

masterclass  TSF

COMMENT UTILISER UN SPECTROMÈTRE EN TOURNAGE



Uptrek
MK350S



Sekonic
C700

AVEC

- François ROGER (Ciné Lumière de Paris)
- Benoît GUEUDET (Directeur Photo)
- Danys BRUYERE (TSF)

Les spectrophotomètres

- **L'incandescence**
Spectre continu, le thermocolorimètre
- **La luminescence**
Spectre de raies
- **Mesurer et représenter l'aspect qualitatif de la lumière**
- **Le spectrophotomètre**
appareil de mesure adapté à tout type de lumière
- **Les projecteurs, définir leur colorimétrie**

LA LUMIERE

D'où vient la lumière ? D'un rayonnement.

La lumière est une forme d'énergie.

Pour créer de la lumière, il faut au préalable apporter une autre forme d'énergie qui sera la chaleur ou l'excitation d'atomes .

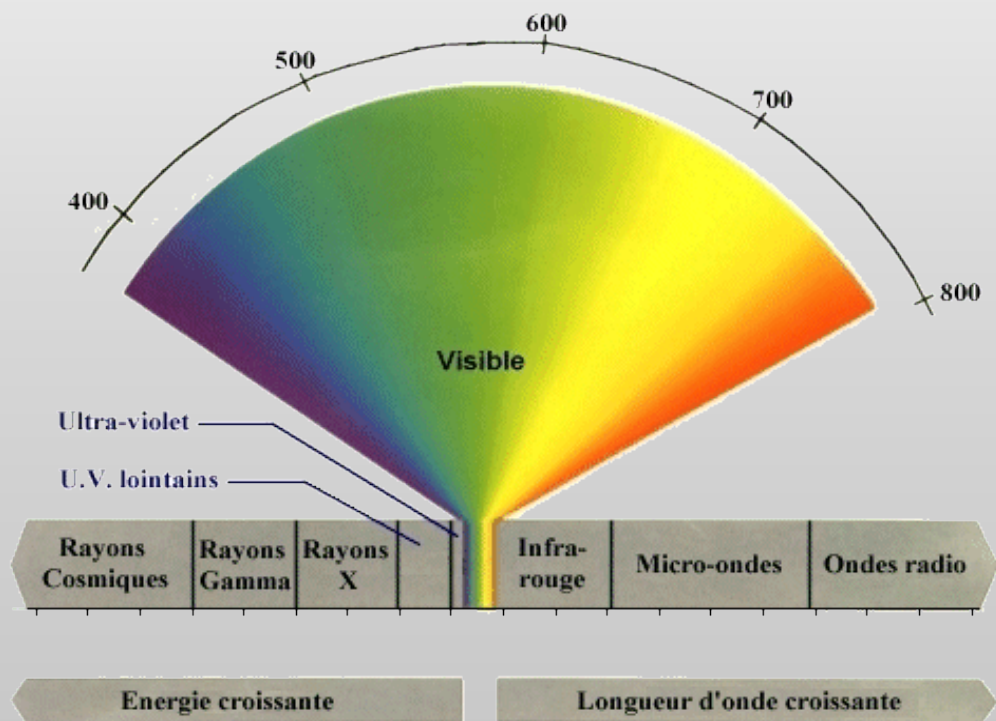
Cela sera l'incandescence ou la luminescence. En effet tout corps, qu'il soit solide, liquide ou gazeux, soumis à un changement de niveau d'énergie, produit un rayonnement dû à l'excitation des atomes et des molécules qui le composent.

LA LUMIERE les sources incandescentes

Une façon de produire de la lumière : la chaleur sur un corps dense.

Un corps chauffé émet de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique.

En incandescence, le spectre des radiations émises est continu.



Le rayonnement thermique se déplace vers les courtes longueurs d'ondes quand la température du corps augmente.

LA LUMIERE, les sources incandescentes

Les radiations visibles, un spectre continu



Ensembles des radiations électromagnétiques dont la longueur d'onde est comprise entre 400 et 750 nm



Nanomètres	Couleur
700	Rouge
615	Rouge-orangé
590	Orange
578	Jaune
565	Vert-Jaune
508	Vert
492	Bleu-vert
484	Bleu
475	Bleu pourpre
400	Violet

1 nanomètre = 1 millimicron = 10^{-9} m
= 0,000 000 001 m

LA LUMIERE, source incandescente

Le corps noir, lois de Planck

Les physiciens appellent *corps noir* celui qui absorbe intégralement les radiations reçues.

Ce corps noir peut émettre de la lumière qui va dépendre de sa température.

Heureusement, il est possible de construire un corps noir presque parfait.

Construisons une boîte faite d'un matériau conduisant la chaleur, comme le métal.

La boîte doit être complètement fermée sur tous les côtés, de telle manière que l'intérieur forme une cavité qui ne reçoit pas de lumière de l'extérieur. Puis, faisons un tout petit trou quelque part sur la boîte. La lumière sortant de ce trou ressemblera presque parfaitement à la lumière émise par un corps noir parfait pour la température de l'air qui se trouve à l'intérieur.

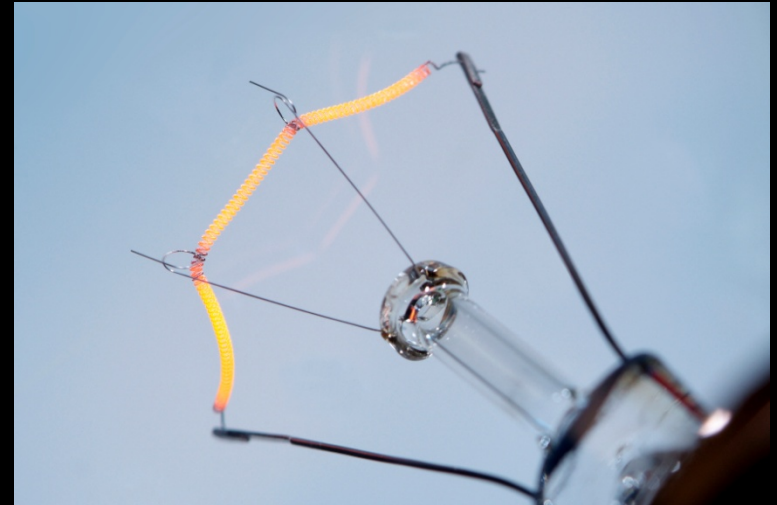


LA LUMIERE les sources incandescentes

La température de couleur

Valeurs Kelvins

Pour les corps incandescents, il y a un rapport constant entre la température du corps chauffé et la composition de la lumière qu'il émet.



Ainsi le filament de tungstène utilisé dans les lampes à incandescence a une couleur caractéristique de sa température. A faible température, il est rouge-orangé, puis jaune puis blanc.

La température en Kelvin n'est autre que la température exprimée en degré absolu, c'est-à-dire à partir du zéro absolu.

Par exemple,

1 000K correspondent à : $1000 - 273 = 727^{\circ}\text{C}$ (degrés Celsius)

LA LUMIERE, source incandescente

Le corps noir, lois de Planck

La loi de Planck donne **la répartition suivant la longueur d'onde** du flux émis F_{emi} d'un corps noir à la température T .



Dans un petit intervalle de longueur d'onde, le flux émis F_{emi} a l'expression suivante :

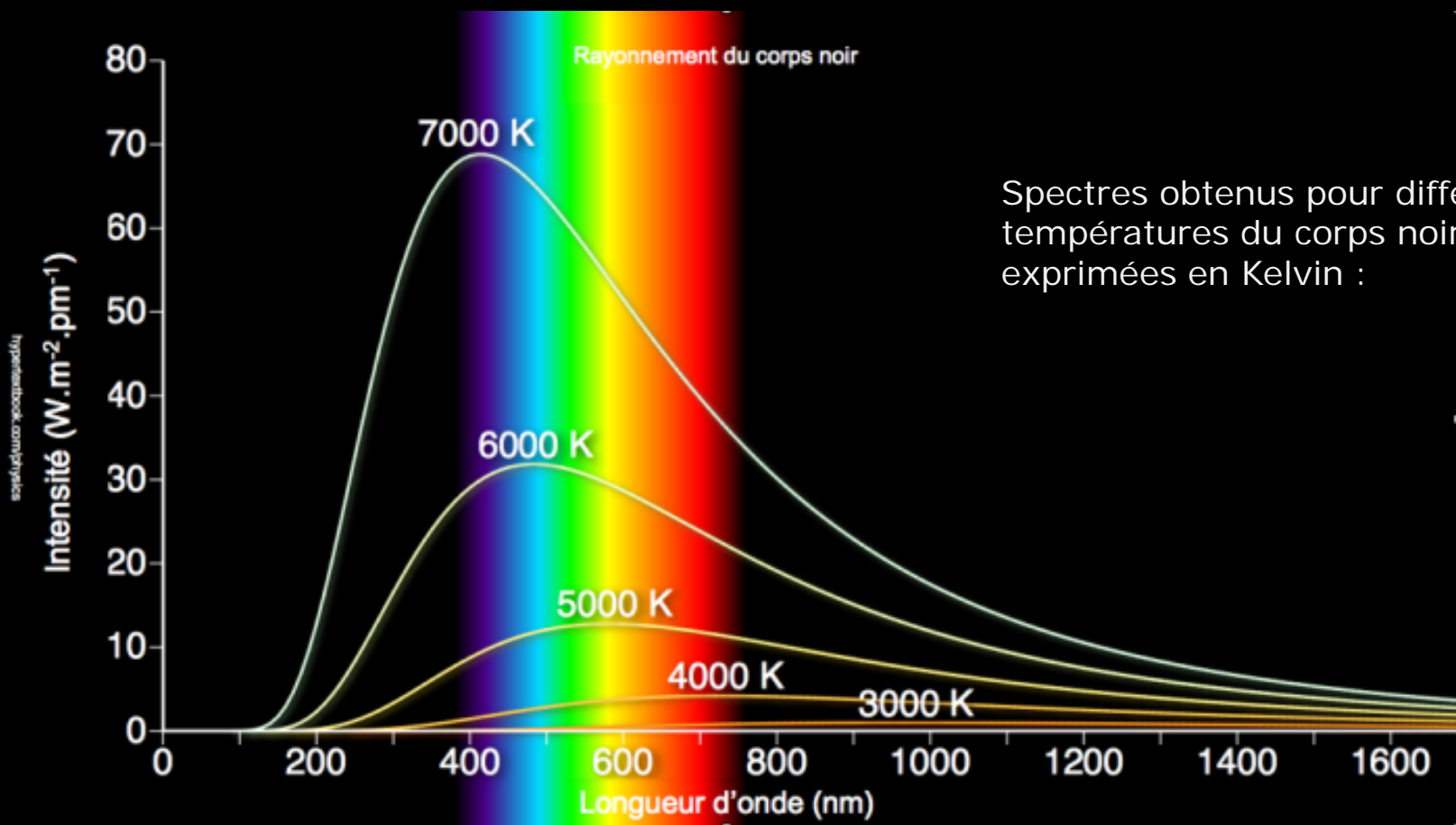
$$dF_{emi}^{CN} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp \frac{hc}{k_B \lambda T} - 1} d\lambda$$

$h = 6.63 \cdot 10^{-34}$ (constante de Planck)
 $k_B = 1.38 \cdot 10^{-23}$ (constante de Boltzmann)
 $c = 3.00 \cdot 10^8$ m/s vitesse de la lumière
 λ = longueur d'onde.
 T : Température du corps opaque.

LA LUMIERE, source incandescente

Spectre continu

La température de couleur



Spectres obtenus pour différentes températures du corps noir, exprimées en Kelvin :

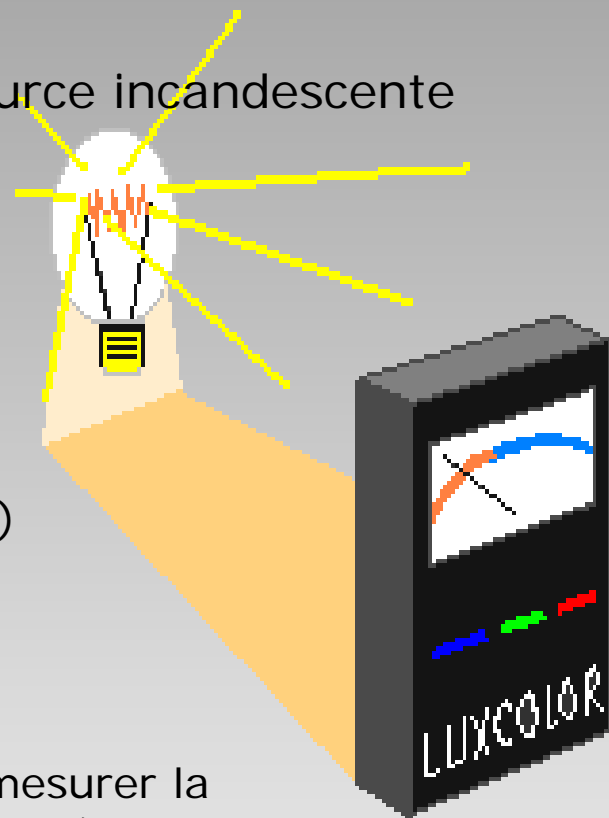
LA LUMIERE, les appareils de mesure d'une source incandescente

La température de couleur

Le thermcolorimètre

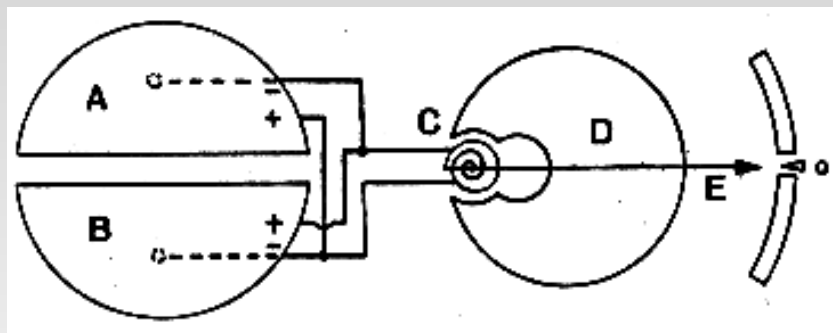
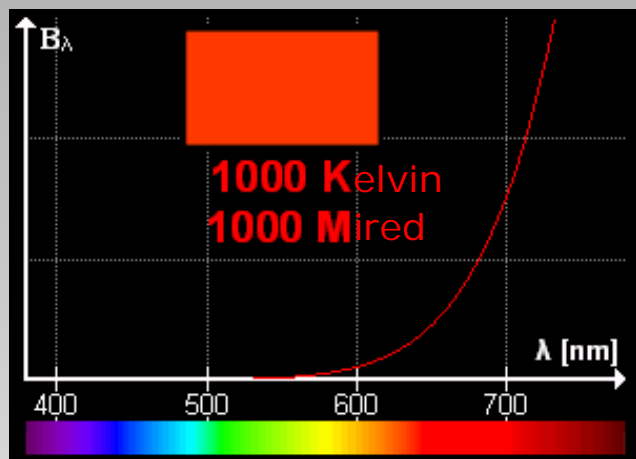
Le thermocolorimètre photographique se réfère à un spectre continu idéal (courbe de Planck du corps noir) en analysant simplement la proportion de bleu et de rouge du spectre.

Bien que les thermocolorimètres soient capables de mesurer la température de couleur de sources à *spectre discontinu* (telles que les tubes fluorescents ou les lampes HMI), nous verrons dans la suite de l'exposé que les valeurs obtenues ne seront pas nécessairement très précises et même parfois hasardeuses. C'est pourquoi **il est recommandé de ne pas mesurer la température de couleur de la lumière émise par une lampe à décharge ou par une LED.**



LA LUMIERE, les appareils de mesure d'une source incandescente

Le thermocolorimètre



- A – Cellule sensible au rouge
- B – Cellule sensible au bleu
- C – Ressort du galvanomètre
- D - Galvanomètre
- E - Aiguille



LA LUMIERE, les appareils de mesure d'une source incandescente

La température de couleur

Le thermocolorimètre

Le thermocolorimètre Sekonic SE C 500 est équipé de capteurs adaptés à la fois au NUMERIQUE et au FILM . Il donne également une mesure en LUX. Le PRODIGICOLOR C-500 analyse la couleur de la même manière que les capteurs CCD / CMOS.

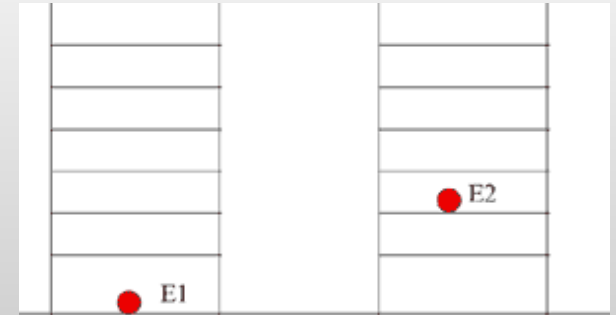
CARACTERISTIQUES

- ❖ 4 CAPTEURS en silicium
 - 2 capteurs : BLEU - VERT communs aux 2 types de support (Numérique/argentique)
 - 2 capteurs ROUGE : Rd (Rouge pour le numérique)
Rf (Rouge pour l'argentique / film)
- ❖ Valeurs données en : Kelvin et index CC , valeur de filtre Kodak Wratten, Fuji LBA/LBB et CC, index LB en MK^{-1} et CC
- ❖ Plage de mesure : 2300 à 20 000K
- ❖ Mesure d'éclairement (lumière continue) en Lux et Footcandle
- ❖ Plage de mesure : 2,5 à 610 000 lux.



LA LUMIERE

Une autre manière de produire de la lumière : l'excitation des atomes.



Les électrons qui se trouvent autour des noyaux des atomes ont chacun une énergie bien définie, on parle de "**niveau d'énergie**".

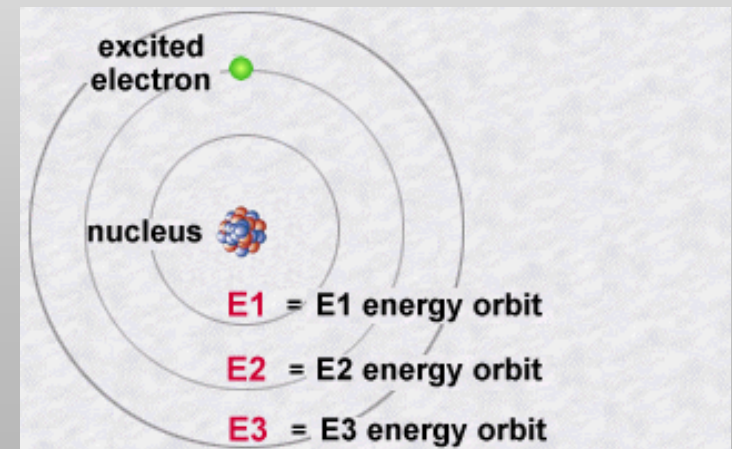
Les électrons se placent sur l'équivalent des barreaux d'une échelle d'énergie: ils ne peuvent pas être entre deux barreaux...

Par exemple, pour faire passer l'électron de l'état de gauche à celui de droite, il faut lui fournir de l'énergie (**chaleur, choc, lumière...**). Mais il va vite vouloir redescendre à l'état le plus stable, il retombe alors, en libérant cette fois de l'énergie, la même quantité qu'il lui en avait fallu pour monter.

LA LUMIERE

L'excitation des atomes.

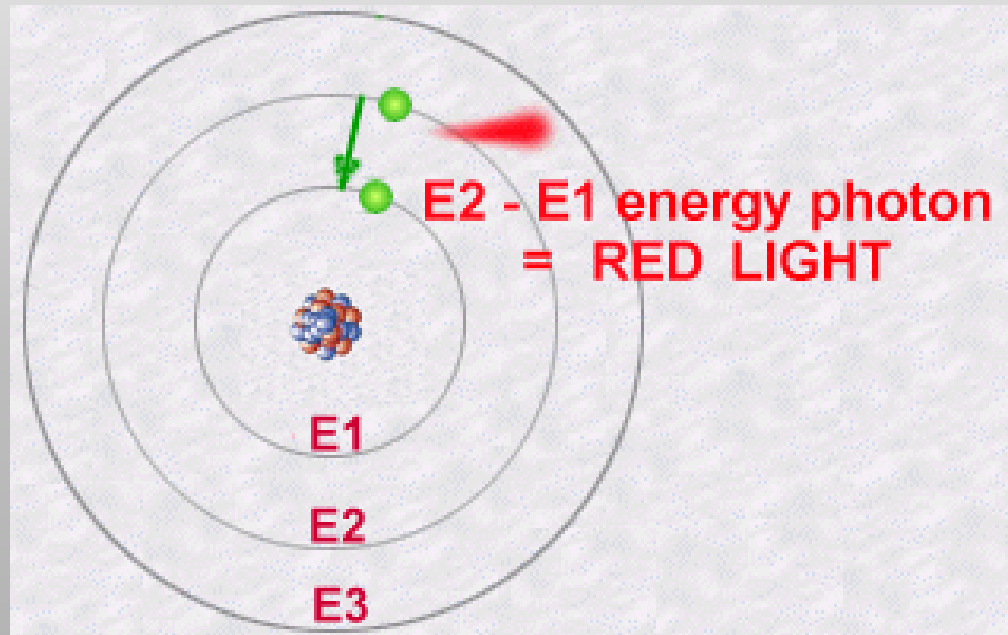
Donc, si un atome émet de la lumière, c'est parce qu'il libère des photons ayant exactement l'énergie correspondante au passage d'un niveau à l'autre.



Le retour ultérieur de cet électron à sa position primitive s'accompagne de l'émission d'un **photon** dont le **quantum** correspond précisément à la **transition** effectuée.

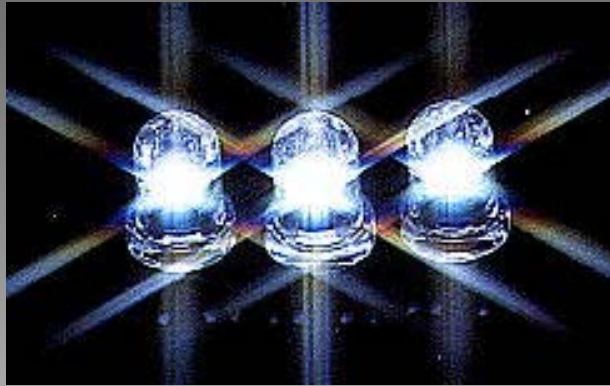
LA LUMIERE

L'excitation des atomes.



Un électron qui fait un saut plus grand d'une orbite à l'autre va émettre un photon de plus grande énergie qui correspond à une fréquence plus élevée.

LA LUMIERE, la luminescence



On appelle **luminescence** l'émission de tout rayonnement électromagnétique visible qui n'est pas d'origine purement thermique.

Le phénomène de luminescence se décompose toujours au moins en deux phases : l'excitation du système électronique de la substance et sa désexcitation au cours de laquelle l'émission lumineuse se produit.

Excitation et émission peuvent être séparées par des phases intermédiaires, ce qui conduit en particulier à distinguer deux types d'émission lumineuse : la **fluorescence** lorsque l'émission suit presque instantanément l'excitation (t de l'ordre de 10^{-8} s) et la **phosphorescence** quand l'émission persiste au bout d'un temps plus long (t pouvant aller de la fraction de seconde à plusieurs jours).

LA LUMIERE , la luminescence

La luminescence produite par l'absorption de photons ultraviolets ou visibles est appelée **photoluminescence**.

La photoluminescence a de nombreuses applications, notamment pour les revêtements internes des **tubes fluorescents**.

On appelle **électroluminescence** l'émission de lumière produite par l'application d'un champ électrique à certaines substances luminescentes (**diodes luminescentes LED, tubes néon**).



LA LUMIERE, la luminescence

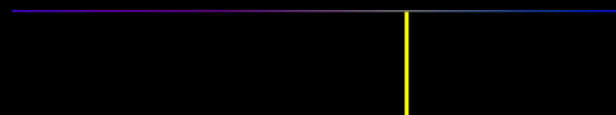
Nature de la lumière émise

Spectre de raies ou discontinu

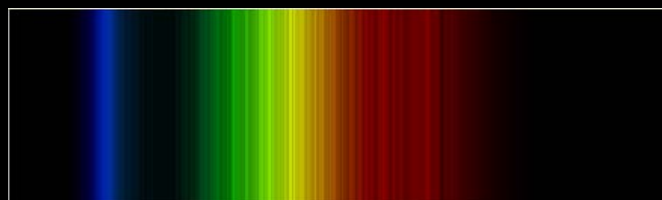
Les lumières à spectre de raies: la lumière ne comporte qu'un nombre limité de radiations de longueurs d'onde parfaitement déterminées.
C'est le cas de la lumière émise par **les lampes à décharge et les LED.**



Lampe à vapeur de mercure



Lampe à vapeur de sodium



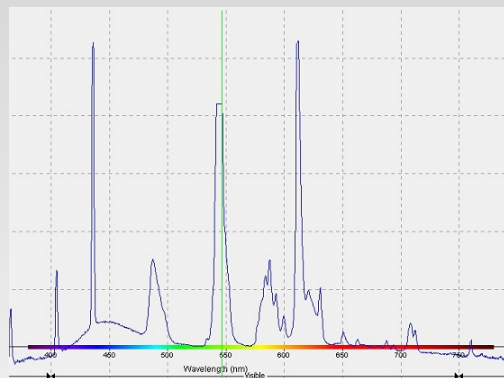
Spectre discontinu d'une LED

LA LUMIERE, La luminescence

Température de couleur proximale

Dans le cas des lampes à incandescence, l'équivalence est très facile à trouver, car le spectre d'un filament est très proche de celui du corps noir.

Pour les sources lumineuses, comme les tubes fluorescents, les lampes HMI ou les LED le spectre comporte des raies importantes et la corrélation avec l'émission du corps noir est presque impossible à trouver.



Dans ce cas, on donne une température de couleur indicative qui **correspond à une sensation équivalente pour l'œil** : c'est la *température de couleur proximale (ou CCT, température de couleur corrélée)* .

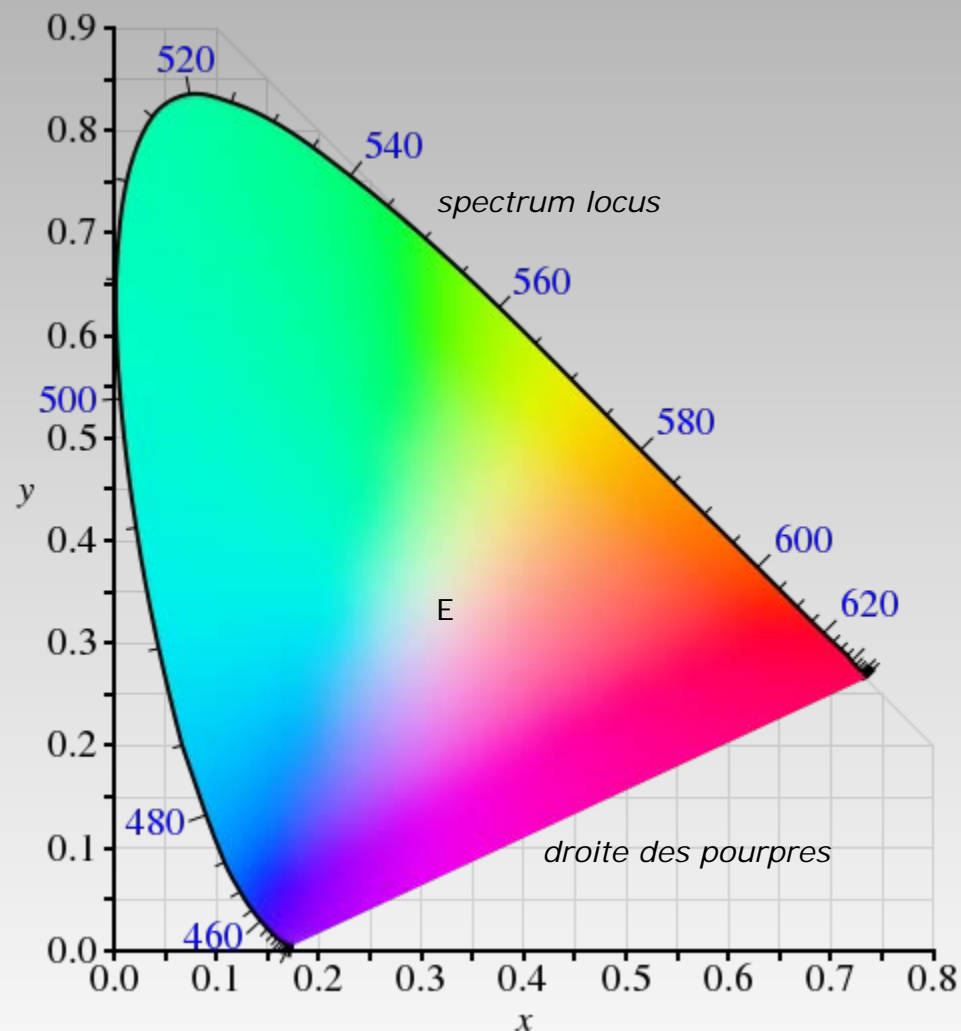
LA LUMIERE, aspect qualitatif

Espace CIE 1931

Le diagramme, dans le plan (x,y) , représente toutes les chrominances des couleurs perceptibles. Le point représentatif d'une couleur réelle est situé entre la courbe en forme de fer à cheval, nommée *spectrum locus* (ou *lieu du spectre*), et la *droite des pourpres*, qui joint les deux extrémités.

Le **lieu du spectre** représente l'ensemble des couleurs pures : elles sont définies physiquement comme des ondes électromagnétiques monochromatiques dans le domaine du visible. Visuellement, ces couleurs saturées à 100 % vont du violet extrême au rouge extrême : ce sont des couleurs spectrales, elles pourraient être obtenues par dispersion de la lumière solaire (arc-en-ciel).

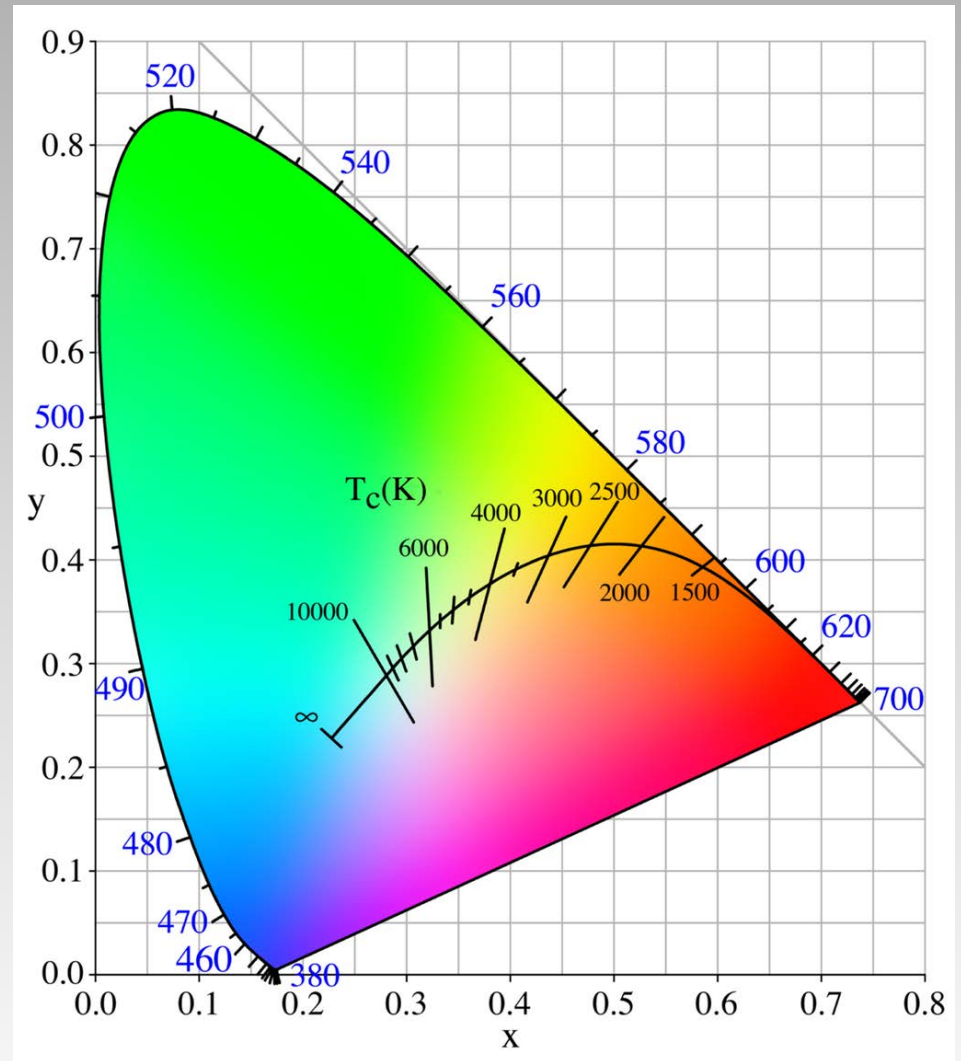
Le point de coordonnées $x = 1/3, y = 1/3$ représente le blanc d'égal énergie E .



LA LUMIERE, aspect qualitatif

Espace CIE 1931

Le **lieu du corps noir**, qui n'est pas toujours représenté, rassemble les couleurs émises par une source incandescente idéale (le corps noir ou radiateur de Planck) en fonction de sa température en Kelvin (K) : la valeur de cette température est alors nommée *température de couleur* et définit parfaitement la couleur associée.



LA LUMIERE, aspect qualitatif

Blancs étalons

Le blanc D_{65} a été défini par l'Union Européenne des Radiodiffuseurs (UER).

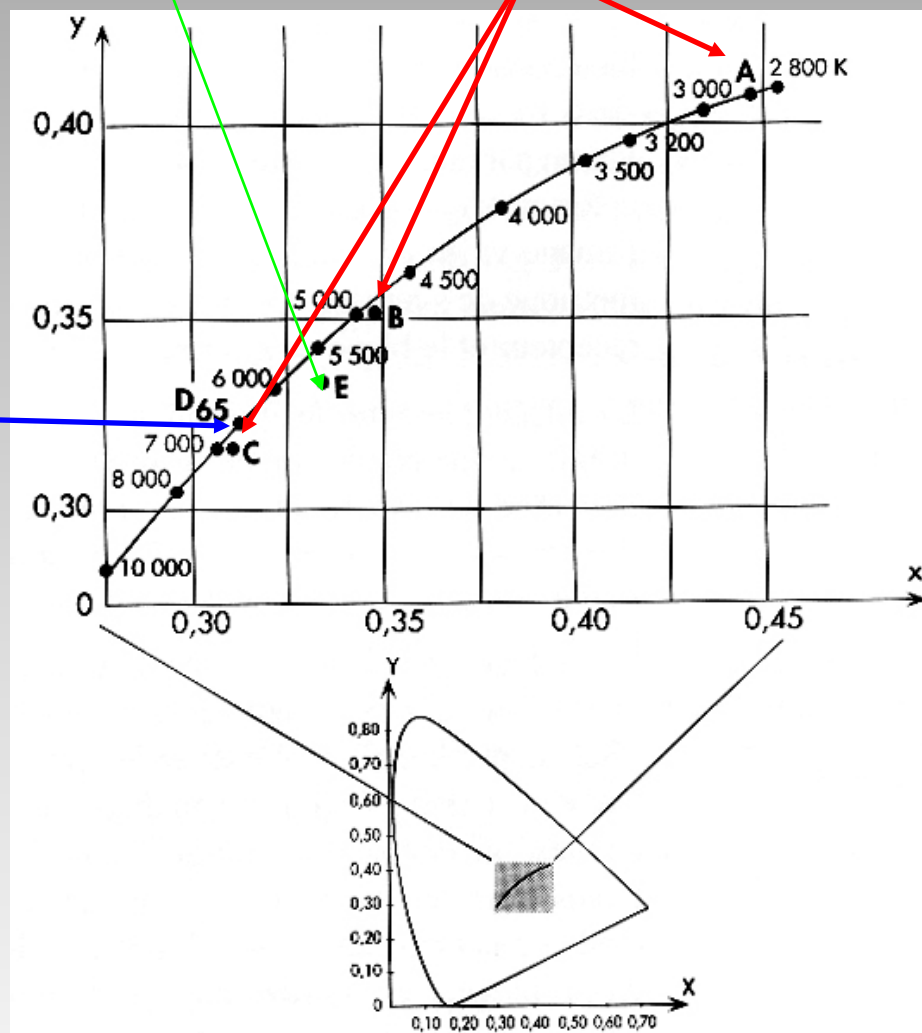
C'est en Europe le blanc de référence pour la reconstitution d'une image vidéo sur l'écran d'un téléviseur couleur.

Sa température de couleur est de 6 504 K.

Illuminant D_{65}

Illuminant E

Illuminant A, B, C



Coordonnées trichromatiques des étalons de blanc dans la zone « du lieu du corps noir ».

Document « Les secrets de l'image vidéo »

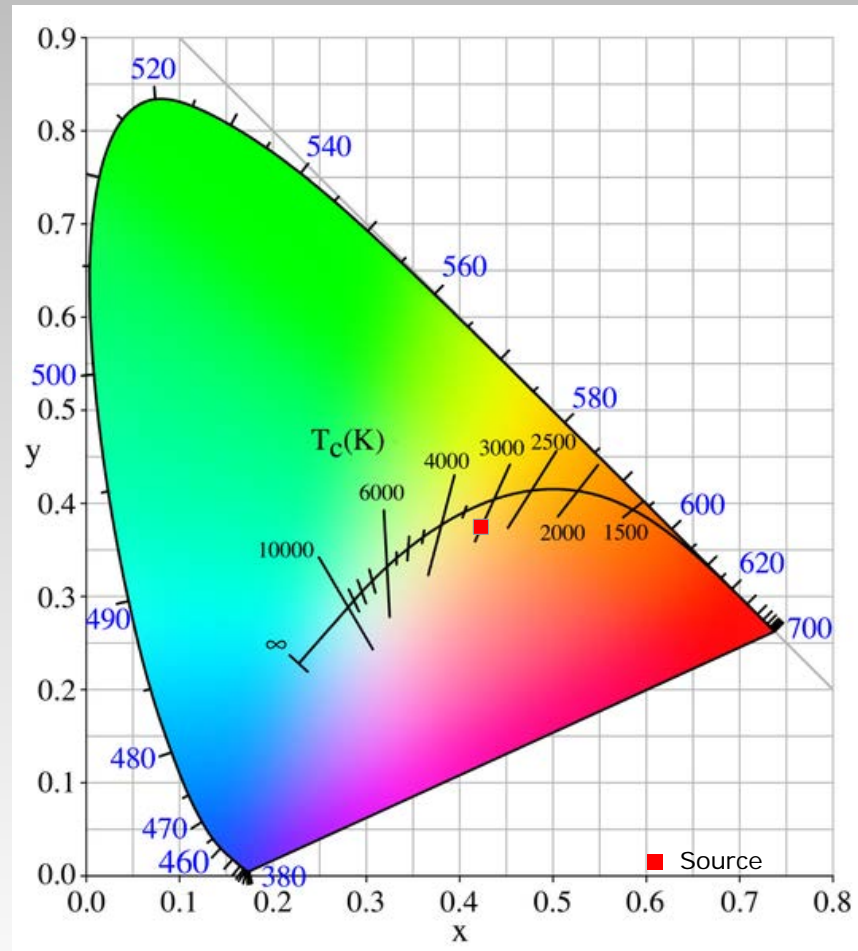
LA LUMIERE, la luminescence

Température de couleur proximale (ou corrélée), CCT



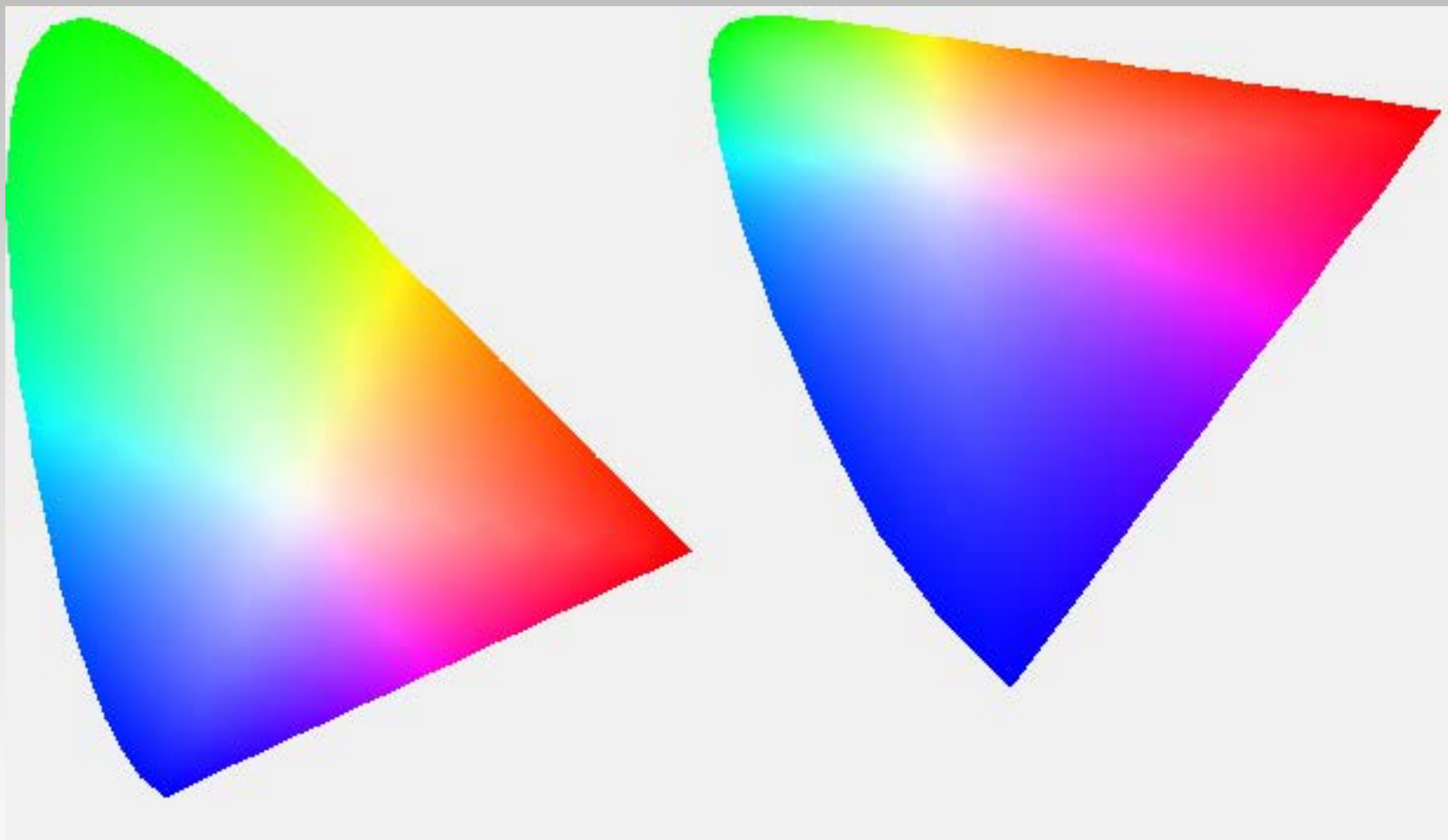
La température de couleur proximale (ou corrélée) d'une source (CCT).

Les segments droits (lignes d'égale température de couleur) indiquent les directions le long desquelles les variations de couleur sont les moins perceptibles à l'œil humain.



LA LUMIERE, aspect qualitatif

Espace CIE 1931 / 1976



LA LUMIERE, aspect qualitatif

Espace CIE 1976

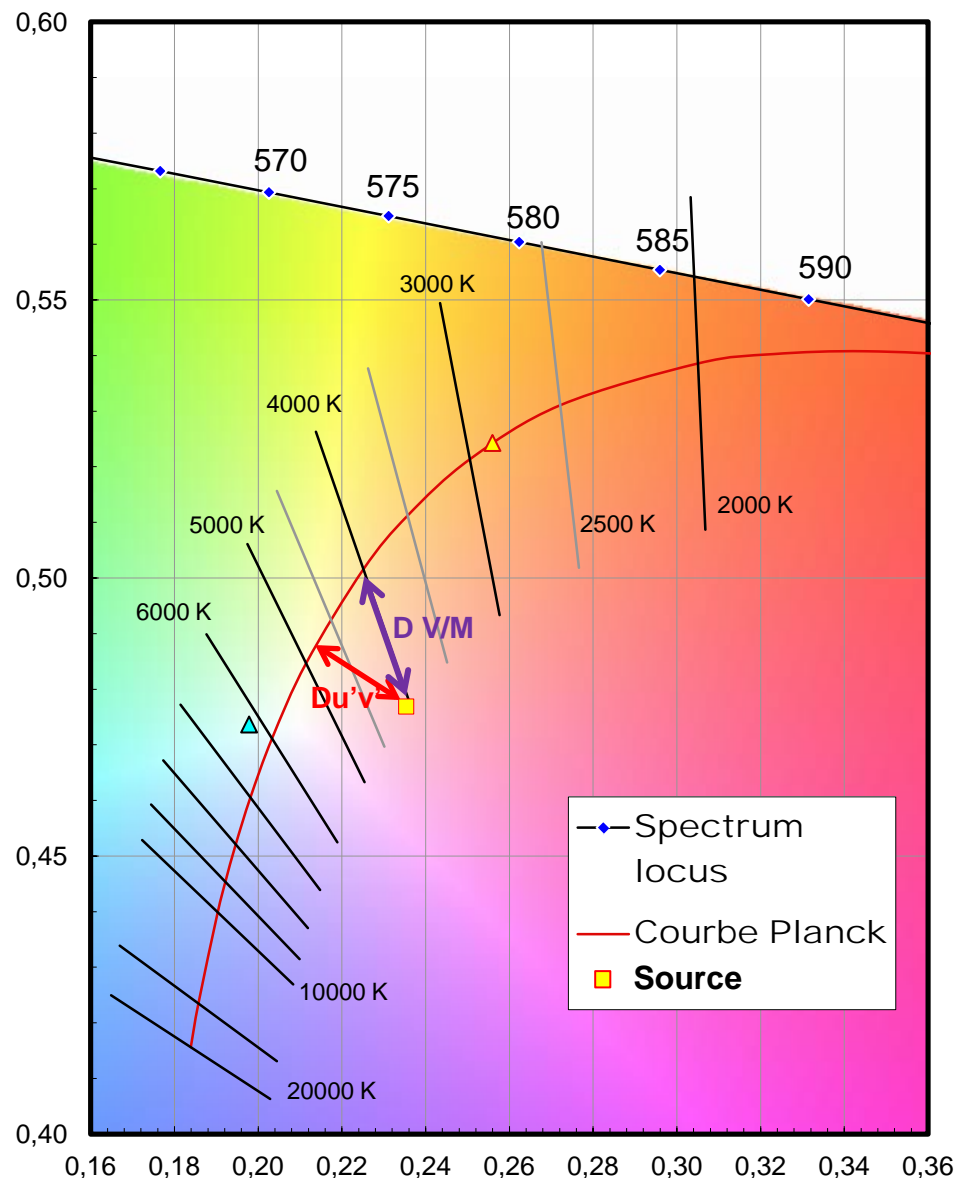
Lieu (ou chemin) du corps noir

Sur les spectrophotomètres, la valeur $Du'v'$ exprime l'éloignement du lieu du corps noir.

Avec les projecteurs Led, cette distance $Du'v'$ augmente avec le vieillissement de la lampe.

Par contre nous lirons la dominante V/M de la source sur la ligne d'égale température de couleur.

Sur le schéma ci-contre, la CCT de la source est de 4000 K avec une forte dominante Magenta.



LA LUMIERE, aspect qualitatif

L'indice de rendu des couleurs, IRC CRI ou Ra

En 2006, la commission internationale de l'éclairage a créé un comité technique dont la mission était de définir un nouvel indice de rendu des couleurs. A ce jour, aucun résultat n'a été publié.

Pour le moment, pour se faire une idée de la capacité des luminaires à rendre fidèlement les couleurs les plus délicates, il existe l'IRC₈, le CQS, le TLCI-2012, le GAI, le Rf et le Rg.

Les indices servent à comparer les projecteurs. Par contre, on peut affirmer qu'un IRC₈ > 95 convient pour la plupart des applications dans l'audiovisuel.

Un indice proche de 100 est requis pour la reproduction d'œuvres d'art ou pour la fidélité des couleurs dans un pack-shot ou un film de beauté.

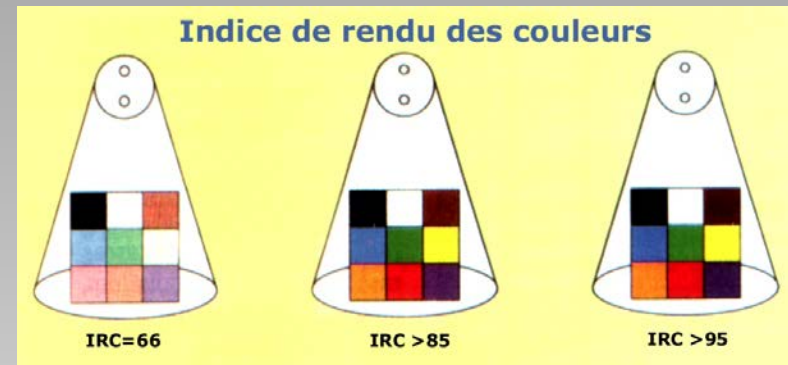
LA LUMIERE, aspect qualitatif

L'Indice de Rendu des Couleurs IRC ou CRI Color Rendering Index ou Ra

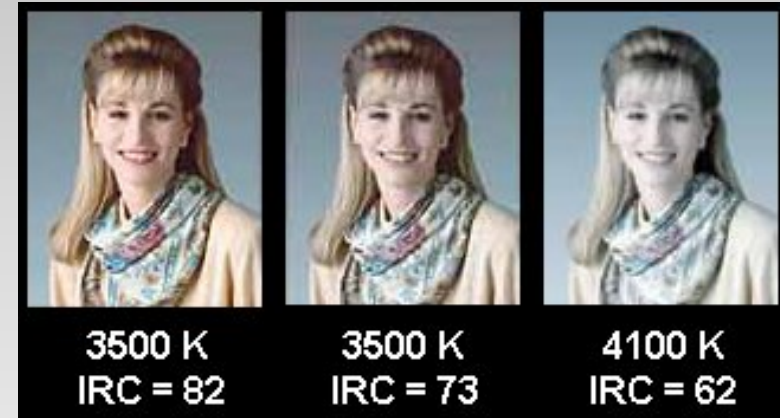
L'indice de rendu des couleurs varie de 0 à 100 et donne une indication sur la capacité d'une source de lumière à restituer les différentes couleurs du spectre visible sans en modifier les teintes.

L'indice maximum (IRC = 100) correspond à une lumière blanche naturelle qui possède un spectre à la fois complet et continu, et qui restitue toutes les nuances de couleur du spectre.

Toutes les sources à incandescence ont un IRC de 100 parce que le spectre est continu.



Le soleil, les filaments ont un indice proche de 100.



LA LUMIERE, aspect qualitatif

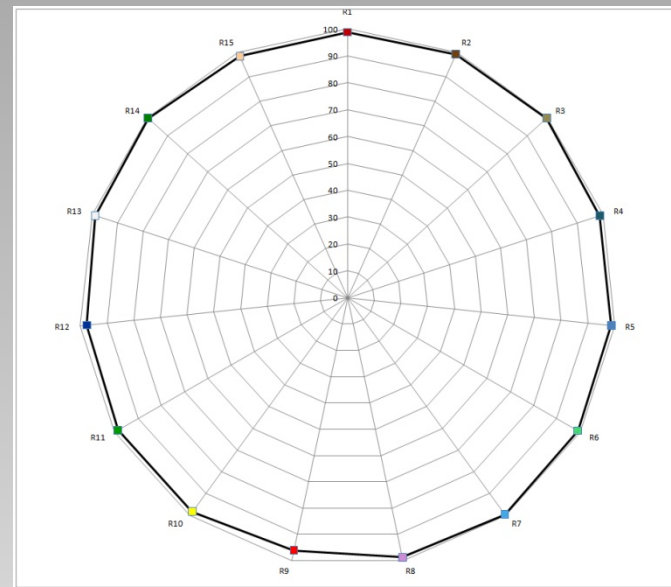
L'indice de rendu des couleurs

Le spectrophotomètre

A partir d'un échantillon connu de 15 couleurs, le spectrophotomètre évalue la capacité de la source à restituer fidèlement chacune de ces couleurs.

L'IRC est la moyenne des 8 premiers échantillons TCS01 à TCS08.

Name	Appearance under daylight	Swatch
TCS01	Light greyish red	
TCS02	Dark greyish yellow	
TCS03	Strong yellow green	
TCS04	Moderate yellowish green	
TCS05	Light bluish green	
TCS06	Light blue	
TCS07	Light violet	
TCS08	Light reddish purple	
TCS09	Strong red	
TCS10	Strong yellow	
TCS11	Strong green	
TCS12	Strong blue	
TCS13	Light yellowish pink	
TCS14	Moderate olive green	
TCS15	Asian skin	



IRC 99



IRC 80

LA LUMIERE, aspect qualitatif

L'indice de rendu des couleurs



Éclairage fluo industriel
IRC 24
CCT 4400



Éclairage sodium
IRC 64
CCT 2100

Attention aux lampes installées en salle de maquillage !

LA LUMIERE, aspect qualitatif

CQS ou Qa

Le NIST (National Institute of Standards and Technology) a développé le Color Quality Scale (CQS).

Le CQS utilise un panel de 15 échantillons de couleurs ayant une saturation chromatique élevée, rencontrées davantage dans le commerce:

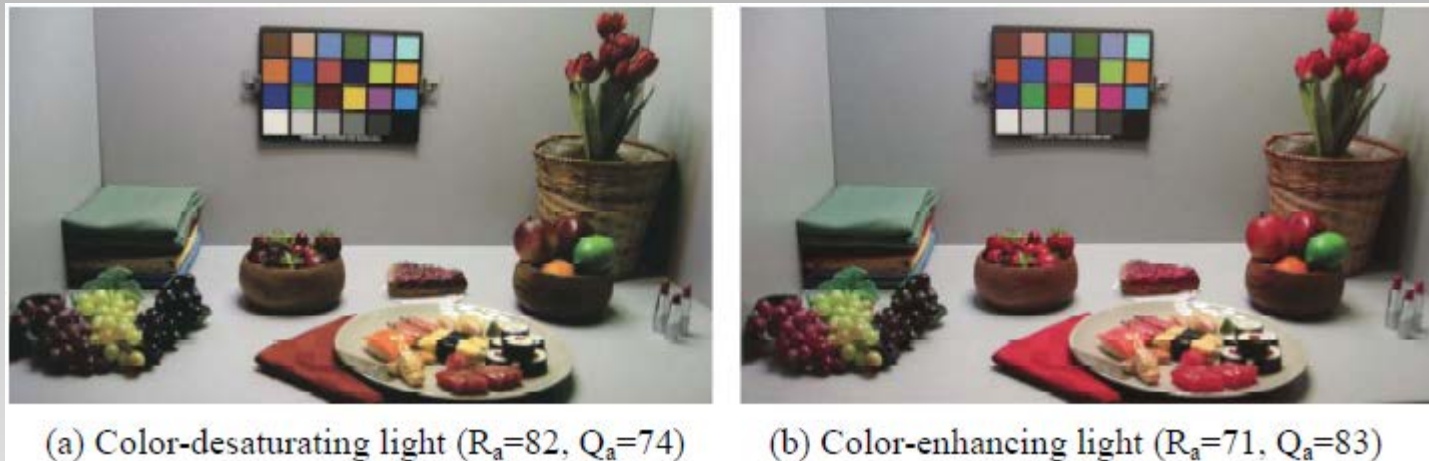


Ce nouvel indicateur permet de corriger l'IRC sur différents points, sans perturber les industriels:

- Un éclairage peut avoir un IRC élevé, alors qu'il ne fait pas ressortir certaines couleurs, en particulier le rouge.
- L'IRC pénalise les éclairages qui rehaussent la saturation des couleurs
- Le CQS pénalise les sources lumineuses dont le blanc tire vers le vert ou le rose
- Le CQS ne perturbe pas les industriels en utilisant des valeurs proches de celles calculées par l'IRC.

LA LUMIERE, aspect qualitatif

CQS ou Qa



Le rendu des couleurs calculé avec la méthode CQS (Color Quality Scale), proposée par Ohno and Davis du NIST, semble être plus fidèle aux observations que le vieil indice IRC.

Le CQS se positionne comme l'indice soutenu par les USA.
Parallèlement, les Européens devraient proposer leur propre indice.

LA LUMIERE, aspect qualitatif

GAI – Gamut Area Index

surtout utilisé au Japon

Un GAI élevé équivaut à une plus grande saturation des couleurs de l'objet.

Le GAI >100 = sursaturation.

L'opérateur cherchera un IRC élevé (>92) avec un GAI entre 80 et 100.

*Les données **CCT, IRC, GAI et distribution spectrale** aident l'éclairagiste à faire le meilleur choix des projecteurs en fonction des prises de vues à effectuer.*

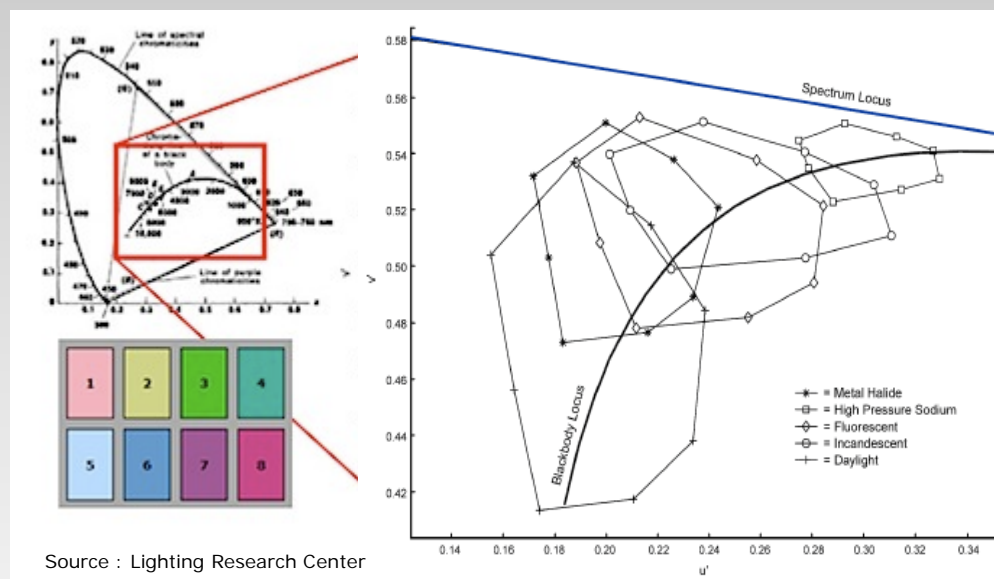
La prochaine étude de la CST sur les LED fera apparaître tous ces indices.



IRC 40
GAI 80



IRC 100
GAI 40



Le GAI est proportionnel à la surface des polygones tracés dans l'espace CIE dont les extrémités représentent les plages des huit couleurs choisies pour le calcul de l'IRC.

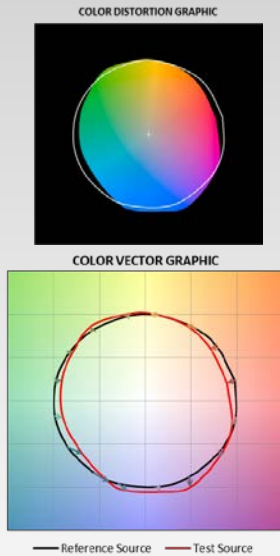
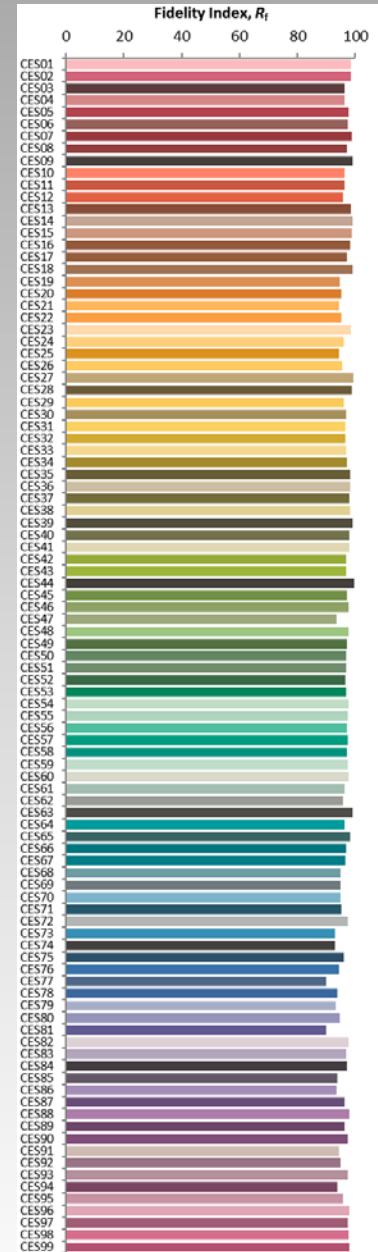
LA LUMIERE, aspect qualitatif

Rf (Fidelity Index) et Rg (Gamut Index)

développés par TM 30-15 <http://yujiintl.com/tm-30-15-high-fidelity-full-color-gamut-led-lighting>

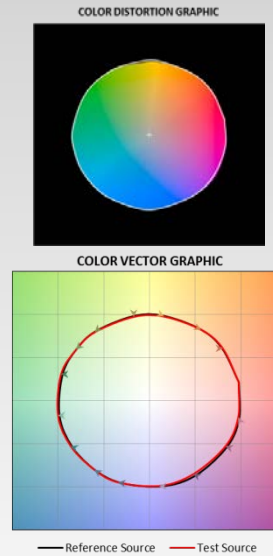
Semblable au calcul de l'IRC, le **Rf** tient compte de 99 nuances de couleurs couramment observées.

Le **Rg** indique la capacité d'une source à donner un rendu colorimétrique comparable à celle d'une source à incandescence sur 16 nuances de couleur. Le Rg est comparable au GAI dans son principe.



Rg 98, IRC 83, Rf 81

Sursaturation du bleu et jaune-vert, désaturation du cyan et du rouge



Rg 99, IRC 98, Rf 97

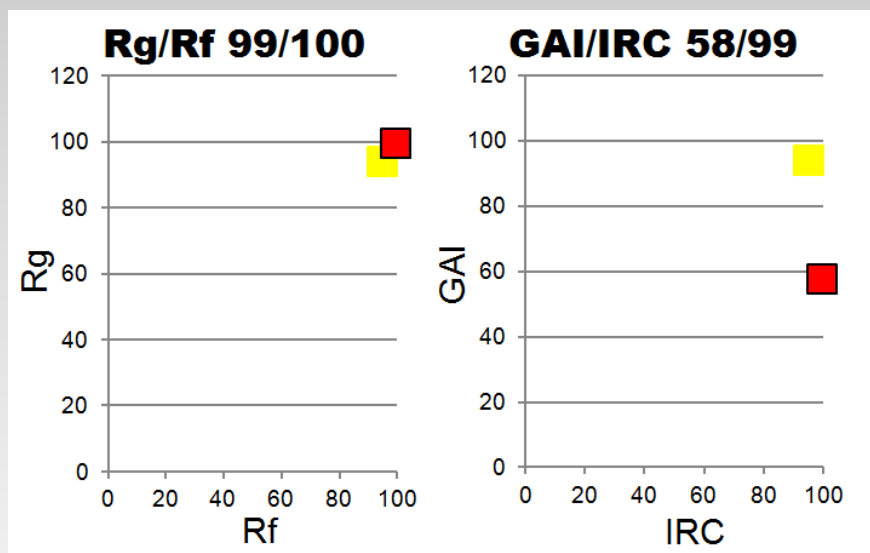
Saturation et niveau de Gamut proche de l'incandescence

LA LUMIERE, aspect qualitatif

GAI (Gamut Area Index) / CRI (Color Rendering Index) Rg (Gamut Index) / Rf (Fidelity Index)

Le couple Rg/Rf est à comparer au couple GAI/IRC.

Voici une mesure effectuée à la CST en mars 2016 sur un projecteur à incandescence et la mise en forme qui sera proposée dans la publication de l'étude sur les projecteurs à LED en 2016.



Le marqueur rouge doit idéalement se trouver dans l'espace jaune.
Le diagramme est redoutable de simplicité dans sa lecture.

LA LUMIERE, aspect qualitatif

TLCI – 2012

Alan Roberts est ingénieur à la BBC. En collaboration avec l'EBU, il propose une échelle des valeurs alternative à l'IRC, le TLCI 2012 (Television Lighting Consistency Index).



Le choix des échantillons couleur se veut proche des préoccupations des techniciens de l'audiovisuel.

Il utilise les mesures réalisées avec les spectrophotomètres du marché. Il a développé un logiciel donnant une autre échelle de valeurs pour apprécier le rendu des couleurs, le TLCI.



Exploitation de l'échelle des valeurs TLCI

85-100

La correction des projecteurs semble superflue.

75-85

Certaines corrections semblent indispensables pour obtenir un résultat acceptable.

50-75

La correction devient compliquée si l'on veut un rendu acceptable.

25 - 50

Le rendu des couleurs est pauvre. Une correction ne suffirait pas à rendre une image acceptable.

0-25

Le rendu des couleurs est mauvais, toute tentative de correction serait vaine.

LA LUMIERE, aspect qualitatif

TLCI – 2012 Test CST en 2014

ZYLIGHT_IS3_5600_UPRtek 350S_20140327.xls: CCT = D5166 (-1.1)

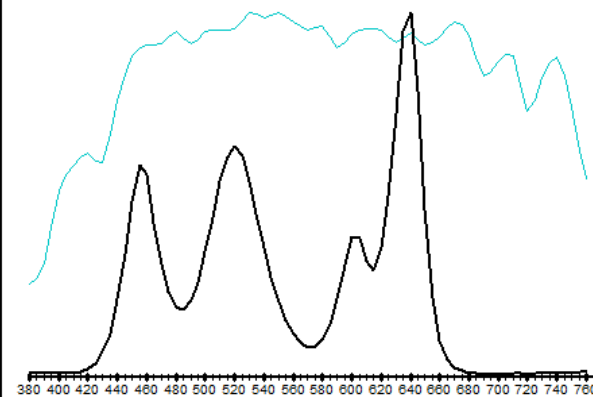
TLCI-2012 : 26 (D5166)



ColorChecker, sRGB (0~255) coded

Television Lighting Consistency Index-2012

Sector	Lightness	Chroma	Hue
R	0	--	++
R/Y	++++	0	+++++
Y	++	0	++++
Y/G	0	0	-
G	0	-	--
G/C	--	----	++
C	---	--	++++
C/B	---	0	+++++
B	-	+	++
B/M	-	0	0
M	0	0	--
M/R	----	-	----

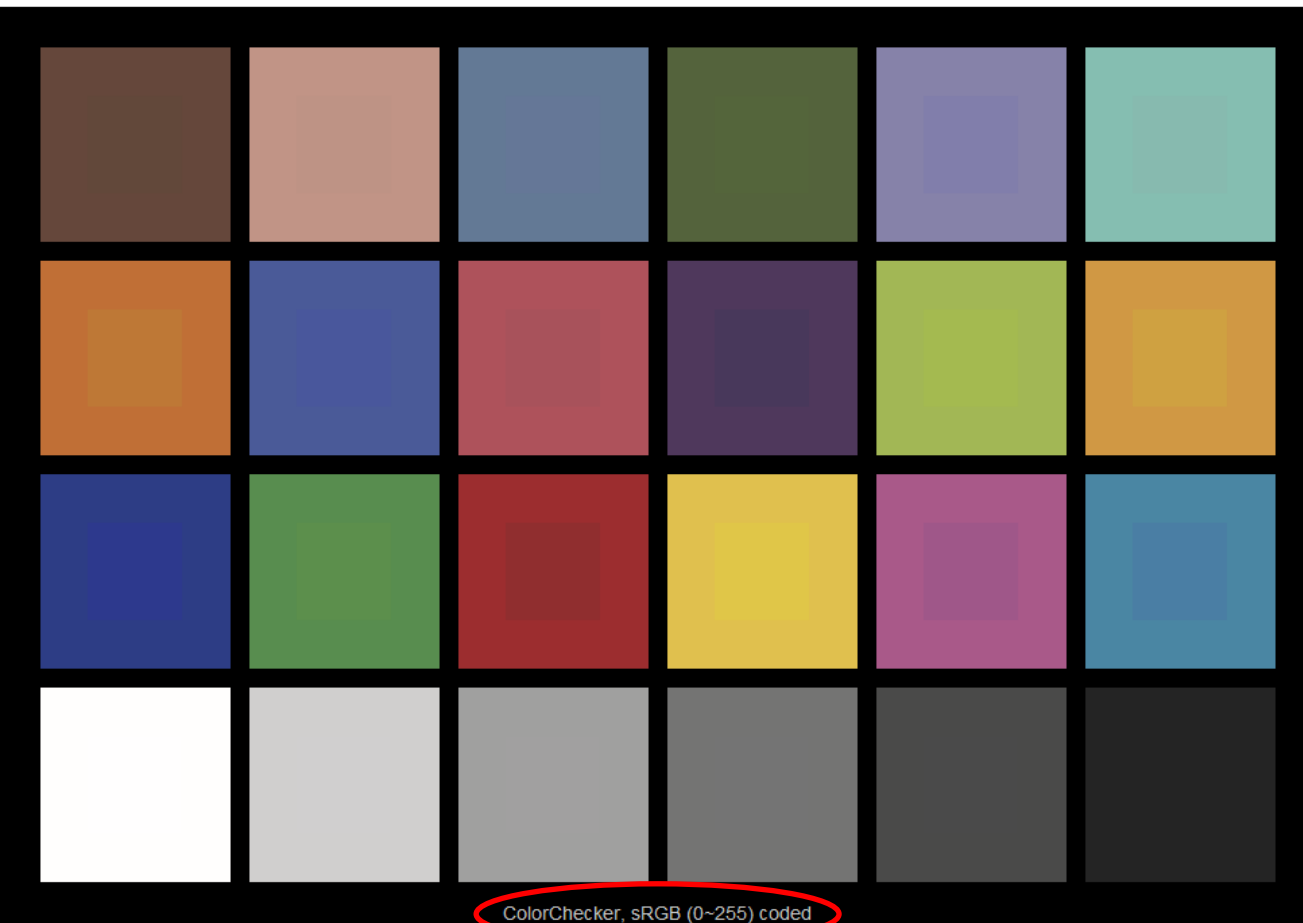


LA LUMIERE, aspect qualitatif

TLCI – 2012 Test CST en 2014

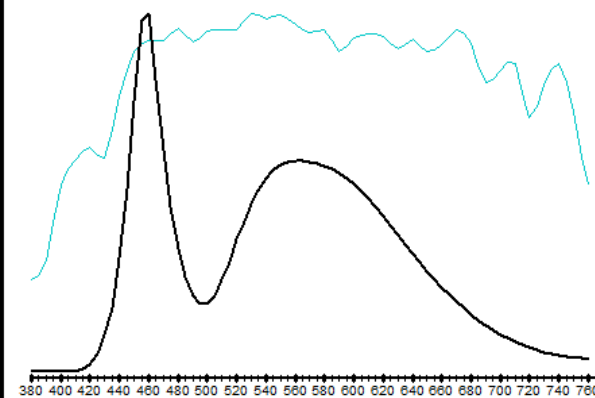
LITE PANEL_30 x 30_5600__UPRtek 350S_20140328.xls: CCT = D5255 (-1.4)

TLCI-2012 : 52 (D5255)



Television Lighting Consistency Index-2012

Sector	Lightness	Chroma	Hue
R	++	++	0
R/Y	--	0	-----
Y	--	--	----
Y/G	-	-	0
G	-	0	+
G/C	+	++	0
C	++	0	----
C/B	++++	-	-----
B	0	---	---
B/M	++	-	++
M	++	0	++
M/R	+++	0	+++



LA LUMIERE, aspect qualitatif

TLCI – 2012 Test CST en 2014

CINEO_TRUCOLOR HS_3200__UPRtek 350S_20140328.xls: CCT = P3358 (+0.0)

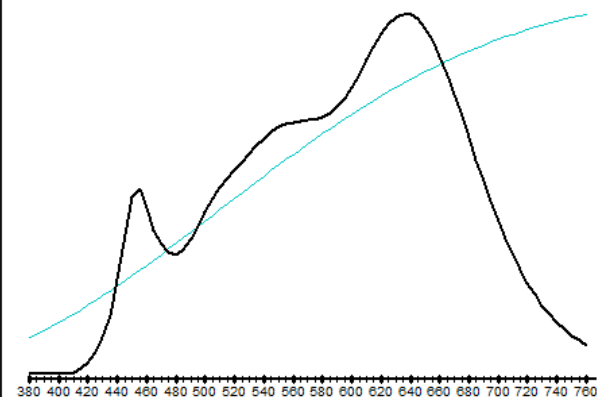
TLCI-2012 : 99 (P3358)



ColorChecker, video (601/709) coded

Television Lighting Consistency Index-2012

Sector	Lightness	Chroma	Hue
R	0	0	0
R/Y	0	0	0
Y	0	0	0
Y/G	0	0	0
G	0	0	0
G/C	0	0	0
C	0	0	0
C/B	0	0	0
B	0	0	0
B/M	0	0	+
M	0	0	0
M/R	0	0	0



LA LUMIERE, aspect qualitatif

TLCI – 2012 Test CST en 2014

STRAND_Bambino_3200_Flood_UPRtek 350S_20140326.xls: CCT = P3108 (+0.0)

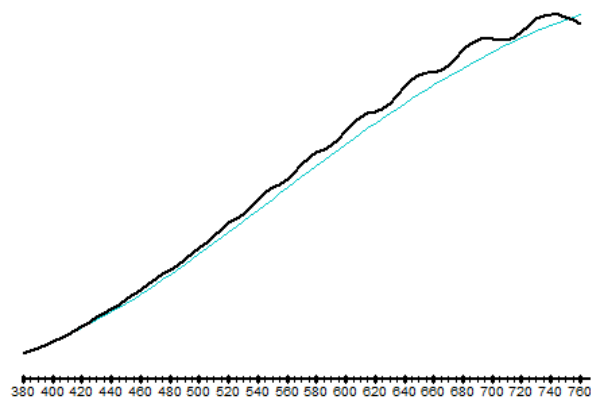
TLCI-2012 : 100 (P3108)

Television Lighting Consistency Index-2012

Sector	Lightness	Chroma	Hue
R	0	0	0
R/Y	0	0	0
Y	0	0	0
Y/G	0	0	0
G	0	0	0
G/C	0	0	0
C	0	0	0
C/B	0	0	0
B	0	0	0
B/M	0	0	0
M	0	0	0
M/R	0	0	0



ColorChecker, video (601/709) coded



LA LUMIERE, les appareils de mesure

**Le thermocolorimètre
adapté à l'incandescence.**

**Le spectrophotomètre
adapté à l'incandescence
et la luminescence.**



LA LUMIERE, les appareils de mesure

Le spectrophotomètre

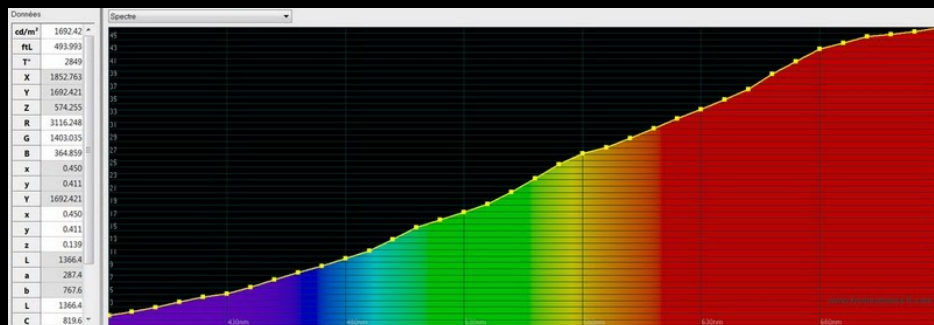
En utilisant le i1pro de X-Rite*, appareil conçu pour étalonner les écrans associé à un logiciel de calibration (HCFR) pour interpréter les informations de la sonde, vous pouvez afficher les distributions spectrales des sources lumineuses.



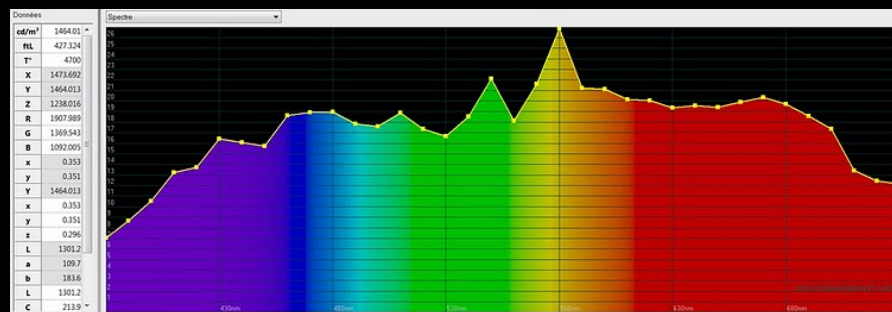
Courbes de distribution spectrale

(comparaison des différentes sources couramment utilisées)

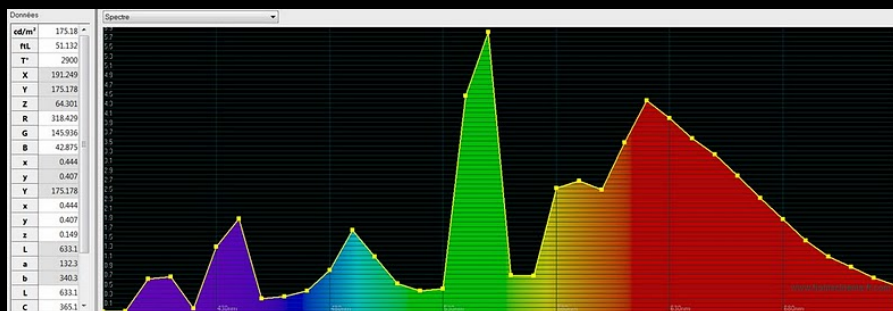
Spectre Tungstène-Halogène



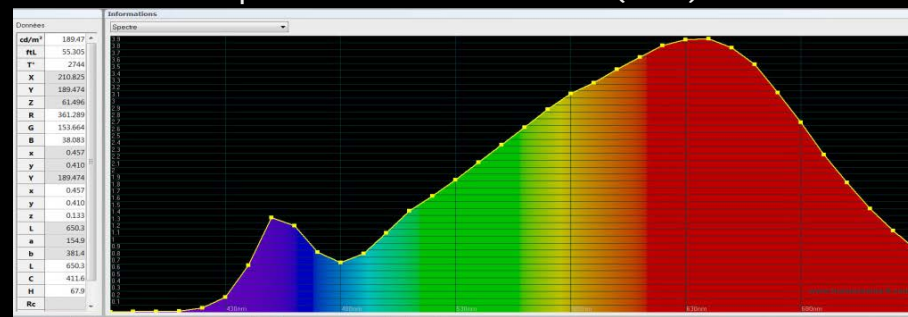
Spectre HMI Black Jack K5600



Spectre FLUO Barfly Kinoflo 3200K



Spectre TruColor 3200K (LED)



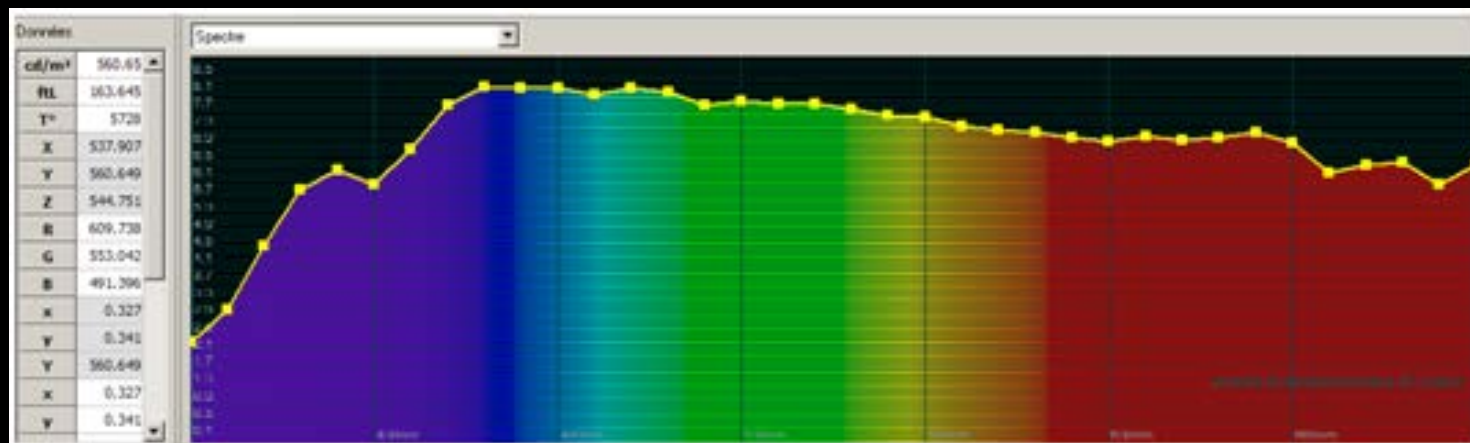
LA LUMIERE, les appareils de mesure

La distribution spectrale

Le spectrophotomètre

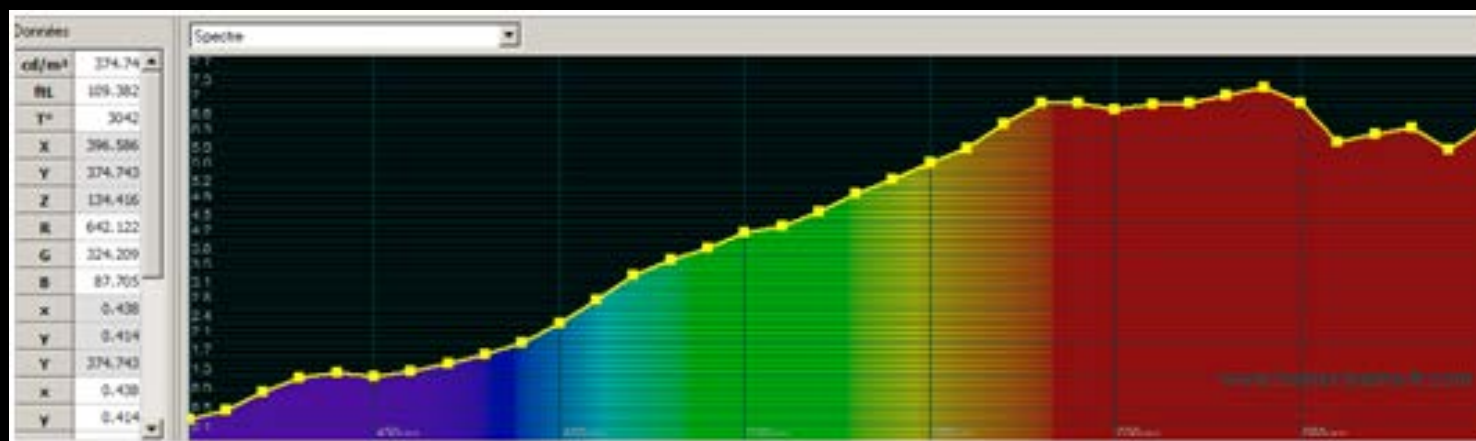


Jour



En plaçant une gélatine devant la tête, vous pouvez voir évoluer la distribution spectrale :

Jour +
CTO 204 Lee



LA LUMIERE, les appareils de mesure

La distribution spectrale

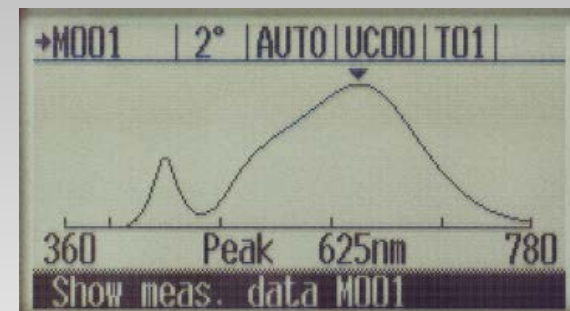
Le spectrophotomètre

Le CL-500A est le premier Luxmètre-Spectroradiomètre portable **Konica Minolta** qui peut être utilisé pour l'évaluation de toutes les sources de lumière, y compris la nouvelle génération de lampes LED.

Le capteur détermine l'IRC (Indice de Rendu des Couleurs), l'éclairement, la distribution spectrale et la température de couleur proximale de pratiquement n'importe quelle source lumineuse.

L'écran intégré permet une utilisation en laboratoire ou sur le terrain.

Le CL500-A est commercialisé au prix de 5200€ HT (en 2013).



LA LUMIERE, les appareils de mesure
 La température de couleur proximale, la
 distribution spectrale et l'IRC

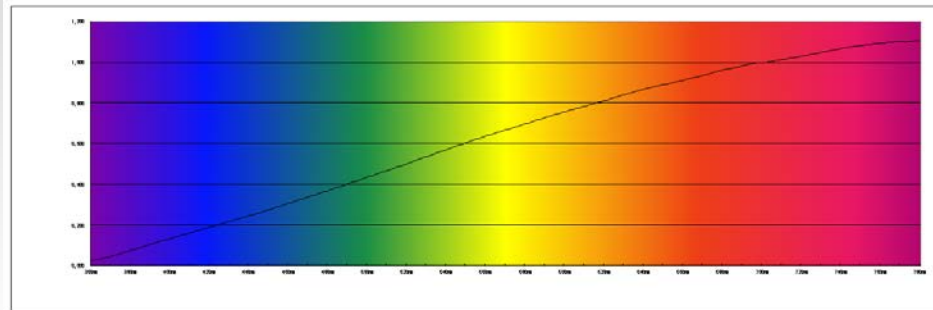
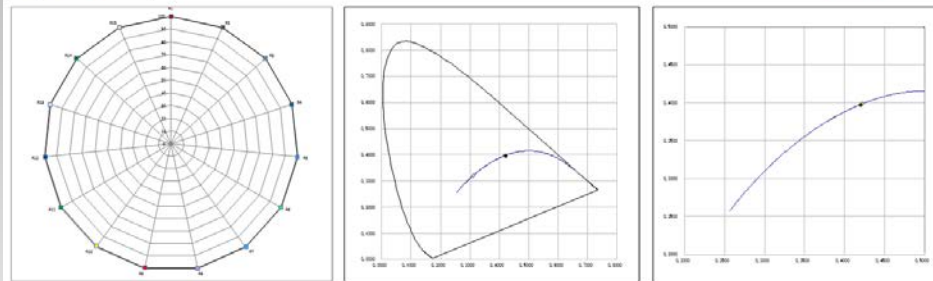
Le spectrophotomètre

A l'INA, Jacques Gaudin a développé une mise en
 forme sur Excel pour exploiter et afficher une
 synthèse des données brutes mesurées par le CL500,
 IRC et température de couleur proximale (CCT) :



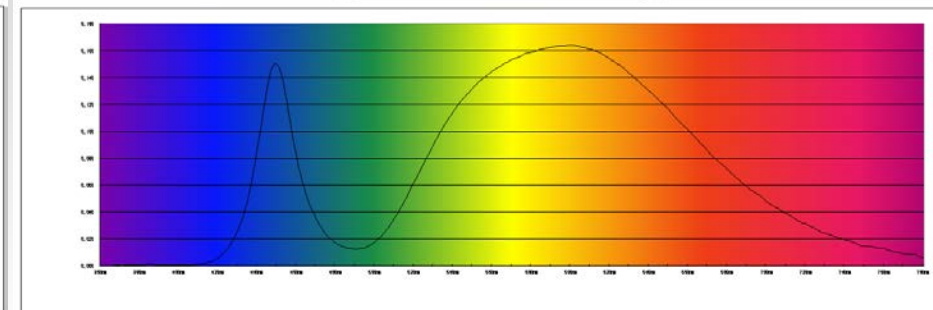
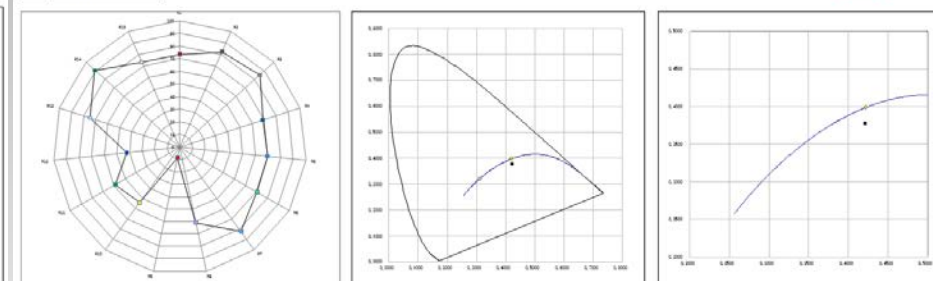
Incandescence :

Marque	LTM	Mod	99,7	Date	03/10/2013 05:53	Hydratation	Processus Radio
Modèle	300 Frounel	TC max	3277K				
Présent	Lampe TUNG						



Led :

Marque	LED name nom	Mod	74,2	Date	03/10/2013 05:43	Hydratation	Processus Radio
Modèle	T2 folie 26	TC max	3077K				
Présent	3300 à 100%						



LA LUMIERE, les appareils de mesure

Sekonic, le Spectromaster C-700

Le spectromètre C-700r est le seul offrant un déclenchement radio et la mesure de la lumière émise par des flashes électroniques.

L'écran couleur intuitif et tactile permet une navigation simple entre la distribution spectrale, la comparaison des éclairages, les données relatives à l'IRC et plus encore.

Le Sekonic est le spectrophotomètre le plus proche de l'univers de l'audiovisuel en proposant des corrections de gélamines, Lee, Rosco, Kodak...

Par contre, il est dommage qu'il n'affiche pas l'espace CIE.

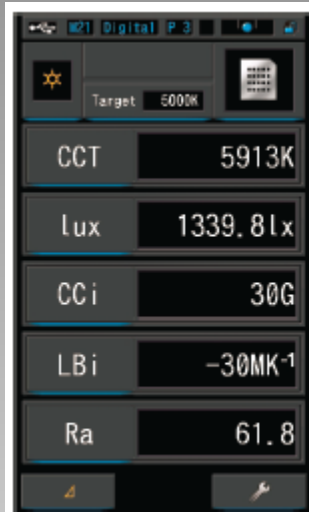
Une mise à jour du firmware permet d'actualiser ses performances.

Il existe un modèle C7000 qui permet une exploitation des données plus complète sur un ordinateur. Indisponible en France, il existe le même modèle chez Minolta, le CL 70F



LA LUMIERE, les appareils de mesure

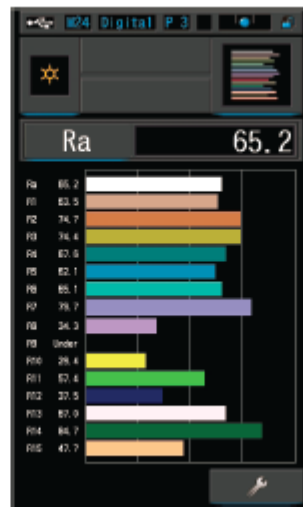
Sekonic, le Spectromaster C700



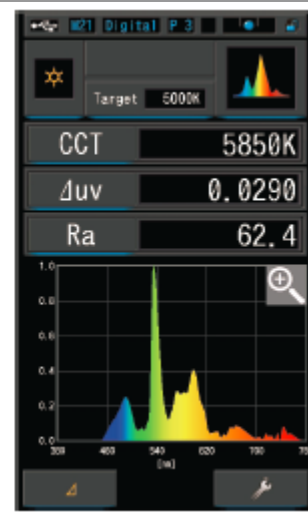
L'écran TEXTE affiche les données de mesures sélectionnées par l'utilisateur. Les mesures en temps réel apparaissent et sont mises à jour après chaque lecture, en face des valeurs de mesure de la lumière.



L'écran principal permet une sélection rapide de la plupart des fonctions du C-700 d'une seule pression du doigt.



L'écran Ra (IRC) affiche les valeurs de référence des couleurs standards (de R1 à R15) comme un pourcentage de la capacité de la source lumineuse à reproduire avec précision la couleur, en comparant à la valeur Ra standard.



L'écran Spectre affiche la distribution spectrale de l'énergie d'une source en temps réel. L'affichage peut se faire sous la forme d'un graphique et ses données ou avec un graphique en mode plein

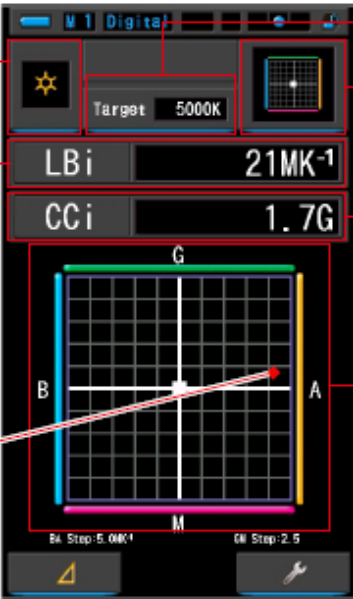
LA LUMIERE, les appareils de mesure

Sekonic, le Spectromaster C700

Ce spectrophotomètre permet d'afficher le « White Balance Corrector Graph » bien connu sur certains appareils photo. La cible correspond à la température de couleur pour laquelle, le capteur est équilibré. En plaçant une gélatine CT et CC devant le spectrophotomètre, l'opérateur pourra aligner le curseur sur le centre du graphe.

Affiche la différence entre la valeur de mesure actuelle et la température des couleurs cible dans un graphique de correction de la balance des blancs.

Écran de correction de la balance des blancs

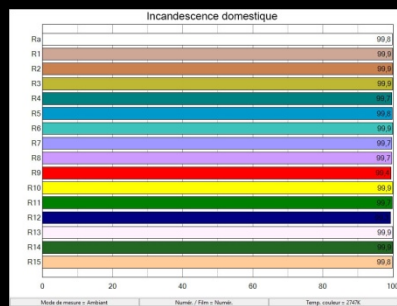
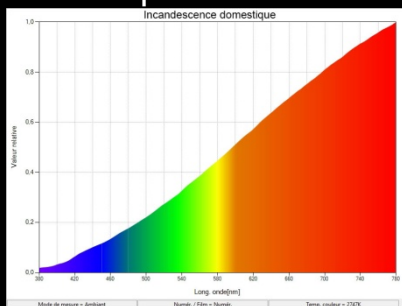


- Indication [Target] (Cible)
- Icône [Measuring Mode] (Mode de mesure)
- Icône [Mode d'affichage] Affichage de correction de la balance des blancs
- Affiche l'index LB
- Affiche l'index CC
- Graphique de balance des blancs
- Affiche la valeur corrigée

LA LUMIERE, les appareils de mesure

Sekonic, le Spectromaster C700, export des données

Incandescence domestique :



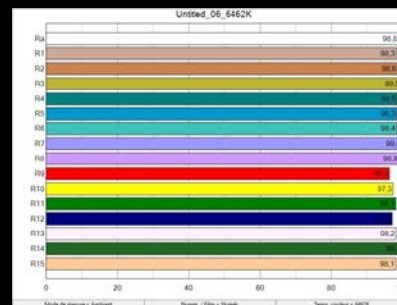
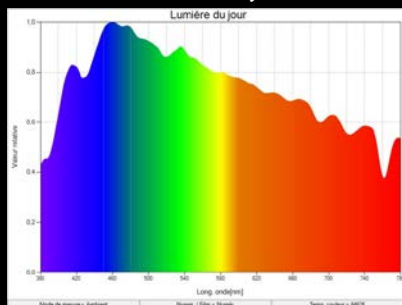
Incandescence domestique

Temp. couleur = 2747K $\mu_{uv} = 0,0002$
 Éclairement = 3160lx
 CCT référence = 5500K
 Index LB = -182MK⁻¹ Index CC = 0,0
 LB Filtre caméra = 80A, 82C
 CC Filtre caméra = ----
 LB Filtre éclair. = L201 FULL CTB, L203 1/4 CTB
 CC Filtre éclair. = ----

IRC

Ra	99,8	R2 = 99,9	R3 = 99,9
R1	99,9	R5 = 99,8	R6 = 99,9
R4	99,7	R8 = 99,7	R9 = 99,4
R7	99,7	R11 = 99,7	R12 = 99,3
R10	99,9	R13 = 99,9	R15 = 99,8

Lumière du jour (soleil de midi) :



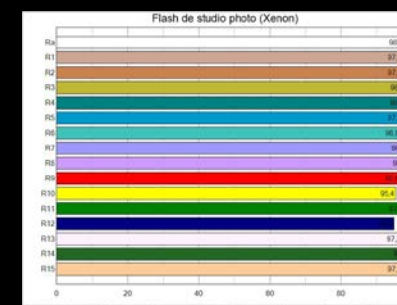
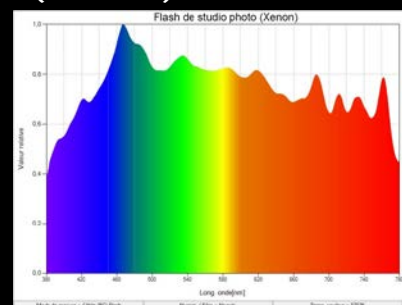
Lumière du jour

Temp. couleur = 6462K $\mu_{uv} = 0,0015$
 Éclairement = 8350lx
 CCT référence = 5500K
 Index LB = 27MK⁻¹ Index CC = 0,1G
 LB Filtre caméra = 81B
 CC Filtre caméra = ----
 LB Filtre éclair. = L223 1/8 CTO
 CC Filtre éclair. = ----

IRC

Ra	98,8	R2 = 98,6	R3 = 99,5
R1	98,3	R5 = 98,3	R6 = 98,4
R4	98,5	R8 = 98,9	R9 = 96,3
R7	99,8	R11 = 98,1	R12 = 97,1
R10	97,3	R13 = 98,2	R15 = 98,1

Flash studio photo (Xenon) :



Flash de studio photo (Xenon)

Temp. couleur = 5757K $\mu_{uv} = 0,0001$
 Exposition = 4390lx·s
 CCT référence = 5500K
 Index LB = 8MK⁻¹ Index CC = 0,1G
 LB Filtre caméra = ----
 CC Filtre caméra = ----
 LB Filtre éclair. = ----
 CC Filtre éclair. = ----

IRC

Ra	98,0	R2 = 97,5	R3 = 98,4
R1	97,5	R5 = 97,5	R6 = 96,9
R4	98,3	R8 = 99,0	R9 = 96,6
R7	98,6	R11 = 97,9	R12 = 95,0
R10	95,4	R13 = 97,2	R15 = 97,4

LA LUMIERE, les appareils de mesure

Minolta, le CL 70F

Le CL-70F est l'équivalent du Sekonic C-7000.
 Combiner l'appareil avec un câble de synchronisation de flash photo permet des mesures spectrales de lumière flash.

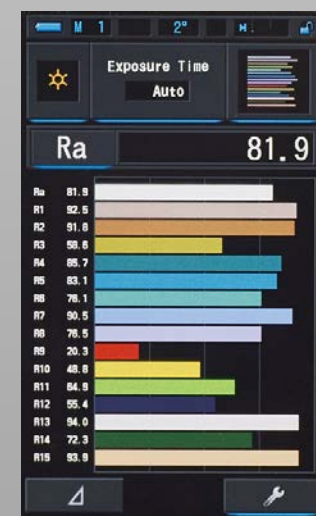


La rotation de la tête de mesure améliore la visibilité de l'écran et rend plus confortable l'utilisation de l'instrument.



Le CL-70F permet un accès facile aux mesures d'IRC. L'écran affiche la valeur globale Ra ainsi que toutes les données individuelles (R1 à R15).

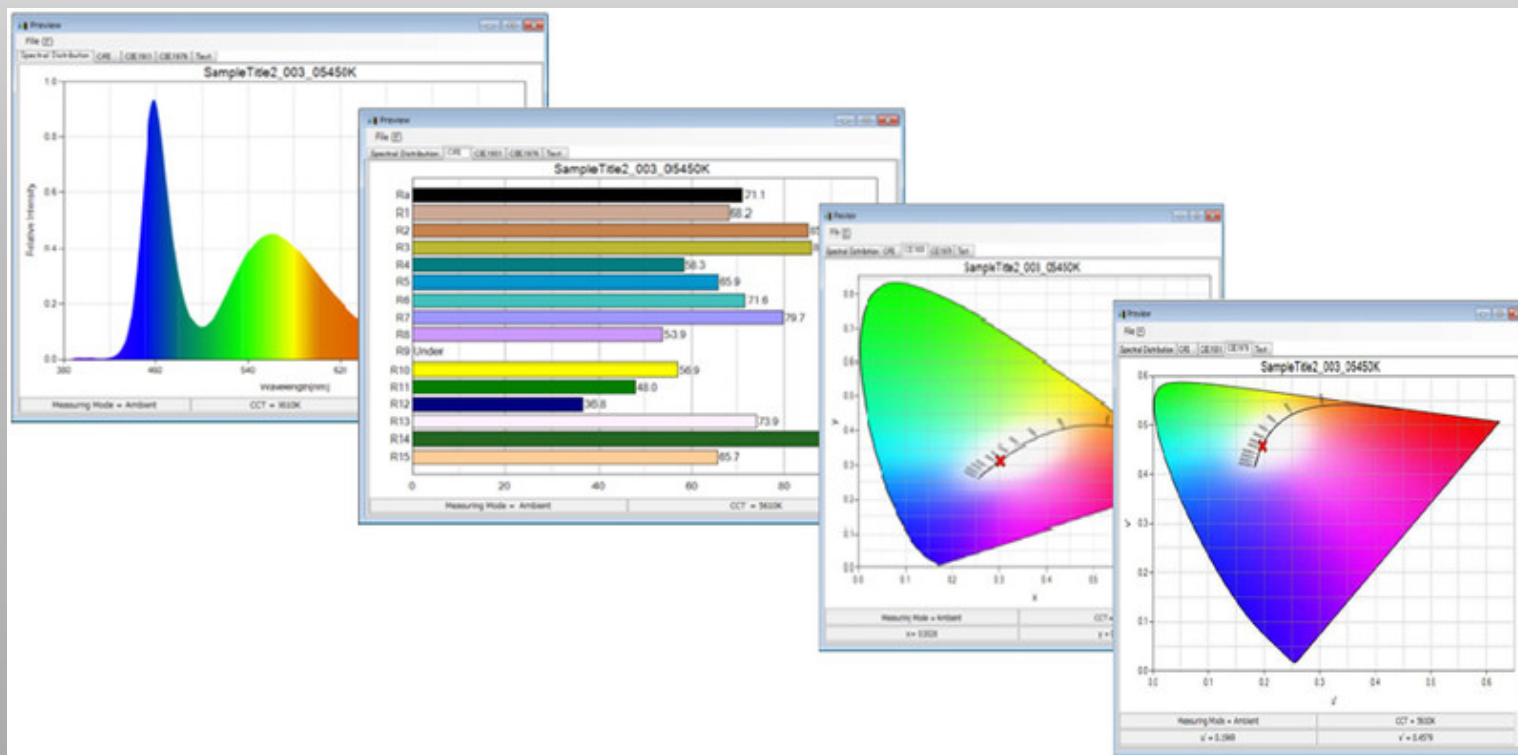
Le CL-70F mesure la température de couleur proximale (corrélée) et détermine la distance au lieu du corps noir en termes de Δuv , 2 informations souvent utilisées pour décrire une source lumineuse.



LA LUMIERE, les appareils de mesure

Minolta, le CL 70F

Avec le logiciel CL-SU1w inclus, vous pouvez modifier les paramètres de l'instrument, stocker et grouper les données, faire des analyses plus approfondies des données mesurées.



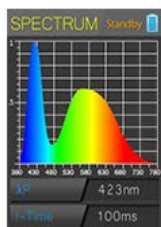
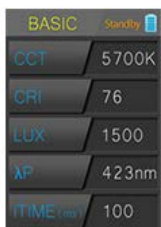
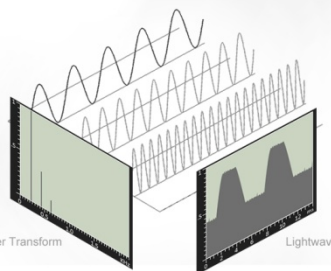
LA LUMIERE, les appareils de mesure

Un appareil adapté aux plateaux de tournage : L'UPRtek 250N

C'est un fréquencesmètre doublé d'un spectrophotomètre simple mais suffisant pour la plupart des applications.

Il faut savoir que certains projecteurs à LED anciens avaient la fâcheuse tendance à battre lorsque l'on utilise le dimmer. Ce défaut n'existe pratiquement plus.

Son prix abordable en fait un appareil attractif pour ses performances.



LA LUMIERE, les appareils de mesure

Les spectrophotomètres UPRTek 350S et N+ indiquent le **PPF** (Photosynthetic Photon Flux).
Ce sont des « quantum meter ».



Le PPF (Density) indique le nombre de photons entre 400 et 700nm sur 1m² par seconde exprimée en micromole par m² par seconde ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).



BASIC	
PPF	2.2523
PPF-UV	0.0024
PPF-B	0.2805
PPF-G	0.8945
PPF-NIR	0.2226

Les spectrophotomètres donnent aussi les PPF-UV (380 ... 399 nm), PPF-B (400 ... 499 nm), PPF-G (500 ... 599 nm), PPF-R (600 ... 699 nm) et PPF-NIR (700 ... 780 nm).

Ces valeurs servent les biologistes qui étudient la photosynthèse.

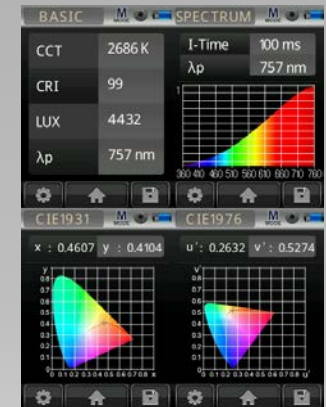
Ces appareils servent aussi l'architecture, l'urbanisme et la médecine.

LA LUMIERE, les appareils de mesure

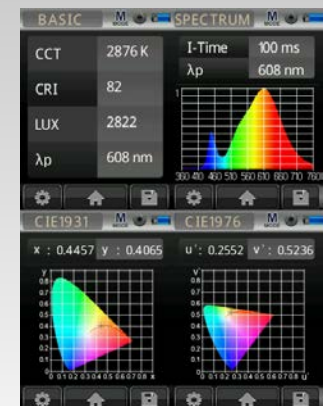
Les spectrophotomètres **UPRtek** servent aussi les métiers de **l'audiovisuel** en mesurant la température de couleur proximale, en indiquant la distribution spectrale et en calculant divers indices qui nous seront utiles pour qualifier la lumière.



Modèles S, N+ et D



incandescence



Led domestique

LA LUMIERE, les appareils de mesure

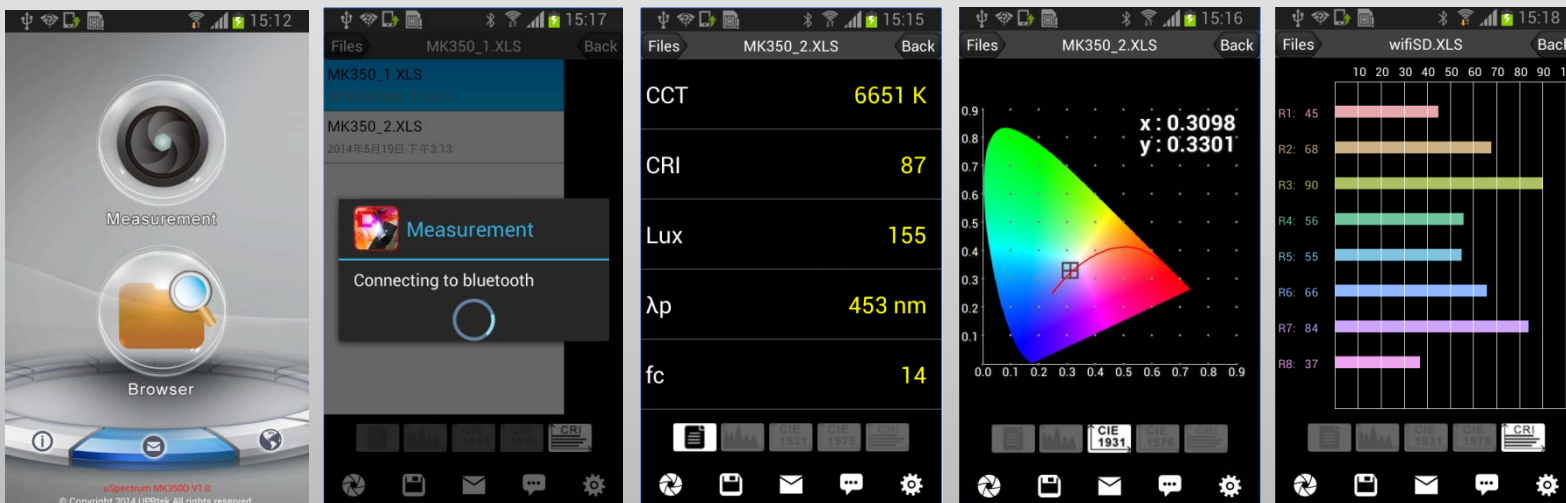
La température de couleur proximale, la distribution spectrale, l'IRC, le CQS, le TLCI, le GAI, le Rf et le Rg.



Le spectrophotomètre UPRtek 350D

Caractéristiques

- Spectrophotomètre de poche (de 70g), **pilotable depuis votre Iphone ou votre Android par liaison Bluetooth avec la possibilité de zoomer sur l'espace CIE (ce qui permet de gérer les dominantes V/M) !** (voir affichage sur vos téléphones ci-dessous)

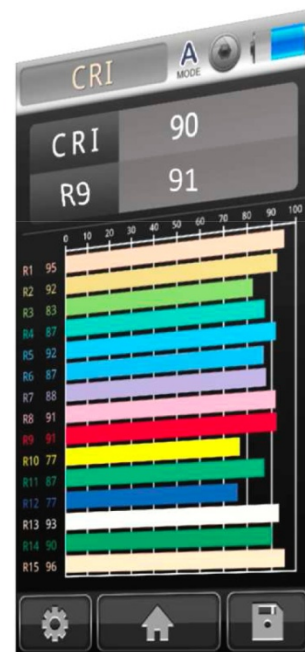
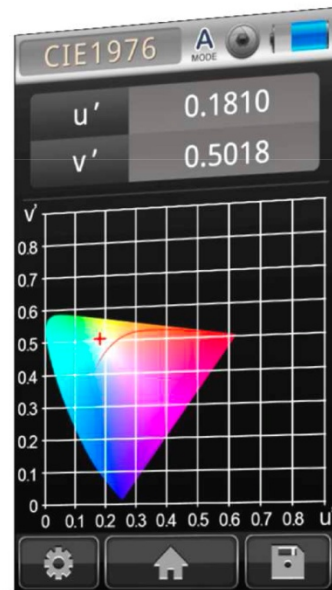
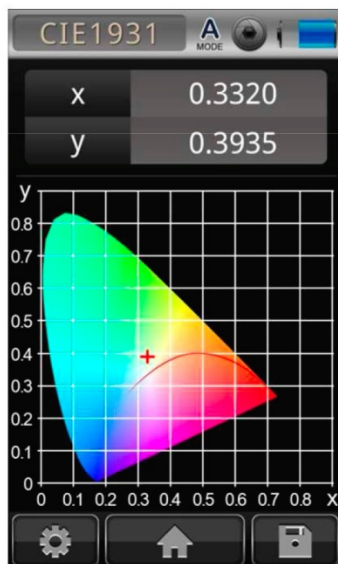
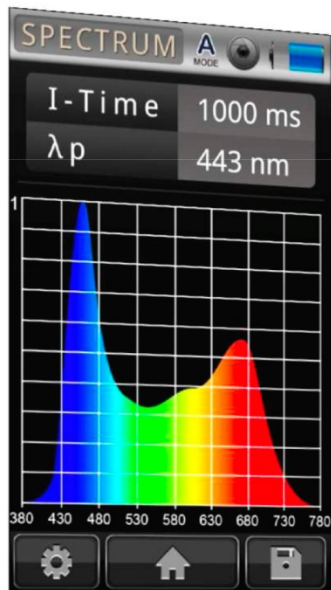
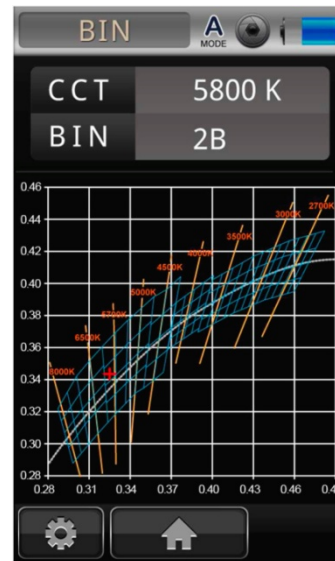


- Affichage des espaces colorimétriques CIE 1931 et 1976, CCT, IRC, LUX, λP, R9, LUX, Flicker en %.
- Fonctionnement autonome possible, avec prise en charge de carte Micro SD pour le stockage de données pour une exploitation sur PC (logiciel uSpectrum).

LA LUMIERE, les appareils de mesure

La température de couleur proximale, la distribution spectrale, l'IRC, le CQS, le TLCI, le GAI, le Rf et le Rg.

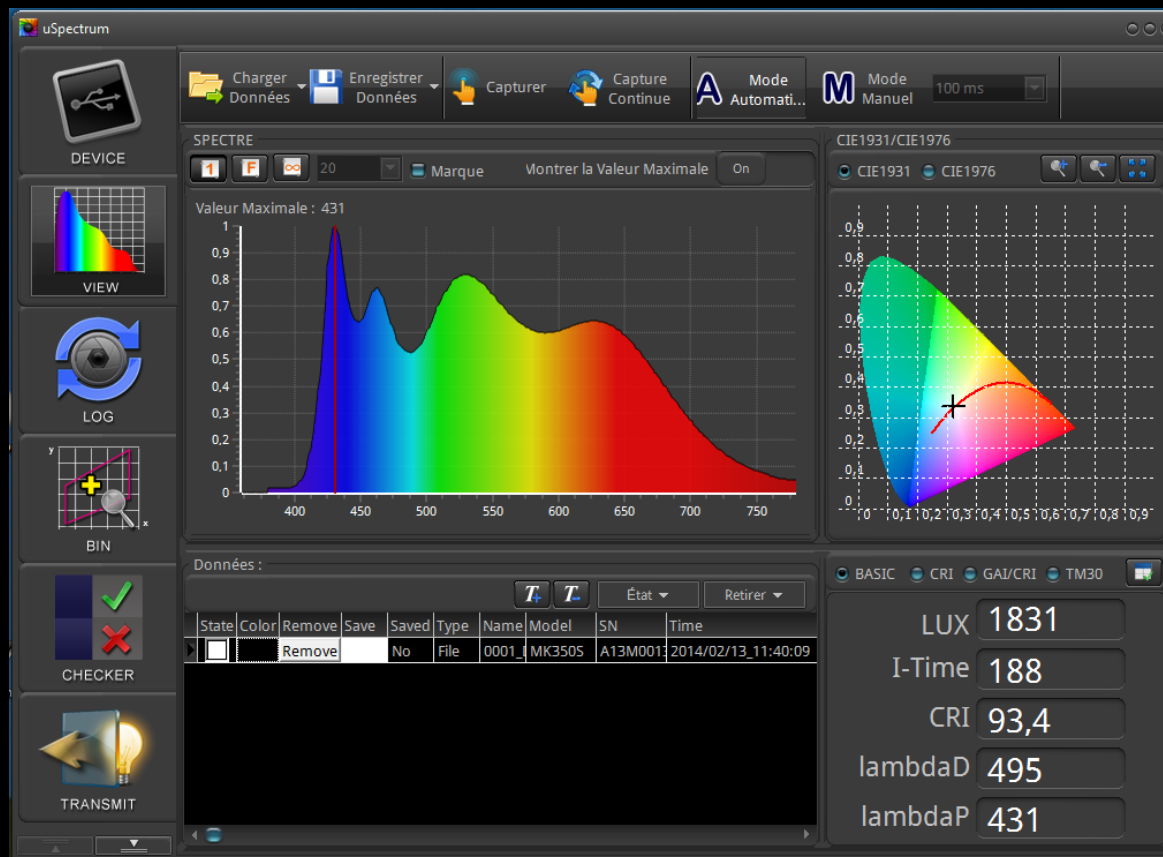
Le spectrophotomètre UPRtek 350S, le plus complet de la gamme, mais le 350N+ est quasi aussi performant.



LA LUMIERE, les appareils de mesure

Les données du spectrophotomètre UPRtek, relié à un PC par câble USB, sont exploitées avec le logiciel uSpectrum.

Les données peuvent aussi être enregistrées sur Sdcard ou affichées sur tablette avec une carte Wifi.



Ici, nous avons l'analyse du Fiilex P360.

- i-Time est le temps d'intégration (automatique)
- lambdaD ou λ_D correspond à la longueur d'onde dominante de la source
- lambdaP ou λ_p correspond au pic de la courbe de distribution spectrale

LA LUMIERE, les appareils de mesure

Etude du Fiilex P360, avec un UPRTEK 350S associé au logiciel uSpectrum.

Indices que vous pouvez afficher dans la fenêtre BASIC

The screenshot displays the uSpectrum software interface. The main window shows a spectral power distribution (SPD) graph with a color gradient from blue to red. The x-axis represents wavelength in nanometers (nm) from 360 to 780, and the y-axis represents relative intensity from 0 to 1.0. A secondary window shows a CIE color space plot with a zoomed-in view of the SPD curve. The interface includes a toolbar with icons for device connection, data management, capture, and analysis. A 'Configuration De Base' window is open, listing various measurement parameters and their corresponding units. The bottom of the interface features four windows: 'BASIC', 'CRI', 'GAI/CRI', and 'TM30', each displaying different metrics. A 'CHECKER' window is also visible, showing a list of parameters and their values.

I-Time	Rg	fc
x	TLCI	R1
y	CQS	R2
u'	GAI	R3
v'	LambdaD	R4
CCT	Duv	R5
LUX	deltax	R6
X	deltay	R7
Y	deltau	R8
Z	deltav	R9
CRI	Purity	R10
Rf	SP-ratio	R11

1. CCT
2. CRI
3. Rf
4. Rg
5. GAI

Les quatre fenêtres à disposition

Loupe dans l'espace CIE

Les quatre fenêtres à disposition

Les quatre fenêtres à disposition

Les quatre fenêtres à disposition

Les quatre fenêtres à disposition

Loupe dans l'espace CIE

CCT 3039K
CRI 97,0
Rf 96,0
Rg 101
GAI 61,7

LA LUMIERE, les appareils de mesure

Mesure du Vert / Magenta

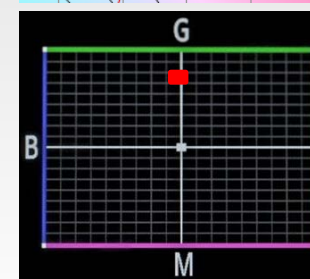
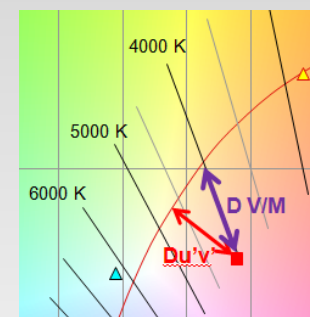
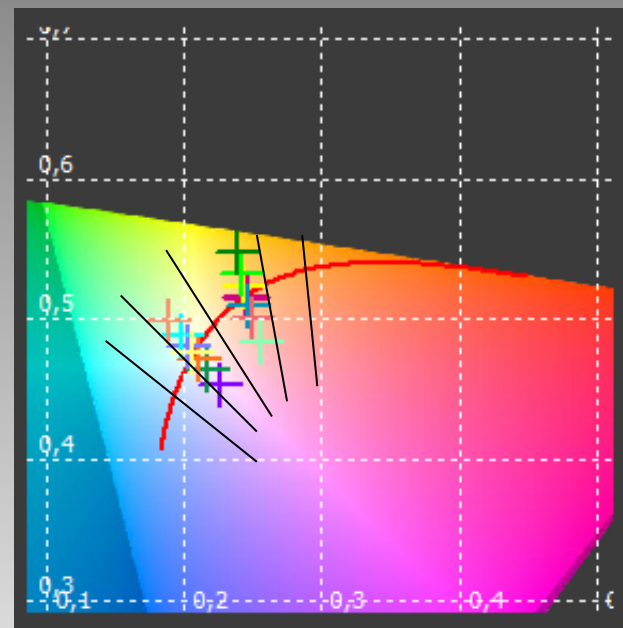
Nous voyons ici l'étude d'un **ARRI Sky Panel** sur lequel, un bouton Hue permet d'ajuster la valeur du Vert/Magenta, ce qui possible uniquement avec la technologie LED RVB.

Il est remarquable d'observer le déplacement de la source dans l'espace CIE 1976.

A zéro, la source se trouve sur la courbe du corps noir (pas de dominante).

Nous avons fait varier les valeurs de -1 à +1.
Le déplacement du curseur suit la **ligne d'égale température de couleur**

A la CST, pour les projecteur à LED blanche, nous avons trouvé que la méthode la plus simple et la plus sûre consiste à placer la gélatine « plus Green ou minus Green » que vous avez l'habitude d'utiliser devant le spectrophotomètre (ou le projecteur, le résultat est le même) jusqu'à placer le point de la source sur le lieu du corps noir.
Attention, pour cela vous devez disposer de l'affichage d'un espace couleur CIE (ce qui n'est pas le cas du Sekonic C-700 sur lequel il faudra approcher la valeur 0 pour le Delta u'v' ou mieux encore utiliser l'écran White Balance Correction Graph).



LA LUMIERE, les appareils de mesure

Mesure des radiations UV et IR

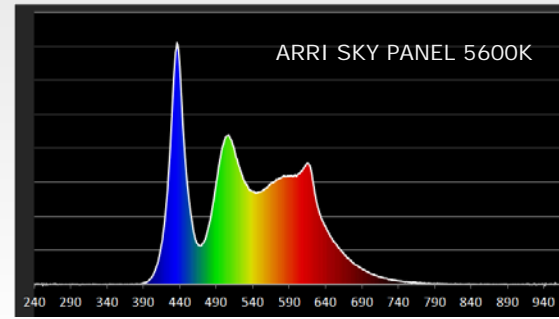
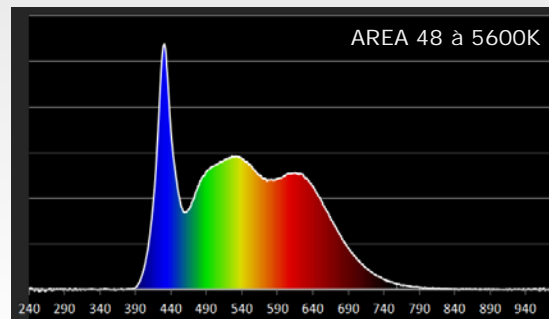
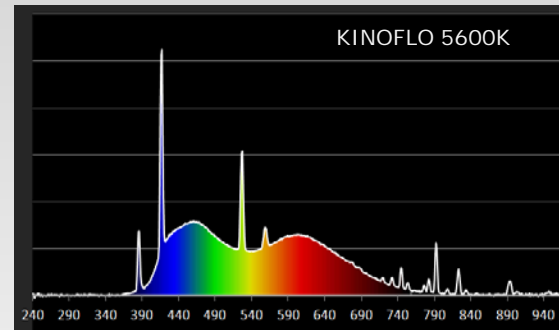
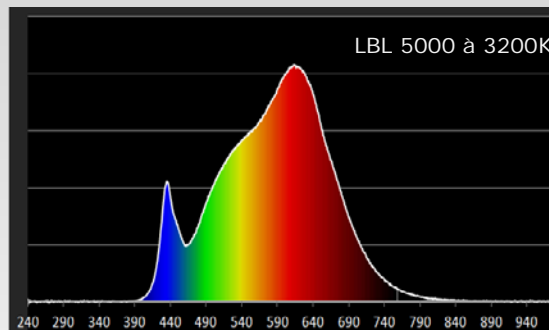
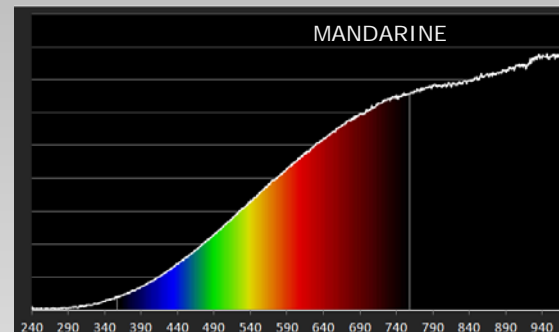
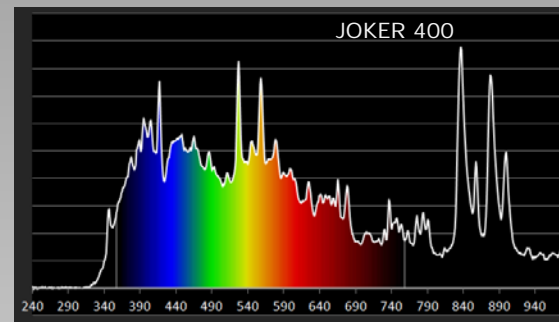
Les spectromètres se limitent à la mesure du spectre visible.

Dans le cadre de l'étude à la CST, nous avons utilisé un radiomètre SPECBOS 1112 afin de pouvoir se faire une idée de l'émission de rayons UV et IR (240 nm à 1000 nm).

C'est avec le JOKER 400 que nous avons le plus d'UV et sans surprise, c'est avec la MANDARINE que nous avons le plus d'infrarouge mais aussi avec le JOKER 400.

A noter que nous avons aussi de l'UV avec la MANDARINE.

Les LED n'émettent ni UV ni IR.



LA LUMIERE, les appareils de mesure

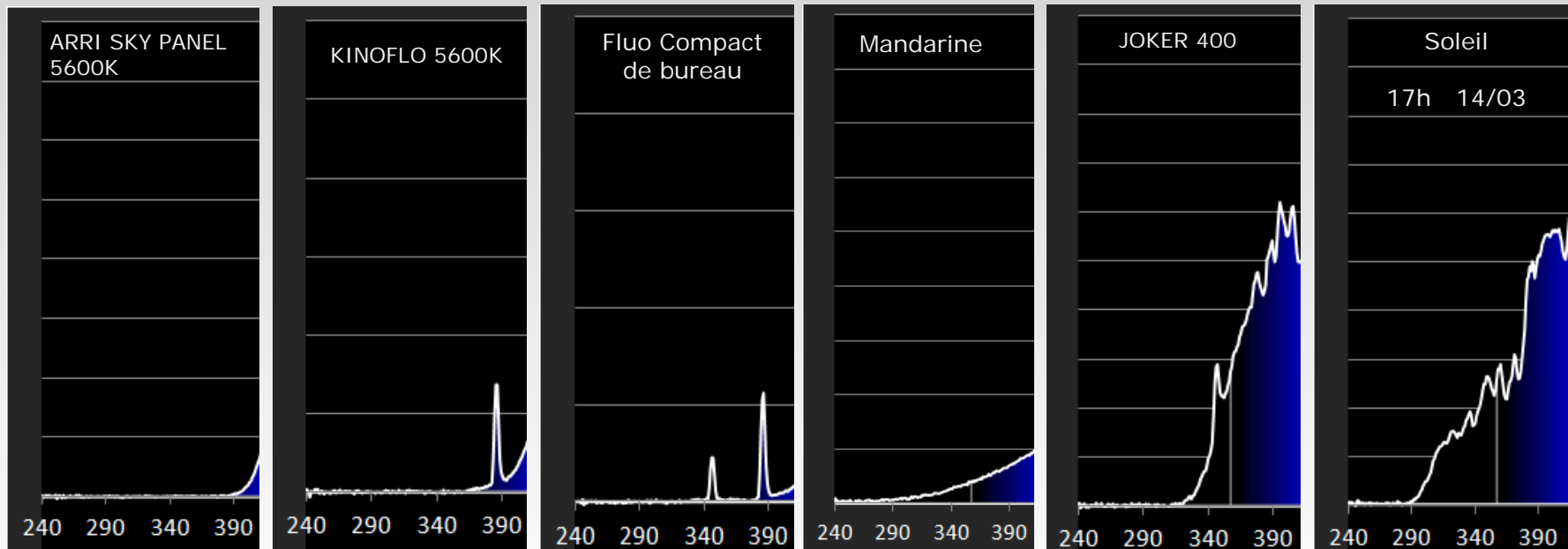
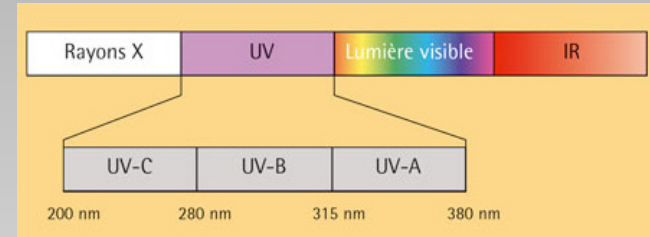
Mesure des radiations UV

Les UV-A traversent le verre. Ils sont à l'origine du bronzage et du vieillissement prématuré de la peau.

Les UV-B correspondent à la fraction des UV qui se transmet dans le quartz mais pas dans le verre. Ils sont toxiques et responsables de l'érythème solaire (coup de soleil).

Les UV-C sont absorbés dans l'atmosphère.

Comparons les sources :



LA LUMIERE, les appareils de mesure



Photo Benoît GUEUDET mars 2016

Jacques GAUDIN, Gilles ARNAUD et Yann CAINJO

Est-ce que tous les spectromètres se valent ?

Pour l'étude à la CST, nous avons utilisé

- un **radiomètre Specbos 1211**,
- un **Minolta CL 500A**
- un **UPRTek MK350 N+**,
- un **Sekonic C-700** et
- un luxmètre **Sekonic L558 Ciné**.

Tous les résultats concordent.

Oui, nous pouvons dire que les spectromètres du marché sont fiables.

Par contre, il y a de grandes différences dans la quantité d'informations proposée et l'ergonomie.

LES PROJECTEURS

Comment définir leur colorimétrie ?



AREA 48 Soft



Led Flo
3200K
ou
5500K



Ring Light



F8 de Zylight



OXO-ColorBeam



Litepad
Rosco



TRUCOLOR HS



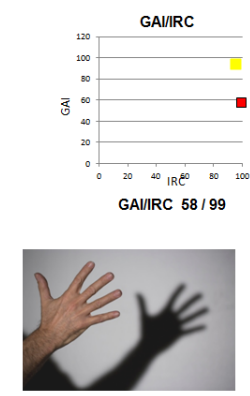
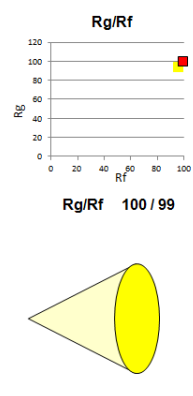
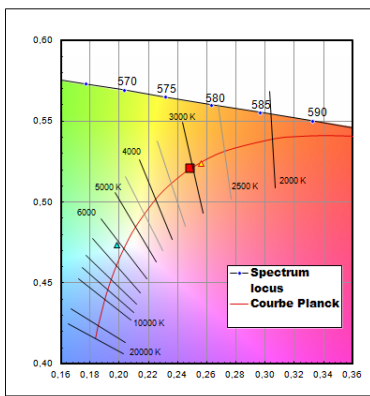
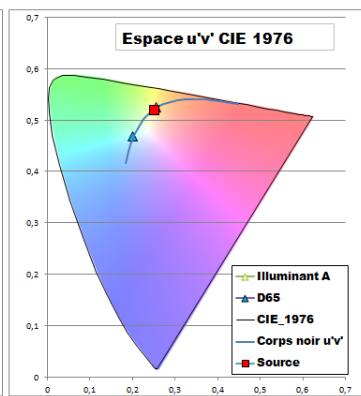
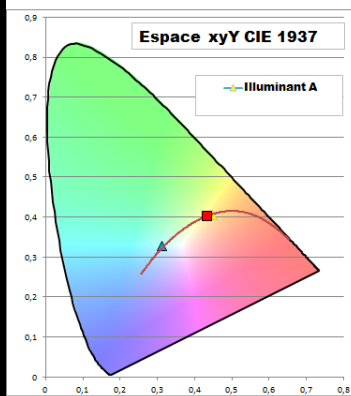
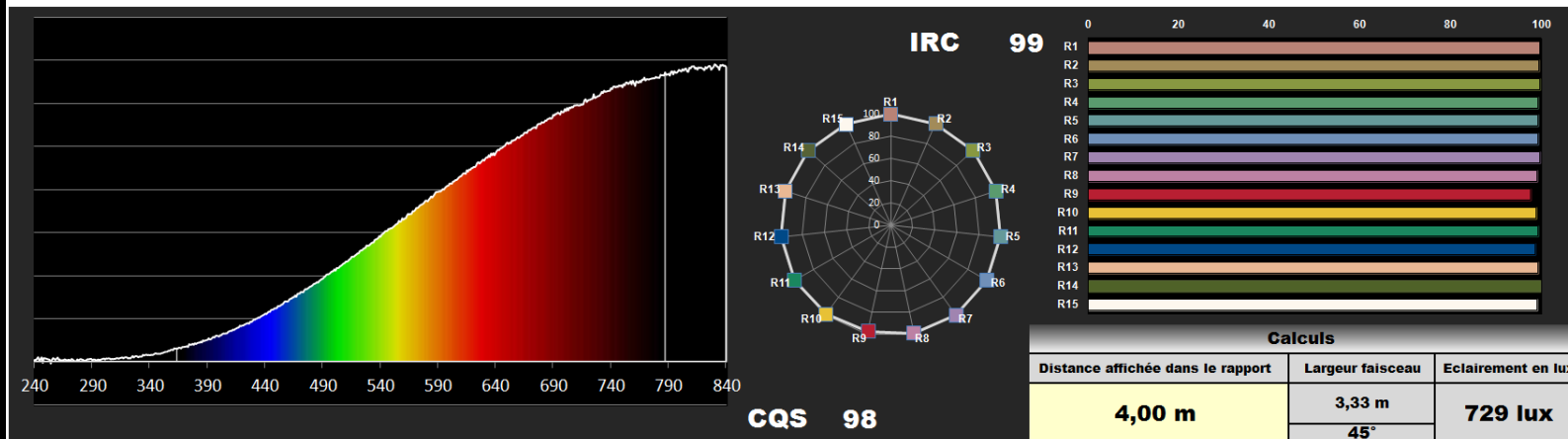
TRUCOLOR Foton

LES PROJECTEURS

Comment définir leur colorimétrie ?

Pour l'étude de la CST sur les projecteurs LED, j'ai développé un logiciel sur Excel qui reprend les mesures des différents spectrophotomètres du marché afin de pouvoir comparer et diffuser les caractéristiques photométriques et colorimétriques des projecteurs (Ici le projecteur Strand Bambino).

Marque :	STRAND	Date :	16/03/2016		IRC abs :	99	IRC IS :	99	Opérateurs G. ARNAUD, Y. CAINJO, J. GAUDIN et B. GUEUDET
Modèle :	Bambino	Conditions Test	Flood		TC mesurée :	3066 K	CQS :	98	
Preset :	3200 K		D (m)	3,0 m	Ø	2,5 m	E à 3 m	1297 lux	



LES PROJECTEURS

Comment définir leur colorimétrie ?

Technologie LED RVB



ARRI

L7-C

Flood

Fabricant : ARRIFLEX
Pays d'origine : Allemagne
Type : Fresnel
Technologie : LED RVB
T° : 3200 K

Puissance électrique : 160 W

Performances photométriques :



Distance : 4,0 m	Faisceau :
Eclairement : 360 lux	
Largeur faisceau : 3,6 m 48°	
faisceau en spot : 21° 1,1 m	

Performances colorimétriques

IRC₈ : 94

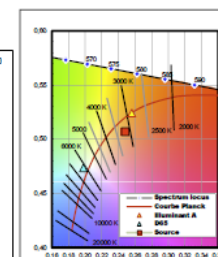
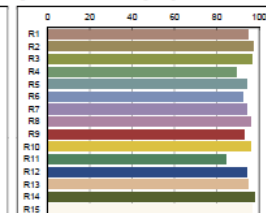
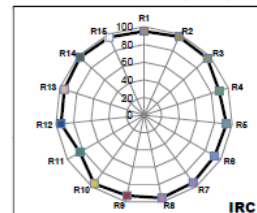
IRC₁₅ : 94

T° corrélée :

3167 K

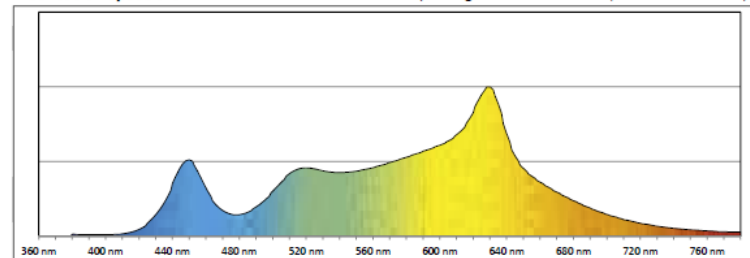
CIE 1976 :

TLCI-2012 : 84



Distribution spectrale :

(Pic longueur d'onde à 630 nm, dominante : 586 nm)



Correction Compensateur de Couleur à apporter (Vert/Magenta) : ajustable

Page tirée du document CST diffusé en 2014 sur l'étude des projecteurs à LED. Cette étude sera suivie d'une autre en 2016.

LES PROJECTEURS

Comment définir leur colorimétrie ?

Technologie LED
Blanche



**LBL
5000**

sur batterie, sans accessoire

Fabricant : LIGHTS BY LED

Pays d'origine : France

Type : Ambiance

Technologie : LED SMD

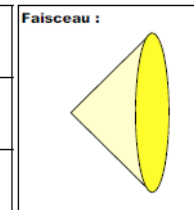
T° : 3200 K

Puissance électrique : 150 W

Performances photométriques :



Distance :	4,0 m
Eclairement :	264 lux
Largeur faisceau :	6,7 m 80°



Performances colorimétriques :

IRC₈ : 97

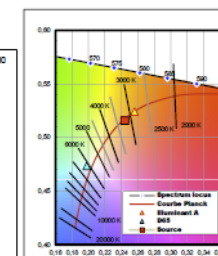
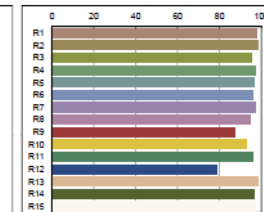
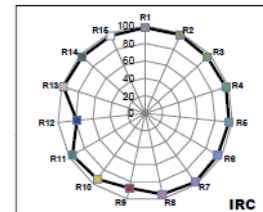
IRC₁₅ : 95

T° corrélée :

CIE 1976 :

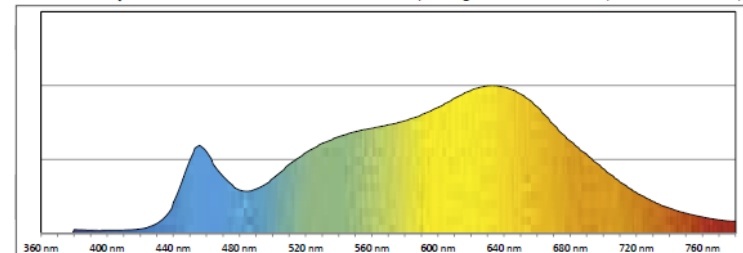
TLCI-2012 : 97

3205 K



Distribution spectrale :

(Pic longueur d'onde à 633 nm, dominante : 482 nm)



Correction Compensateur de Couleur à apporter (Vert/Magenta) : 7M

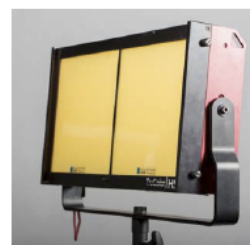
Page tirée du document CST diffusé en 2014 sur l'étude des projecteurs à LED.

LES PROJECTEURS

Comment définir leur colorimétrie ?

Technologie LED
Phosphore déporté

Page tirée du document CST diffusé en 2014
sur l'étude des projecteurs à LED.



CINEO TRUCOLOR HS

Fabricant : CINEO LIGHTING

Pays d'origine : USA

Type : Ambiance

Technologie : LED UV Phosphore déporté

T° : 3200 K

Puissance électrique : 450 W

Performances photométriques :



Distance :

4,0 m

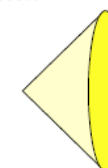
Eclairement :

412 lux

Largeur faisceau :

6,7 m
80°

Faisceau :



Performances colorimétriques :

IRC₈ : 98

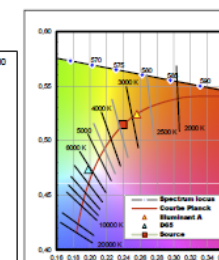
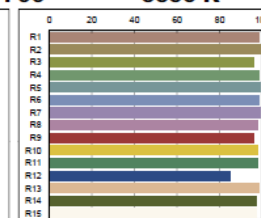
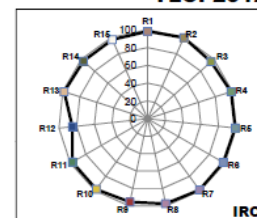
IRC₁₅ : 97

T° corrélée :

3356 K

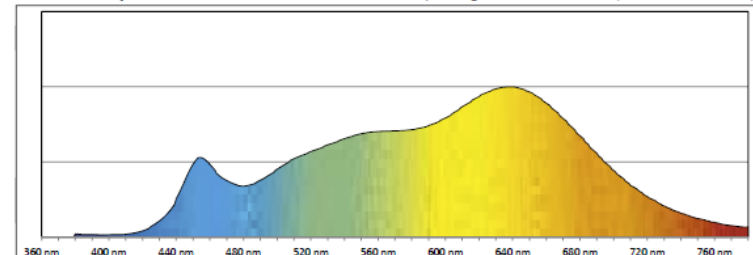
TLCI-2012 : 99

CIE 1976 :



Distribution spectrale :

(Pic longueur d'onde à 639 nm, dominante à 481 nm)



Correction Compensateur de Couleur à apporter (Vert/Magenta) : 5M

LES PROJECTEURS

Comment définir leur colorimétrie ?

Technologie HMI



K5600

JOKER 400

Chimera double diffusion

Fabricant : K5600 LIGHTING

Pays d'origine : France

Type : Ambiance

Technologie : HMI

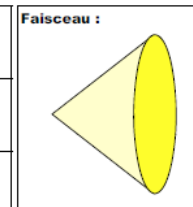
T° : 5600 K

Puissance électrique : 400 W

Performances photométriques :



Distance :	4,0 m
Eclairement :	69 lux
Largeur faisceau :	5,3 m 67°



Performances colorimétriques

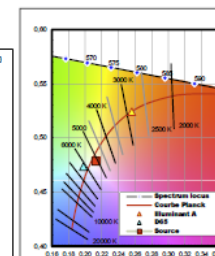
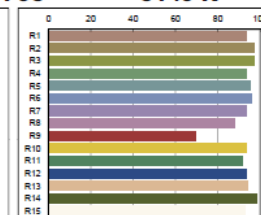
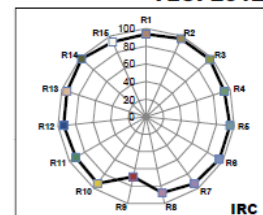
IRC₈ : 94

IRC₁₅ : 92

T° corrélée : 5149 K

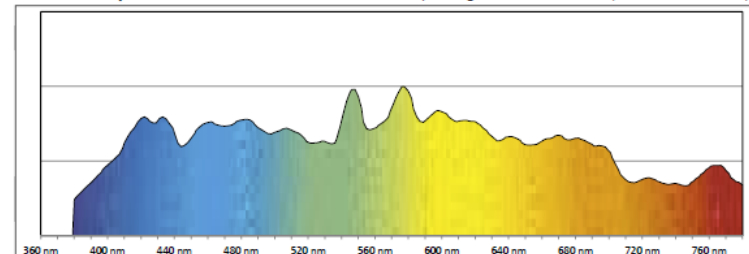
TLCI-2012 : 93

CIE 1976 :



Distribution spectrale :

(Pic longueur d'onde à 577 nm, dominante à 477 nm)



Correction Compensateur de Couleur à apporter (Vert/Magenta) :

Page tirée du document CST diffusé en 2014 sur l'étude des projecteurs à LED.

LES PROJECTEURS

Comment définir leur colorimétrie ?

Technologie
Fluorescence



KINOFLO

4 tubes 120

Grille, horizontal

Fabricant : KINOFLO

Pays d'origine : USA

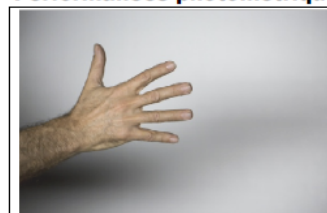
Type : Ambiance

Technologie : Fluorescence

T° : 5600 K

Puissance électrique : 160 W

Performances photométriques :



Distance :

4,0 m

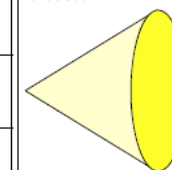
Eclairement :

139 lux

Largeur faisceau :

**4,1 m
55°**

Faisceau :



Performances colorimétriques :

IRC₈ : 98

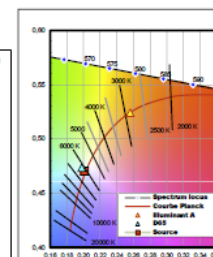
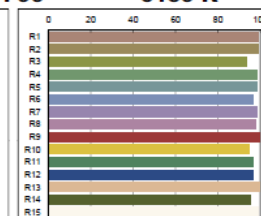
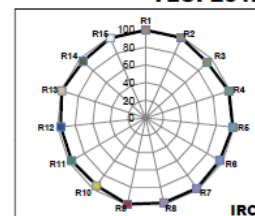
IRC₁₅ : 97

T° corrélée :

6159 K

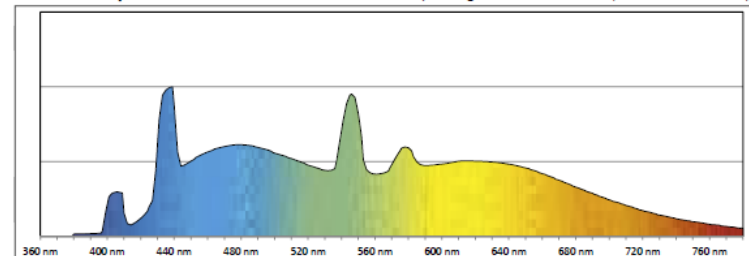
CIE 1976 :

TLCI-2012 : 99



Distribution spectrale :

(Pic longueur d'onde à 439 nm, dominante : 599 nm)



Correction Compensateur de Couleur à apporter (Vert/Magenta) :

Page tirée du document CST diffusé en 2014
sur l'étude des projecteurs à LED.

LES PROJECTEURS

Comment définir leur colorimétrie ?

Technologie
incandescence

Page tirée du document CST (version 2016)
sur l'étude des projecteurs à LED.

STRAND

Bambino

Flood

Fabricant : STRAND LIGHTING (PHILIPS)

Pays d'origine : Royaume Uni

Type : Fresnel

Technologie : Incandescence

TC : 3200 K

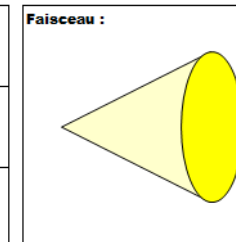
Puissance électrique : 1000 W



Performances photométriques :

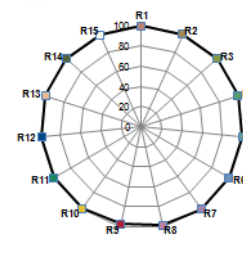


Distance :	4,0 m
Eclairement :	729 lux
Largeur faisceau :	3,3 m 45°

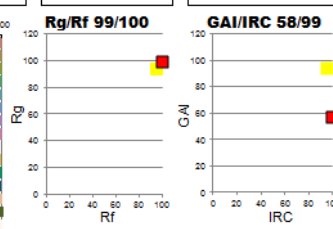
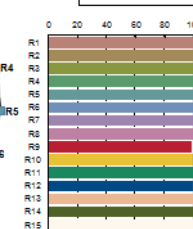


Performances colorimétriques :

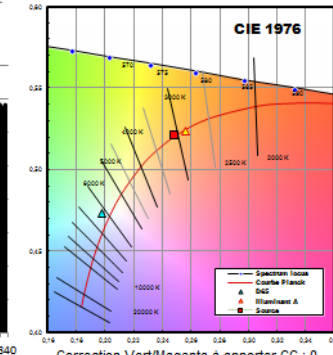
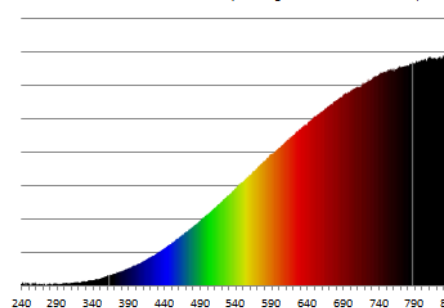
IRC



IRCs	99	TLCI	100	TC mesurée :	3066 K
IRC15	99	CQS	98		



Distribution spectrale : (Pic longueur d'onde à 780 nm)



Correction Vert/Magenta à apporter CC : 0

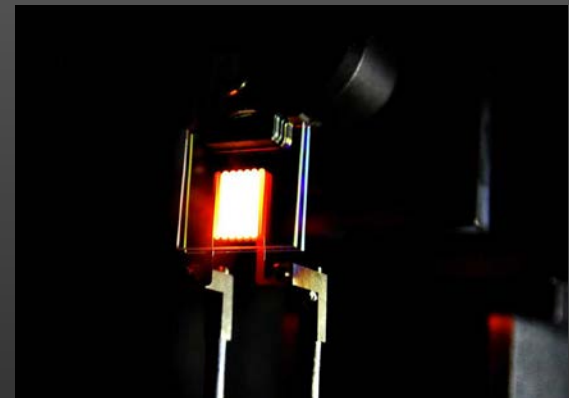
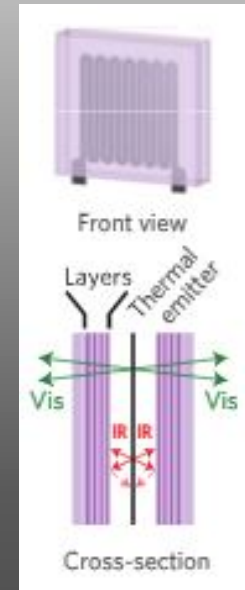
Un peu de prospective...

L'équipe du MIT (Massachusetts Institute of Technology) a prouvé que fixer **une structure cristalline autour du filament de tungstène** permet à l'énergie d'y rebondir.

D'ordinaire, une ampoule à filament n'est efficace qu'à 5%, puisque 95% de son énergie s'échappe dans l'atmosphère. À titre de comparaison, les LED sont efficaces à 14%. L'ampoule à incandescence du MIT pourrait être efficace à 40%, soutiennent ses créateurs.

« La particularité de cette ampoule, c'est qu'elle atteint un rendu quasi idéal des couleurs », vante encore le professeur Soljačić. « C'est précisément la raison pour laquelle les ampoules à incandescence ont prédominé pendant si longtemps », explique-t-il.

Les Echos janvier 2016



LES SPECTROPHOTOMÈTRES



Merci de votre attention

benoit@gueudet.net

masterclass  TSF

COMMENT UTILISER UN SPECTROMÈTRE EN TOURNAGE



Uptrek
MK350S



Sekonic
C700

AVEC

- François ROGER (Ciné Lumière de Paris)
- Benoit GUEUDET (Directeur Photo)
- Danys BRUYERE (TSF)