue est différent de celui d'une source de lumière blanche à spectre continu (le soleil par exemple). Cependant, ces deux spectres sont capables de produire la même sensation lumineuse.

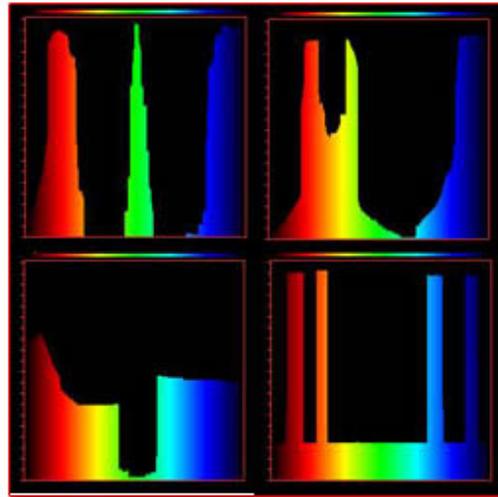


FIG 5 : Ces 4 couleurs sont métamères : leurs spectres sont différents mais elles produisent la même sensation de couleur

c – Absorption et réflexion de la lumière

Les sources lumineuses émettent de la lumière, tandis que les objets éclairés par une source lumineuse absorbent une partie de la lumière et réfléchissent le reste.

On peut donc définir, pour tout objet, un spectre d'absorption et un spectre d'émission, ce dernier correspondant à la lumière réfléchi par l'objet.

Les spectres d'absorption et d'émission d'un objet sont complémentaires : combinés, ils forment le spectre d'émission de la source lumineuse éclairant l'objet.

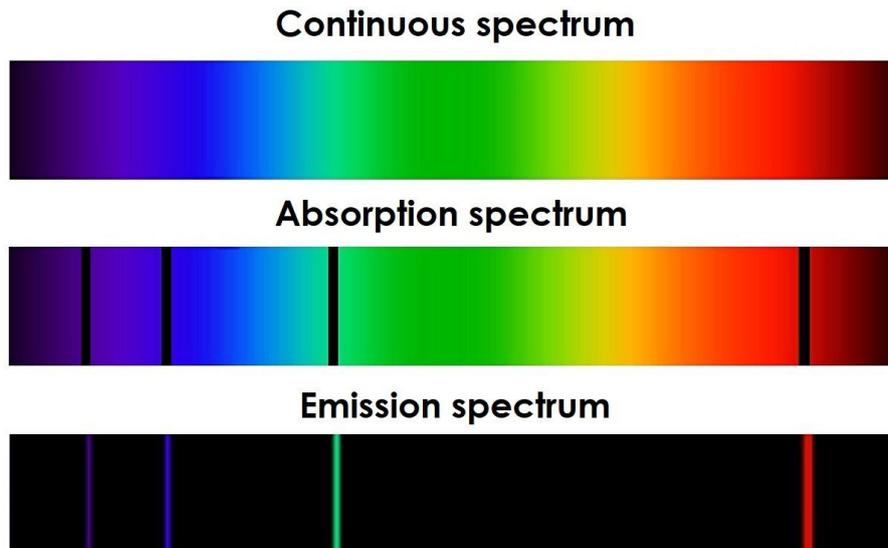


FIG 6 : De haut en bas : Spectre d'émission de la source lumineuse, spectre d'absorption de l'objet éclairé, spectre d'émission de l'objet éclairé

Les sources produisant de la lumière sont qualifiées de source primaire, tandis que les objets réfléchissant une partie de la lumière sont qualifiés de source secondaire.

En effet, certains objets n'ont pas pour principale fonction d'être éclairés, c'est-à-dire d'être vus, mais ont pour fonction d'éclairer par réflexion.

À titre d'illustration, si l'on oriente un projecteur vers un plafond, cela permet d'obtenir une lumière diffuse dans une pièce. Dans ce cas, le projecteur est la source primaire, et le plafond est la source secondaire.

Les couleurs des objets ne sont pleinement perceptibles que sous une lumière blanche. Un objet bleu éclairé par une lumière rouge sera perçu noir, car la lumière ne fournit pas les teintes bleues que l'objet est capable de réfléchir.

De même, une feuille blanche éclairée par une lumière rouge sera perçue rouge, car elle ne réfléchit que les teintes rouges fournies par la source d'éclairage.²

² Pour plus de détails sur l'adaptation de la vision à la perception des couleurs en fonction de la source de lumière, voire partie I-2-c

Par ailleurs, dans les environnements sombres, on perçoit difficilement les couleurs. Cela est dû à une différence d'activité des photorécepteurs dans la rétine : les bâtonnets (insensibles à la couleur) prennent le relai sur les cônes (sensibles à la couleur) dans les environnements sombres.

Les objets métamères le sont uniquement sous une source de lumière donnée. Imaginons un objet blanc A réfléchissant uniquement le cyan et le rouge, et un objet blanc B réfléchissant le vert, le bleu et le rouge.

Sous une lumière blanche, les deux objets provoqueront la même sensation lumineuse : ils seront perçus comme blancs.

Sous une lumière verte, par contre, l'objet B sera perçu comme vert tandis que l'objet A sera perçu comme noir, car il ne réfléchit pas la lumière verte.

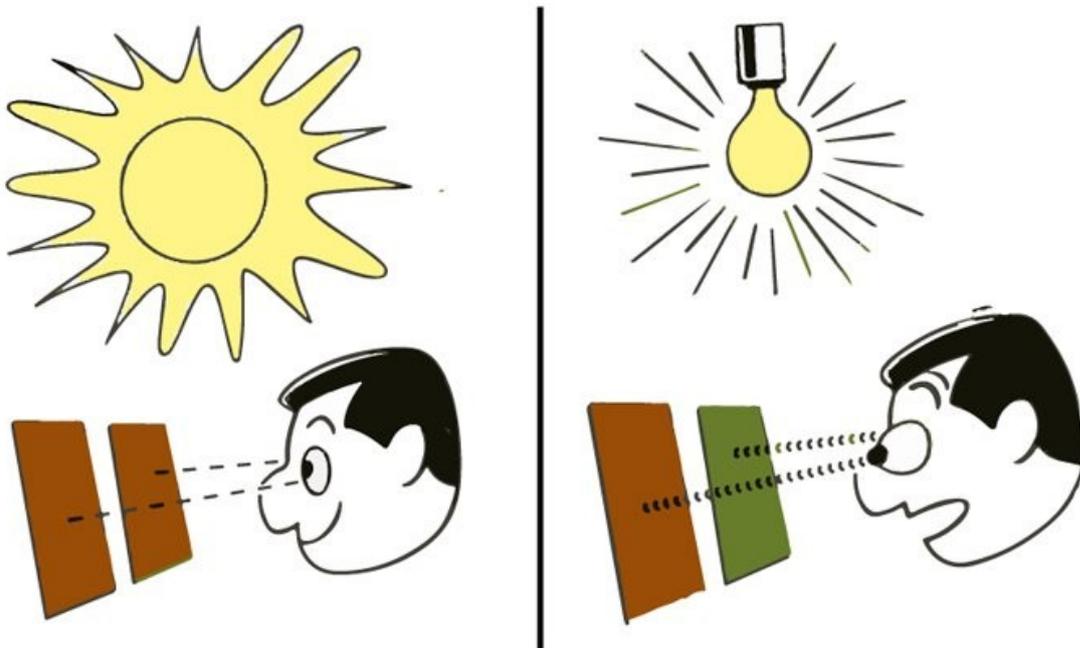


FIG 7 : Deux couleurs métamères sous la lumière naturelle du soleil, mais non métamères sous une source de lumière artificielle.

2 – Température de couleur

Décrire une source de lumière par son spectre est assez fastidieux : pas de possibilité de transmission orale, nécessité d'établir une représentation visuelle du spectre pour chaque source etc.

Comparer deux sources de lumière par leur spectre s'avère encore plus compliqué en raison du phénomène de métamérisme : deux sources avec des spectres différents peuvent produire la même sensation lumineuse.

C'est pourquoi il existe un modèle qui permet de qualifier et de comparer des sources de lumière blanche de façon simplifiée, appelé température de couleur.

a – Définition

On appelle corps noir un objet idéal qui n'émet de la lumière que sous l'effet de la chaleur. Le corps noir ne réfléchit aucune lumière.

On appelle température de couleur d'une source lumineuse la température à laquelle il faudrait porter le corps noir pour que le spectre lumineux dégagé par le corps noir soit métamère à celui de cette source.

La température de couleur s'exprime en Kelvin (K).

Le filament d'une ampoule à incandescence se rapproche du modèle du corps noir : la température de couleur correspond donc approximativement à la température à laquelle il faut chauffer le filament d'une ampoule à incandescence pour obtenir un type de lumière blanche donné.

Une température de couleur de 2700K correspond à une lumière blanche-orangée. Si on chauffe le filament d'une ampoule à incandescence à 2700K, on obtiendra donc une lumière blanche-orangée.

La température de couleur est essentiellement utilisée pour catégoriser les lumières blanches. Le spectre de la lumière blanche du jour est situé entre 4500 et 6500K.

En dessous, on aura une lumière blanche-orangée (spectre typique des lampes à incandescence). Au dessus, on aura une lumière blanche-bleutée (spectre de certaines LED et d'anciens modèles d'écrans informatiques).

Plus la lumière est « froide » donc, plus la température de couleur est « chaude ».

b – Blancs étalons

Il existe plusieurs valeurs de température de couleur normalisées appelées blancs étalons.

Parmi les blancs étalons, on peut retenir :

- Le blanc A : c'est le blanc donné par une lampe à incandescence lorsque son filament est porté à 2856 K. C'est un blanc à dominante orangée.
- Le blanc B : il correspond au rayonnement du corps noir porté à une température de 4874 K. Il représente la lumière directe du soleil à midi.
- Le blanc E, appelé également blanc d'égalité énergie. C'est un blanc dont la puissance d'émission ne dépend pas de la longueur d'onde. Sa représentation spectrale est donc un segment de droite horizontal entre les valeurs 380 et 780nm. Sa température de couleur, de valeur 5474K, est proche de celle de la lumière du jour sous un ciel couvert.
- Le blanc D65, de température de couleur de 6500K. C'est en Europe le blanc de référence pour la reconstitution d'une image vidéo sur l'écran d'un téléviseur couleur.

c – Adaptation chromatique ou constance de couleur

Notre cerveau est capable d'intégrer les températures de couleur afin de percevoir les couleurs des objets de la même façon quelle que soit la température de couleur de la source lumineuse. Cette propriété de la vision est appelée adaptation chromatique ou constance de couleur.

Une feuille blanche apparaîtra de la même façon sous la lumière blanche-orangée d'une lampe halogène ou sous la lumière blanche-bleutée du jour.

Ce phénomène est bien connu des amateurs de sport d'hiver.

En effet, les lunettes de ski filtrent généralement la lumière bleue pour éviter l'éblouissement. Lorsque l'on met les lunettes, la neige nous apparaît alors orangée pendant un temps d'adaptation, puis blanche. Lorsqu'on enlève les lunettes, la neige nous apparaît bleutée pendant un temps d'adaptation, puis à nouveau blanche.

La constance de couleur a cependant des limites : un objet bleu sous une lumière monochromatique rouge ne pourra pas nous apparaître bleu.

De même, dans l'obscurité, nous ne sommes pas capables de discerner les couleurs.

3 – Teinte dominante, saturation et luminance

La température de couleur permet de qualifier les sources de lumière blanche avec une seule grandeur.

La teinte dominante, la saturation et la luminance, quant à elles, permettent de qualifier toutes les sources lumineuses, blanches ou colorées, avec trois grandeurs.

a – Luminance et Luminosité

La luminance définit la vivacité³ perçue de la lumière. Plus une lumière est sombre, plus sa luminance est faible. Plus une lumière est vive, plus sa luminance est élevée.

La luminance prend en compte la perception des couleurs par l'œil.

En effet, l'œil humain n'a pas la même sensibilité lumineuse aux différentes longueurs d'onde.

La fonction qui lie les longueurs d'onde à la sensibilité de l'œil est appelée efficacité lumineuse spectrale.

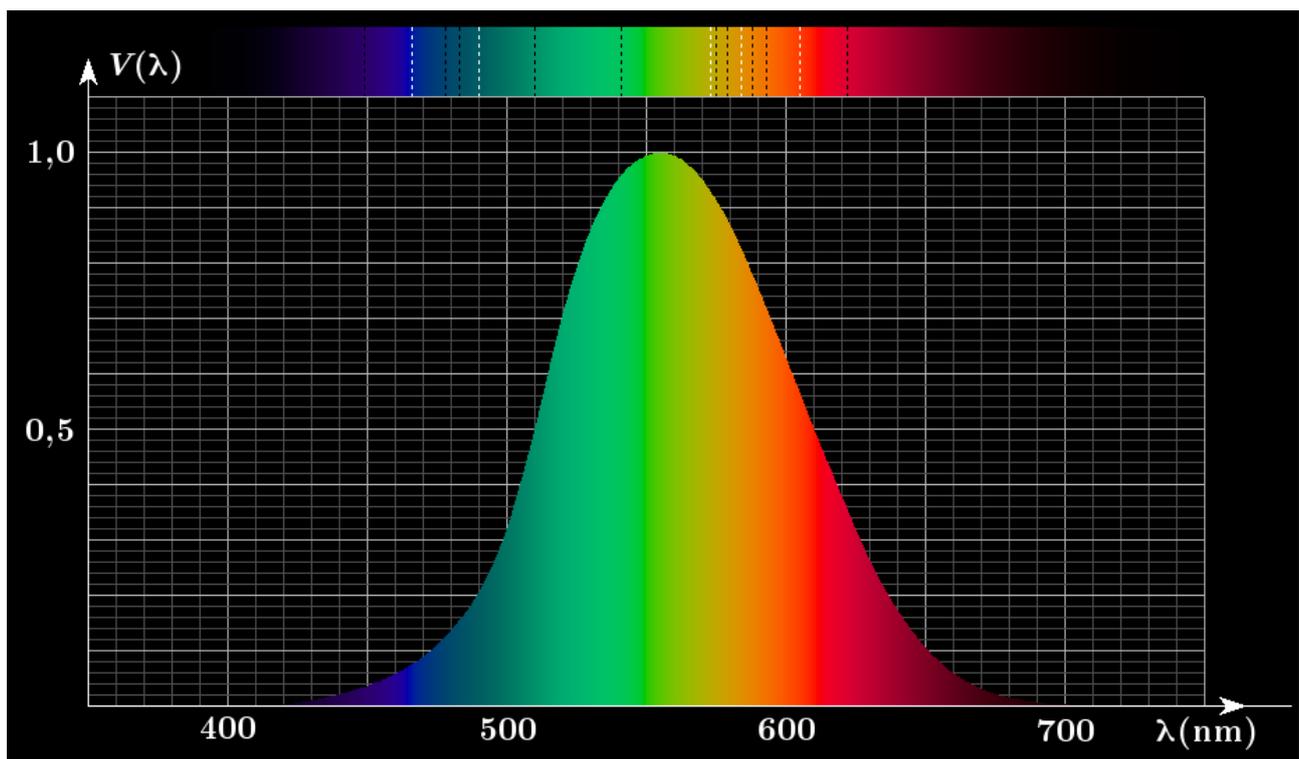


FIG 8 : Efficacité lumineuse spectrale, qui exprime la sensibilité lumineuse de l'œil humain en fonction de la longueur d'onde des couleurs

³ On évitera ici le terme intensité, car l'intensité correspond à une grandeur bien précise en photométrie.

Les variations de vivacité lumineuse perçues par l'œil ne sont pas proportionnelles aux variations de luminance.

Cette non-linéarité de la perception est due aux variations de diamètre de la pupille, qui se dilate pour mieux voir dans les environnements sombres, ou se rétracte pour éviter l'éblouissement.

On définit alors la luminosité en linéarisant les valeurs de luminance pour les rendre plus cohérentes par rapport à l'effet réel produit par la lumière sur l'œil : un doublement de la luminosité provoque un doublement de la perception de vivacité de la lumière.

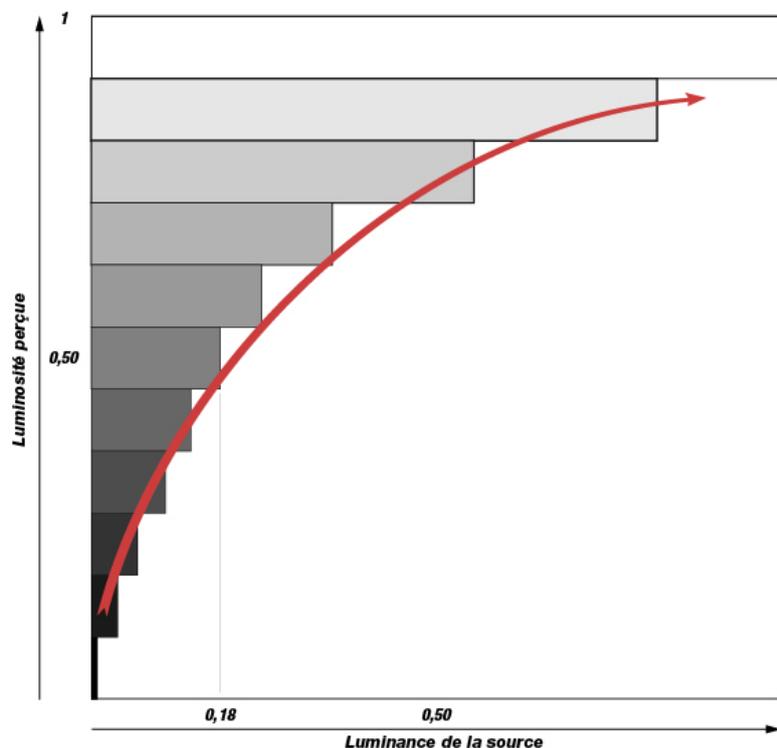


FIG 9 : Luminosité en fonction de la luminance

En colorimétrie, on utilise la luminosité relative plutôt que la luminosité absolue. La luminosité relative correspond au quotient de la luminosité d'une couleur par la luminosité du blanc étalon de référence (luminosité maximale).

Par la suite, sauf mention contraire, le terme luminosité correspondra à la luminosité relative.

En théorie, les valeurs de luminosité sont donc situées entre 0 (noir) et 1 (blanc).

En pratique, on utilise souvent un facteur 100 et on exprime les valeurs entre 0 et 100.

b – Saturation et Chroma

La saturation et la chroma définissent l'intensité de la coloration d'une lumière.

La saturation est relative à la coloration en termes physiques.

Toute couleur possède une couleur métamère constituée du mélange d'une lumière monochromatique et de blanc.

La composante monochromatique est appelée teinte dominante et elle définit pour quelle longueur d'onde la couleur émet le plus d'énergie.

On peut alors définir la saturation d'une couleur par le taux de dilution dans le blanc de sa couleur métamère. Cette mesure est appelée pureté colorimétrique :

$$p_c = \frac{\textit{luminance(teinte dominante)}}{\textit{luminance(teinte dominante)} + \textit{luminance(bleu)}}$$

Les valeurs de la pureté colorimétrique n'ont pas d'unité et sont situées entre $p_c = 0$ et $p_c = 1$.

Plus la couleur contient de blanc, moins elle est saturée. Moins la couleur contient de blanc, plus elle est saturée.

Les couleurs pures sont donc pleinement saturées, et le blanc a une saturation nulle.

Plutôt que de parler de blanc, on parle plus précisément de couleur achromatique, le blanc ne constituant que la variante la plus lumineuse des couleurs achromatiques. Les couleurs achromatiques moins lumineuses sont qualifiées de grises, ou de noir en l'absence de luminosité.

Toutes les couleurs achromatiques ont une saturation nulle.

Dans les faits, le terme « blanc » est souvent utilisé dans la littérature pour qualifier une couleur achromatique quelconque.

Une couleur fortement saturée sera perçue comme vive, éclatante, tandis qu'une couleur faiblement saturée sera perçue comme fade, délavée.

Les couleurs pastel, par exemple, sont faiblement saturées.



**FIG 10 : Différentes valeurs de saturation d'une même teinte.
À gauche, la couleur la plus saturée. À droite, la couleur la moins saturée.**

La chroma correspond à la coloration d'une couleur en termes perceptifs.

En effet, l'œil ne perçoit pas la saturation de manière linéaire : la perception de la saturation varie notamment en fonction de la teinte et de la luminosité.⁴

Le calcul de la saturation et de la chroma dépend des espaces colorimétriques : une même couleur n'aura pas nécessairement les mêmes valeurs de saturation ou de chroma entre deux espaces colorimétriques.

La description d'une couleur en termes de teinte et de saturation (ou de chroma), sans tenir compte de la luminance, est appelée chromaticité.

Il est important de noter que toutes les températures de couleur ont une équivalence en termes de teinte et de saturation (la température de couleur ne prend pas en compte la luminance). Il est cependant plus pratique de décrire les sources de lumière blanche avec une seule valeur plutôt que deux.

4 – Espaces colorimétriques

Un modèle colorimétrique est un modèle mathématique permettant de définir une couleur par des valeurs numériques dans plusieurs dimensions (généralement trois).

Un espace colorimétrique est l'espace géométrique lié à un modèle colorimétrique, généralement tridimensionnel et permettant de situer toute couleur chromatique ou achromatique en un point de cet espace.

a – Espace RVB

En 1853, Herman Grassmann énonce que toute couleur {C} peut être théoriquement reproduite par un mélange de trois couleurs primaires indépendantes, c'est-à-dire que la teinte d'une des primaires ne peut être reproduite par mélange des deux autres.

On parle alors de trichromie ou trivariance visuelle.

⁴ Pour plus de détails sur la chroma, voir partie I-4-e

En pratique, on utilise des valeurs de primaire parmi les ensembles de couleur rouge {R}, vert {V} et bleu {B}, car ces trois ensembles sont indépendants, c'est-à-dire que trois valeurs quelconques prises respectivement dans chacun des trois ensembles seront indépendantes.

$$\{C\} \equiv R. \{R\} + V. \{V\} + B. \{B\}$$

où : {R}, {V} et {B} représentent les primaires utilisées.

R, V et B représentent les coefficients à appliquer aux primaires.

La plupart des couleurs peuvent être reproduites avec des coefficients R, V et B positifs, mais une petite partie des couleurs fortement saturées (le cyan, par exemple) ne peuvent être obtenues qu'avec un des coefficients négatif, ce qui est impossible physiquement.

Le signe \equiv indique qu'une même couleur {C} peut être obtenue par combinaison des trois couleurs primaires, mais n'est pas nécessairement obtenue par cette combinaison. En effet, les couleurs obtenues par trichromie ont des couleurs métamères dont le spectre diffère.

Un espace tridimensionnel RVB utilise trois primaires parmi {R}, {V} et {B} comme dimensions indépendantes. Il existe donc une infinité d'espaces RVB possibles. C'est pourquoi la Commission Internationale de l'éclairage (CIE) a défini en 1931 l'espace CIE RVB, un espace normalisé de référence, qui utilise les teintes pures de longueur d'onde 435,8 nm (bleu), 546,1 nm (vert) et 700 nm (rouge) comme primaires.

On peut caractériser toute couleur dans l'espace CIE RVB par un vecteur d'origine O ($\{C\} \equiv 0. \{R\} + 0. \{V\} + 0. \{B\}$, ce qui correspond à un noir parfait) et d'une longueur donnée.

La direction du vecteur donne la chromaticité de la couleur tandis que la longueur du vecteur est relative à la luminance.

La luminance dans l'espace CIE RVB est cependant difficilement accessible par observation géométrique.

En effet, la luminance dans l'espace CIE RVB n'est pas proportionnelle à la longueur des vecteurs, car l'œil n'a pas la même sensibilité aux luminances des trois primaires.

On calcule la luminance selon cette formule :

$$L_{\{C\}} = 0.17697R + 0.81240V + 0.01063B$$

L'espace CIE RVB présente donc un certain nombre d'inconvénients : coefficients négatifs, luminance peu accessible...

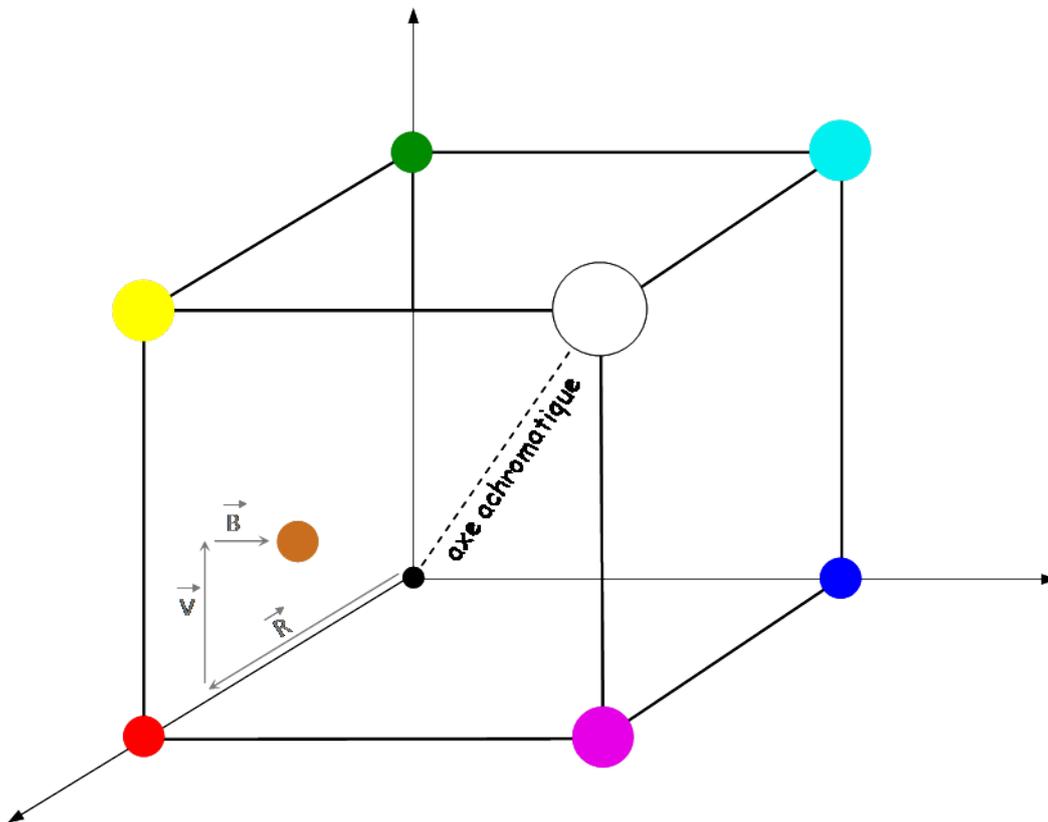


FIG 11 : Représentation graphique d'un espace RVB

b – Espace CIE XYZ

L'espace CIE XYZ permet de s'affranchir de toutes les contraintes liées à l'espace CIE RVB.

Pour cela, on remplace les primaires réelles {R}, {V} et {B} par les primaires irréelles {X}, {Y} et {Z}, et on obtient :

$$\{C\} = X.\{X\} + Y.\{Y\} + Z.\{Z\}$$

{X}, {Y} et {Z} ne correspondent pas à des couleurs existantes (on ne peut pas les reproduire physiquement car elles sont excessivement saturées).

Ces primaires permettent de recomposer n'importe quelle couleur sans coefficient négatif, et de séparer la luminance de la chromaticité : la chromaticité est portée par les primaires {X} et {Z}, tandis que la luminance est portée par la primaire {Y}.

{X}, {Y} et {Z} sont déduites de l'espace CIE RVB par une transformation de coordonnées. On peut donc passer sans grande difficulté de l'espace CIE RVB à l'espace CIE XYZ.

On définit les coefficients X, Y et Z comme suit :

$$X = 0.49R + 0.31V + 0.20 B$$

$$Y = 0.17697R + 0.81240V + 0.01063B^5$$

$$Z = 0.00 R + 0.01V + 0.99B$$

c- Espace CIE xyY et diagramme de chromaticité

L'espace CIE xyY est particulièrement intéressant car il permet de représenter géométriquement la teinte et la saturation d'une couleur sur un plan xy.

La luminance, quant à elle, est portée par la dimension Y.

L'espace CIE xyY se déduit de l'espace CIE XYZ de la façon suivante :

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

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

$$Y = Y$$

On a alors :

$$\{C\} = x.\{x\} + y.\{y\} + Y.\{Y\}$$

Le diagramme de chromaticité CIE xy permet de représenter la chromaticité de toutes les couleurs visibles sur un plan xy.

La ligne courbe supérieure, appelée lieu du spectre, ou spectrum locus, représente l'ensemble des couleurs pures du spectre visible.

Le segment de droite inférieure est appelé ligne des pourpres. Les couleurs situées sur la ligne des pourpres ne font pas partie du spectre visible : elles peuvent uniquement être obtenues par mélange de violet à 380nm et de rouge à 780nm.

Les pourpres ne possèdent pas physiquement de longueur d'onde, mais on leur attribue une longueur d'onde virtuelle en traçant une droite passant par le pourpre et le blanc étalon E.

On mesure ensuite géométriquement la longueur d'onde à l'intersection de la droite et du lieu du spectre : c'est la longueur d'onde complémentaire du pourpre.

⁵ On retrouve la formule de la luminance telle que définie dans l'espace CIE RVB

On attribue alors cette longueur d'onde au pourpre, mais en négatif, ce qui est une aberration physique mais qui permet bien de signifier que cette longueur d'onde est virtuelle.

Pour mesurer la saturation d'une couleur, on trace un segment entre le blanc d'égale énergie $E(x_0, y_0)$ et le lieu du spectre $L(x_\lambda, y_\lambda)$, passant par la couleur $C(x, y)$ dont on souhaite mesurer la saturation.

La pureté d'excitation de la couleur se calcule alors par le quotient $p_e = \frac{EC}{EL}$

La pureté colorimétrique est liée à la pureté d'excitation par la relation $p_c = \frac{y_\lambda}{y} \times \frac{y-y_0}{y_\lambda-y_0}$

Les températures de couleur, étant toutes exprimables en termes de teinte et de saturation, se situent également sur le diagramme de chromaticité.

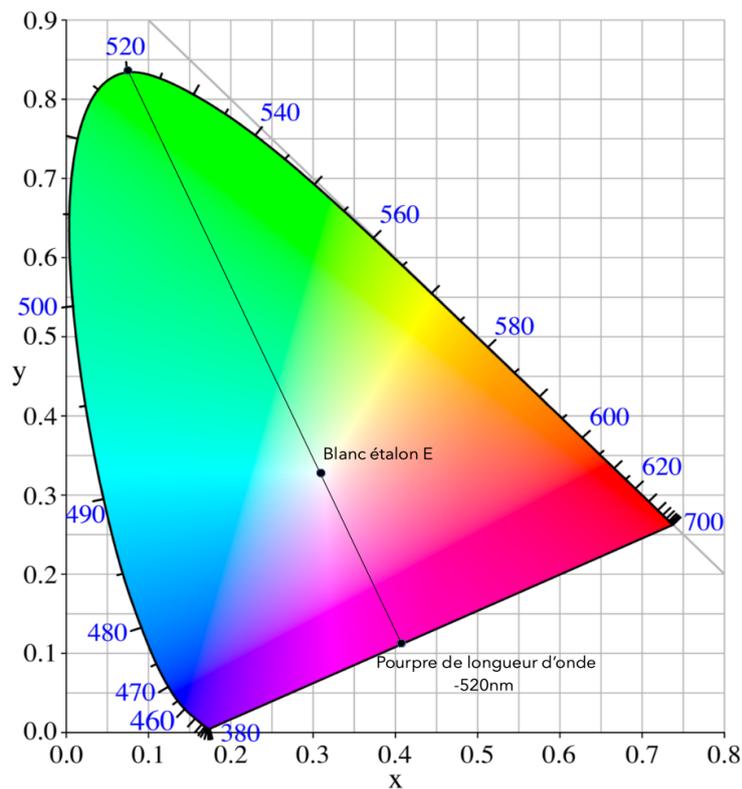


FIG 12 : Mesure de la longueur d'onde d'un pourpre sur le diagramme de chromaticité CIE xy

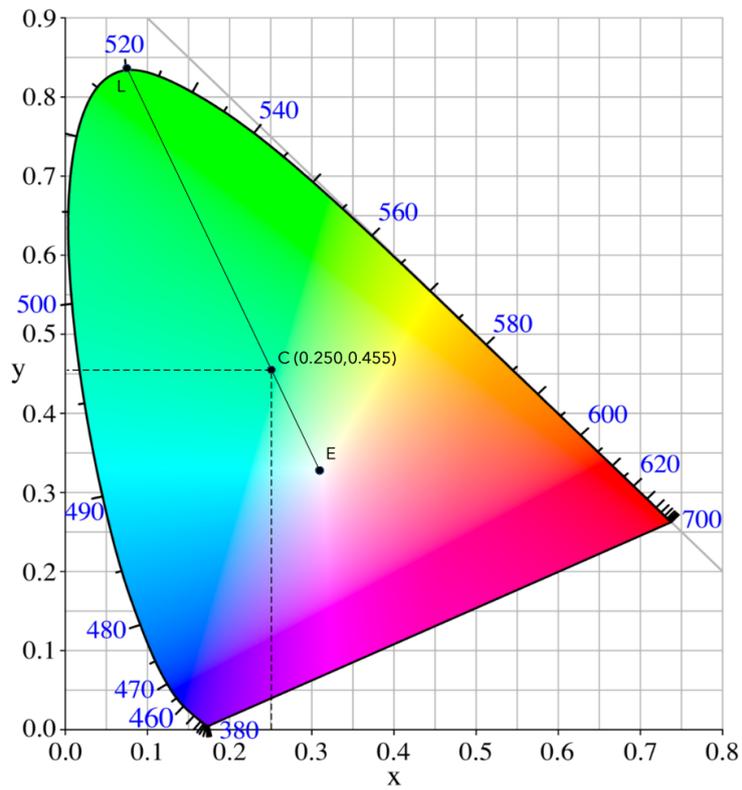


FIG 13 : Mesure de la saturation d'une couleur C de coordonnées (0.250, 0.455) sur le diagramme de chromaticité CIE xy

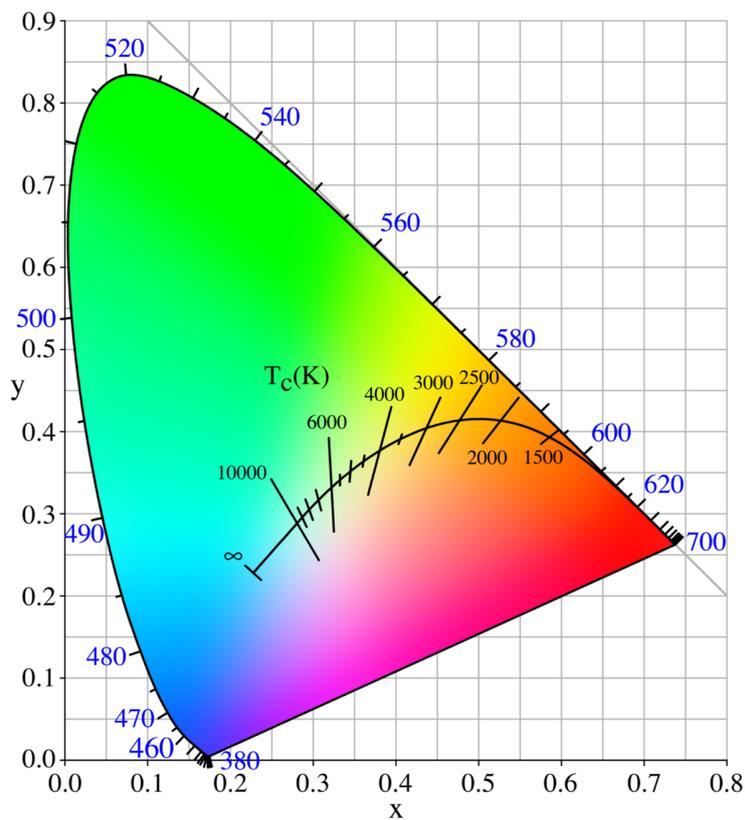


FIG 14 : Températures de couleur sur le diagramme de chromaticité CIE xy

d – Projection d'un espace RVB quelconque sur le diagramme de chromaticité CIE xy : notion de Gamut

La plupart des outils technologiques modernes (caméras numériques, appareils photo numériques, écrans de télévision) utilisent la synthèse additive trichrome RVB pour la reproduction des couleurs.

Cependant, les différents dispositifs n'utilisent pas les mêmes primaires {R}, {V} et {B}, et une partie des couleurs reproduites par un dispositif ne sera donc pas reproductible par un autre.

On peut représenter graphiquement l'ensemble des couleurs reproductibles par un dispositif en traçant un triangle entre la position des trois primaires du dispositif sur le diagramme de chromaticité CIE xy

L'ensemble des couleurs qu'un dispositif est capable de reproduire est situé à l'intérieur de ce triangle et est appelé Gamut.

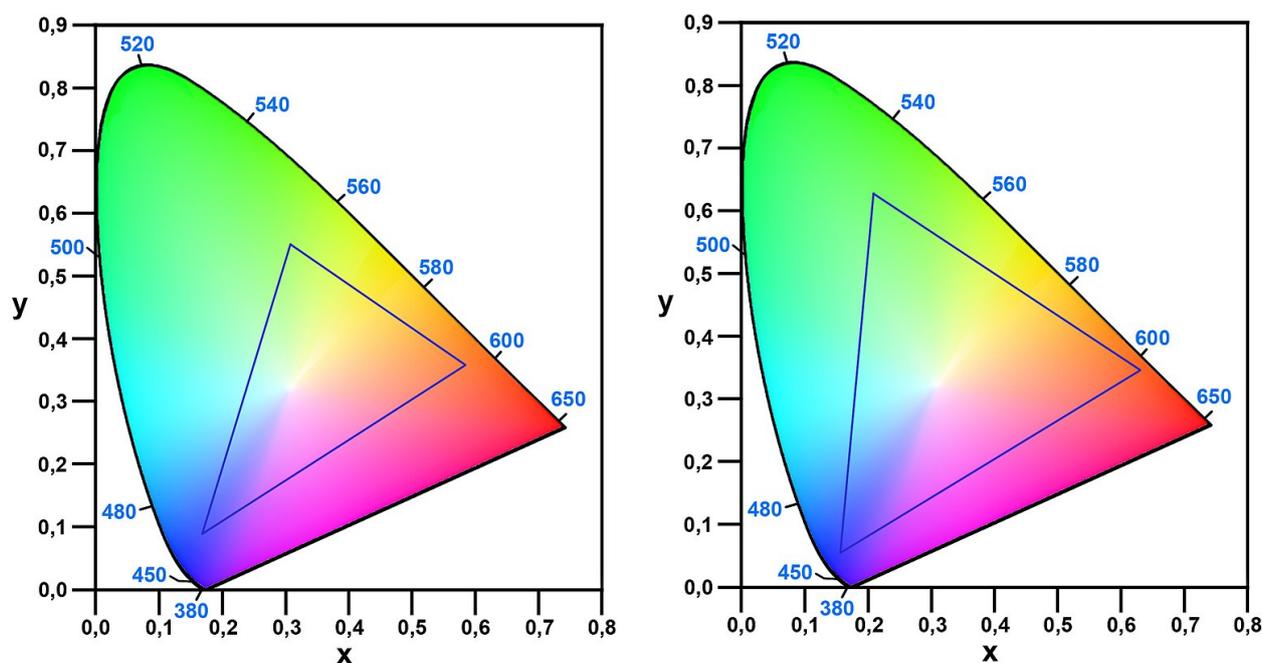


FIG 15 : Gamut d'un écran à tube cathodique (à gauche) et gamut d'un écran LCD (à droite)

e - Espace de Munsell

L'espace colorimétrique de Munsell est le système d'identification des couleurs le plus répandu aux Etats-Unis.

Il définit les couleurs selon leur teinte, leur chroma et leur valeur⁶.

La valeur est une mesure de la luminosité, et non pas de la luminance⁷.

La chroma est proportionnelle à la perception de la saturation par l'œil humain, et non pas à la saturation elle-même, qui définit une réalité physique de la couleur, mais pas une réalité perceptive.

En effet, les valeurs maximales de chroma diffèrent selon les teintes et la luminosité : pour une même valeur et une même saturation, certaines teintes sont perçues comme plus éclatantes que d'autres.

D'autre part, pour une même teinte et une même saturation, certains niveaux de valeur provoquent une sensation de couleur plus éclatante que d'autres.

À titre d'illustration, pour une valeur de 5, la chroma maximale du rouge est de 10, tandis que la chroma maximale de sa complémentaire bleu-vert est de 5.

D'autre part, la chroma maximale du rouge est de 10 pour une valeur de 5, tandis que la chroma maximale du rouge est de 4 pour une valeur de 8.⁸

Dans l'espace de Munsell, les valeurs de chroma, de teinte et de valeur sont discrétisées, permettant ainsi d'obtenir un nombre fini de couleurs, ce qui permet de les référencer plus facilement.

L'espace colorimétrique de Munsell contient 10 teintes, avec des valeurs de valeur allant de 1 à 9 et des valeurs de chroma allant de 0 à 10.

Ces couleurs sont référencées dans un ouvrage appelé Atlas de Munsell.

L'espace colorimétrique de Munsell est un espace tridimensionnel dans lequel :

- La position verticale d'une couleur représente sa valeur. L'axe vertical central est l'axe des couleurs achromatiques.
- L'écart horizontal d'une couleur par rapport à l'axe des couleurs achromatiques représente sa chroma.
- Les teintes complémentaires forment un angle de 180° entre elles sur le plan horizontal. On retrouve le modèle du cercle chromatique.

⁶ **Value se traduit par valeur en français, mais on gardera ici le terme value pour éviter la confusion entre le terme « valeur » générique et le terme spécifique à l'espace de Munsell**

⁷ **Voir partie I-3-a**

⁸ **cf. FIG 16**

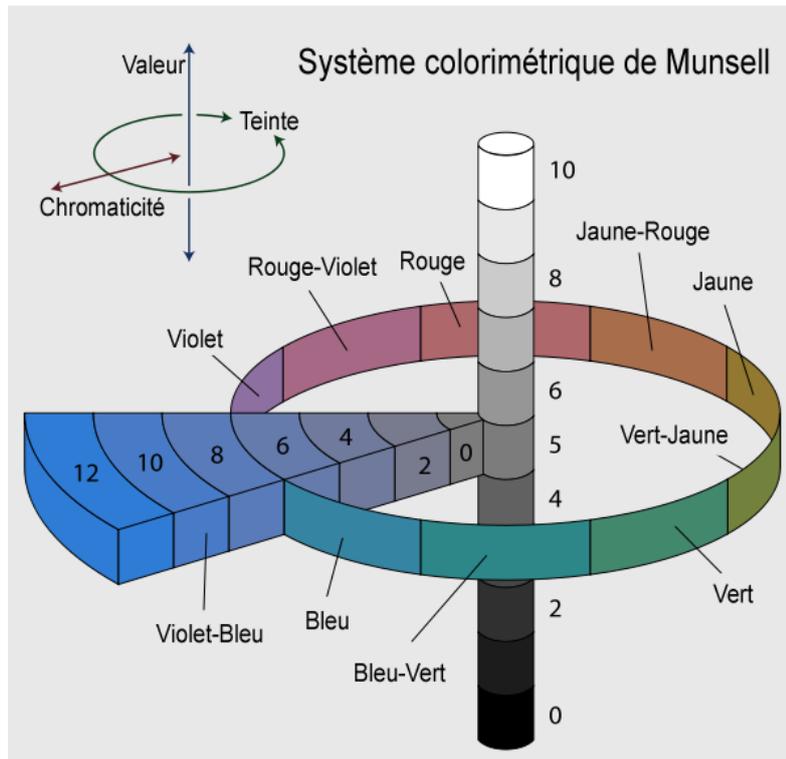


FIG 16 : Espace colorimétrique de Munsell

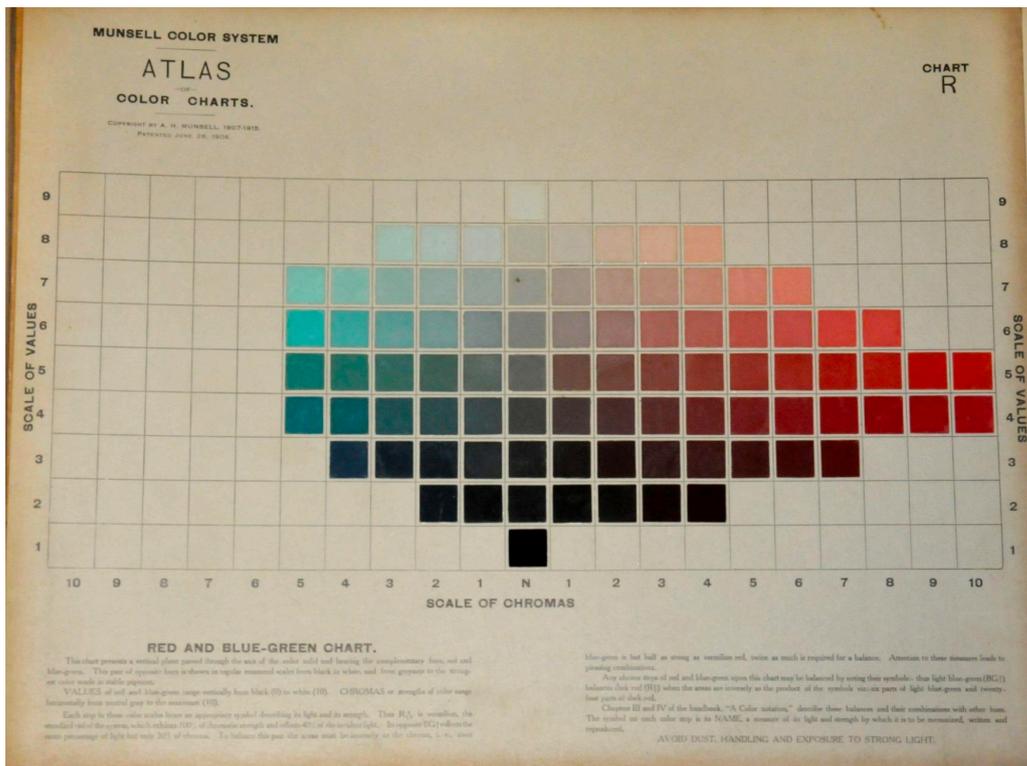


FIG 17 : Planche du nuancier de Munsell

L'axe central est l'axe des couleurs achromatiques.

À droite de l'axe central, les différentes nuances de rouge selon leur valeur (position verticale) et leur chroma (position horizontale). À gauche de l'axe central, les différentes nuances de la teinte complémentaire du rouge, le bleu-vert.

f – Espace CIE L*a*b*

L'espace CIE L*a*b* est défini à partir de l'espace CIE XYZ.

Par rapport à ce dernier, il présente l'avantage d'une répartition des couleurs plus conforme à la perception des écarts de couleur par le système visuel humain.

Dans l'espace CIE XYZ, deux points situés à une même distance peuvent correspondre à deux couleurs perçues comme identiques dans une zone, tandis qu'elles seront perçues comme distinctes dans une autre.

Dans l'espace CIE L*a*b*, deux couleurs situées à une même distance produiront toujours le même écart de couleur, c'est-à-dire la même différence de sensation colorée.

L'espace CIE L*a*b* est qualifié de perceptuellement uniforme.

L* exprime la luminosité, tandis que a* et b* expriment la chromaticité.

La chroma et l'angle de teinte se définissent à partir de a* et b* par les formules suivantes :

$$C_{ab}^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$
$$h_{ab} = \arctan \frac{b^*}{a^*}$$

La saturation correspond au quotient du chroma sur la luminosité :

$$S_{ab} = \frac{C_{ab}^*}{L^*}$$

Le blanc de référence dans l'espace CIE L*a*b* est généralement le blanc étalon D65.

L'écart de couleur entre une couleur A et une couleur B est défini comme suit :

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

avec $\Delta L^* = L_B^* - L_A^*$

$$\Delta a^* = a_B^* - a_A^*$$

$$\Delta b^* = b_B^* - b_A^*$$

On définit L^* , a^* et b^* à partir de X , Y et Z comme suit :

$$L^* = 116f\left(\frac{Y}{Y_{D65}}\right) - 16$$

$$a^* = 500\left[f\left(\frac{X}{X_{D65}}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_{D65}}\right)\right]$$

$$b^* = 200\left[f\left(\frac{Y}{Y_{D65}}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_{D65}}\right)\right]$$

où :

$$f(t) = \begin{cases} t^{\frac{1}{3}} & \text{si } t > \left(\frac{6}{29}\right)^3 \\ \frac{1}{3} \left(\frac{29}{6}\right)^2 t + \frac{4}{29} & \text{sinon} \end{cases}$$

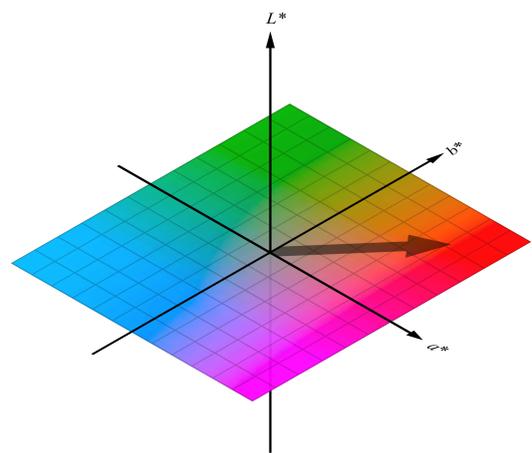
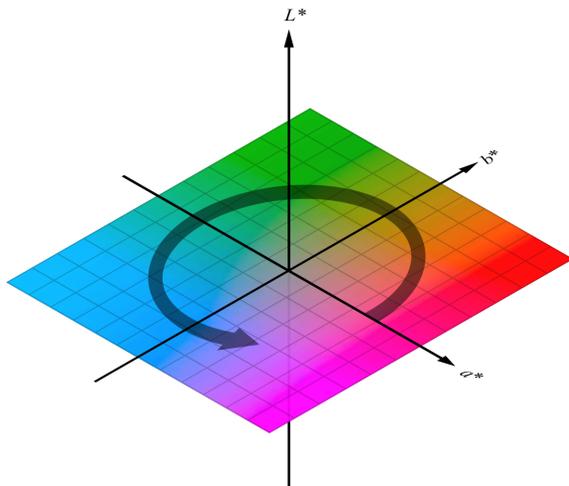


FIG 18 (à gauche) : Représentation de l'angle de teinte dans l'espace CIE $L^*a^*b^*$
FIG 19 (à droite) : Représentation de la chroma dans l'espace CIE $L^*a^*b^*$: la chroma correspond à la longueur du vecteur

La représentation en 3 dimensions de l'espace $L^*a^*b^*$ est une sphère.

En effet, la valeur de plus haute luminosité est nécessairement un blanc, ce qui correspond donc à un point unique dans l'espace $L^*a^*b^*$, car le blanc ne peut pas varier en termes de chromaticité, et donc selon les dimensions a^* et b^* . Il en est de même pour la valeur de luminosité nulle, qui est nécessairement un noir.

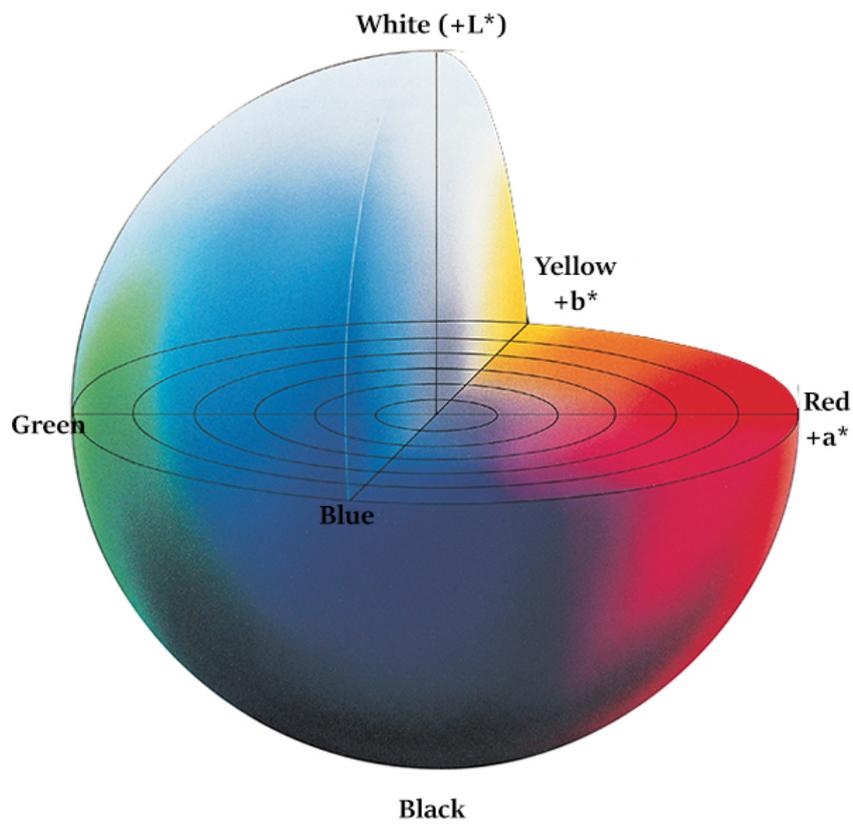


FIG 20 : Représentation tridimensionnelle de l'espace CIE L*a*b

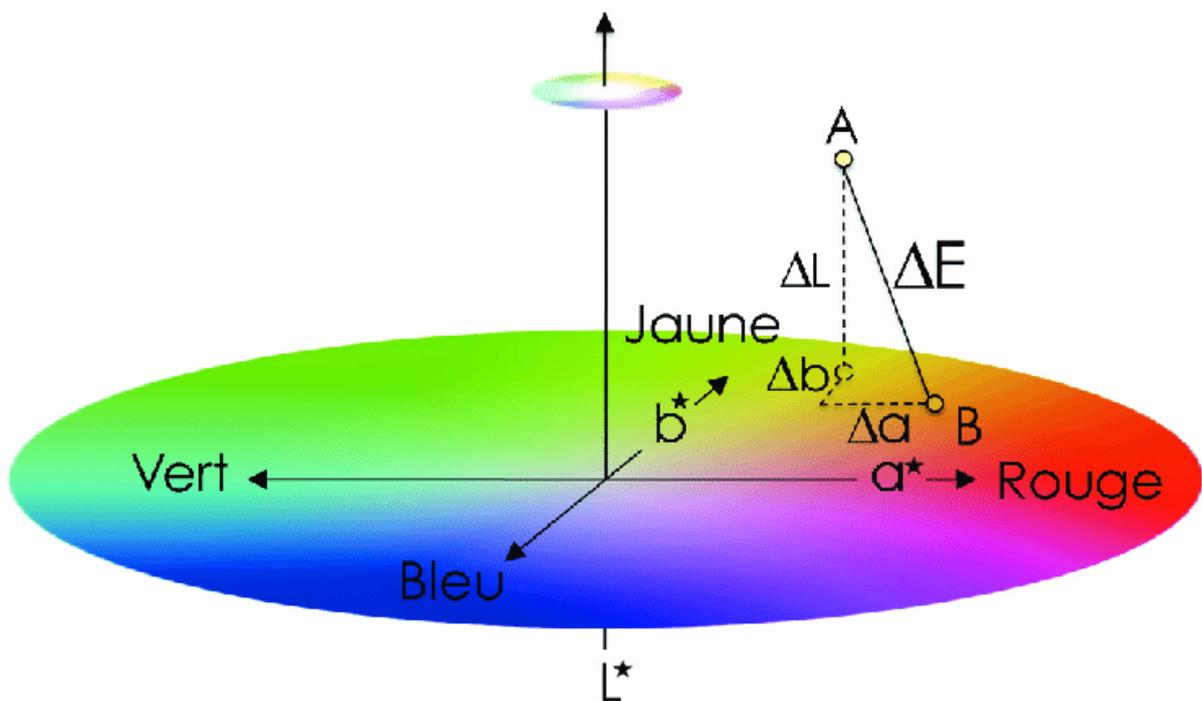


FIG 21 : Mesure de l'écart de couleur dans l'espace CIE L*a*b

II – Influence de la lumière sur les émotions et sur les comportements

*« My Red is so confident
He flashes trophies of war and ribbons of euphoria
Orange is young, full of daring
But very unsteady for the first go round
My Yellow in this case is not so mellow
In fact I'm trying to say that it's frightened
Like me
And all these emotions of mine
Keep holding me from giving my life to a rainbow
Like you »*

*« Mon rouge est si confiant
Il exhibe des trophées de guerre et des rubans d'euphorie
Orange est jeune, rempli d'audace
Mais très instable au premier virage
Mon jaune, dans cette situation, n'est pas très serein
En réalité, je veux dire qu'il est effrayé
Comme moi
Et toutes ces émotions en moi
Me retiennent de donner ma vie à un arc-en-ciel
Comme toi »*

Jimi Hendrix, AXIS - Bold as Love [1968]

De nombreuses études portent sur l'influence de la lumière sur les émotions et sur les comportements, mais un grand nombre d'entre elles ne fournissent pas assez d'informations pour que leurs résultats soient exploitables.

« In most areas of color science it is important to specify the stimulus conditions used in the research. Such specification would normally be expected to contain a description of the stimuli adequate enough for someone else to replicate the experiment. The studies [...] frequently do not adequately provide this information. Some studies merely report the names of the colors used. » (Kaiser, 1984)

Ce qui peut se traduire par :

« Dans la plupart des domaines de la science des couleurs, il est important de spécifier les stimuli utilisés dans la recherche. Cette spécification devrait normalement être suffisante pour que quelqu'un d'autre puisse reproduire l'expérience. Fréquemment, les études [...] ne fournissent pas correctement ces informations. Certaines études reportent à peine le nom des couleurs utilisées »

Il est en effet très commun de lire des études dans lesquelles seul le nom de la couleur (rouge, vert, bleu etc.) est précisé, sans mention de la teinte exacte, de la luminosité ou de la saturation (Jacobs & Suess, 1965 ; Yildirim *et al.*, 2007).

Comment savoir alors si les différences émotionnelles mesurées entre par exemple, le rouge et le bleu, sont dues à la teinte, ou bien à un niveau de saturation ou de luminosité différent entre les deux couleurs ?

Certaines études font également la confusion entre émotion induite par la couleur et association entre une couleur et un concept (Ou *et al.*, 2004).

Bien que le lien couleur-émotion soit certainement dû en parti à un processus d'apprentissage associatif (Elliot *et al.*, 2007), le lien couleur-émotion n'est pas nécessairement lié à l'association couleur-concept.

D'Andrade et Egan (1974) ainsi que Gao *et al.* (2007) montrent qu'il y a peu de variations interculturelles dans les liens couleur-émotion, entre des cultures pour lesquelles les concepts associés aux couleurs varient beaucoup.

Ce n'est donc pas parce que le rouge est symbole de deuil en Afrique du Sud alors qu'il est la couleur des saris des mariées indiennes, qu'il suscitera une émotion radicalement différente entre ces deux cultures.

Pour évaluer le lien couleur-émotion, il est donc préférable de poser la question « Quelles émotions ressentez-vous ? » lorsque le sujet est exposé à une couleur, plutôt que « Quelle émotion associez-vous à cette couleur ? ».

D'autres études ne maîtrisent pas suffisamment les conditions expérimentales. Ainsworth *et al.* (1993) évaluent l'influence de la couleur des murs sur l'humeur et la performance dans un environnement de travail. Bien que la démarche soit intéressante, ils n'ont aucun moyen de savoir combien de temps les sujets ont passé à regarder les murs.

Une étude similaire de Knez (2001) se montre plus intéressante car elle évalue l'influence de la lumière ambiante, à laquelle les sujets sont exposés en permanence, sur l'humeur et la performance dans un environnement de travail.

Pour ces raisons, seules les études au design expérimental suffisamment rigoureux et fournissant des informations précises sur les stimuli seront examinées ici.

D'autres études évaluent l'influence à long terme de la lumière sur les émotions.

Küller *et al.* (2006) évaluent l'influence de la lumière naturelle dans un environnement de travail entre les saisons.

Ils observent une influence significative de la saison sur l'humeur des sujets en Angleterre et en Suède, due à la forte variation de la longueur des journées entre les saisons.

Par contre, ils n'observent pas d'influence significative en Argentine et en Arabie Saoudite, pays proches de l'équateur, dont la longueur des journées varie peu entre les saisons.

Ils montrent également que l'aspect qualitatif de la lumière (i.e. comment le sujet perçoit la lumière) a plus d'influence sur l'humeur que l'aspect quantitatif de la lumière (i.e. les propriétés physiques de la lumière).

La dépression saisonnière, ainsi que les troubles du sommeil dus à un dérèglement du rythme circadien⁹, sont également la conséquence d'effets à long terme de la lumière.

Dans le cadre de l'étude présente, on souhaite évaluer l'influence à court terme de la lumière sur les musiciens : les différentes études sur l'influence à long terme de la lumière ne seront donc pas examinées plus en détail.

Cependant, dans le cadre d'une recherche ultérieure, il pourrait être intéressant d'examiner cette influence à long terme, en comparant une séance de studio sur plusieurs jours dans un studio sombre en lumière artificielle et dans un studio lumineux en lumière naturelle, par exemple.

⁹ **L'horloge circadienne est notre horloge biologique, qui se synchronise sur les cycles du soleil, afin de nous permettre de maintenir un rythme d'une période de 24 heures. L'absence de lumière augmente notre sécrétion de mélatonine, l'hormone du sommeil : c'est pourquoi il est conseillé de ne pas regarder d'écran informatique le soir afin d'éviter les insomnies.**

A] Mesure des émotions : le modèle PAD

Tout le vocabulaire spécifique, propre aux études statistiques, utilisé ci-après, est défini dans le lexique situé à la fin de ce mémoire.

1 - Définition

Les émotions sont définissables par un très grand nombre de variables : joie, colère, peur, anxiété, euphorie, détente, fascination, fatigue, ennui, détresse etc.

On parle alors de catégorisation discrète des émotions.

Il paraît difficile et fastidieux de mesurer les émotions d'un sujet selon toutes ces dimensions.

Cependant, ces variables ont un fort taux de corrélation entre elles : il est donc possible de réduire drastiquement le nombre de variables par une analyse en composantes principales. On parle alors de catégorisation dimensionnelle des émotions.

Mehrabian et Russell (1974) ont développé le modèle PAD (Pleasure, Arousal, Dominance ou Plaisir, Excitation, Domination en français), qui définit le plaisir, l'excitation et la domination comme trois dimensions principales non corrélées de la mesure des émotions.

Une émotion {E} peut alors être exprimée selon les trois dimensions indépendantes P, A et D.

$$\{E\} = p.P + a.A + d.D$$

p, a et d sont des variables contenues entre -1 et 1.

Toute émotion est alors représentable dans un espace tridimensionnel.

Le plaisir mesure à quel point le sujet se sent bien ou mal. La colère et la peur sont deux émotions déplaisantes (p négatif) tandis que la joie est une émotion plaisante (p positif).

L'excitation mesure à quel point le sujet se sent énergique ou apathique. La colère est une émotion excitante (a positif) tandis que la dépression est une émotion non excitante (a négatif).

La domination mesure à quel point le sujet a le contrôle sur son émotion ou à quel point il est sidéré, submergé par son émotion. La fierté est une émotion que l'on domine (d positif) tandis que la terreur est une émotion à laquelle on est soumise (d négatif).

Le modèle PAD est nécessaire et suffisant : une position dans l'espace PAD correspond à une seule émotion et une émotion donnée correspond à une seule position dans l'espace PAD.

Le modèle PAD reste aujourd'hui le modèle de référence pour la mesure des émotions et le modèle le plus largement utilisé (Detandt *et al.*, 2017).

Exemples d'émotions dans le domaine PAD :

- Fier = $0.77P + 0.38A + 0.65D$
- Impressionné = $0.41P + 0.30A - 0.32D$
- Cruel = $-0.45P + 0.48A + 0.42D$
- Humilié = $-0.63P + 0.43A - 0.38D$
- Déprimé = $-0.72P - 0.29A - 0.41D$
- Amoureux = $0.82P + 0.65A - 0.05D$
- Puissant = $0.48P + 0.61A + 0.69D$
- Arrogant = $0.34A + 0.48D$
- Terrifié = $-0.62P + 0.82A - 0.43D$
- Heureux = $0.81P + 0.51A + 0.46D$
- Tranquille = $0.79P - 0.01A + 0.33D$

Les trois dimensions peuvent se mesurer par l'observation comportementale des sujets, par les réactions physiologiques des sujets ou par l'auto-évaluation des sujets, sous forme de questionnaire.

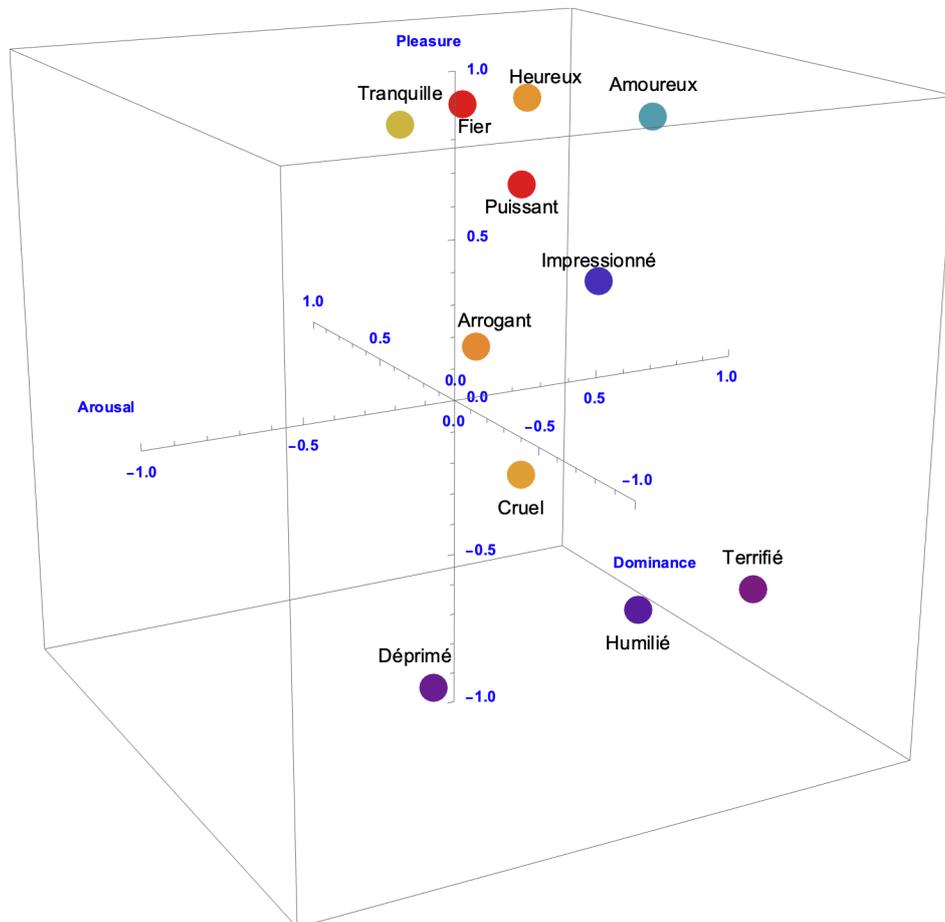


FIG 22 : Distribution de diverses émotions dans l'espace PAD

2 – Échelles de mesure

L'échelle de mesure originelle définie par Mehrabian et Russell (1974) est une échelle sémantique différentielle comportant 6 items par dimension et où chaque item est mesuré sur 9 points.

Les différences de score sur un item entraînent de fortes variations selon la dimension mesurée, mais très peu selon les deux autres.

Par exemple, l'item Happy/Unhappy entraîne des scores de plaisir très différents, mais des scores qui diffèrent très peu selon l'excitation et la domination.

Les pourcentages de variance expliquée par cette échelle de mesure sont de 27% pour le plaisir, 23% pour l'excitation et 14% pour la domination.

Le pourcentage total de variance expliquée est de 64%.

Pleasure										
Unhappy	- 4	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4	Happy
Annoyed	- 4	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4	Pleased
Unsatisfied	- 4	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4	Satisfied
Melancholic	- 4	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4	Contented
Despairing	- 4	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4	Hopeful
Bored	- 4	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4	Relaxed
Arousal										
Relaxed	- 4	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4	Stimulated
Calm	- 4	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4	Excited
Sluggish	- 4	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4	Frenzied
Dull	- 4	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4	Jittery
Sleepy	- 4	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4	Wide Awake
Unaroused	- 4	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4	Aroused
Dominance										
Controlled	- 4	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4	Controlling
Submissive	- 4	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4	Dominant
Influenced	- 4	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4	Influential
Awed	- 4	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4	Important
Guided	- 4	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4	Autonomous
Cared for	- 4	- 3	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4	In control

FIG 23 : Les 18 items de l'échelle sémantique différentielle de Mehrabian et Russell (1974)

Detandt *et al.* (2017), ont développé une traduction française de l'échelle sémantique différentielle de Mehrabian et Russell (1974), par une traduction aller-retour anglais/français puis français/anglais, et une validation expérimentale.

La traduction obtient de très bons coefficients de fiabilité interne : 0.91 pour le plaisir, 0.85 pour l'excitation et 0.84 pour la domination.

Le pourcentage de variance expliquée par chaque dimension est très bon : 41,3% pour le plaisir, 15,7% pour l'excitation et 8,9% pour la domination.

Le pourcentage total de variance expliquée est de 65,9%, ce qui est très proche et même légèrement supérieur au pourcentage total de variance expliquée par l'échelle originelle de Mehrabian et Russell (1974).

Plaisir										
Malheureux.se	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	Heureux.se
Contrarié.e	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	Content.e
Insatisfait.e	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	Satisfait.e
Mélancholique	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	Épanoui.e
Désespéré.e	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	Confiant.e
Ennuyé.e	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	Amusé.e
Excitation										
Détendu.e	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	Stimulé.e
Calme	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	Excité.e
Léthargique	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	Frénétique
Mou/Molle	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	Nerveux.se
Somnolent.e	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	Bien réveillé.e
Amorphe	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	Animé.e
Domination										
Être contrôlé.e	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	Contrôlant.e
Soumis.e	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	Dominant.e
Influencé.e	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	Influent.e
Impressionné.e	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	Important.e
Guidé.e	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	Autonome
Pris en charge	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	Maître de soi

FIG 24: Les 18 items de l'échelle sémantique différentielle de Mehrabian et Russell (1974), traduits par Detandt *et al.* (2017)

Bradley & Lang (1994) développent l'échelle de mesure Self Assessment Manikin (SAM), basée sur le modèle PAD, mais qui diffère de l'échelle sémantique différentielle originelle proposée par Mehrabian et Russell (1974).

C'est une échelle non-verbale qui utilise des figures humanoïdes pour mesurer les trois dimensions P, A et D.

L'échelle SAM comporte deux avantages principaux :

- C'est une échelle non-verbale, elle est donc utilisable dans toutes les langues, dont celles qui ne possèdent pas de traduction valide de l'échelle sémantique différentielle de Mehrabian et Russell (1974).
- Elle ne comporte que trois items (un par dimension), l'évaluation de l'état émotionnel du sujet est donc bien plus rapide qu'avec l'échelle sémantique différentielle, ce qui est particulièrement adapté lorsqu'on souhaite mesurer les réponses émotionnelles à de nombreux stimuli.

Les pourcentages de variance expliquée par l'échelle SAM sont de 24% pour le plaisir, 23% pour l'excitation et 12% pour la domination.

Le pourcentage total de variance expliquée est de 59%, ce qui est très proche du pourcentage total de variance expliquée par l'échelle sémantique différentielle de Mehrabian et Russell (1974).

D'autre part, les scores de plaisir et d'excitation sont fortement corrélés entre l'échelle SAM et l'échelle sémantique différentielle : 96% de corrélation pour le plaisir et 95% de corrélation pour l'excitation.

Les scores de domination sont peu corrélés entre les deux échelles (23% de corrélation).

Bradley et Lang (1994) font l'hypothèse que cette faible corrélation est due au fait que dans l'échelle sémantique différentielle, les sujets évaluent la domination que le stimulus a sur eux, alors que dans l'échelle SAM, les sujets évaluent la domination qu'ils ont sur le stimulus.

Sur la base de cette hypothèse, ils déclarent leur échelle valide.

Cette hypothèse me paraît cependant rejetable pour diverses raisons :

- Ce n'est qu'une supposition qui n'est jamais démontrée par Bradley et Lang.
- Dans l'échelle SAM, la domination est fortement corrélée avec le plaisir (86% de corrélation), ce qui laisse alors supposer que les pictogrammes associés à la domination mesurent en réalité le plaisir.

- La domination semble être la dimension la plus difficile à définir et à appréhender, il paraît donc logique qu'elle soit plus difficilement évaluable avec des pictogrammes que les deux autres dimensions.

Dans les faits, la domination semble être rarement mesurée dans les études qui utilisent l'échelle SAM.

La mesure des émotions selon les deux dimensions Plaisir et Excitation reste viable car ce sont les deux dimensions avec le plus fort pourcentage de variance expliquée.

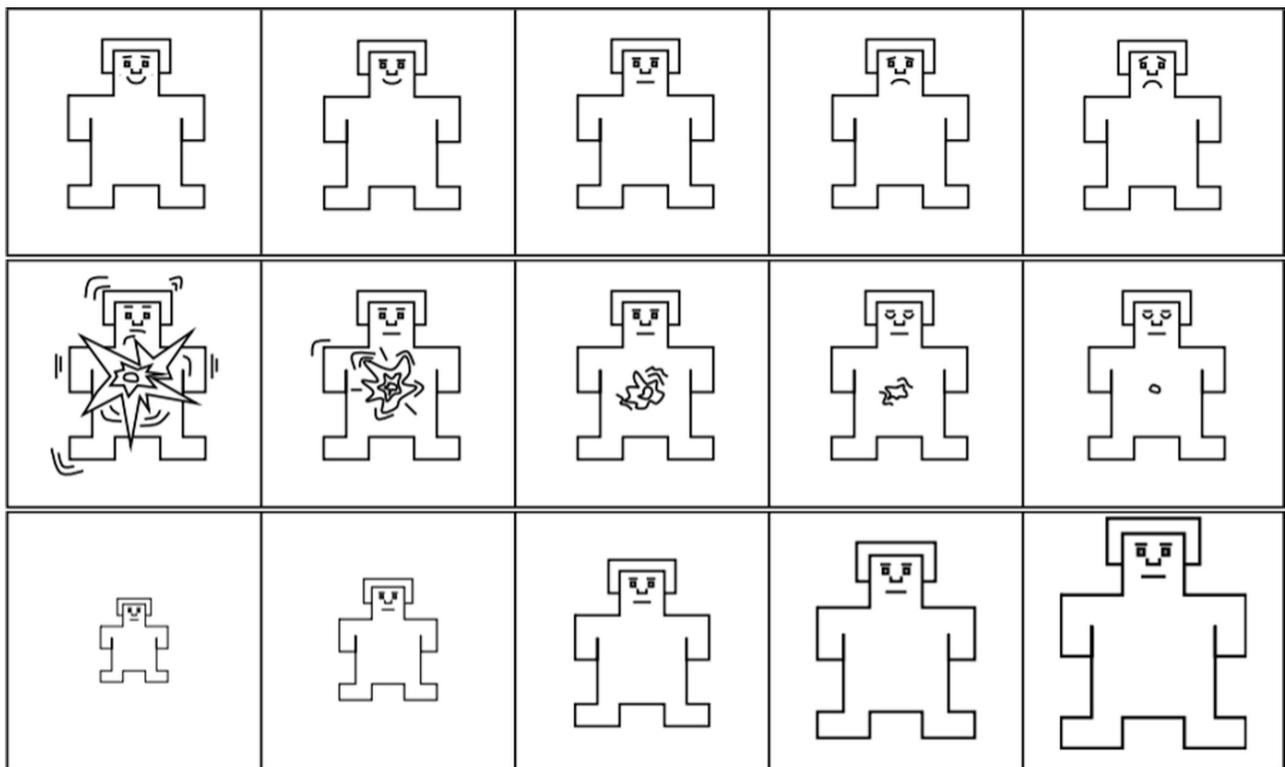


FIG 25 : Les trois items de l'échelle SAM de Bradley et Lang (1994)

De haut en bas : Plaisir, Excitation et Domination.

Les sujets sont libres de cocher sur un pictogramme ou entre deux pictogrammes, ce qui constitue donc une échelle à neuf points par item.

3 - Mesures physiologiques

Lang *et al.* (1993) évaluent la réponse émotionnelle à des images de l'International Affective Picture System (IAPS)¹⁰ en utilisant l'échelle SAM.

Ils mesurent en parallèle la conductance de la peau¹¹, la fréquence cardiaque, et l'activité électrique de deux muscles faciaux : le muscle zygomatique (au dessus des lèvres, au niveau de la joue) et le muscle corrugateur (au niveau du sourcil).

La conductance de la peau se mesure avec un capteur GSR (Galvanic Skin Response ou Réponse Galvanique Cutanée), qui génère un léger courant à travers la peau afin de mesurer sa conductance.

La conductance de la peau est liée à la sécrétion sudorale (i.e. l'humidité de la peau) : plus l'humidité de la peau augmente, plus sa résistance diminue, et donc sa conductance augmente.

L'activité électrique des muscles se mesure par électromyographie (EMG). Les neurones transmettent des signaux électriques qui provoquent la contraction des muscles. Un EMG traduit ces signaux en graphes ou en valeurs numériques.

Lang *et al.* (1993) montrent que l'excitation augmente linéairement avec le logarithme de la conductance de la peau additionnée à une constante de valeur 1.

Puisque la conductance de la peau est liée à la sécrétion de sueur, ce résultat n'est pas étonnant : on transpire plus lorsqu'on est nerveux que lorsqu'on est calme.

Le plaisir augmente linéairement avec l'accélération du rythme cardiaque (rythme cardiaque après diffusion de l'image moins rythme cardiaque avant diffusion de l'image).

Lorsque le plaisir augmente, l'activité électrique du muscle corrugateur diminue : les sourcils se détendent.

Pour les faibles à moyens scores de plaisir, l'activité électrique du muscle zygomatique diminue : les lèvres se détendent.

Pour les moyens à forts scores de plaisir, l'activité électrique du muscle zygomatique augmente à nouveau : le sujet a tendance à sourire.

Ces différents liens EMG-plaisir, fréquence cardiaque-plaisir et conductance de la peau-excitation sont confirmés par Detanber *et al.* (2000).

¹⁰ **Base de données d'images permettant d'évoquer une grande variété d'émotions, développée par le *National Institute of Mental Health Center for Emotion and Attention at the University of Florida***

¹¹ **Inverse de la résistance ($C = \frac{1}{R}$), exprimée en Siemens (S)**

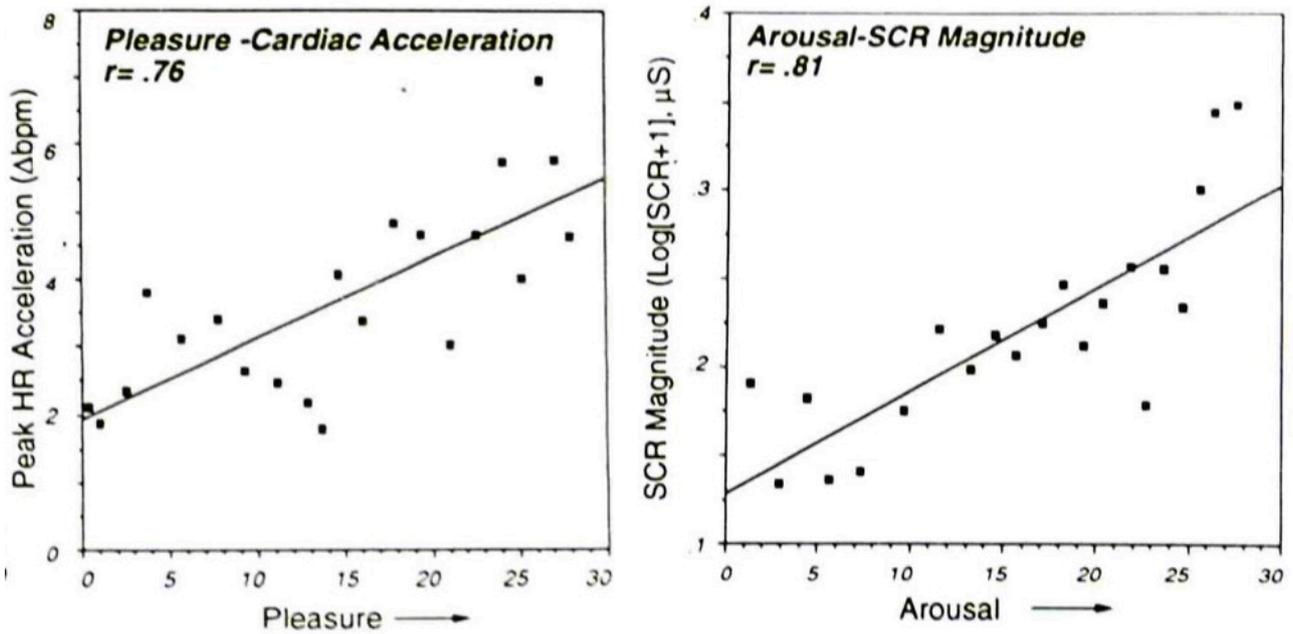


FIG 26 (à gauche) : Accélération du rythme cardiaque en fonction du plaisir (Lang et al., 1993)

FIG 27 (à droite) : log (conductance de la peau + 1) en fonction de l'excitation (Lang et al., 1993)

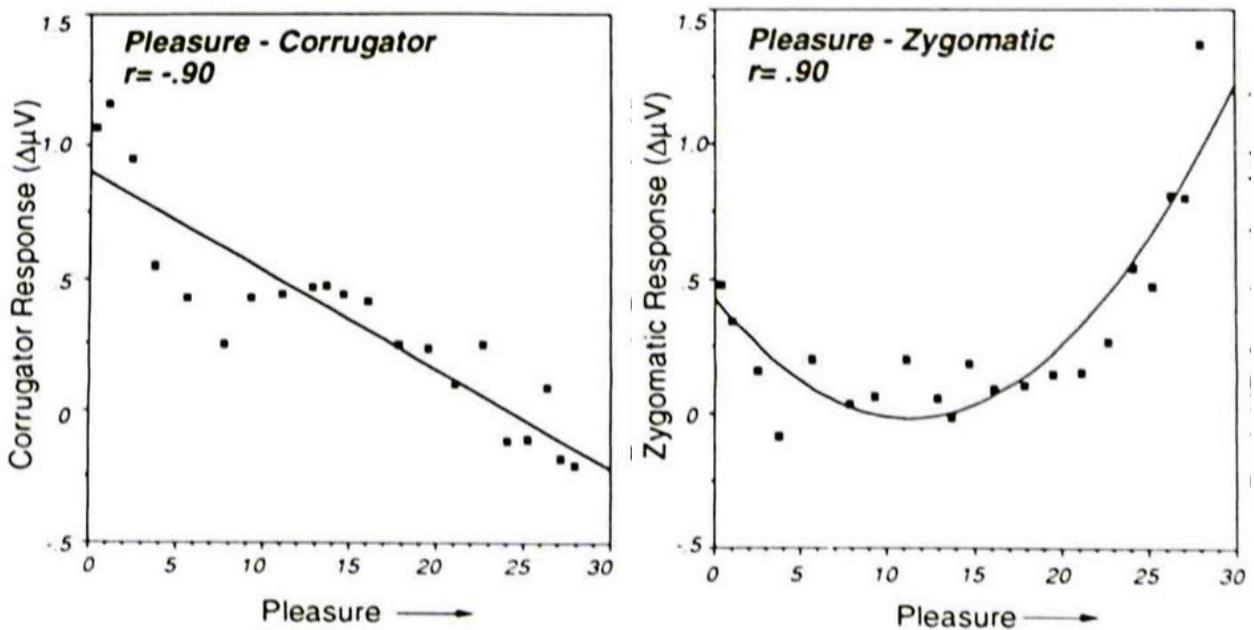


FIG 28 (à gauche) : Activité électrique du muscle corrugateur en fonction du plaisir (Lang et al., 1993)

FIG 29 (à droite) : Activité électrique du muscle zygomatique en fonction du plaisir (Lang et al., 1993)

B] Facteurs physiologiques et cognitifs responsables des émotions

1 - Qu'est-ce qu'une émotion ?

La première véritable étude théorique sur la nature des émotions est menée par William James (1890), qui déclare :

« The bodily changes follow directly the perception of the exciting fact and our feeling of the same changes as they occur is the emotion »

Ce qui peut se traduire par :

« Les changements corporels suivent directement la perception du fait excitant et le ressenti que l'on a de ces changements corporels est l'émotion »

Puisque cette théorie relie les émotions directement aux sensations physiques, on en déduit que :

- Les émotions sont accompagnées d'états corporels reconnaissables qui diffèrent selon chaque émotion.
- En agissant sur ces états corporels par l'utilisation de drogues ou par la chirurgie, on agit également sur les émotions : on peut créer toutes les émotions par la manipulation corporelle.

Cannon (1927, 1929) tempère, critique et améliore la théorie de James par ces conclusions :

- Les mêmes changements viscéraux se produisent dans différents états émotionnels ou non émotionnels.
- Les viscères sont des structures relativement peu sensibles.
- L'induction artificielle de changements viscéraux caractéristiques d'une émotion ne produit pas cette émotion.

Une théorie complètement viscérale des émotions est donc très limitée et inadéquate.

Pour aller plus loin, Ruckmick (1936), Hunt *et al.* (1958), Schachter (1959) et d'autres ont suggéré que les facteurs cognitifs ont une influence majeure sur les états émotionnels.

On observe un schéma général (i.e. le même pour toutes les émotions) de décharges du système nerveux sympathique, caractéristique des états émotionnels.

On suppose alors que l'homme interprète, nomme et identifie son état émotionnel en faisant le lien entre les caractéristiques de la situation et sa masse apercptive (base de connaissances déjà existantes dans un domaine similaire ou connexe avec laquelle le nouveau matériau perceptif est articulé).

En l'absence de masse apercptive, il serait donc possible de ne pas comprendre ses émotions. On peut prendre l'exemple des crises d'angoisse qui sont souvent interprétées au premier abord comme un problème purement physique, un infarctus par exemple.

On en déduit donc qu'un état émotionnel résulte du lien entre un état physiologique et de la cognition relative à cet état.

La cognition donne une orientation à l'état physiologique : la situation est interprétée par rapport à des expériences passées et permet à chacun de comprendre et de nommer ses émotions.

C'est la cognition qui détermine si l'état physiologique va être considéré comme de la joie, de la colère ou toute autre émotion.

Dans la plupart des situations, la cognition est liée à la situation présente.

Le stimulus excitant entraîne un changement physiologique et ce changement physiologique est interprété émotionnellement par rapport au stimulus excitant.

Imaginons un homme marchant seul dans une allée sombre, se retrouvant subitement face à face avec un autre homme armé.

Le stimulus « homme armé » entraîne un changement physiologique et ce changement physiologique est interprété comme de la peur, par rapport à notre expérience des allées sombres et des armes.

Le sujet interprète le stimulus excitant comme le stimulus responsable de son excitation, et en résulte une émotion adéquate par rapport à la situation.

Imaginons maintenant une situation où le stimulus excitant et le stimulus interprété comme la source de son émotion par le sujet ne sont pas les mêmes.

Vous êtes à un concert que vous n'appréciez pas réellement. À l'entracte, vous rencontrez une femme/un homme, vous vous plaisez mutuellement et vous échangez vos numéros de téléphone.

Vous retournez dans la salle pour la deuxième partie du concert, et tout à coup la musique vous paraît bien meilleure, vous prenez plus de plaisir, vous avez envie de danser : est-ce réellement dû à la qualité de la musique, ou bien à la rencontre que vous avez faite à l'entracte ?

2 - Première expérience de Schachter (1960)

« - Les hommes et les femmes ont besoin qu'on leur stimule de temps en temps les capsules surrénales. C'est l'une des conditions de la santé parfaite. C'est pourquoi nous avons rendu obligatoires les traitements de S.P.V

- S.P.V ?
- Succédané de Passion Violente. Régulièrement, une fois par mois, nous irriguons tout l'organisme avec un flot d'adrénaline. C'est l'équivalent physiologique complet de la peur et de la colère. Tous les effets toniques que provoquent le meurtre de Desdémone et le fait d'être tué par Othello, sans aucun des désagréments.
- Mais cela me plaît, les désagréments.
- Pas à nous, dit l'Administrateur. Nous préférons faire les choses en plein confort. »

Aldous Huxley, Le meilleur des mondes [1932]

Schachter (1960) cherche à dissocier le stimulus excitant du stimulus identifié comme la source de son émotion par le sujet.

L'hypothèse de Schachter (1960) est qu'un même stimulus excitant, provoquant les mêmes sensations physiologiques, peut entraîner diverses émotions, ou une absence d'émotion, selon comment le sujet identifie la source de son émotion.

Considérons une personne à qui on aurait injecté de l'adrénaline à son insu. Cette personne se retrouverait tout à coup avec des symptômes tels que des palpitations, des tremblements, un rougissement du visage etc. Quelle serait la conséquence d'un tel état ?

Schachter (1960) fait l'hypothèse que cela entraînerait des « besoins évaluatifs » : l'individu a besoin de comprendre les raisons de ce qui lui arrive.

Son état physique ressemble fortement à un état déjà vécu dans des situations d'excitation émotionnelle diverses : il va donc interpréter son état en fonction de sa situation actuelle.

S'il est en présence d'une jolie femme ou d'un bel homme, il va penser qu'il est amoureux ou sexuellement excité. S'il est à une fête, il va penser, en se comparant aux autres, qu'il est extrêmement heureux et euphorique. S'il est en train de se disputer avec sa femme ou son mari, il est possible qu'il explose de furie et de haine.

Si la situation est complètement inappropriée, il peut alors penser qu'il est excité à propos de quelque chose qui lui est arrivé précédemment, ou plus probablement qu'il est malade (cas de la crise d'angoisse).

L'état émotionnel serait donc bien le résultat de l'interaction entre des symptômes physiologiques et une cognition appropriée, et non pas le fait des symptômes seuls.

Cette hypothèse entraîne trois propositions :

- Si l'individu n'a pas d'explication rationnelle à son état physiologique : selon la situation, le même état physiologique pourra tout aussi bien être identifié comme de la joie, de la furie, de l'excitation amoureuse...
- Si l'individu a une explication rationnelle à cet état physiologique (« je viens de me faire injecter de l'adrénaline »), il n'aura pas de besoins évaluatifs et aucune émotion ne sera ressentie.
- Si l'individu n'est exposé qu'à des facteurs cognitifs mais pas physiologiques : supposons qu'il soit mis dans un état de danger immédiat, mais que sous l'influence de drogues il ne ressente aucune sensation physique, va-t-il expérimenter l'émotion « peur » ? On suppose que non.

Pour tester son hypothèse, Schachter (1960) injecte de l'adrénaline à trois groupes de sujets.

Il fait croire aux sujets que son expérience porte sur l'influence de vitamines sur la vision. Il laisse alors croire aux trois groupes de sujets qu'il leur injecte des vitamines, alors qu'il leur injecte en réalité de l'adrénaline.

- Le premier groupe est informé des effets de l'adrénaline, qui sont présentés comme des effets secondaires des vitamines, afin que les sujets ne pensent pas que l'expérience porte précisément sur ces effets: palpitations, tremblements, rougissements etc.
- Le deuxième groupe n'est pas informé des effets de l'adrénaline, ni d'aucun effet secondaire possible des vitamines.
- On injecte un placebo au troisième groupe de sujets, sans leur donner d'informations sur de potentiels effets secondaires.

Il est supposé que dans le cas où les sujets n'ont pas d'explication adéquate à leur état physiologique, une variété d'émotions différentes peut être ressentie.

Dans le but de tester cette hypothèse, il est décidé de manipuler des états émotionnels opposés : l'euphorie et la colère.

Il y a plusieurs façons de provoquer de tels états.

Dans cette expérience, Schachter (1960) a choisi de les induire par des facteurs sociaux : d'autres études (Schachter, 1959 ; Wrightsman, 1960) ont montré que les humains évaluaient leur émotion en se comparant aux autres autour d'eux.

Dans une première condition, plusieurs sujets de chaque groupe sont placés avec un acteur entraîné à agir de façon euphorique.

Dans une deuxième condition, les sujets sont placés avec un acteur entraîné à agir de façon agressive.

a – Première condition : Euphorie

Juste après que le sujet ait été injecté, l'expérimentateur amène dans la salle l'acteur qu'il présente comme un autre sujet.

Il demande ensuite aux deux participants d'attendre pendant 20 minutes, le temps que la vitamine agisse, avant de procéder aux tests de vision.

La pièce est volontairement mise dans un état de désordre moyen (stylos, papier, rouleaux de scotch qui traînent sans raison). L'expérimentateur s'en excuse et dit aux participants de se servir s'ils le souhaitent, le temps d'attendre.

Dès que l'expérimentateur sort, l'acteur se présente et engage la conversation avec des phrases « brise-glace » standards.

Il va ensuite chercher un bout de papier, le plie et joue au basket-poubelle avec. Il dit ensuite « Je suis dans un bon jour ! Je me sens comme un enfant. Je vais faire un avion », ce qu'il fait, puis il roule son avion en boule, crée un lance-pierre à l'aide du rouleau de scotch et s'amuse à jeter la boule de papier.

Il remarque alors une pile de dossiers en kraft, il construit une tour avec ces dossiers, va à l'autre bout de la pièce et tire sur la tour avec son lance-pierres.

Il détruit la tour puis remarque un cerceau et se met à faire du hula hoop.

Tout au long de l'expérience, un expérimentateur derrière une vitre sans teint note à quel degré le sujet se joint au tourbillon d'activités de l'acteur.

Les sujets des trois groupes suivent cette expérience et l'acteur ne sait pas quel sujet provient de quel groupe.

b – Deuxième condition : Colère

Juste après que le sujet ait été injecté, l'expérimentateur amène dans la salle l'acteur qu'il présente comme un autre sujet.

Il demande ensuite aux deux participants d'attendre pendant 20 minutes, le temps que la vitamine agisse, avant de procéder aux tests de vision.

L'expérimentateur demande aux participants de remplir des questionnaires pendant ces 20 minutes.

Les questionnaires commencent de façon neutre (nom, prénom, date de naissance) et deviennent de plus en plus personnels et insultants, avec des questions comme :

« Avec combien d'hommes votre mère a-t-elle eu des relations hors mariage ? ».

L'acteur est placé en face du sujet et remplit le questionnaire de façon à en être toujours à la même question que le sujet.

À plusieurs points définis du questionnaire, l'acteur émet des commentaires, commençant innocemment puis finissant en rage en déchirant le questionnaire et en le jetant au sol, puis il quitte la pièce en furie.

Tout au long de l'expérience, un expérimentateur derrière une vitre sans teint évalue le comportement du sujet.

Les sujets des trois groupes suivent cette expérience et l'acteur ne sait pas quel sujet provient de quel groupe.

c - Résultats

Deux types de mesures ont été faites : l'observation comportementale du sujet par l'expérimentateur et l'auto-évaluation du sujet par rapport à son humeur.

Dans les deux conditions (euphorie et colère), l'expérimentateur revient après 20 minutes avec un questionnaire portant sur l'humeur, contenant ces deux questions, dont la réponse est une note sur une échelle à 5 points.

Note de colère :

« *How irritated, angry, or annoyed would you say you feel at present?* »

« *À quel point êtes-vous irrité, énervé ou contrarié actuellement ?* »

Note d'euphorie :

« *How good or happy would you say you feel at present?* »

« *À quel point vous sentez-vous bien ou êtes-vous heureux actuellement ?* »

Euphorie

La note de colère est soustraite à la note de joie. Plus le score est élevé, plus le sujet est dans un état émotionnel positif.

On obtient un score moyen de 0.98 pour le groupe 1 (informé des effets de l'adrénaline), de 1.78 pour le groupe 2 (non informé des effets de l'adrénaline) et de 1.61 pour le groupe placebo.

La différence de score entre le groupe 1 et le groupe 2 est significative ($p=0.02$) : les sujets sont plus réceptifs à l'euphorie quand ils n'ont pas d'explication sur la raison de leurs sensations physiques.

Le groupe placebo obtient des résultats proches du groupe 2, bien que légèrement inférieurs. La différence de score entre le groupe placebo et le groupe 2 n'est pas significative.

Colère

La note de joie est soustraite à la note d'irritation. Plus le chiffre est élevé, plus le sujet est irrité ou énervé.

Le score moyen est de 2.28 pour le groupe 2 (non informé des effets de l'adrénaline) et de -0.18 pour le groupe 1 (informé des effets de l'adrénaline).

Le groupe placebo se situe à 0.79.

La différence de score est significative entre le groupe 1 et le groupe 2 ($p < 0.01$) ainsi qu'entre le groupe 2 et le groupe placebo ($p < 0.05$).

Les sujets non informés des effets de l'adrénaline ont donc exprimé plus de colère que les sujets informés et que les sujets du groupe Placebo.

d - Discussion

Théoriquement, le groupe placebo aurait dû se situer au même niveau que le groupe 1 dans les deux conditions : aucun impact de l'adrénaline sur l'euphorie ou la colère, dans un cas car les sujets attribuent leurs sensations physiques à l'adrénaline, dans l'autre car les sujets n'ont pas été exposés à l'adrénaline.

Pourtant, les scores du groupe placebo se trouvent entre les scores du groupe 1 et ceux du groupe 2 dans les deux conditions.

Cela peut s'expliquer par plusieurs raisons :

- Les sujets du groupe 1 identifient l'adrénaline comme responsable de sensations physiques naturellement liées à l'euphorie ou à la colère (nda).

- La réaction émotionnelle du groupe 2 est diminuée par une auto-information du sujet : le sujet n'a pas été injecté à son insu, l'injection peut alors laisser supposer au sujet que son état émotionnel étrangement trop intense est lié au médicament, à de possibles effets secondaires dont il n'aurait pas été informé. Ce facteur a été examiné objectivement : dans des questions libres à la fin du test, certains sujets du groupe 2 ont reporté que le médicament leur avait donné des sensations.

Si on élimine ces sujets de l'étude statistique, la différence de score entre le groupe 2 et le groupe placebo devient hautement significative pour l'euphorie et pour la colère.

- Les conditions de l'expérience étant assez intenses, certains patients du groupe placebo ont dû naturellement ressentir une excitation physique, due à la situation.

Il est possible d'isoler ces patients en vérifiant leur pouls avant l'injection et après la session avec l'acteur.

En excluant de l'expérience tous les patients dont le pouls avant l'injection est inférieur ou égal au pouls après l'expérience, le score émotionnel du groupe placebo devient assez proche de celui du groupe 1.

e - Conclusion

- Une même sensation physique peut être interprétée émotionnellement de différentes façons, c'est-à-dire qu'elle peut correspondre à des émotions opposées. La sensation physique ne donne pas de direction à l'émotion mais est relative à l'intensité de l'émotion.

- Il est possible de mal interpréter ou de sur-interpréter ses émotions, dans le cas où le stimulus excitant et le stimulus que le sujet considère comme la source de son émotion sont différents.

- Une sensation physique n'est pas interprétée comme une émotion dans le cas où l'individu en a une explication rationnelle et non émotionnelle.

3 – Deuxième expérience de Schachter (1960)

Méthode

Un premier groupe de sujets est soumis à un agent de blocage autonome, empêchant les décharges du système nerveux sympathique, et limitant donc les sensations corporelles.

Le deuxième groupe de sujets est soumis à de l'adrénaline.

Le troisième groupe de sujets est soumis à un placebo.

On dit à tous les sujets qu'on leur a injecté des vitamines, et que ces vitamines n'ont aucun effet secondaire.

L'hypothèse soutenue est qu'en l'absence d'excitation physique, l'émotion ne peut avoir lieu.

Comme pour la première expérience, les sujets pensent que l'expérience évalue les effets des vitamines sur la vision.

Un extrait de 14 minutes d'un film de comédie est diffusé aux sujets.

Trois sujets, un de chaque groupe, regardent l'extrait en même temps.

Chaque sujet ne peut ni voir ni entendre les autres.

Pendant la projection du film, deux observateurs examinent le comportement des sujets.

Durant chaque projection, les observateurs notent 88 fois (toutes les 10 secondes) l'état du sujet (neutre, souriant, riant ou éclatant de rire) puis la somme des notes est réalisée en fin d'expérience afin de calculer un score d'euphorie pour chaque groupe de sujets.

Résultats

Les scores d'euphorie moyens sont de 17.8 pour le groupe 2 (à qui on a injecté de l'adrénaline), de 14.3 pour le groupe placebo et de 10.4 pour le groupe 1 (à qui on a injecté l'agent de blocage autonome).

La différence de score entre le groupe 1 et le groupe 2 est hautement significative ($p < 0.01$) tandis que la différence de score entre le groupe 2 et le groupe placebo est non significative.

Cependant, quand on examine uniquement les réactions intenses au film (rires et éclats de rire) la comparaison devient significative ($p < 0.05$): les sujets du groupe 2 ont tendance à éclater de rire tandis que les sujets du groupe placebo ont tendance à rire.

Les patients du groupe 2 sont très amusés tandis que les patients du groupe placebo sont moyennement amusés.

On en conclut donc que plus la sensation physique est intense, plus l'émotion est intense.

C] Contraste hédonique et transfert d'excitation

La théorie du transfert de l'excitation soutient que l'excitation résiduelle d'un premier stimulus peut se combiner, s'ajouter à l'excitation produite par un deuxième stimulus non corrélé avec le stimulus précédent, créant alors une surintensité de la réponse à la seconde stimulation.

Cantor et Zillmann (1973) mesurent l'influence des émotions provoquées par un extrait filmique sur la réaction émotionnelle à trois extraits musicaux subséquents et non corrélés à l'extrait filmique.

Méthode

Quatre extraits filmiques, dont l'impact émotionnel est testé au préalable, sont utilisés. Les quatre extraits sont choisis selon leur tonalité hédonique (émotions négatives ou positives procurées par le film) et leur potentiel excitant, afin de répondre au cahier des charges suivant :

Premier extrait : négatif/faiblement excitant
Deuxième extrait : négatif/fortement excitant
Troisième extrait : positif/faiblement excitant
Quatrième extrait : positif/fortement excitant

Quatre groupes de sujets sont constitués. Chaque groupe de sujets est exposé à un extrait filmique différent et est exposé aux trois mêmes extraits de musique.

Les extraits musicaux sont des morceaux de rock, style le plus populaire auprès des sujets (étudiants à l'université).

Les morceaux choisis sont des morceaux peu connus, que les sujets n'ont jamais entendus, afin que leur évaluation émotionnelle ne soit pas biaisée.

Le premier morceau est diffusé immédiatement après l'extrait filmique.

Le second morceau est diffusé 2 minutes et 15 secondes après l'extrait filmique.

Le troisième morceau est diffusé 4 minutes et 45 secondes après l'extrait filmique.

Après chaque diffusion d'un extrait musical, les sujets notent leur réaction émotionnelle avec des notes entre -10 et +10 sur une échelle sémantique différentielle de plaisir (le pire morceau que j'ai jamais entendu / le meilleur morceau que j'ai jamais entendu) et sur une échelle d'excitation (ça m'a vraiment endormi / ça m'a vraiment excité).

Résultats

Cantor et Zillmann (1976) démontrent qu'un *contraste hédonique* s'opère pour le premier extrait musical, diffusé immédiatement après l'extrait filmique : si l'extrait filmique est de tonalité hédonique négative, la musique sera perçue comme plus positive que si l'extrait filmique avait été de tonalité hédonique positive. Le plaisir provoqué par l'extrait filmique influence donc inversement le plaisir provoqué par l'extrait musical.

Par ailleurs, ils montrent qu'un *transfert d'excitation* s'opère entre l'extrait filmique et le deuxième extrait musical : la musique est perçue comme plus excitante quand les sujets ont été exposés à un extrait filmique fortement excitant que lorsqu'ils ont été exposés à un extrait filmique faiblement excitant. L'excitation résiduelle provoquée par l'extrait filmique est donc attribuée à l'excitation provoquée par l'extrait musical.

Ce résultat est cohérent avec la théorie de Schachter (1960) qui affirme que la source réelle de l'excitation n'est pas nécessairement celle identifiée par le sujet comme responsable de son excitation.

D'autre part, ce transfert d'excitation vient également affecter positivement l'appréciation générale de l'extrait musical, que l'extrait filmique ait été positif ou négatif.

On peut alors noter une dépendance entre plaisir et excitation, dimensions pourtant considérées comme indépendantes dans le modèle PAD : plus l'excitation résiduelle est intense, plus le plaisir ressenti l'est aussi.

D] Influence de la lumière sur les émotions

1 – Influence de la couleur : comparaison d'études

Dans les différentes études examinées ci-dessous, les expérimentateurs mesurent l'influence de la lumière sur les émotions dans un contexte neutre de laboratoire. Pour cela, ils présentent différentes couleurs aux sujets et leurs demandent d'évaluer leurs émotions en réaction aux couleurs.

Valdez et Mehrabian (1994) sélectionnent des pastilles de couleurs issues de l'espace colorimétrique de Munsell, de dimension 7,6 x 12,7cm.

Les pastilles sont présentées sur un fond gris de dimension 22 x 28cm, pour éviter tout phénomène d'adaptation chromatique¹², et pour éviter que le contraste entre les différentes couleurs n'affecte la réponse émotionnelle.

76 pastilles sont utilisées. 71 pastilles représentent l'intégralité des 10 teintes de l'espace de Munsell, et différents niveaux de saturation et de luminosité pour chaque teinte. 5 pastilles représentent différents niveaux de luminosité pour les couleurs achromatiques.

Les valeurs de valeur du système de Munsell sont transformées en valeurs de luminosité entre 0 et 100.

Les valeurs de chroma du système de Munsell sont converties en valeurs de saturation entre 0 et 100.

Les émotions des sujets sont mesurées sur une variation de l'échelle sémantique différentielle de Mehrabian et Russell (1974) conçue par Mehrabian (1978).

Les instructions sont les suivantes :

"I will present you with one color at a time. It is important that you take time to just look at the color and to think of how it makes you feel before you start to rate it. Look at the color as often and as long as you need to get an accurate rating." (Valdez & Mehrabian, 1994)

Ce qu'on peut traduire par :

« Je vais vous présenter une couleur à la fois. Il est important que vous preniez votre temps pour regarder la couleur et pour penser à ce que la couleur vous fait ressentir avant que vous ne commenciez à l'évaluer. Regardez la couleur autant de fois et aussi longtemps que vous en avez besoin pour obtenir une évaluation précise. »

¹² Voir partie I-2-c

Oberfeld et Wilms (2018) diffusent des couleurs sur un écran LED de dimension 48 x 48 cm.

30 couleurs sont utilisées au total :

- 27 couleurs chromatiques, ce qui correspond à toutes les combinaisons possibles de 3 teintes, 3 niveaux de saturation et 3 niveaux de luminosité.
- 3 couleurs achromatiques, correspondant à 3 niveaux de luminosité.

Un écran gris est diffusé avant chaque couleur, pour éviter tout phénomène d'adaptation chromatique et pour éviter que le contraste entre les couleurs n'affecte la réponse émotionnelle.

Les couleurs sont choisies dans l'espace CIE L*a*b*.

Les valeurs de Chroma de l'espace CIE L*a*b* sont converties en valeur de saturation.

Les émotions des sujets sont mesurées sur les deux items Plaisir et Excitation de l'échelle SAM (Bradley & Lang, 1994).

L'instruction donnée est « How do you feel ? » (Comment vous sentez-vous?). L'instruction est diffusée sur un écran informatique situé au-dessus de l'écran LED destiné à la diffusion des couleurs.

Sur ce même écran, les sujets évaluent leur état émotionnel sur les deux items de l'échelle SAM. Les items de l'échelle SAM n'apparaissent qu'après 30 secondes d'exposition préalable à la couleur.

Suk et Irtel (2010) utilisent 25 couleurs chromatiques, présentées sur des feuilles de taille A5, ainsi que 5 couleurs achromatiques.

Les couleurs sont choisies dans l'espace CIE L*a*b*.

Ils font une critique de l'expérience de Valdez et Mehrabian, qui utilisent les mêmes valeurs de luminosité et de saturation pour chaque teinte, alors que la sensation de luminosité et de saturation dépend fortement de la teinte.

*« It was shown that yellow is a hue category that elicited negative valence (unpleasant). However, a color from the yellow hue category with a certain Chroma value (e.g., 40 from CIE L*a*b*) is not recognized to be as saturated as the respective stimulus from the red or blue hue category. More drastically, if the lightness of colors in the hue category yellow is lower than 70 from CIE L*a*b*, the colors are perceived as olive rather than as yellow. This is caused by a shortcoming in the discriminatory perception of Chroma and Lightness with respect to hue categories. » (Suk & Irtel, 2010)*

Ce qui peut se traduire par :

*«Ils (Valdez et Mehrabian, 1994, nda) ont montré que le jaune était une catégorie de teinte qui suscitait un plaisir négatif. Cependant, une couleur jaune avec une certaine valeur de Chroma (e.g. 40 dans l'espace CIE L*a*b*) n'est pas perçue comme étant aussi saturée que le stimulus respectif dans les catégories de teinte bleue ou rouge.*

*Plus radicalement, si la luminosité des couleurs jaunes est inférieure à 70 dans l'espace CIE L*a*b*, les couleurs sont perçues comme olives plutôt que jaunes. Cela est dû à une différence discriminatoire dans la perception du Chroma et de la Luminosité en fonction des catégories de teinte. »*

Suk et Irtel prennent en compte ce défaut discriminatoire et classent les couleurs selon 5 catégories, chaque catégorie suscitant les mêmes sensations de coloration et de luminosité pour chaque teinte. Chaque teinte n'a donc pas les mêmes valeurs de chroma et de luminosité dans une même catégorie.

Les 5 teintes employées sont : violet, bleu, vert, jaune et rouge.

Les 5 catégories sont nommées Dark (Sombre), Deep (Profond), Vivid (Vif), Brilliant (Brillant) et Light (Lumineux).

Les émotions sont mesurées sur les trois dimensions de l'échelle SAM. Au vu des réserves exprimées précédemment sur la mesure de la domination sur l'échelle SAM, on ne traitera ici que les dimensions plaisir et excitation.

Pour valider que les sujets comprennent bien l'échelle SAM, ils doivent évaluer 4 images de l'IAPS avant l'expérience.

Si un sujet, par exemple, note une image évoquant une émotion positive comme non positive, on peut supposer que son jugement émotionnel de la couleur sera totalement biaisé, le sujet est donc exclu du test.

Suk et Irtel (2010) obtiennent des résultats peu exploitables concernant l'influence de la luminosité sur les émotions : l'influence de la luminosité n'est calculée que pour les couleurs achromatiques, l'influence de la luminosité sur l'excitation n'est pas significative et ils n'utilisent pas de gris de référence : ils estiment donc que l'influence de la luminosité est certainement biaisée par le contraste entre les couleurs achromatiques et les couleurs chromatiques.

On rappelle que les couleurs achromatiques varient seulement en termes de luminosité et qu'elles correspondent à une saturation nulle.

Dans les études de Valdez et Mehrabian (1994) et de Suk et Irtel (2010), les interactions entre les trois variables indépendantes luminosité, saturation et teinte ne sont pas calculées.

Oberfeld et Wilms (2018), quant à eux, calculent les interactions entre les trois variables indépendantes.

TABLE II. Chromatic color stimuli, Experiments I and II.

Hue (°)	Tone categories										
	Dark		Deep		Vivid		Brilliant		Light		
30 (red)	 L: 30, C: 30	 L: 30, C: 45	 L: 40, C: 60	 L: 50, C: 40	 L: 70, C: 30						
80 (yellow)	 L: 60, C: 40	 L: 60, C: 70	 L: 80, C: 90	 L: 80, C: 60	 L: 80, C: 40						
160 (green)	 L: 30, C: 30	 L: 40, C: 45	 L: 50, C: 60	 L: 40, C: 40	 L: 70, C: 20						
260 (blue)	 L: 30, C: 20	 L: 40, C: 30	 L: 40, C: 45	 L: 60, C: 35	 L: 70, C: 25						
320 (violet)	 L: 20, C: 25	 L: 30, C: 35	 L: 40, C: 40	 L: 50, C: 30	 L: 70, C: 20						

FIG 30 : Valeurs de luminosité et de chroma en fonction des teintes et des catégories de couleur dans l'étude de Suk et Irtel (2010)

Pour rendre les trois études comparables, j'ai converti les valeurs de chroma de l'étude de Suk et Irtel (2010) en valeurs de saturation.

La saturation moyenne par catégorie de couleur a été définie comme suit :

$$S_{moy}(\text{catégorie de couleur}) = \left(\frac{C_{ROUGE}}{L_{ROUGE}} + \frac{C_{JAUNE}}{L_{JAUNE}} + \frac{C_{VERT}}{L_{VERT}} + \frac{C_{BLEU}}{L_{BLEU}} + \frac{C_{VIOLET}}{L_{VIOLET}} \right) / 5$$

D'autre part, comme les catégories Sombre/Lumineux et Profond/Brillant sont regroupées dans les résultats de Suk et Irtel (2010), j'ai défini :

$$S_{moy}(\text{Sombre/Lumineux}) = \frac{S_{moy}(\text{Sombre}) + S_{moy}(\text{Lumineux})}{2}$$

$$S_{moy}(\text{Profond/Brillant}) = \frac{S_{moy}(\text{Profond}) + S_{moy}(\text{Brillant})}{2}$$

Les résultats sont exprimés dans le tableau ci-dessous :

Catégorie de couleur	Sombre	Profond	Vif	Brillant	Lumineux	Sombre / Lumineux	Profond / Brillant
S_{moy}	0.92	1.14	1.19	0.75	0.37	0.65	0.94
C_{moy}	35	45	59	41	27	31	43

FIG 31 : Saturation moyenne et chroma moyenne par catégorie de couleurs dans l'étude de Suk et Irtel (2010)

a – Influence de la couleur sur le plaisir

i - Influence de la luminosité

Pour les couleurs chromatiques, Valdez et Mehrabian (1994) montrent que la luminosité a une influence positive et linéaire sur le plaisir.

Oberfeld et Wilms (2018), obtiennent des résultats similaires, mais uniquement pour les couleurs peu saturées. On observe donc une interaction Luminosité X Saturation.

Pour les couleurs achromatiques, Valdez et Mehrabian (1994) montrent que la luminosité a une influence positive et linéaire sur le plaisir, très similaire à celle des couleurs chromatiques.

Oberfeld et Wilms (2018) montrent également une influence linéaire et positive.

Cunningham (1979) étudie l'influence de l'ensoleillement sur l'altruisme et sur l'humeur.

Les résultats d'une de ses expériences montrent une corrélation positive entre le taux d'ensoleillement à l'intérieur d'un restaurant (indépendamment de la température) et le montant des pourboires laissés par les clients.

Dans le cadre de cette expérience, il demande également aux six serveuses du restaurant de reporter plusieurs fois par jour l'état d'humeur dans lequel elles se trouvent. À nouveau, il observe une corrélation positive entre le taux d'ensoleillement et le score d'humeur des serveuses.

La lumière solaire étant une lumière achromatique variant essentiellement en termes de luminosité, cela concorde avec les résultats de Valdez et Mehrabian (1994) et d'Oberfeld et Wilms (2018).

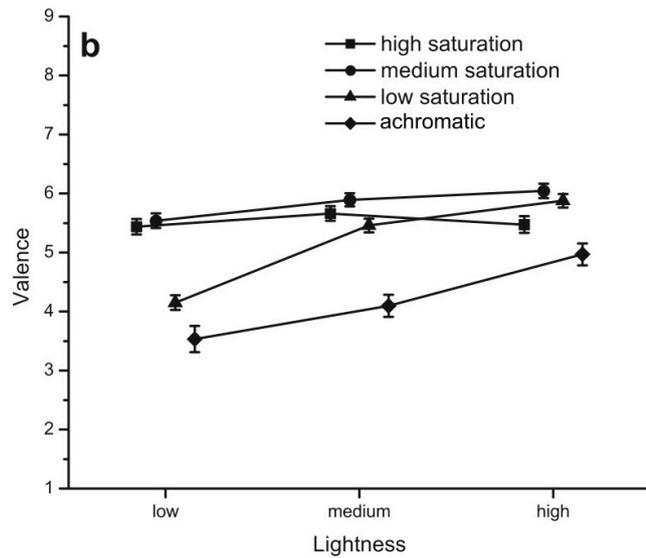
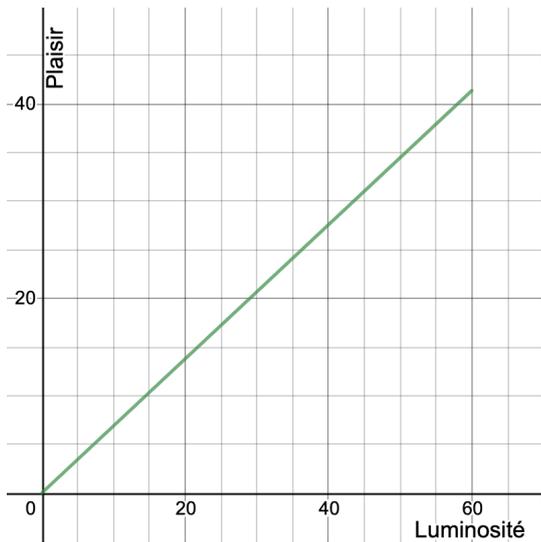


FIG 32 (à gauche) : Influence de la luminosité sur le plaisir, pour les couleurs chromatiques et achromatiques, selon Valdez et Mehrabian (1994)

FIG 33 (à droite) : Influence de la luminosité sur le plaisir, pour les couleurs chromatiques et achromatiques, selon Oberfeld et Wilms (2018)

ii – Influence de la saturation

Valdez et Mehrabian (1994) montrent que la saturation a également une influence positive sur le plaisir, mais que cette influence est trois fois moindre que celle de la luminosité.

Oberfeld et Wilms (2018) confirment cette influence, mais uniquement pour les couleurs de faible et moyenne saturation.

On observe une interaction Saturation X Teinte : une haute saturation a un impact positif sur le plaisir pour les couleurs de faible longueur d'onde (bleu) mais un impact négatif pour les couleurs de grande longueur d'onde (rouge).

Suk et Irtel (2010) montrent que la chroma a une influence positive et linéaire sur le plaisir.

Après conversion de la chroma en saturation, on s'aperçoit que la saturation a également une influence positive et linéaire sur le plaisir.

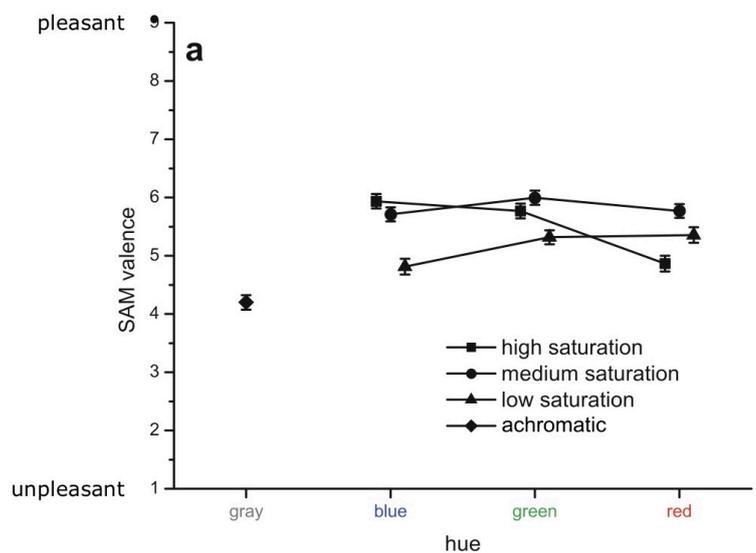
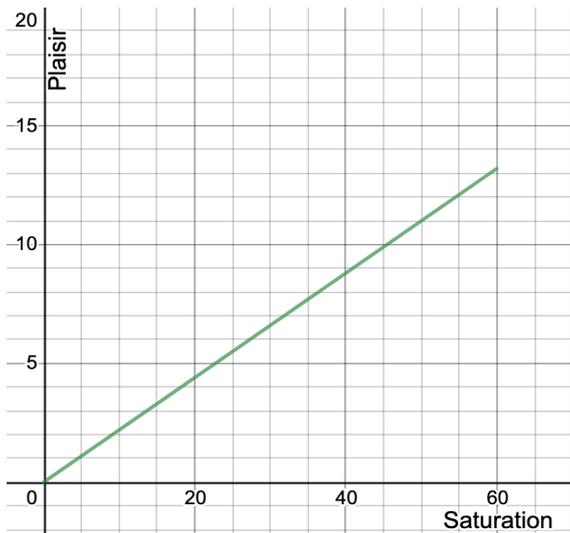


FIG 34 (à gauche) : Influence de la saturation sur le plaisir selon Valdez et Mehrabian (1994)

FIG 35 (à droite) : Influence de la teinte et de la saturation sur le plaisir selon Oberfeld et Wilms (2018)

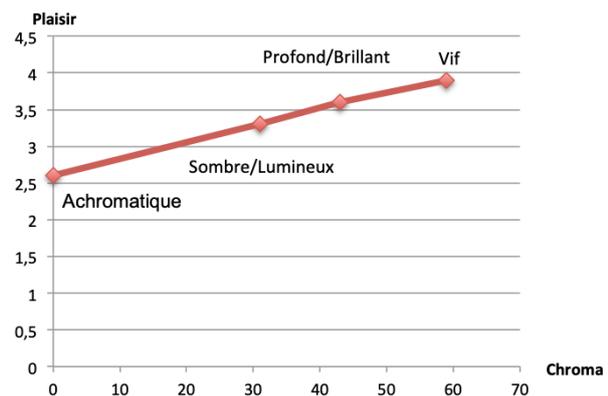
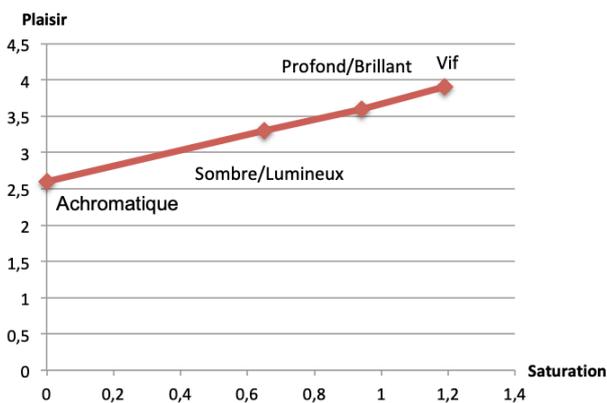


FIG 36 (à gauche) : Influence de la saturation sur le plaisir selon Suk et Irtel (2010)

FIG 37 (à droite) : Influence de la chroma sur le plaisir selon Suk et Irtel (2010)

iii - Influence de la teinte

Valdez et Mehrabian montrent que les longueurs d'onde faibles (bleu, bleu-vert et vert) ainsi que les couleurs pourpres (violet et rouge-violet) ont l'influence la plus positive sur le plaisir, tandis que les couleurs de longueur d'onde moyenne (vert-jaune, jaune et jaune-rouge) ont l'influence la plus négative sur le plaisir.

Le peu d'échantillons utilisés par Oberfeld et Wilms (bleu, vert et rouge seulement) limite la qualité de leurs résultats.

Les valeurs moyennes de plaisir pour chaque teinte dans leur étude sont très proches les unes des autres : la teinte aurait donc une influence générale sur le plaisir assez négligeable.

Pour les trois teintes rouge, vert et bleu, Mehrabian et Russell (1994) montrent une influence sur le plaisir assez semblable : aucun des écarts sur le score de plaisir entre les paires bleu/vert, vert/rouge et bleu/rouge n'est significatif ($p > 0.05$).

Dans les deux études, l'influence de la teinte sur le plaisir n'est donc pas significative pour les seules teintes rouge, vert et bleu. Oberfeld et Wilms (2018) mettent cependant en avant une interaction significative teinte X saturation : le rouge provoque un plaisir plus grand pour les saturations faibles et moyennes que pour les saturations élevées, alors que le bleu provoque un plaisir plus grand pour les saturations élevées que pour les saturations faibles et moyennes.

Suk et Irtel (2010) montrent que le plaisir diminue lorsque la longueur d'onde augmente, pour les teintes allant du bleu au rouge. Le violet entraîne un score de plaisir moyen similaire à celui du rouge, mais avec plus de variabilité entre les sujets.

L'influence de la teinte sur le plaisir est faible par rapport à celle de la saturation, ce qui concorde avec l'étude d'Oberfeld et Wilms (2018), et avec celle de Valdez et Mehrabian (1994) si on prend en compte le fait que les teintes jaunes entraînent une trop grande différence perceptive en termes de coloration par rapport aux teintes rouge, verte et bleue pour que leur résultat soit exploitable.

On peut donc en conclure que l'influence générale de la teinte sur le plaisir est négligeable, mais que cela est potentiellement dû à des courbes aux tendances inverses entre les hautes et les faibles saturations en fonction de la teinte.

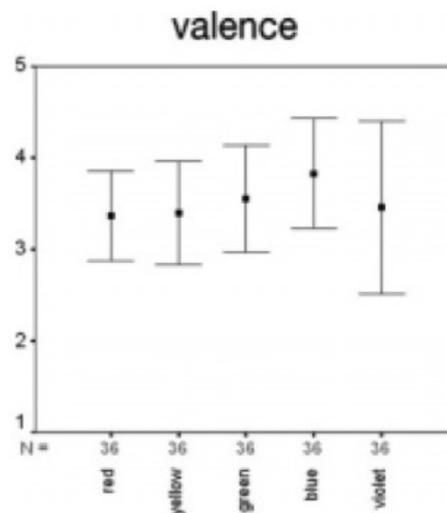
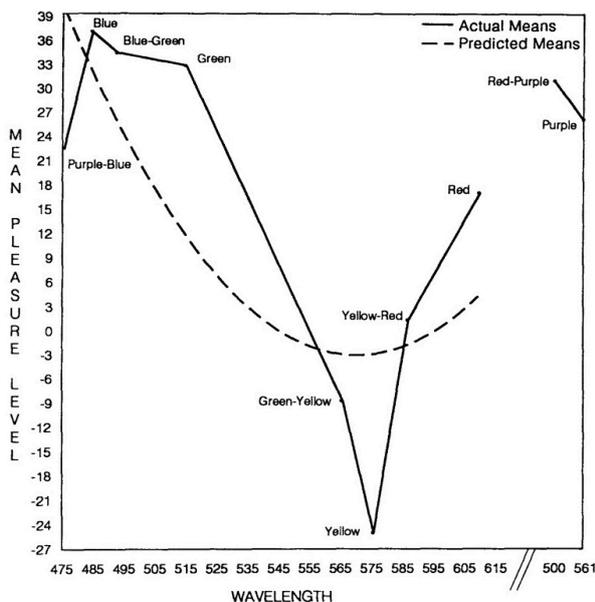


FIG 38 (à gauche) : Influence de la teinte sur le plaisir selon Valdez et Mehrabian (1994)

FIG 39 (à droite) : Influence de la teinte sur le plaisir selon Suk et Irtel (2010)

b – Influence de la couleur sur l’excitation

i – Influence de la luminosité

Pour les couleurs chromatiques, Valdez et Mehrabian (1994) montrent une influence négative de la luminosité sur l’excitation, bien que l’excitation ait tendance à remonter légèrement pour les hautes valeurs de luminosité.

Oberfeld et Wilms (2018) observent un phénomène inverse pour les couleurs moyennement ou fortement saturées (l’excitation augmente avec la luminosité) et un impact non significatif de la luminosité sur l’excitation pour les couleurs faiblement saturées.

Oberfeld et Wilms (2018) expliquent la raison possible de cette différence de résultats comme suit :

« It is unlikely that they (Valdez & Mehrabian, 1994, nda) varied brightness and saturation independently as in the present study, so that it remains unclear to which extent the effect of brightness on arousal is confounded by differences in saturation ».

Ce qui peut se traduire par :

« Il est peu probable que Valdez et Mehrabian (1994) aient fait varier la luminosité et la saturation indépendamment, comme dans l’étude présente. Il est donc difficile de savoir dans quelle mesure l’effet de la luminosité sur l’excitation est lié à des différences de saturation ».

Par ailleurs, l’excitation peut être associée aux émotions du sujet mais également à son état d’éveil. Les différences de résultats peuvent alors être dues à des effets contradictoires de la luminosité sur l’éveil et sur la nervosité : on peut supposer qu’une lumière fortement lumineuse puisse évoquer à la fois une sensation d’éveil et de calme, alors qu’une lumière sombre évoque à la fois une sensation de peur et de somnolence. L’échelle sémantique différentielle mesure ces deux composantes de la dimension Excitation sans ambiguïté (items Mou/Nerveux et Somnolent/Bien réveillé) tandis que l’échelle SAM peut être interprétée indifféremment en termes de Nervosité ou d’Éveil.

Pour l’effet de la luminosité sur l’excitation pour des couleurs achromatiques, les deux études arrivent à des résultats similaires : les luminosités moyennes (gris) ont l’influence la plus négative sur l’excitation, tandis que les luminosités faibles (noir) ont l’influence la plus positive sur l’excitation.

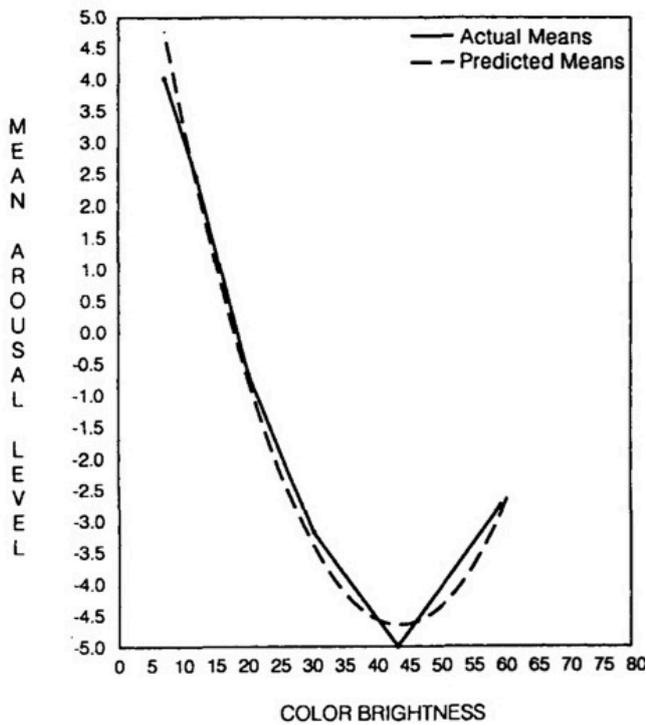


FIG 40 (à gauche) : Influence de la luminosité sur l'excitation, pour les couleurs chromatiques, selon Valdez et Mehrabian (1994)

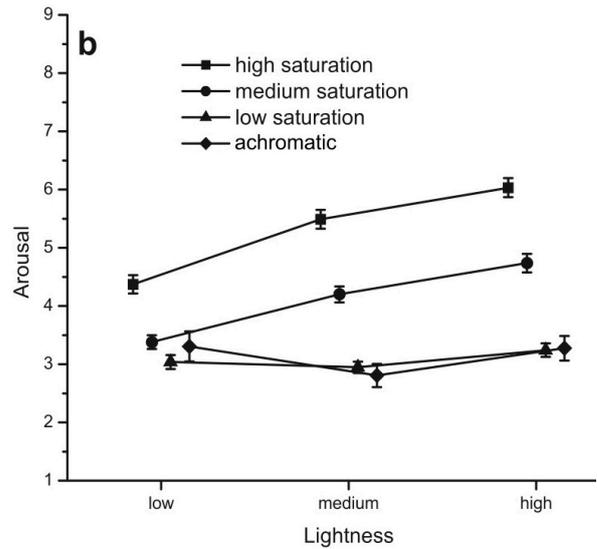


FIG 41 (à droite) : Influence de la luminosité sur l'excitation, pour les couleurs chromatiques et achromatiques, selon Oberfeld et Wilms (2018)

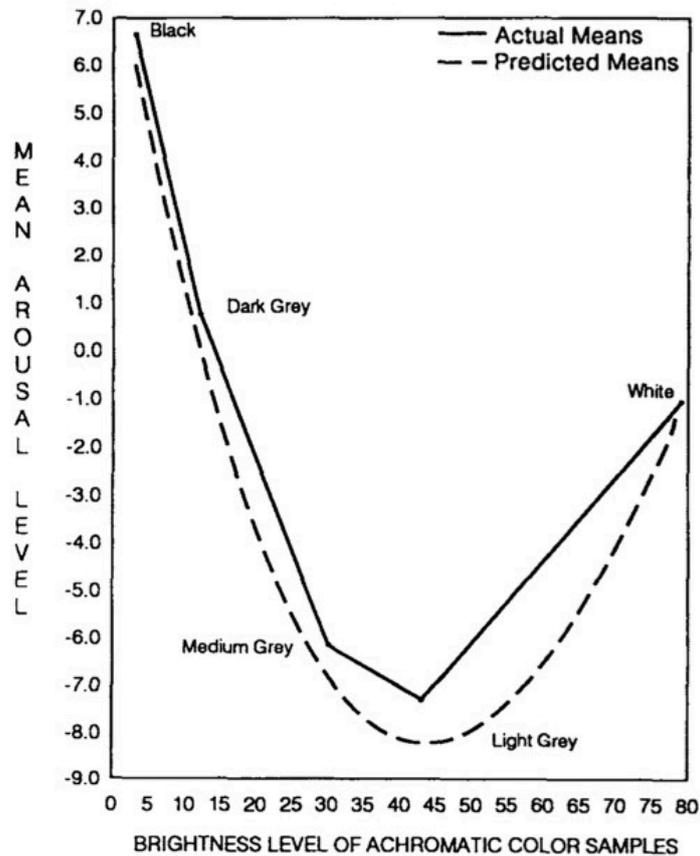


FIG 42 : Influence de la luminosité sur l'excitation, pour les couleurs achromatiques, selon Valdez et Mehrabian (1994)

ii – Influence de la saturation

Valdez et Mehrabian (1994) montrent une influence fortement positive de la saturation sur l'excitation.

Oberfeld et Wilms (2018) obtiennent des résultats similaires, et notent une interaction Teinte X Saturation : l'impact de la saturation sur l'excitation est plus important pour la couleur rouge que pour la couleur verte, et plus important pour la couleur verte que pour la couleur bleu.

Suk et Irtel (2010) observent également une influence positive de la chroma sur l'excitation.

Après conversion de la chroma en saturation, on s'aperçoit que la saturation a également une influence positive sur l'excitation.

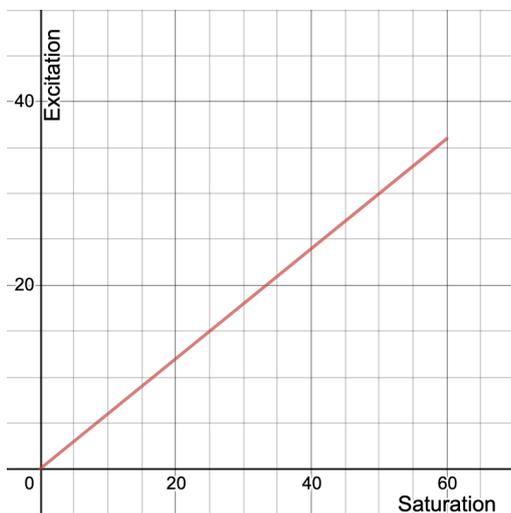


FIG 43 (à gauche) : Influence de la saturation sur l'excitation selon Valdez et Mehrabian (1994)

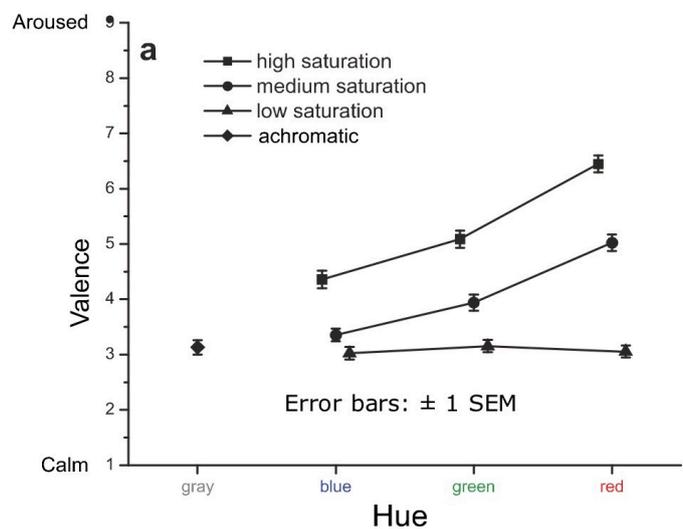


FIG 44 (à droite) : influence de la saturation et de la teinte sur l'excitation, selon Oberfeld et Wilms (2018)

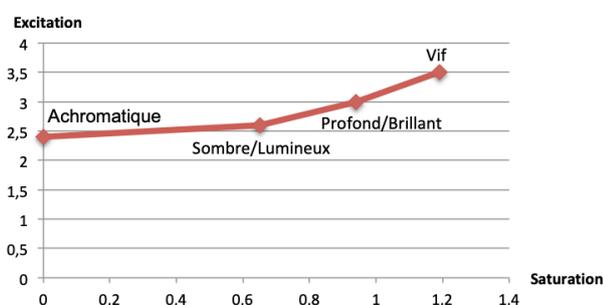


FIG 45 (à gauche) : Influence de la saturation sur l'excitation selon Suk et Irtel (2010)

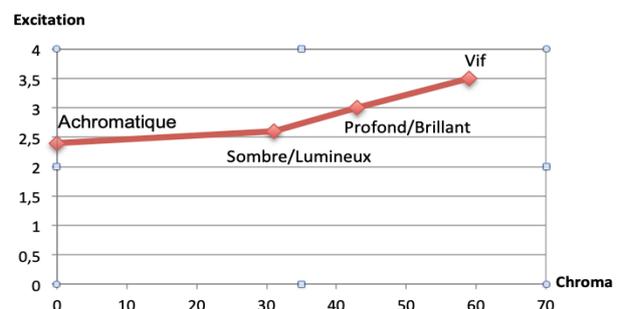


FIG 46 (à droite) : Influence de la chroma sur l'excitation selon Suk et Irtel (2010)

iii – Influence de la teinte

Valdez et Mehrabian (1994) montrent que l'influence de la teinte sur l'excitation est assez faible.

Oberfeld et Wilms (2018) montrent que l'excitation augmente avec la longueur d'onde, uniquement pour les couleurs moyennement ou fortement saturées. On observe donc une interaction Teinte X Saturation.

Suk et Irtel (2010) observent un impact significatif mais faible de la teinte sur l'excitation.

On peut en conclure que la teinte a un effet majoritairement négligeable sur l'excitation, à la possible exception des couleurs fortement saturées.

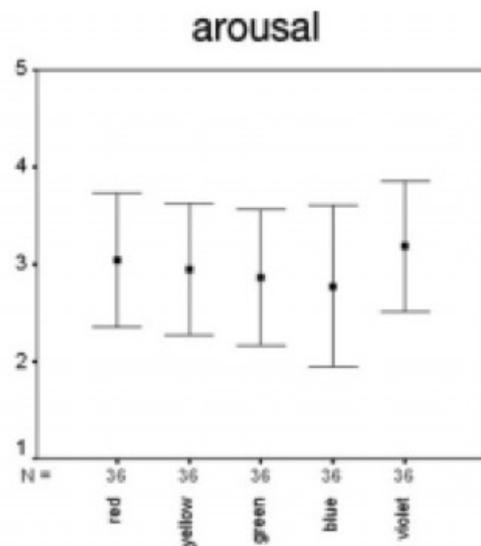
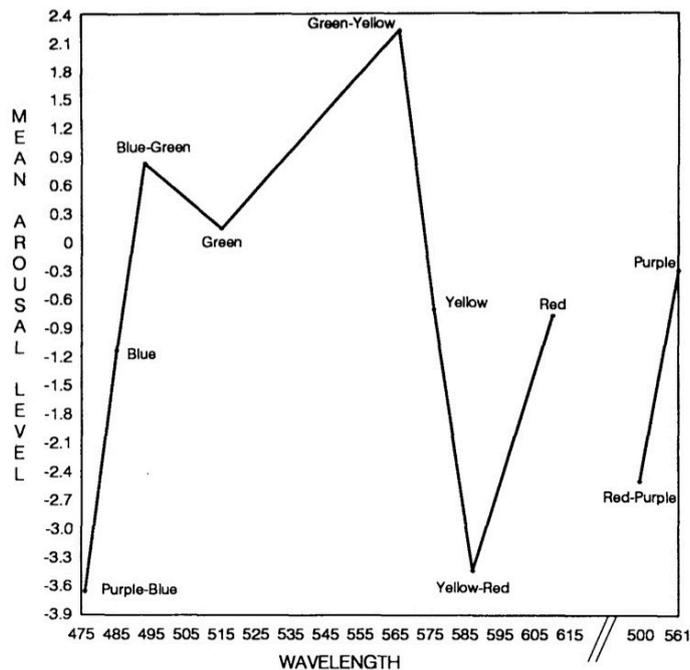


FIG 47 : Influence de la teinte sur l'excitation selon Mehrabian et Russell (1994)

FIG 48 : Influence de la teinte sur l'excitation selon Suk et Irtel (2010)¹³

¹³ Pour les résultats d'Oberfeld et Wilms, voir FIG 44

c – Influence de la couleur sur la domination

i – Influence de la luminosité

Pour les couleurs chromatiques, Valdez et Mehrabian (1994) montrent que la luminosité a une influence fortement négative sur la domination. À partir d'un certain niveau de luminosité, cependant, l'augmentation de la luminosité n'influence plus le niveau de domination, qui reste stable.

Pour les couleurs achromatiques, Valdez et Mehrabian (1994) montrent que la luminosité a également une forte influence négative sur la domination.

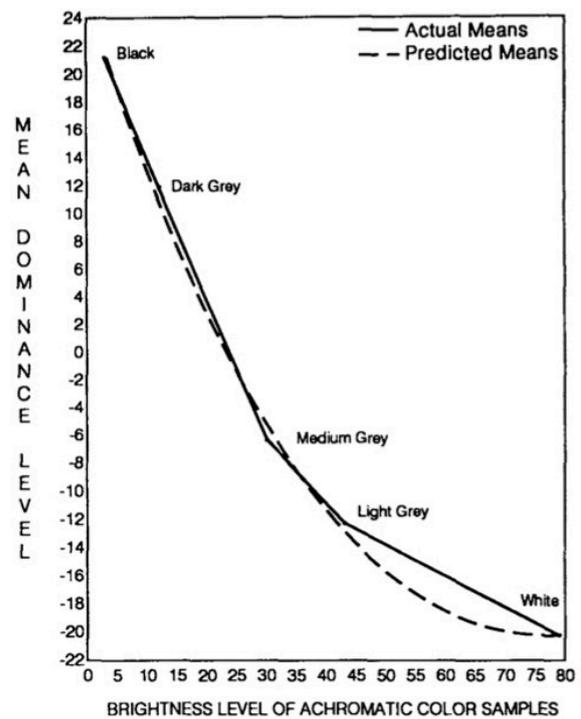
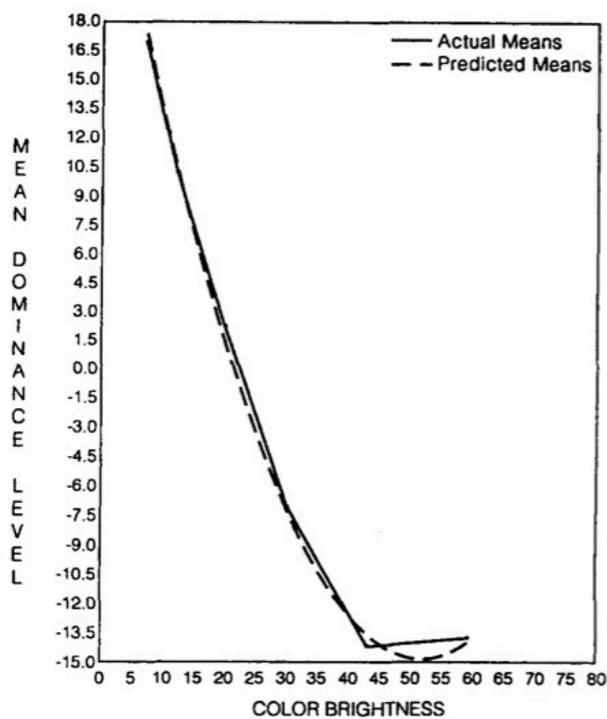


FIG 49 (à gauche) : Influence de la luminosité sur la domination, pour les couleurs chromatiques, selon Valdez et Mehrabian (1994)

FIG 50 (à droite) : Influence de la luminosité sur la domination, pour les couleurs achromatiques, selon Valdez et Mehrabian (1994)

ii – Influence de la saturation

Valdez et Mehrabian (1994) montrent que la saturation a un impact positif et linéaire sur la domination.

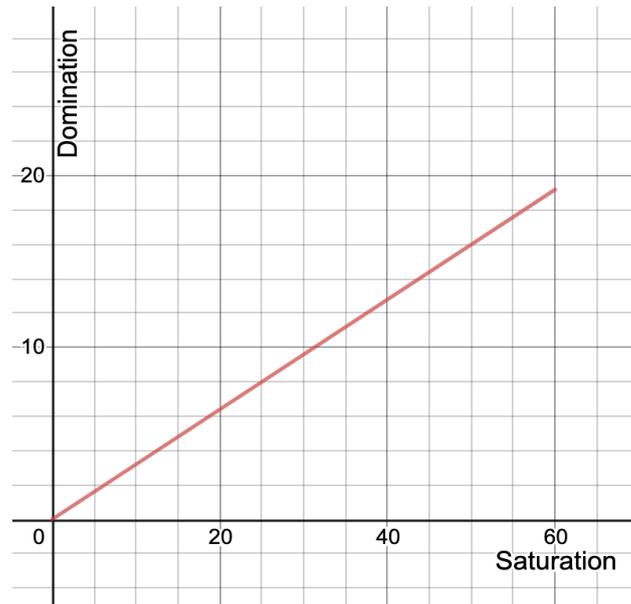


FIG 51 : Influence de la saturation sur la domination, selon Valdez et Mehrabian (1994)

iii – Influence de la teinte

Valdez et Mehrabian (1994) montrent que la teinte a une influence faible sur la domination. Les seules paires entraînant une différence significative pour le score de domination étant vert-jaune/rouge-violet et jaune/rouge-violet.

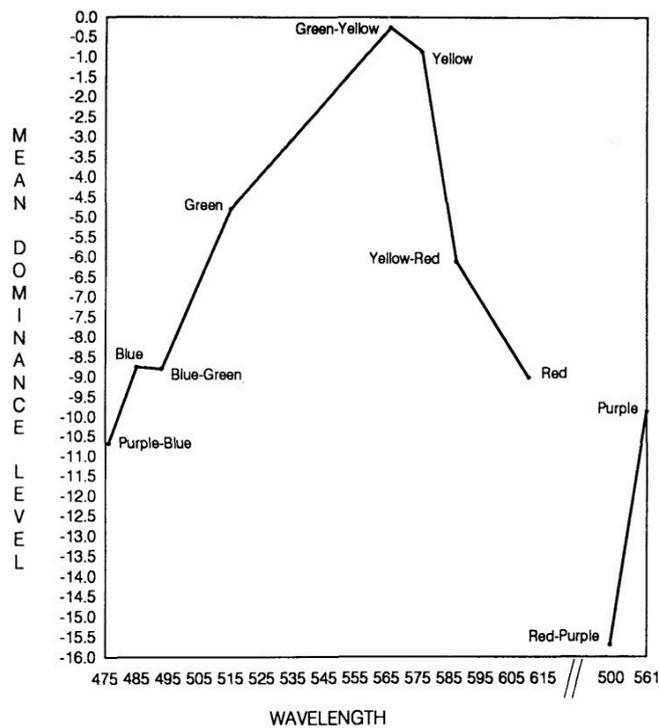


FIG 52 : Influence la teinte sur la domination selon Valdez et Mehrabian (1994)

d - Conclusion

Les trois études s'accordent sur ces différents points :

- L'excitation et le plaisir augmentent avec la saturation.
- La teinte est la dimension qui a l'impact émotionnel le plus faible.

Deux études s'accordent sur ces différents points :

- Le plaisir augmente avec la luminosité, pour les couleurs achromatiques et chromatiques.
- Pour les couleurs achromatiques, une luminosité moyenne (gris) a l'impact le plus négatif sur l'excitation, et une luminosité faible (noir) a l'impact le plus positif sur l'excitation.

Deux études divergent sur ce point :

- La luminosité pour les couleurs chromatiques a un impact négatif sur l'excitation pour Valdez et Mehrabian (1994), tandis que la luminosité pour les couleurs chromatiques a un impact positif sur l'excitation pour Oberfeld et Wilms (2018).

Une seule des études montre ces différents points :

- Pour le plaisir, on observe une interaction significative Teinte X Saturation : le rouge provoque un plaisir plus grand pour les saturations faibles et moyennes que pour les saturations élevées tandis que le bleu provoque un plaisir plus grand pour les saturations élevées que pour les saturations faibles et moyennes (Oberfeld & Wilms, 2018).
- Pour l'excitation, on observe une interaction Teinte X Saturation : l'impact de la saturation sur l'excitation est plus important pour la couleur rouge que pour la couleur verte, et plus important pour la couleur verte que pour la couleur bleu (Oberfeld & Wilms, 2018).
- Pour les couleurs moyennement ou fortement saturées, la couleur rouge est plus excitante que la couleur verte, et la couleur verte plus excitante que la couleur bleu (Oberfeld & Wilms, 2018).
- La luminosité a une influence négative sur la domination pour les couleurs chromatiques et achromatiques. La saturation a une influence positive sur la domination (Valdez & Mehrabian, 1994).

2 – Musique, couleur et émotions : expérience de Palmer *et al.* (2013)

a - Méthode

Palmer *et al.* (2013) étudient les liens associatifs entre musique et couleur.

Ils formulent 2 hypothèses contradictoires :

- L'association musique-couleur est directe et n'est pas liée aux émotions.
- La musique et la couleur sont liées par une association émotionnelle commune : si une couleur crée une émotion similaire à celle d'un extrait musical, cette couleur sera associée à cet extrait musical.

37 couleurs sont utilisées dans l'étude, issues de l'espace colorimétrique de Munsell. 8 teintes sont choisies (rouge, vert, bleu, jaune, orange, chartreuse, cyan, violet) et chaque teinte est présentée selon diverses valeurs de luminosité et de chroma.

5 couleurs achromatiques sont également utilisées : blanc, noir, et trois gris de luminosité variable.

18 extraits musicaux orchestraux (morceaux de Brahms, Mozart et Bach) sont utilisés. Les extraits varient dans leur tempi (lent, modéré, rapide) et dans leur mode (majeur, mineur).

Il est demandé aux sujets de classer, dans l'ordre, les 5 couleurs les plus cohérentes avec un extrait musical, ainsi que les 5 couleurs les moins cohérentes avec un extrait musical.

Il est demandé aux sujets d'évaluer séparément leur réponse émotionnelle aux couleurs et aux extraits musicaux, entre - 100 et + 100, sur les échelles suivantes : heureux, triste, énervé, calme, fort, faible, vivant et morne.

Il est également demandé aux sujets de noter leur perception des couleurs selon quatre dimensions : jaune-bleu, vert-rouge, lumineux-sombre et saturé-insaturé. Pour chaque extrait musical et chaque dimension évaluée par les sujets, Prader *et al.* calculent un score MCA.

Le score MCA correspond à la moyenne pondérée linéairement d'une dimension évaluée par les sujets pour les couleurs étant les plus cohérentes avec l'extrait musical moins la moyenne pondérée linéairement de la même dimension évaluée par les sujets pour les couleurs étant les moins cohérentes avec l'extrait musical.

$$C_{d,m} = (5c_{1,d,m} + 4c_{2,d,m} + 3c_{3,d,m} + 2c_{4,d,m} + 1c_{5,d,m})/15$$

$$I_{d,m} = (5i_{1,d,m} + 4i_{2,d,m} + 3i_{3,d,m} + 2i_{4,d,m} + 1i_{5,d,m})/15$$

où : $c_{j,d,m}$ représente la valeur sur la dimension d de la $j^{\text{ème}}$ couleur choisie comme la plus cohérente avec l'extrait musical m.

$i_{j,d,m}$ représente la valeur sur la dimension d de la $j^{\text{ème}}$ couleur choisie comme la plus incohérente avec l'extrait musical m.

$$MCA = C_{d,m} - I_{d,m}$$

b – Résultats

On observe que les tempi les plus rapides sont associés avec les couleurs les plus saturées, les plus jaunes et les plus lumineuses. Ces résultats sont très significatifs ($p < 0.001$).

Les extraits musicaux dans le mode majeur sont également associés avec des couleurs plus saturées, plus jaunes et plus lumineuses que les extraits musicaux dans le mode mineur. Ces résultats sont également très significatifs ($p < 0.001$).

Pour la variable dépendante vert-rouge, on observe une interaction Mode X Tempo : les extraits musicaux avec un tempo lent sont associés à des couleurs plus vertes que les extraits musicaux avec un tempo moyen ou rapide dans le mode majeur, mais pas dans le mode mineur.

D'autre part, les différences culturelles semblent n'avoir aucune influence sur les associations couleur-musique. La même étude a été conduite au Mexique et aux Etats-Unis, et le taux de corrélation entre les cultures est très élevé : 88% pour la dimension rouge-vert, 96% pour la dimension jaune-bleu, 97% pour la dimension lumineux-sombre et 95% pour la dimension Saturé-Insaturé.

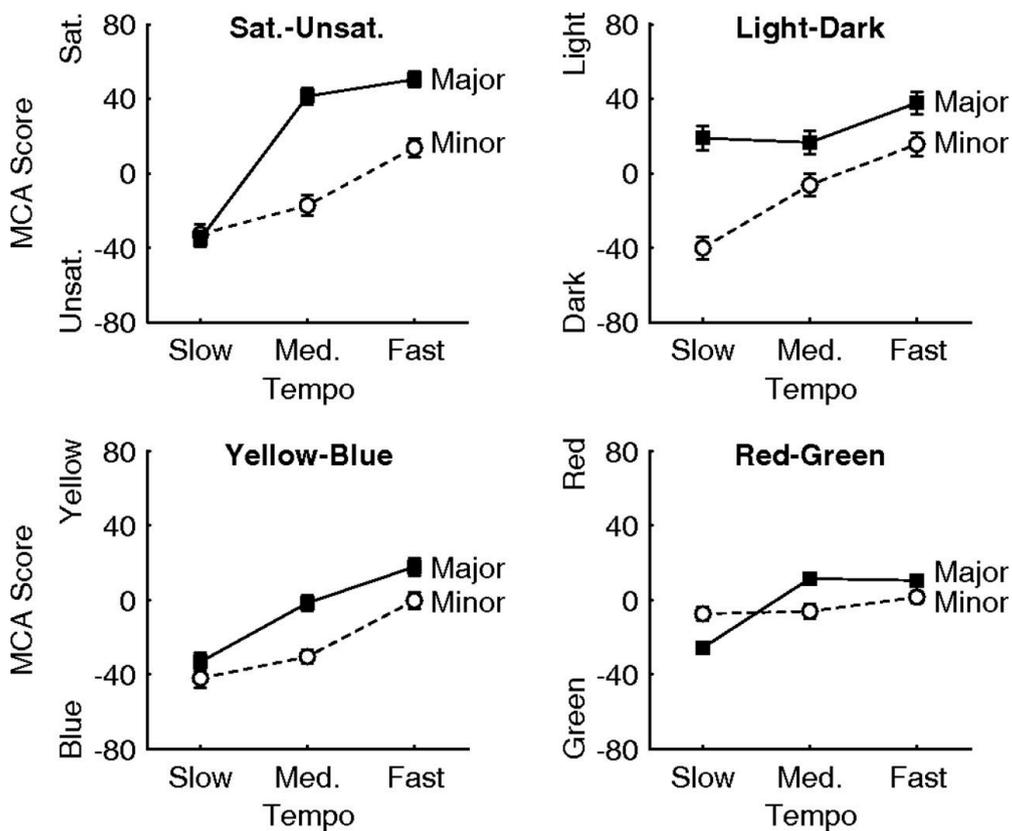


FIG 53 : Scores MCA en fonction du tempo pour les modes Majeur et Mineur et pour les 4 dimensions Saturé-Insaturé (en haut à gauche), Lumineux-Sombre (en haut à droite), Jaune-Bleu (en bas à gauche) et Rouge-Vert (en bas à droite).

L'hypothèse de la médiation émotionnelle suppose que les sujets ressentent une certaine émotion lorsqu'ils écoutent un extrait musical, et qu'ils choisissent des couleurs provoquant le même état émotionnel.

Les notes sur les échelles d'émotion correspondant à des émotions antonymes (heureux et triste par exemple) sont quasi-parfaitement inverses, avec un très fort taux de corrélation négative.

On peut donc considérer 4 dimensions bipolaires : heureux/triste, fort/faible, vivant/morne et énervé/calme.

Ils calculent les scores MCA pour ces 4 dimensions et observent une très forte corrélation entre les émotions suscitées par un extrait musical et le score MCA relatif aux émotions procurées par les couleurs associées : 97% pour la dimension heureux/triste, 99% pour la dimension vivant-morne, 96% pour la dimension fort/faible et 89% pour la dimension énervé/calme.

c – Conclusion

Les extraits musicaux et les couleurs associées suscitent des états émotionnels très proches, ce qui supporte l'hypothèse que l'association musique-couleur est médiatisée par les émotions.

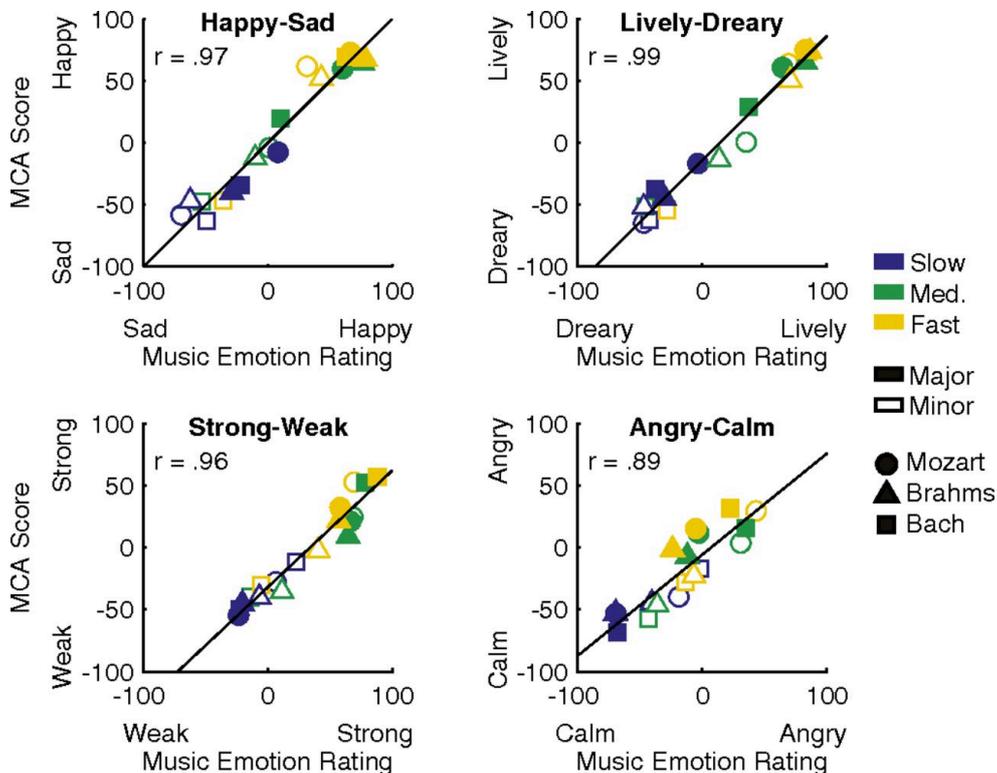


FIG 54 : Scores MCA relatifs aux émotions suscitées par les couleurs en fonction des émotions suscitées par les extraits musicaux associées

En haut à gauche : dimension heureux/triste

En haut à droite : dimension vivant/morne

En bas à gauche : dimension fort/faible

En bas à droite : dimension énervé/calme

D'autre part, l'étude montre des liens intéressants entre caractéristiques musicales (tempo, mode) et caractéristiques des couleurs associées (saturation, luminosité, teinte).

On voit par exemple que les couleurs fortement saturées sont associées à des tempi élevés. On peut alors faire la supposition qu'un musicien aura tendance à jouer plus vite si il est exposé à une couleur fortement saturée plutôt qu'à une couleur faiblement saturée.

Ces résultats donnent une validité écologique aux études de Valdez et Mehrabian (1994), Suk et Irtel (2010) et Oberfeld et Wilms (2018).¹⁴

¹⁴ Voir partie II-D-1

En effet, mesurer la réaction émotionnelle à des carrés de couleur dans un contexte de laboratoire est peu naturel et on peut légitimement supposer que l'influence de la couleur sur les émotions est susceptible de varier sensiblement selon le contexte.

Juger sa réaction émotionnelle à un extrait de musique semble déjà plus naturel, c'est quelque chose dont on fait l'expérience dans notre vie quotidienne.

Dans cette étude, on juge parallèlement l'influence de la couleur sur les émotions (dans des conditions similaires aux études examinées précédemment) et l'influence de la musique sur les émotions.

On observe que le jugement émotionnel d'un extrait musical et celui des couleurs associées sont proches.

Si la méthode de jugement émotionnel de la musique est pertinente, on peut alors supposer que la méthode de jugement émotionnel de la couleur est pertinente.

On en déduit que les influences couleur-émotion observées par Valdez et Mehrabian (1994), Suk et Irtel (2010), Palmer *et al.* (2010) et Oberfeld et Wilms (2018) dépendent peu du contexte, ou du moins qu'elles sont applicables dans un contexte lié à l'écoute musicale.

E] Influence de la lumière sur la performance cognitive

1 – Influence de la couleur rouge

La couleur rouge est associée à l'échec, à la difficulté et au danger : copies corrigées en rouge à l'école, pistes rouges dans les stations de ski, feu rouge, camions de pompiers...

Goldstein (1942) suppose que le rouge est excitant et désagréable, entraînant les individus à se concentrer sur l'environnement alentour.

À l'inverse, il suppose que le vert est relaxant et agréable et permet aux individus de se focaliser sur eux-mêmes.

Il suppose également que le rouge réduit la performance dans des activités où de la précision est requise.

La loi de Yerksen-Dodson stipule que le niveau de performance est lié au niveau d'excitation et que la performance est maximale pour des valeurs d'excitation moyennes (Easterbrook, 1959).

Elliot et al. (2007) supposent que la couleur rouge, perçue comme négative dans un contexte d'accomplissement (i.e. un contexte où deux issues sont possibles : la réussite ou l'échec), diminue la performance.

« Researchers have demonstrated that encountering a negative object, event, or possibility (including the dangerous possibility of failure) automatically evokes a motivational tendency to avoid that object, event, or possibility (Bargh & Chartrand, 1999 ; Cacioppo, Gardner & Berntson, 1999).

Furthermore, research in achievement contexts indicates that the motivational tendency to avoid failure negatively impacts performance by producing anxiety, task distraction, and a host of self-protective processes (e.g. disidentification, selection of easy tasks, self-handicapping ; Birney, Burdick & Teevan, 1969 ; Elliot & McGregor, 1999 ; Elliot, 2005).

Thus, the perception of red in achievement contexts is hypothesized to impair performance because it evokes a motivational tendency to avoid failure that, ironically, undermines performance » (Elliot et al., 2007)

Ce qui peut se traduire par :

« Des chercheurs ont montré que la rencontre d'un objet négatif, d'un événement négatif ou d'une possibilité négative (dont la dangereuse possibilité de l'échec)

entraîne automatiquement une tendance à éviter cet objet, événement ou possibilité (Bargh & Chartrand, 1999 ; Cacioppo, Gardner & Berntson, 1999).

De plus, la recherche montre que dans un contexte d'accomplissement, la tendance à éviter l'échec affecte négativement la performance en produisant de l'anxiété, de la distraction, et plusieurs procédés d'auto-protection (désidentification, choix des tâches faciles, auto-handicapement ; Birney, Burdick & Teevan, 1969 ; Elliot & McGregor, 1999 ; Elliot, 2005).

On suppose alors que la perception du rouge dans un contexte d'accomplissement altère la performance parce qu'elle entraîne une tendance à éviter l'échec qui, ironiquement, diminue la performance. »

Elliot *et al.* (2007) cherchent à montrer que le rouge a une influence néfaste sur la performance intellectuelle dans un contexte d'accomplissement.

Méthode

Pour cela, ils font passer des tests de QI à des étudiants à l'université.

Les étudiants sont divisés en 3 groupes : le premier groupe est exposé à la couleur verte, le deuxième à la couleur rouge, et le troisième à la couleur grise.

Les trois couleurs sont égalisées en saturation et en luminosité.

Chaque groupe réalise le même test de QI, la seule variable entre les groupes étant la couleur de la page de garde du test, à laquelle les sujets sont exposés pendant seulement 2 secondes.

À la fin du test, il est demandé aux sujets si ils pensent savoir quelle est la visée de l'expérience.

Résultats

On observe que le nombre de réponses correctes au test de QI est beaucoup moins élevé pour les étudiants ayant été exposés à la couleur rouge que pour ceux ayant été exposés au vert ou au gris.

À la fin du test, aucun sujet ne mentionne la couleur comme étant selon eux l'objet de l'expérience.

L'étude a été répétée quatre fois en changeant plusieurs conditions expérimentales : contexte (laboratoire ou vraie salle de classe), temps d'exposition à la couleur, pays, type de test (numérique ou basé sur le langage), type de couleur achromatique (blanc, noir et gris). Les résultats sont similaires entre les quatre études.

On en déduit donc que le rouge a une forte influence négative sur la performance dans un contexte d'accomplissement.

D'autre part, on observe que cette influence est pleinement inconsciente : aucun des sujets ne pense que l'expérience est basée sur la couleur, et les sujets exposés à la couleur rouge ne pensent pas avoir plus mal réussi le test que les sujets exposés aux autres couleurs.

Cette étude remet donc en question la pertinence des tests de QI : si les tests et le temps alloué sont les mêmes pour tous les sujets, l'environnement ne l'est pas : couleur des murs, couleur du stylo...

L'enregistrement d'un morceau en studio constitue en partie un contexte d'accomplissement et comporte une forte dimension cognitive: mémoire, anticipation, écoute des autres musiciens afin d'adapter son jeu, stress...

On peut alors supposer que le fait d'exposer des musiciens à la couleur rouge sera susceptible d'altérer négativement leur performance.

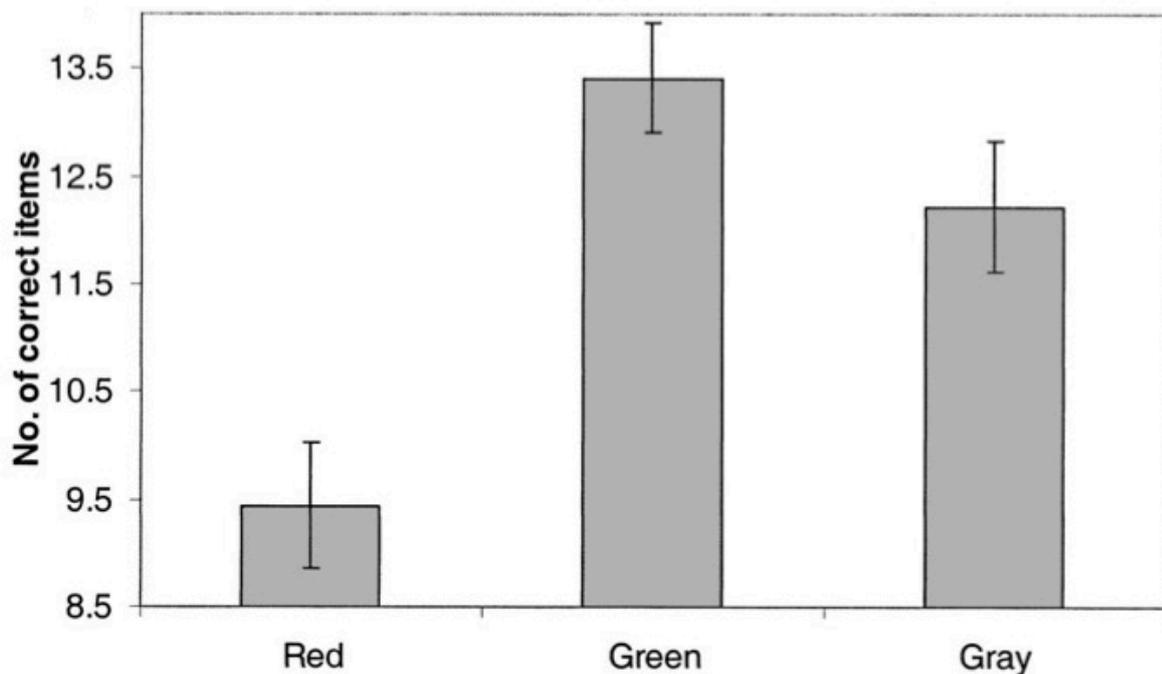


FIG 55 : Nombre de réponses correctes au test de QI en fonction de la couleur à laquelle les sujets ont été exposés

2 – Influence de la température de couleur et de la luminosité

Zhu *et al.* (2006) testent l'influence de la température de couleur et de la luminosité sur différentes tâches cognitives, dans un environnement de travail.

Méthode

Deux valeurs d'éclairement¹⁵ (200 lux et 1200 lux), deux températures de couleur (3000K et 6500K) et deux périodes de la journée (Matin et Après-midi) sont utilisées comme variables indépendantes.

Les sujets sont privés de la lumière du jour, l'éclairage est purement artificiel.

Chaque participant est placé devant un bureau avec un ordinateur, un clavier et une souris.

Quatre groupes de sujets sont formés, afin de répondre au cahier des charges suivant :

Groupe 1 : Matin / 6500K

Groupe 2 : Après-midi / 6500K

Groupe 3 : Matin / 3000K

Groupe 4 : Après-midi / 3000K

Chaque groupe est exposé aux deux conditions d'éclairement, sur deux créneaux séparés au minimum d'une journée.

Zhu *et al.* testent les effets de ces différentes variables sur différentes tâches cognitives :

Go/No Go : Des lettres majuscules rouge ou noir sont affichées aléatoirement au centre de l'écran, les participants doivent cliquer le plus vite possible lorsque la lettre est rouge et ne pas cliquer lorsque la lettre est noire.

Mémoire à court terme : Des chiffres de 0 à 9 sont affichés au centre de l'écran, les participants doivent identifier le plus vite possible si le chiffre présent sur l'écran est identique ou non à celui présenté deux chiffres avant.

Mémoire à long terme : Dans une première phase, 72 adjectifs émotionnels sont présentés aux sujets. Ensuite, ils passent à l'exercice de mémoire à court terme, pour éliminer l'effet de récence (on se rappelle mieux de la dernière information qui nous a été présentée).

¹⁵ **Mesure photométrique de la vivacité lumineuse, l'éclairement correspond au flux lumineux (puissance lumineuse) reçu par unité de surface.**

Dans une deuxième phase, après l'exercice de mémoire à court terme, les participants doivent dire si les mots qui leur sont actuellement présentés étaient déjà présents dans la première phase ou non.

Trois types de mots (24 mots de chaque type) sont utilisés : positifs, neutres ou négatifs.

Jugement des émotions faciales : Les sujets doivent juger les émotions faciales présentées sur l'écran (heureux, apeuré, neutre) le plus rapidement possible.

Zhu et al. mesurent l'humeur des sujets à l'aide de l'échelle PANAS¹⁶, ainsi que la perception subjective de la lumière par les sujets selon 4 critères (Luminosité, Éblouissement, Couleur, Contraste) sur une échelle à 5 points (1 = peu ou pas du tout, 5 = énormément).

Ils mesurent également l'éveil des sujets à l'aide du *Karolinska Sleepiness Scale*, constitué d'un seul item à 9 points (1 = très éveillé, 9 = très somnolent).

Résultats

La luminosité a un effet positif sur l'éveil des sujets: les sujets sont plus éveillés lorsqu'ils sont exposés à une lumière intense ($p=0.001$).

La température de couleur ou le moment de la journée n'ont pas d'effet significatif sur l'état d'éveil.

Dans la condition 200 lux, l'humeur des participants est plus négative sous la lumière à 6500K que sous la lumière à 3000K.

Dans la condition 1200 lux, on n'observe pas de différence d'humeur significative entre 6500K et 3000K.

Dans la condition 6500K, l'humeur est plus négative dans la condition 200 lux que dans la condition 1200 lux.

Il y a donc une interaction Température de couleur/Luminosité.

Le moment de la journée n'a aucune influence directe sur l'humeur et n'entraîne pas d'interaction.

Go/No Go : Les participants réagissent plus lentement dans la condition 200 lux/3000K que dans toutes les autres conditions.

Les participants font plus d'erreurs à 6500K qu'à 3000K.

Le moment de la journée n'a aucune influence directe sur la performance et n'entraîne pas d'interaction.

Mémoire à court terme : Les participants sont plus lents dans la condition 200 lux / 3000K que dans toutes les autres conditions.

¹⁶ Pour plus d'informations, voir Watson et al. (1988)

Les participants ont plus de bonnes réponses dans la condition 1200 lux que dans la condition 200 lux.

Le moment de la journée n'a aucune influence directe sur la performance et n'entraîne pas d'interaction.

Mémoire à long terme : Les sujets sont plus rapides dans la condition 1200 lux/6500K que dans les autres conditions, mais uniquement pour des mots neutres dans l'après-midi.

Les sujets sont plus performants pour les mots positifs et négatifs que pour les mots neutres.

Jugement des expressions faciales : Les participants réagissent plus vite dans la condition 1200 lux/6500K que dans la condition 200 lux/6500K et réagissent plus vite dans la condition 200 lux/6500K que dans la condition 200 lux/3000K.

Conclusion

- La luminosité a un impact positif sur l'éveil et sur l'humeur, en particulier pour des lumières froides.
- Sous une faible luminosité, les sujets sont plus heureux lorsqu'ils sont exposés à une lumière chaude que lorsqu'ils sont exposés à une lumière froide.
- La température de couleur n'a pas d'effet significatif sur l'état d'éveil.
- La performance augmente globalement avec la température de couleur et avec la luminosité.
- Le moment de la journée n'a globalement pas d'influence sur la performance.

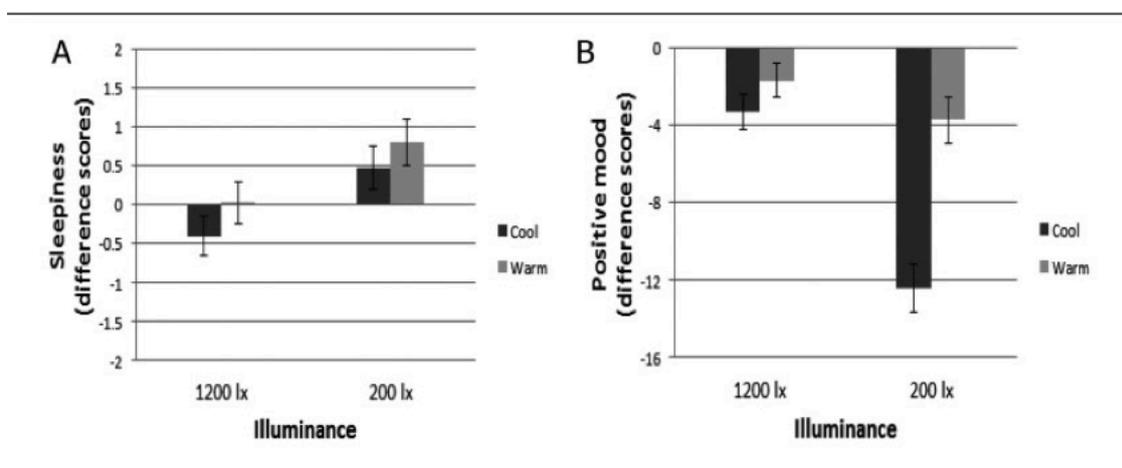


FIG 56 : Influence de l'éclairage et de la température de couleur sur l'éveil et sur l'humeur

F] L'influence de la lumière sur les comportements est-elle médiatisée par les émotions ?

On a montré que la lumière avait une influence non négligeable sur les émotions.

On peut alors se demander si les émotions du musicien au moment de l'enregistrement auront une influence sur son interprétation, et plus généralement, quelle influence ont les émotions sur les comportements.

Dans la vie quotidienne, il est évident que nos émotions influencent nos comportements : si je suis énervé, je vais avoir tendance à crier et à être violent, si je suis déprimé, je vais avoir tendance à être moins actif, à me couper du monde, si je suis stressé, je vais avoir tendance à perdre mes moyens, à trembler, à bégayer etc.

Mais l'influence des émotions sur les comportements est-elle si simple et directe ?

La musique est à l'évidence un moyen d'exprimer ses émotions, quand les mots ne suffisent plus. S'il semble évident que les émotions du compositeur vont influencer l'œuvre qu'il est en train de créer, cela est moins évident lors du processus d'interprétation.

En effet, chaque œuvre a son émotion propre, ce qui limite fortement l'expression des émotions ressenties par le musicien au moment de son interprétation : même si je viens de gagner au Loto et de trouver l'amour, il est peu probable que j'insuffle de la joie à une chanson de Radiohead ou d'Elliott Smith. On peut par contre supposer que, dû à mon excitation, j'interprète le morceau plus intensément, de façon plus dynamique ou avec un tempo plus rapide. Si l'émotion du morceau correspond à mon émotion présente, j'interpréterai peut-être alors le morceau avec plus de désespoir si c'est un morceau triste, ou de joie si c'est un morceau gai.

Il semble donc légitime de supposer que les émotions ont une influence, bien que restreinte par l'œuvre musicale elle-même, sur l'interprétation.

1 – Une influence directe des émotions sur les comportements ?

Baumeister *et al.* (2010) analysent deux théories portant sur le lien entre émotions et comportements.

La première théorie stipule que l'émotion est la cause directe du comportement. Les actions peuvent être expliquées en citant l'émotion qui leur a donné naissance. Quelqu'un a fait quelque chose « parce qu'il était heureux », « parce qu'il était énervé » ou « parce qu'il était effrayé ». La fonction première des émotions est donc de pousser les gens à agir d'une certaine façon.

La deuxième théorie soutient que l'émotion vient après l'action, qu'elle est un retour d'information qui pousse le sujet à réfléchir sur son action et ses conséquences. L'émotion aurait donc un effet indirect sur le comportement, on choisirait nos actions sur la base du retour émotionnel que l'on anticipe, que l'on simule mentalement.

Les deux théories supposent alors des liens émotion-comportement différents.

La première théorie suppose que les émotions nous poussent à agir.

La deuxième théorie suppose que l'on agit dans le but de ressentir une émotion.

On observe par exemple que les gens malheureux ont tendance à abuser de la junk food.

Dans le cadre de la première théorie, on peut considérer que cet abus de junk food est un comportement autodestructeur : « Je suis triste et je me fiche pas mal de ma santé, de toute façon la vie ne vaut pas la peine d'être vécue ».

Dans le cadre de la seconde théorie, on peut considérer que cet abus de junk food est dû à une recherche de plaisir immédiat, à une compensation émotionnelle.

Dans la plupart des cas, la première théorie ou la seconde théorie vont mener à des comportements similaires :

- Quelqu'un m'attaque avec un couteau, je fuis car j'ai peur - Mon ennemi juré est en face de moi, je l'assassine car je suis furieux (première théorie).

- Quelqu'un m'attaque avec un couteau, je fuis car j'anticipe la douleur que l'agression va provoquer - Mon ennemi juré est en face de moi, je l'assassine car j'anticipe le plaisir que cela va provoquer (seconde théorie).

De ce fait, les deux théories peuvent sembler valides de prime abord, car la plupart des situations peuvent être expliquées par l'une ou par l'autre.

Cependant, Manucia *et al.* (1984) ont mené une expérience ingénieuse pour démontrer les limites de la première théorie.

Ils ont inventé une pilule de « gel d'humeur », qui permet de faire en sorte que l'état émotionnel d'un sujet, peu importe ses actions, ne varie pas pendant plusieurs heures. Bien évidemment, une telle pilule n'existe pas, mais il est possible de compter sur la naïveté des sujets en leur faisant avaler un placebo qu'ils croient être en réalité la pilule de gel d'humeur.

Un lien émotion-comportement bien connu en psychologie est que les personnes tristes ont tendance à aider les autres.

Manucia *et al.* (1984) génèrent alors de la tristesse chez un groupe de sujets, et donnent la pilule de gel d'humeur à la moitié des sujets.

Si les émotions influencent directement les comportements, la pilule de gel d'humeur ne devrait avoir aucun impact sur l'altruisme.

Cependant, Manucia *et al.* (1984) observent que les sujets qui ont pris la pilule de gel d'humeur sont moins altruistes que les autres : ils n'aident pas car cela ne leur permettrait pas de se sentir mieux. On peut donc en déduire que la tristesse n'influence pas directement l'altruisme, mais qu'une personne triste a une tendance à l'altruisme car cela le rend plus heureux.

Dans le cas d'un musicien, la première théorie supposerait que si le musicien est excité, il transmettra nécessairement cette excitation dans son interprétation.

La deuxième théorie entraîne au moins deux conséquences possibles :

- Le musicien va transmettre son excitation dans son interprétation car cette excitation est perçue comme positive et qu'il cherche à maintenir son niveau d'excitation.
- Le musicien va calmer son jeu car son excitation est perçue comme négative et qu'il cherche à s'en débarrasser.

Dans les deux théories, l'émotion influence les comportements. Cependant, pour la première théorie, le comportement est prédictible en fonction de l'émotion, alors que pour la deuxième théorie, le comportement n'est pas prédictible en fonction de l'émotion.

2 – Influence du stress sur la voix chantée

Larrouy-Maestri et Morsomme (2014) étudient l'influence du stress sur la justesse vocale d'étudiants au conservatoire royal de Belgique.

Méthode

31 étudiants participent à l'expérience. 18 sont en première année d'études, et 13 sont en seconde année d'études.

Les étudiants ont tous un bon niveau musical car ils ont été sélectionnés sur audition pour rentrer au conservatoire.

Dans le cadre de leur cours de solfège qui a lieu chaque semaine, les étudiants apprennent une mélodie durant deux mois.

Les étudiants doivent ensuite interpréter cette mélodie a capella dans deux conditions : une répétition où seul un expérimentateur est présent, et un examen dans lequel quatre professionnels de la musique sont présents.

Dans les deux conditions, la performance est enregistrée, la fréquence cardiaque des sujets est mesurée et les sujets doivent évaluer leur stress en remplissant le questionnaire CSAI-2R.¹⁷

La justesse est mesurée de deux façons :

- En comparant les écarts entre les fondamentales chantées par l'étudiant et les fondamentales des notes qui doivent théoriquement être chantées (justesse absolue).

La moyenne de ces écarts constitue le score final.

- En comparant les écarts entre les intervalles chantés par l'étudiant et les intervalles théoriques (justesse relative).

La moyenne de ces écarts constitue le score final.

Résultats

Les étudiants sont plus stressés le jour de l'examen que le jour de la répétition.

On observe également que les étudiants en deuxième année sont plus stressés que les étudiants en première année le jour de l'examen.

En effet, l'examen de deuxième année conditionne le passage des étudiants en troisième année. En première année, l'examen n'est qu'une validation des acquis.

¹⁷ cf. Cox *et al.* (2003)

Les étudiants de première année sont plus performants le jour de l'examen que le jour de la répétition. Les étudiants de deuxième année sont moins performants le jour de l'examen que le jour de la répétition.

On en déduit alors qu'un stress modéré a une influence positive sur la justesse vocale mais qu'un stress intense a une influence négative sur la justesse vocale.

Ces résultats valident la loi de Yerksen-Dodson¹⁸.

TABLE 1.
Mean and Standard Error (in Parentheses) of the Stress Measurements (Heart Rate, CSAI-2R Questionnaire) for Each Music Level (First and Second), in the Stressful and Nonstressful Conditions

Stress Measurements	Stressful Condition		Nonstressful Condition	
	First Level	Second Level	First Level	Second Level
Heart rate (bpm)	108.78 (7.80)	119.31 (3.78)	91.76 (3.10)	87.30 (4.87)
CSAI-2R				
Somatic symptoms				
Intensity	23.65 (1.35)	23.89 (2.12)	13.65 (1.16)	12.78 (1.22)
Direction	-3.96 (1.57)	-6.11 (2.03)	0.10 (3.72)	8.75 (3.78)
Cognitive symptoms				
Intensity	29.63 (1.71)	24.00 (2.50)	15.25 (1.34)	13.67 (1.95)
Direction	-9.88 (1.88)	-6.67 (2.47)	0.63 (3.06)	9.17 (4.18)

FIG 57 : Stress physiologique (rythme cardiaque) et reporté par le sujet en fonction de l'année d'études et de la condition de test (répétition ou examen)

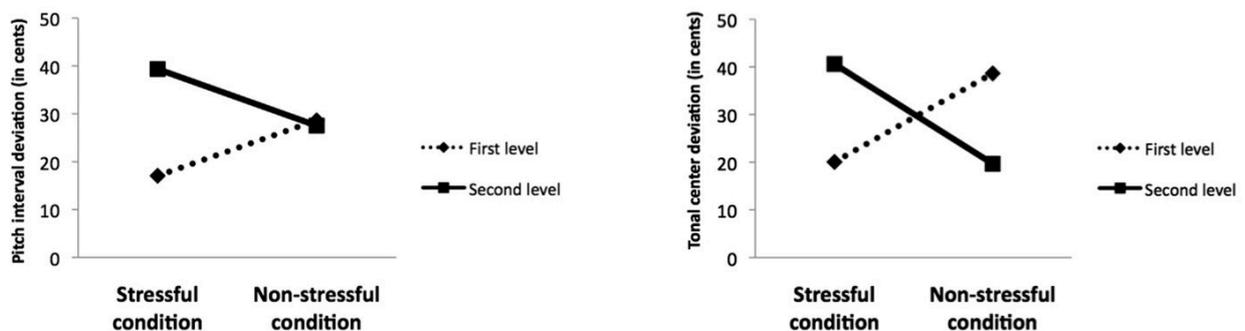


FIG 58 : Justesse absolue (à gauche) et justesse relative (à droite) en fonction de l'année d'études et de la condition de test (répétition ou examen)

¹⁸ Voir partie II-E-1

III – Influence de la lumière sur l’interprétation des musiciens : expérience en studio d’enregistrement

1 – Présentation du projet

Afin d’évaluer l’influence de la lumière sur l’interprétation des musiciens, un groupe viendra enregistrer un morceau au sein du studio d’enregistrement de l’École Nationale Supérieure Louis-Lumière, sur la durée d’une journée.

Le morceau sera enregistré sous trois conditions de lumière différentes, et les émotions des musiciens ainsi que leur ressenti quant à la session d’enregistrement seront évalués.

Dans un deuxième temps, un panel d’auditeurs écoutera les différentes prises du morceau, à l’aveugle (sans savoir quelle prise a été réalisée sous quelle condition de lumière). Les auditeurs évalueront leur ressenti et leurs émotions à l’écoute de chaque prise.

Une analyse statistique des données recueillies sera alors effectuée, afin de voir si on peut observer des résultats statistiquement significatifs quant à l’influence de la lumière sur l’interprétation des musiciens, par le biais du jugement des auditeurs, mais également sur les émotions et le ressenti des musiciens durant la session d’enregistrement.

2 – Sessions d’enregistrement

a – Choix des conditions de lumière

Les conditions de lumière sont choisies d’après les résultats d’Oberfeld et Wilms (2018)¹⁹ pour les raisons suivantes :

- Oberfeld et Wilms (2018) sont les seuls chercheurs à avoir mesuré des interactions non négligeables entre les paramètres Teinte, Saturation et Luminosité.
- Après les avoir contactés, ces derniers ont accepté de nous fournir l’ensemble des scores de plaisir et d’excitation pour chacun des 30 stimuli utilisés lors de

¹⁹ Voir partie II-D-1

leur expérience, ce qui nous permettra de faire varier les trois variables indépendantes Teinte, Saturation et Luminosité à la fois.

En effet, dans les comptes rendus d'expérience étudiés dans ce mémoire, les scores de plaisir et d'excitation sont généralement exprimés en fonction d'une seule variable indépendante, ce qui permet de ne faire varier qu'une seule variable à la fois si on prend en compte le phénomène d'interaction.

Trois conditions de lumière ont été choisies, et deux prises du morceau seront réalisées pour chaque condition, afin de s'affranchir au mieux de variables non maîtrisables : émotion qui varie en fonction d'autres paramètres que la lumière (pensées négatives ou positives, heure de la journée...), forme et fatigue des musiciens etc.

Mon choix s'est porté sur les trois stimuli suivants (surlignés en rouge dans la FIG 59 ci-dessous) :

Stimuli 1 : Bleu - Luminosité Moyenne - Saturation Haute

Stimuli 2 : Rouge - Luminosité Moyenne - Saturation Haute

Stimuli 3 : Achromatique - Luminosité Moyenne - Saturation Nulle

Différents types de variation émotionnelle sont ainsi présents : forte variation d'excitation entre les stimuli 2 et 3, gradation de l'excitation entre les 3 stimuli, variation de plaisir moyenne entre le stimulus 1 et les stimuli 2 et 3, faible variation de plaisir entre les stimuli 2 et 3.

Cela nous permettra d'examiner quel type de variation se retrouvera dans l'excitation et le plaisir ressentis par les musiciens et par les auditeurs : retrouvera-t-on la gradation de l'excitation entre les 3 stimuli ? Le plaisir provoqué par les stimuli 2 et 3 sera-t-il sensiblement le même ? Seules les fortes variations se feront-elles sentir ?

Teinte	Luminosité	Saturation	Excitation SAM	Plaisir SAM
Bleu	Haute	Haute	5.10	5.74
Bleu	Haute	Moyenne	3.66	6.10
Bleu	Haute	Basse	3.23	5.44
Bleu	Moyenne	Haute	4.69	6.05
Bleu	Moyenne	Moyenne	3.34	5.66
Bleu	Moyenne	Basse	2.76	5.16
Bleu	Basse	Haute	3.29	6.02
Bleu	Basse	Moyenne	3.06	5.37
Bleu	Basse	Basse	3.08	3.84
Vert	Haute	Haute	6.00	5.71
Vert	Haute	Moyenne	4.63	6.19
Vert	Haute	Basse	3.29	5.94
Vert	Moyenne	Haute	5.15	6.03
Vert	Moyenne	Moyenne	4.23	6.21
Vert	Moyenne	Basse	3.05	5.69
Vert	Basse	Haute	4.11	5.56
Vert	Basse	Moyenne	2.97	5.58
Vert	Basse	Basse	3.11	4.32
Rouge	Haute	Haute	7.00	4.97
Rouge	Haute	Moyenne	5.92	5.84
Rouge	Haute	Basse	3.21	6.26
Rouge	Moyenne	Haute	6.63	4.90
Rouge	Moyenne	Moyenne	5.03	5.81
Rouge	Moyenne	Basse	3.03	5.52
Rouge	Basse	Haute	5.71	4.73
Rouge	Basse	Moyenne	4.11	5.66
Rouge	Basse	Basse	2.92	4.29
Achromatique	Haute	Nulle	3.27	4.97
Achromatique	Moyenne	Nulle	2.81	4.10
Achromatique	Basse	Nulle	3.31	3.53

FIG 59 : Scores de plaisir et d'excitation sur l'échelle SAM pour l'ensemble des 30 stimuli utilisés dans l'étude d'Oberfeld et Wilms (2018)

Le choix du dispositif technique (projecteurs, filtres, diffuseurs...) se fera de façon empirique, c'est pourquoi il ne sera détaillé que plus tard dans le compte-rendu expérimental.

Le but est de s'approcher au mieux des valeurs utilisées par Oberfeld et Wilms (2018), que l'on mesurera dans l'espace XYZ :

Stimuli 1 (bleu) : $X = 25.2$; $Y = 18.6$; $Z = 127$

Stimuli 2 (rouge) : $X = 35.9$; $Y = 18.6$; $Z = 0.42$

Stimuli 3 (achromatique) : $X = 17.4$; $Y = 18.6$; $Z = 20.7$

À l'aide d'un étudiant en section Cinéma, nous utiliserons divers projecteurs et accessoires, mesurerons les caractéristiques de la lumière dans la salle grâce à un colorimètre et ajusterons le dispositif technique jusqu'à obtenir le résultat le plus satisfaisant possible.

La lumière devra être la plus diffuse possible (la plus égale en tout point de l'espace) afin que tous les musiciens soient exposés aux mêmes conditions de lumière.

b – Choix des musiciens

Trois critères principaux ont été pris en compte pour le choix des musiciens :

- **Professionalisme** : les musiciens doivent être expérimentés et avoir un bon niveau technique afin que les différences d'interprétation entre les prises ne soient pas dues à un manque de maîtrise.
- **Accessibilité** : le style de musique pratiqué doit être consensuel et pouvoir plaire au plus grand nombre d'auditeurs.
- **Dynamisme musical** : la musique doit être vivante et dynamique, non formatée, avec une certaine liberté d'interprétation, afin que l'émotion et l'énergie transmises lors d'une prise soient représentatives de ce que le musicien ressent au moment de l'interprétation.

Mon choix s'est porté sur Jules Teinturier, un jeune auteur-compositeur-interprète jouant une pop-rock moderne, à texte (en français), intense et expressive.

Il sera accompagné d'un groupe constitué de 2 guitares, un piano et une batterie.

c – Mesure des émotions et du ressenti

i – Auto-jugement des musiciens

À l'issue de chaque prise, les musiciens devront remplir le questionnaire ci-dessous (FIG 60).

La mesure principale des émotions se fera sur les deux items Excitation et Plaisir de l'échelle SAM.

À cela s'ajouteront des mesures sémantiques différentielles permettant de préciser sur quels paramètres de la dimension Excitation la lumière agit : nervosité, somnolence²⁰ ou stress.

Il sera également demandé aux musiciens d'évaluer la qualité de la prise globalement, en termes de réussite technique, d'intensité émotionnelle et d'énergie.

Enfin, les musiciens devront évaluer leur sensation de confort durant la prise.

À l'issue de toutes les prises, les musiciens réécouteront chaque prise dans un ordre différent, et devront juger les enregistrements suite à chaque écoute selon les items Excitation et Plaisir de l'échelle SAM, ainsi que la qualité globale, la réussite technique, l'intensité émotionnelle et l'énergie.

Ils devront également évaluer, selon eux, sous quelle lumière a été effectuée la prise.

À aucun moment, que ce soit entre les prises ou durant l'écoute, les musiciens n'auront le droit de se donner leurs avis respectifs sur une prise.

ii – Mesures physiologiques

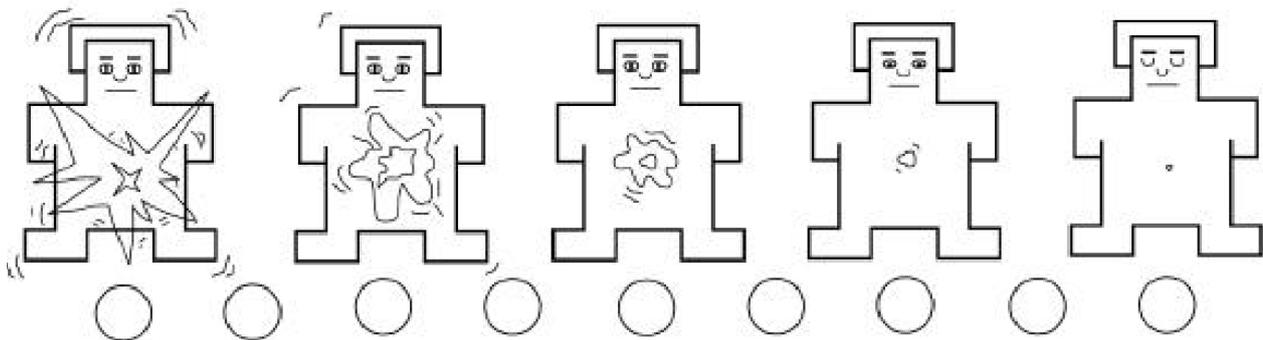
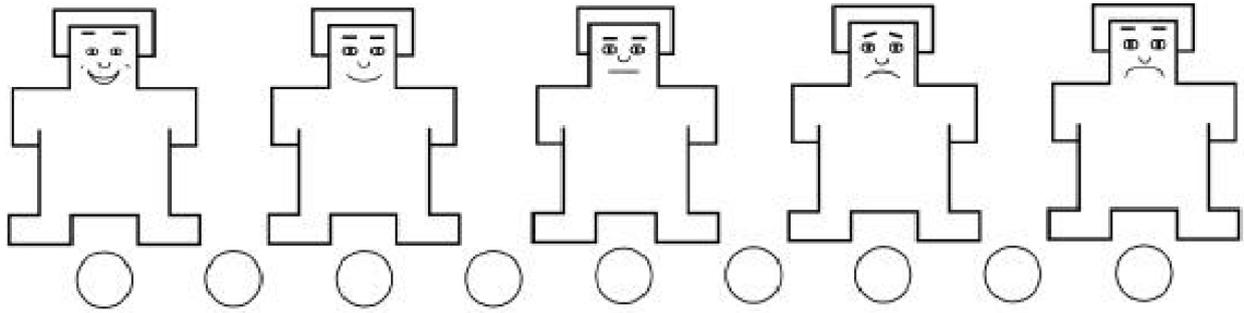
La fréquence cardiaque et la réponse galvanique cutanée de Jules, le chanteur-guitariste et leader du projet, seront mesurées via les capteurs et l'application Android *eSense* de *Mindfield Biosystems*. Les données seront ensuite exportées pour être analysées sur un logiciel de statistique.

La fréquence cardiaque sera mesurée durant toute la durée de la prise, tandis que la réponse galvanique cutanée ne sera mesurée qu'à l'issue de la prise : les capteurs étant situés au niveau des doigts, cela empêcherait Jules de jouer de la guitare.

Une caméra filmiera également les expressions du visage de Jules durant les prises, afin de fournir une information visuelle potentiellement intéressante à analyser.

²⁰ Ces deux items sont empruntés à l'échelle sémantique différentielle de Mehrabian et Russell (1974) traduite par Detandt *et al.* (2017)

Sur les deux échelles ci-dessous, cochez le cercle (parmi 9) qui représente le mieux votre état émotionnel durant cette prise :



Durant cette prise, vous vous êtes senti.e :

Calme										Excité.e
-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----------

Somnolent.e										Bien réveillé.e
-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----------------

Détendu.e										Stressé.e
-----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----------

Qu'avez-vous pensé de cette prise de façon globale ? Jugez la performance du groupe, et pas seulement votre performance individuelle.

Complètement ratée										Très réussie
--------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------------

Qu'avez-vous pensé de cette prise en termes de réussite technique (précision instrumentale, fausses notes, rythmiquement en place ou non...) ? Jugez la performance du groupe, et pas seulement votre performance individuelle.

Imparfaite techniquement										Parfaite techniquement
--------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------------------------

Qu'avez-vous pensé de cette prise en terme d'intensité émotionnelle ? Jugez la performance du groupe, et pas seulement votre performance individuelle.

Aucune émotion											Très intense émotionnellement
----------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----------------------------------

Qu'avez-vous pensé de cette prise en terme d'énergie ? Jugez la performance du groupe, et pas seulement votre performance individuelle.

Très molle											Très énergique
------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----------------

Évaluez votre sensation de confort personnel durant cette prise :

Très inconfortable											Très confortable
-----------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------------------

FIG 60 : Questionnaire à remplir par les musiciens à l'issue de chaque prise.

d – Protocole expérimental

i – Spécificités de la séance d'enregistrement

- Toutes les prises se feront en condition Live, c'est-à-dire que tous les musiciens enregistreront en même temps, sans re-recording ultérieur.
- Il n'y aura aucun retour sur les prises ni écoutes de ces dernières avant la fin de la séance d'enregistrement.
- Tout au long de la séance d'enregistrement et durant la séance d'écoute à la fin de la journée, les musiciens ne pourront pas communiquer entre eux quant à leurs avis et impressions sur les différentes prises.
- Les prises se feront sans métronome, le tempo et ses variations étant des facteurs objectifs possiblement influencés par la lumière.
- Tous les musiciens seront dans la même pièce afin d'être exposés aux mêmes conditions de lumière.
- Les musiciens ne devront pas consommer de drogues ou psychotropes durant la journée afin de ne pas altérer leur état psychique et physique.

ii – Déroulement de la séance d'enregistrement

L'installation du dispositif de lumière aura lieu la veille de la séance d'enregistrement. Le dispositif de lumière sera fixe, et le changement de condition de lumière se fera simplement par l'ajout de filtres devant les projecteurs.

Deux morceaux seront enregistrés : un morceau principal qui sera celui évalué par les auditeurs ultérieurement, et un morceau secondaire qui permettra aux musiciens de ne pas se lasser du morceau principal.

Matinée

Le rendez-vous est donné à 8h du matin au studio de l'ENS Louis-Lumière.

La matinée sera consacrée à l'installation du matériel (instruments et microphonie) ainsi qu'aux balances. Pour cela, je serai aidé de trois élèves de l'école en section Son qui se chargeront de la prise de son pendant que je me chargerai exclusivement du bon déroulement du protocole expérimental.

À la fin de la matinée, une prise du morceau principal ainsi qu'une prise du morceau secondaire seront réalisées sous la lumière habituelle du studio, le temps que les musiciens s'habituent aux conditions d'enregistrement et si des changements de dispositif de prise de son ou d'écoute sont nécessaires.

Suite à ces deux prises, aucun changement de dispositif de prise de son ou de réglages quelconques (retours des musiciens, gains, réglage d'amplificateur ou de pédale de guitare, accordage des fûts de batterie etc.) ne pourra avoir lieu.

À l'issue de ces deux prises aura lieu la pause repas.

Première partie d'après-midi

Suite à la pause repas, les projecteurs seront allumés durant 20 minutes, sans la présence des musiciens, afin qu'ils chauffent et que la lumière se stabilise. Les projecteurs seront ensuite éteints le temps que les musiciens réalisent une prise du morceau principal en condition de lumière neutre afin de s'échauffer.

D'autre part, cette prise du morceau principal ainsi que celle réalisée le matin serviront de prises de référence pour le test perceptif réalisé ultérieurement.

Après cette prise, on allumera à nouveau les projecteurs et l'on placera les filtres bleus, puis on procédera à une mesure colorimétrique afin de vérifier que les caractéristiques de la lumière sont semblables à celles mesurées la veille.

Durant toutes les phases d'installation de la lumière, il est impératif que les musiciens soient absents du studio.

Suite à cela, 3 prises du morceau principal avec les projecteurs allumés seront enregistrées, dans les conditions suivantes : bleu - achromatique - rouge.

Durant chaque prise, on enregistrera la fréquence cardiaque de Jules, le leader du projet, et on mesurera sa réponse galvanique cutanée directement dans le studio à l'issue de chaque prise.

Entre chaque prise, les musiciens auront 5 minutes de pause dans la régie d'enregistrement. Ils rempliront le questionnaire durant cette pause. Les musiciens ne seront pas autorisés à sortir de la régie, dont la lumière jouera le rôle de référence par rapport à la lumière du studio. En effet, les musiciens n'auront pas la même impression si ils rentrent dans le studio directement depuis la régie sombre ou depuis un extérieur lumineux.

Cette pause permettra également de changer les filtres sur les projecteurs afin de passer à l'autre condition de lumière et de procéder à une mesure colorimétrique de vérification.

Suite à ces trois prises, les musiciens enregistreront une prise du morceau secondaire en condition de lumière neutre.

Les musiciens seront alors autorisés à prendre une pause en extérieur, durant laquelle les projecteurs resteront allumés afin qu'ils ne refroidissent pas.

Deuxième partie d'après-midi

De retour dans le studio, les musiciens enregistreront une autre prise du morceau secondaire en condition de lumière neutre.

On enchaînera ensuite sur les trois dernières prises du morceau principal, dans les conditions de lumière suivante : achromatique - rouge - bleu, et suivant le même protocole qu'en début d'après-midi.

En tout, il y aura donc 8 prises du morceau principal et 3 du morceau secondaire, soit 11 prises au total, ce qui représente un total acceptable avant épuisement des musiciens.

Les musiciens seront alors autorisés à prendre une nouvelle pause en extérieur, durant laquelle les ingénieurs du son créeront une nouvelle session ProTools dans laquelle les prises seront positionnées dans l'ordre suivant : référence (lumière habituelle du studio) - 3 (rouge) - 4 (achromatique) - 1 (bleu) - 6 (bleu) - 2 (achromatique) - 5 (rouge).

Les musiciens écouteront les quatre premières prises nouvellement positionnées, auront le droit à une courte pause afin que leur écoute ne soit pas saturée, puis écouteront les trois dernières prises.

Ils rempliront le questionnaire à la suite de chaque écoute, sans avoir le droit de communiquer entre eux.

3 – Sessions d’écoute

Un extrait d’au plus 2 minutes, représentatif du morceau, sera choisi afin de ne pas créer une lassitude des auditeurs au cours de la session d’écoute.

Le panel d’auditeurs sera constitué majoritairement d’étudiants et d’enseignants à l’École Nationale Supérieure Louis-Lumière.

L’écoute aura lieu dans un lieu unique et sans lumière du jour, au sein de l’ENS Louis-Lumière, afin que ni l’environnement ni les conditions de lumière n’influencent le jugement des auditeurs. Les auditeurs effectueront la session d’écoute un par un.

Un questionnaire préalable (FIG 61) leur sera distribué afin de séparer les auditeurs « novices » des « experts ».

Une fois le questionnaire rempli, les auditeurs seront informés du but du test : « Plusieurs enregistrements d’un même morceau vont vous être présentés. Après l’écoute de chaque enregistrement, nous vous demanderons de donner votre avis et votre ressenti sur l’enregistrement que vous venez d’écouter ».

Ils écouteront en premier lieu les deux prises de référence, enregistrés sous une lumière neutre, afin que la surprise et la découverte du morceau n’influencent pas leur jugement. Ils en seront informés : « Les deux premières écoutes sont destinées à vous faire découvrir le morceau, à vous plonger dans l’ambiance de l’artiste, vous n’aurez pas à les juger ».

Ils écouteront ensuite les six prises dans un ordre aléatoire, différent pour chaque auditeur. Ils auront le droit à une pause suite à la deuxième prise, afin de ne pas saturer leur écoute.

À la suite de l’écoute de chaque prise, ils devront juger leurs émotions et leur ressenti par rapport au morceau sur les items Plaisir et Excitation de l’échelle SAM, ainsi que la qualité globale, la réussite technique, l’intensité émotionnelle et l’énergie du morceau, sur les mêmes échelles que celles utilisées lors de la session d’enregistrement.

À la fin de la séance, ils devront juger leur appréciation globale du morceau, sur la totalité des écoutes, sur une échelle sémantique différentielle à 9 points allant de « J’ai détesté » à « J’ai adoré ».

Ils devront également dire s’ils sont familiers avec le style de musique écouté, sur une échelle à 9 points allant de « Pas du tout familier » à « Très familier ».

4 – Hypothèses

Les hypothèses retenues sont les suivantes :

- La lumière affecte l'interprétation des musiciens. On observera donc des différences significatives de jugement par les auditeurs entre les prises enregistrées sous des conditions de lumière différentes.
- Les musiciens seront le plus excités sous la condition de lumière rouge et seront le moins excités sous la condition de lumière achromatique. Cette excitation sera transmise à travers l'enregistrement : sur l'item Excitation de l'échelle SAM ainsi que sur l'échelle d'énergie du morceau, les auditeurs noteront les prises enregistrées sous la lumière rouge avec les scores les plus élevés et les prises enregistrées sous la lumière achromatique avec les scores les moins élevés.
- Les musiciens ressentiront plus de plaisir sous la condition de lumière bleue que sous les conditions de lumière rouge et achromatique. Cette excitation sera transmise à travers l'enregistrement : sur l'item Plaisir de l'échelle SAM, les auditeurs noteront les prises enregistrées sous la lumière bleue avec les scores les plus élevés.
- Les musiciens auront tendance à jouer le plus rapidement²¹ et le plus fort sous la condition de lumière rouge et le moins rapidement et le moins fort sous la condition de lumière achromatique.
- La réponse galvanique cutanée du chanteur sera la plus élevée sous la condition de lumière rouge et la moins élevée sous la condition de lumière achromatique.²²
- Les musiciens seront moins performants techniquement sous la condition de lumière rouge.²³ Cela pourra s'observer dans le jugement de la performance technique des musiciens par les auditeurs ou par l'analyse de facteurs objectifs (justesse, précision rythmique etc.).
- Les musiciens seront moins performants techniquement s'ils sont fortement stressés.²⁴

²¹ Voir partie II-D-2

²² Voir partie II-A-2-c

²³ Voir partie II-E-1

²⁴ Voir partie II-F-2

À quelle fréquence écoutez-vous de la musique au quotidien ?

Très occasionnellement											Très fréquemment
------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------------------

Dans quelle condition écoutez-vous de la musique ?

Toujours en faisant autre chose (ménage, travail, réseaux sociaux...)											Toujours de façon très attentive, sans rien faire d'autre
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---

Pratiquez-vous un instrument de musique, si oui lequel?

.....

Le cas échéant, à quelle fréquence pratiquez-vous votre instrument ?

Très occasionnellement	1h/semaine	2h/semaine	3h/semaine	4h/semaine	Plus de 4h/semaine

Avez-vous une autre activité liée à la musique ? (ingénierie du son, danse, DJing, photographie de concerts, réalisation de clips...). Soyez le plus précis possible.

.....
.....

Le cas échéant, cette activité est :

Très occasionnelle											Très fréquente
--------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----------------

Avez-vous déjà joué de la musique en groupe (ou en orchestre) ?

Je n'ai jamais joué de musique en groupe											J'ai très souvent joué de la musique en groupe
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

À quel point diriez-vous que la musique est importante et nécessaire dans votre vie ?

La musique n'a aucune importance pour moi											Je ne pourrais pas vivre sans musique
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---------------------------------------

FIG 61 : Questionnaire permettant de séparer les auditeurs « novices » des auditeurs « experts »

LEXIQUE

Analyse en composantes principales (ACP) : Elle consiste à transformer des variables corrélées entre elles en de nouvelles variables non corrélées entre elles.

Parmi les différentes variables non corrélées obtenues, on garde celles pour lesquelles on obtient le plus grand pourcentage de variance expliquée. Un pourcentage de variance expliquée totale supérieure à 50% pour les variables non corrélées retenues est considéré comme bon.

L'analyse en composantes principales permet de réduire sensiblement le nombre de variables.

Coefficient de fiabilité interne (coefficient α de Cronbach) : Il indique à quel point les items d'un test mesurent la même dimension. Le coefficient α est situé entre 0 (aucun lien entre l'item et la dimension) et 1 (lien parfait entre l'item et la dimension). Le coefficient α est considéré comme bon à partir de 0.7.

Pourcentage de variance expliquée : C'est le pourcentage de l'information définie par les variables corrélées que l'on peut définir par les variables non corrélées retenues lors d'une analyse en composantes principales. Le pourcentage total de variance expliquée est égal à la somme des pourcentages de variance expliquées respectifs de chaque dimension.

Échelle sémantique différentielle : Échelle de mesure dans laquelle un item est mesuré sur n points (n étant un entier impair) séparant deux termes en opposition, le point milieu correspondant à un non-choix entre les deux termes.

Variable indépendante : Les variables indépendantes sont les variables fixées par l'expérimentateur.

Variable dépendante : Les variables dépendantes sont les variables qui dépendent du sujet (réponses à un questionnaire, rythme cardiaque...).

Interaction : Lorsque l'effet d'une variable indépendante sur une variable dépendante diffère selon l'état d'une ou plusieurs autres variables indépendantes, on parle d'interaction entre les variables indépendantes.

Exemple (fictif) : Variable indépendante A = Quantité de jus d'orange
Variable indépendante B = Période de la journée
Variable dépendante = Excitation du sujet

Le matin, l'excitation augmente avec la quantité de jus d'orange bue par le sujet.

Le soir, l'excitation diminue avec la quantité de jus d'orange bue par le sujet.

On dit alors qu'il y a une interaction Quantité de jus d'orange X Période de la journée.

Résultat significatif : Pour savoir si le résultat d'une mesure statistique est valide, on fixe une valeur p_0 (généralement de 0.05 ou 0.01) qui définit la précision souhaitée du résultat. Pour tout résultat, on obtient une valeur p .

Si $p \leq p_0$, le résultat est considéré comme significatif, c'est-à-dire valide.

Si $p > p_0$, le résultat est considéré comme non significatif.

p définit la probabilité que le résultat soit invalide : si $p = 0.01$, il y a 1% de probabilité que le résultat soit invalide, c'est-à-dire qu'il soit dû au hasard, et 99% de probabilité qu'il soit valide.

BIBLIOGRAPHIE

AINSWORTH, RA., SIMPSON, L. & CASSELL, D. (1993), « Effects of Three Colors in an Office Interior on Mood and Performance », in *Perceptual and Motor Skills*, vol. 76, n°1, pp. 235-241

BARGH, JA. & CHARTRAND, TL. (1999), « The unbearable automaticity of being », in *American Psychologist*, vol. 54, pp. 462-479

BAUMEISTER, RF., DEWALL, CN., VOHS, KD. & ALQUIST, JL. (2010), « Does Emotion Cause Behavior (Apart from Making People Do Stupid, Destructive Things) », in AGNEW, CR., CARLSTON, DE., GRAZIANO, WG. & KELLY, JR. (Eds.), *Then a Miracle Occurs : Focusing on Behavior in Social Psychological Theory and Research*, Oxford University Press, New York

BELLAICHE, P. (2013), *Les secrets de l'image vidéo*, 9^{ème} édition, Eyrolles, Paris

BIRNEY, RC., BURDICK, H. & TEEVAN, RC. (1969), *Fear of Failure*, Van Nostrand Reinhold, New York

BOUILLOT, R. (2012), *Guide pratique de l'éclairage*, 4^{ème} édition, Dunod, Collection Audio-Photo-Vidéo, Paris

BRADLEY, MM. & LANG, PJ. (1994), « Measuring Emotion: The Self-Assessment Manikin and the Semantic Differential », in *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, vol. 25, n°1, pp. 49-59

CACIOPPO, JT., GARDNER, WL. & BERNTSON, GG. (1999), « The affect system has parallel and integrative processing components : Form follows function », in *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 76, pp. 839-855

CANNON, WB. (1927), « The James-Lange theory of emotions: a critical examination and an alternative theory », in *The American Journal of Psychology*, vol. 39, pp. 106-124

CANNON, WB. (1929), *Bodily Changes in Pain, Hunger, Fear and Rage*, 2^{ème} édition, Appleton, New York

CANTOR, JR., ZILLMANN, D. (1973), « The Effect of Affective State and Emotional Arousal on Music Appreciation », in *The Journal of General Psychology*, vol. 89, n°1, pp. 97-108

CHANOUFF, A. (2006), *Les émotions : une mémoire individuelle et collective*, Mardaga, Bruxelles

COX, RH., MARTENS, MP. & RUSSELL, WD. (2003), « Measuring Anxiety in Athletics : The Revised Competitive State Anxiety Inventory-2 », in *Journal of Sport and Exercise Psychology*, vol. 25, n°4, pp. 519-533

CUNNINGHAM, M. (1979), « Weather, mood, and helping behavior : Quasi experiments with the sunshine Samaritan », in *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 37, pp. 1947-1956

- D'ANDRADE, R. & EGAN, M. (1974), « The colors of emotion », in *American Ethnologist*, vol. 1, n°1, pp. 49-63
- DETANBER, BH., SIMONS, RF. & REISS, JE. (2000), « The Emotional Significance of Colors in Television Presentation », in *Media Psychology*, vol. 2, pp. 331-355
- DETANDT, S., LEYS, C. & BAZAN, A. (2017), « A French Translation of the Pleasure Arousal Dominance (PAD) Semantic Differential Scale for the Measure of Affect and Drive », in *Psychologica Belgica*, vol. 57, n°1, pp. 17-31
- DUPONT, D. & STEEN, D. (2004), « Colorimétrie - Éléments théoriques » [article en ligne], Techniques de l'ingénieur, consulté le 01/06/2020
URL : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mesures-analyses-th1/la-science-au-service-de-l-art-et-du-patrimoine-42579210/>
- EASTERBROOK JA. (1959) « The effect of emotion on cue utilization and the organization of behavior », in *Psychological Review*, vol. 66, pp. 183-201
- ELLIOT, AJ. & MCGREGOR, HA. (1999), « Test anxiety and the hierarchical model of approach and avoidance achievement motivation », in *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 70, pp. 461-475
- ELLIOT, AJ. (2005), « A conceptual history of the achievement goal construct », in A. ELLIOT & C. DWECK (Eds.), *Handbook of competence and motivation* (pp. 52-72), Guilford Press, New York
- ELLIOT, AJ., MAIER, MA., MOLLER, AC., FRIEDMAN, R. & MEINHARDT, J. (2007), « Color and psychological functioning : The effect of red on performance attainment », in *Journal of Experimental Psychology*, vol. 136, n°1, pp. 154-168
- GAO, XP., XIN, JH., SATO, T., HANSUEBSAI, A., SCALZO, M., KAJIWARA, K., GUAN, SS., VALLDEPERAS, J., LIS, MJ., BILLGER, M. (2007) « Analysis of cross-cultural color emotion » in *Color Research & Application*, vol. 32, n°3, pp. 223-229
- GOLDSTEIN, K. (1942) « Some experimental observations concerning the influence of colors on the function of the organism », in *Occupational Therapy and Rehabilitation*, vol. 21, pp. 147-151
- HUNT, JM., COLE, MW. & REIS, EC. (1958), « Situational cues distinguishing anger, fear, and sorrow », in *The American Journal of Psychology*, vol. 71, pp. 136-151
- JACOBS, KW. & SUESS, JF. (1975), « Effects of Four Psychological Primary Colors on Anxiety State » in *Perceptual and Motor Skills*, vol. 41, n°1, pp. 207-210
- JAMES, W. (1890), *The Principles of Psychology*, Holt, New York
- KAISER, PK. (1984), « Physiological response to color: A critical review », in *Color Research & Application*, vol.9, n°1, pp. 29-36

- KNEZ, I. (2001), « Effects of colour of light on nonvisual psychological processes », in *Journal of Environmental Psychology*, vol. 21, n°2, pp. 201-208
- KÜLLER, L., BALLAL, S., LAIKE, T., MIKELLIDES, B. & TONELLO, G. (2006), « The impact of light and colour on psychological mood : a cross-cultural study of indoor work environments », in *Ergonomics*, vol. 49, n°14, pp. 1496-1507
- LANG, P.J., GREENWALD, M.K., BRADLEY, M.M. & HAMM, A.O. (1993) « Looking at pictures: Affective, facial, visceral, and behavioral reactions » in *Psychophysiology*, vol 30, n°3, pp. 261-273
- LARROUY-MAESTRI, P. & MORSOMME, D. C (2014), « The Effects of Stress on Singing Voice Accuracy », in *Journal of Voice*, vol.28, n°1, pp. 52-58
- MANUCIA, G.K., BAUMANN, D., CIALDINI, R.B. (1984), « Mood influences on helping : Direct effects or side effects », in *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 46, n°2, pp. 357-364
- MAUSS, I.B. & ROBINSON, M.D. (2009), « Measures of emotion, a review », in *Cognition & Emotion*, vol.23, n°2, pp 209-237
- MEHRABIAN, A. & RUSSELL, J. (1974), *An approach to environmental psychology*, The Massachusetts Institute of Technology Press, Cambridge, Massachusetts, Etats-Unis
- MEHRABIAN, A. & RUSSELL, J. (1977), « Evidence for a Three-Factor Theory of Emotions », in *Journal of Research in Personality*, vol. 11, n°3, pp. 273-294
- MEHRABIAN, A. (1978), « Measures of individual differences in temperament », in *Educational and Psychological Measurement*, vol.38, pp. 1105-1117
- OBERFELD, D. & WILMS, L. (2015), *Effects of color on emotion : Evidence from self-report ratings and physiological measures*, Conference of the International Society for Research on Emotion, Genève, Suisse
- OBERFELD, D. & WILMS, L. (2018) « Color and emotion: effects of hue, saturation, and brightness » in *Psychological Research*, vol. 82, n°5, pp. 896-914
- OU, L.C., LUO, M.R., WOODCOCK, A. & WRIGHT, A. (2004), « A study of colour emotion and colour preference. Part I: Colour emotions for single colours » in *Color Research & Application*, vol. 29, n°3, pp. 232-240
- PALMER, S.E., SCHLOSS, K.B., XU, Z., PRADO-LEON, L.R. (2013), « Music-color associations are mediated by emotion », in *PNAS*, vol. 110, n°22, pp. 8836-8841
- RUCKMICK, C.A. (1936), *The Psychology of Feeling and Emotion*, McGraw-Hill, New York
- SCHACHTER, S. (1959), *The Psychology of Affiliation*, Stanford University Press, Stanford, California

- SCHACHTER, S. (1960), « The interaction of cognitive and physiological determinants of emotional state », in L. Berkowitz (Ed.), *Advances in Experimental Psychology I*, Academic Press, New York
- SUK, HJ. & IRTEL, H. (2010), « Emotional response to color across media », in *Color Research & Application*, vol. 35, n°1, pp. 64-77
- VALDEZ, P. & MEHRABIAN, A. (1994), « Effects of color on emotions », in *Journal of Experimental Psychology : General*, vol.123, n°4, pp. 394-409
- WATSON, D., CLARK, LA. & TELLEGEN, A. (1988), « Development and validation of brief measures of positive and negative affect: The PANAS scales », in *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 54, n°6, pp. 1063-1070
- WATT SMITH, T. (2019), *Le dictionnaire des émotions*, Zulma, Paris
- WRIGHTSMAN, LS. (1960), « Effects of waiting with others on changes in level of felt anxiety », in *The Journal of Abnormal and Social Psychology*, vol.61, n°2, pp. 216-222
- YILDIRIM, K., AKALIN-BASKAYA, A. & HIDAYETOGLU, ML. (2007), « Effects of indoor color on mood and cognitive performance », in *Building and Environment*, vol. 42, n°9, pp. 3233-3240
- ZHU, Y., YANG, M., YAO, Y., XIONG, X., LI, X., ZHOU, G. & MA, N. (2017), « Effects of Illuminance and Correlated Color Temperature on Daytime Cognitive Performance, Subjective Mood, and Alertness in Healthy Adults », in *Environment and Behavior*, vol. 51, n°2, pp. 199-230

SOURCES DES ILLUSTRATIONS

FIG 1 : D'après www.schoolmouv.fr

URL : <https://www.schoolmouv.fr/cours/spectres-d-emission-et-spectres-d-absorption/fiche-de-cours>

FIG 2 : D'après www.123couleurs.fr

URL : <https://www.123couleurs.fr/articles/lumierebleue/>

FIG 3 : D'après www.kartable.fr

URL : <https://www.kartable.fr/ressources/physique-chimie/cours/concentration-et-couleur-dune-solution/50735>

FIG 4 : D'après slideplayer.fr

URL : <https://slideplayer.fr/slide/17556559/>

FIG 5 : D'après www.colorimetrie.be

URL : https://www.colorimetrie.be/chapter/analyse_couleur/couleurs-metameres-et-isomeres

FIG 6 : D'après www.pinterest.co.uk

URL : <https://www.pinterest.co.uk/pin/442900944596290003>

FIG 7 : D'après www.linkedin.com

URL : <https://www.linkedin.com/pulse/propos-du-m%C3%A9tam%C3%A9risme-des-couleurs-de-surface-dominique-billard>

FIG 8 : D'après fr.wikipedia.org

URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/Efficacit%C3%A9_lumineuse_spectrale

FIG 9 : D'après www.blog-couleur.com

URL : <http://www.blog-couleur.com/?qu-est-ce-que-la-luminosite-95>

FIG 10 : D'après www.ecrirepourleweb.com

URL : <https://www.ecrirepourleweb.com/des-sites-en-couleurs/>

FIG 11 : D'après e-cours.univ-paris1.fr

URL : <https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uvd/envcal/html/compositions-colorees/representations-couleur/systemes-materiels/rgb.html>

FIG 12 : D'après fr.wikipedia.org (diagramme vierge)

URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/CIE_xy

Modifiée par le mémorant sous Libre Office Draw.

FIG 13 : D'après fr.wikipedia.org
URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/CIE_xy
Modifiée par le mémorant sous Libre Office Draw

FIG 14 : D'après fr.wikiversity.org
URL : https://fr.wikiversity.org/wiki/Colorim%C3%A9trie/CIE_Yxy

FIG 15 : D'après commons.wikimedia.org
URL : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CRT_and_LCD_Gamut.jpg

FIG 16 : D'après fr.wikipedia.org
URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/Nuancier_de_Munsell

FIG 17 : D'après munsell.com
URL : <https://munsell.com/wp-content/uploads/2014/03/atlas-munsell-color.pdf>

FIG 18 : D'après fr.wikipedia.org
URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/L*a*b*_CIE_1976

FIG 19 : D'après fr.wikipedia.org
URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/L*a*b*_CIE_1976

FIG 20 : D'après sensing.konicaminolta.asia
URL : <https://sensing.konicaminolta.asia/what-is-cie-1976-lab-color-space/>

FIG 21 : D'après www.researchgate.com
URL : https://www.researchgate.net/publication/282253110_Couleur_et_choix_de_la_t_einte_en_Odontologie

FIG 22 : Réalisée par le mémorant sous Mathematica

FIG 23 : Réalisée par le mémorant sous Microsoft Word à partir des données de Valdez et Mehrabian (1974)

FIG 24 : Réalisée par le mémorant sous Microsoft Word à partir des données de Detandt *et al.* (2017)

FIG 25 : D'après www.semanticscholar.org
URL : [https://www.semanticscholar.org/paper/Emotion-analysis-using-SAM-\(Self-Assessment-scale-Geethanjali-Adalarasu/f5e12ce391f7598136cb8aae6df638c1a813be27](https://www.semanticscholar.org/paper/Emotion-analysis-using-SAM-(Self-Assessment-scale-Geethanjali-Adalarasu/f5e12ce391f7598136cb8aae6df638c1a813be27)

FIG 26 : D'après Lang *et al.* (1993)

FIG 27 : D'après Lang *et al.* (1993)

FIG 28 : D'après Lang *et al.* (1993)

FIG 29 : D'après Lang *et al.* (1993)

FIG 30 : D'après Suk et Irtel (2010)

FIG 31 : Réalisée par le mémorant sous Microsoft Word à partir des données de Suk et Irtel (2010)

FIG 32 : Réalisée par le mémorant sous Desmos à partir des données de Valdez et Mehrabian (1994)

FIG 33 : D'après Oberfeld et Wilms (2015)

FIG 34 : Réalisée par le mémorant sous Desmos à partir des données de Valdez et Mehrabian (1994)

FIG 35 : D'après Oberfeld et Wilms (2015)

FIG 36 : Réalisée par le mémorant sous Microsoft Excel à partir des données de Suk et Irtel (2010)

FIG 37 : Réalisée par le mémorant sous Microsoft Excel à partir des données de Suk et Irtel (2010)

FIG 38 : D'après Valdez et Mehrabian (1994)

FIG 39 : D'après Suk et Irtel (2010)

FIG 40 : D'après Valdez et Mehrabian (1994)

FIG 41 : D'après Oberfeld et Wilms (2015)

FIG 42 : D'après Valdez et Mehrabian (1994)

FIG 43 : Réalisée par le mémorant sous Desmos à partir des données de Valdez et Mehrabian (1994)

FIG 44 : D'après Oberfeld et Wilms (2015)

FIG 45 : Réalisée par le mémorant sous Microsoft Excel à partir des données de Suk et Irtel (2010)

FIG 46 : Réalisée par le mémorant sous Microsoft Excel à partir des données de Suk et Irtel (2010)

FIG 47 : D'après Valdez et Mehrabian (1994)

FIG 48 : D'après Suk et Irtel (2010)

FIG 49 : D'après Valdez et Mehrabian (1994)

FIG 50 : D'après Valdez et Mehrabian (1994)

FIG 51 : Réalisée par le mémorant sous Desmos à partir des données de Valdez et Mehrabian (1994)

FIG 52 : D'après Valdez et Mehrabian (1994)

FIG 53 : D'après Palmer *et al.* (2013)

FIG 54 : D'après Palmer *et al.* (2013)

FIG 55 : D'après Elliot *et al.* (2007)

FIG 56 : D'après Zhu *et al.* (2017)

FIG 57 : D'après Larrouy-Maestri et Morsomme (2014)

FIG 58 : D'après Larrouy-Maestri et Morsomme (2014)

FIG 59 : Données transmises par email par Daniel Oberfeld et Lisa Wilms

FIG 60 : Réalisée par le mémorant sous Microsoft Word

FIG 61 : Réalisée par le mémorant sous Microsoft Word