

## The effect of LED lighting on performance, appearance and sensations

Françoise Viénot  
Muséum national d'histoire naturelle,  
Centre de recherche sur la conservation des collections

Marie-Lucie Durand  
Université Paris-Sud, Master Sciences de la vision, Orsay, France

Elodie Mahler  
Société Nationale des Chemins de Fer – Direction de l'Innovation et de la Recherche –  
Unité Confort et Services, Paris, France

Remerciements: LedToLite, Jean-Jacques Ezrati, Corinne Talotte,  
Jean Le Rohellec, Solenne Bailacq

CIE, Budapest 2009 ; CIE-France, 22 octobre 2009

## L'effet d'un éclairage à base de diodes électroluminescentes sur la performance, l'apparence et le ressenti

Françoise Viénot  
Muséum national d'histoire naturelle,  
Centre de recherche sur la conservation des collections

Marie-Lucie Durand  
Université Paris-Sud, Master Sciences de la vision, Orsay, France

Elodie Mahler  
Société Nationale des Chemins de Fer – Direction de l'Innovation et de la Recherche –  
Unité Confort et Services, Paris, France

Remerciements: LedToLite, Jean-Jacques Ezrati, Corinne Talotte,  
Jean Le Rohellec, Solenne Bailacq

CIE, Budapest 2009 ; CIE-France, 22 octobre 2009

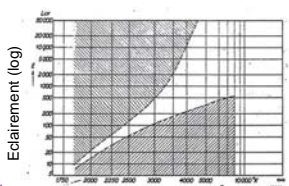
## La règle de Kruithof (1941)

Kruithof, A. A.: *Tubular Luminescence Lamps for General Illumination*, Philips Technical Review 6, pp. 65-73 (1941).

Kruithof étudia les limites entre lesquelles l'utilisateur trouvait l'éclairage "pleasing".

Son diagramme illustre les limites d'éclairage et de température de couleur entre lesquelles l'éclairage serait jugé "pleasing"

Il écrit : "a low or a high colour temperature corresponds to a low or high level of illumination, respectively".



Température de couleur proximale (MK<sup>-1</sup>)

## Ré-examen de la règle de Kruithof

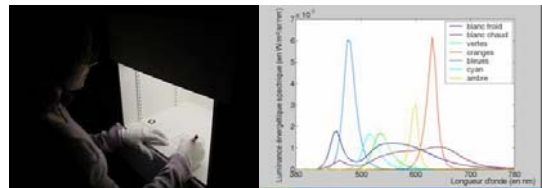
- Quelle est l'origine de la "pleasing-ness"
  - Facilitation de la tâche visuelle?
  - Embellissement des couleurs?
  - Ressenti subjectif?
- Avec un éclairage à base de LEDs, ajustable en termes d'intensité lumineuse et de température de couleur, nous avons l'opportunité de ré-examiner la règle de Kruithof, nous interrogeant sur l'interprétation et les fondements physiologiques de la sensation de "pleasing-ness".

## Présentation

- L'éclairage et la méthode
- Performance visuelle: tâches et résultats
- Apparence colorée: tâches et résultats
- Sensations subjectives: tâches et résultats
- Discussion sur l'origine de la sensation de luminosité
- Conclusion

## L'éclairage

- Une cabine à lumière est équipée de LEDs (blanc froid, blanc chaud, rouge, ambre, vert, cyan, bleu)





**Performance visuelle : tâches**

- Echelle d'acuité logarithmique de Galinier (contraste élevé et faible)
- Echantillon 4x4 of la planche 16x16 de Weston

Visual performance = Accuracy x Speed

13

**Performance visuelle : tâches**

- Echelle d'acuité logarithmique de Galinier (contraste élevé et faible)
- Echantillon 4x4 of la planche 16x16 de Weston

Visual performance = Accuracy x Speed

- Tâche de lecture à haute voix: textes d'égale difficulté  
Hahn et al. *New standardised texts for assessing reading performance in four European languages*, *Br J Ophthalmol.* 2006, 90(4):480-4.

14

**Performance visuelle : ANOVA**  
Probablement, pas d'effet de la température de couleur

	Effet de T <sub>cp</sub>	Effet de l'éclairement	Effet selon participant
Acuité contraste faible	<del>↗</del>	↗	OUI
Acuité contraste élevé	↗	↗	OUI
Performance visuelle avec les anneaux de Landolt	<del>↗</del>	<del>↗</del>	OUI
Vitesse de lecture	<del>↗</del>	<del>↗</del>	OUI

Ces effets sont conformes à ceux de: Smith & Rea, 1979; Boyce, Akashi, Hunter, Bullough, 2003.

15

**Performance visuelle : ANOVA**  
Probablement, pas d'effet de la température de couleur

	Effet de T <sub>cp</sub>	Effet de l'éclairement	Effet selon participant
Acuité contraste faible	<del>↗</del>	↗ 0	OUI
Acuité contraste élevé	↗ 0.04	↗ 0.0002	OUI
Performance visuelle avec les anneaux de Landolt	<del>↗</del>	<del>↗</del>	OUI
Vitesse de lecture	<del>↗</del>	<del>↗</del>	OUI

Ces effets sont conformes à ceux de: Smith & Rea, 1979; Boyce, Akashi, Hunter, Bullough, 2003.

16

**Apparence colorée**

Teintes binaires  
Réminiscence de l'éclairage naturel

17

**Apparence colorée : tâches**


- Sélection de teintes binaires dans l'atlas de couleur NCS (S10-40 series)

Bleu / Vert  
Vert / Jaune  
Jaune / Rouge  
Rouge / Bleu


18

### Apparence colorée : tâches

- Sélection de teintes binaires dans l'atlas de couleur NCS (S10-40 series)
- Réminiscence de l'éclairage naturel



Bleu / Vert  
Vert / Jaune  
Jaune / Rouge  
Rouge / Bleu

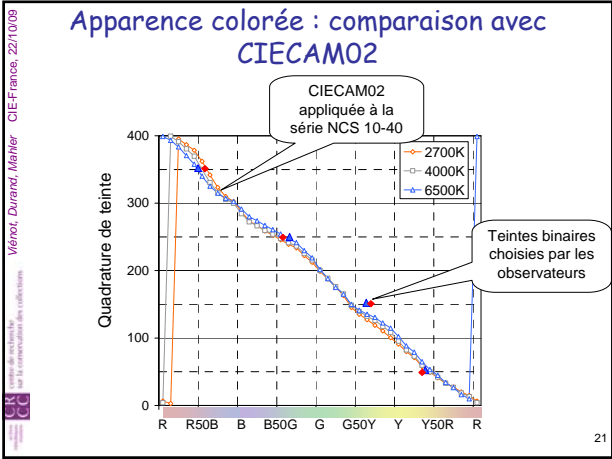


© Jean Le Rohellec

### Apparence colorée : ANOVA

Glissement des teintes binaires

	Effet de $T_{cp}$	Effet de l'éclaircement	Effet selon participant
Teintes binaires	OUI	150lx ↗ 300lx Bleu-Vert	OUI
Saison	<del>XXXX</del>	<del>XXXX</del>	OUI
Météo	<del>XXXX</del>	150lx ↗ 300lx	OUI



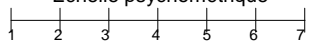
### Sensations subjectives

recueillies après que toutes les tâches eussent été effectuées sous un éclairage donné

### Sensations subjectives : tâches

- Français**
  - Sombre – Lumineuse
  - Crépusculaire – Claire
  - Inconfortable – Confortable
  - Désagréable – Agréable
  - Eblouissante – Non éblouissante
  - Fatigante – Relaxante
  - Froide – Chaude
  - Triste – Gaie
  - Rendu des couleurs artificiel – Rendu des couleurs naturel
- English (my translation)**
  - Dark – Bright
  - Dull – Clear
  - Glaring – Non glaring
  - Uncomfortable – Comfortable
  - Unpleasant – Pleasant
  - Tiring – Relaxing
  - Cool – Warm
  - Sad – Lively
  - Artificial colour rendering – Natural colour rendering

Echelle psychométrique



### Sensations subjectives : ANOVA

Les sensations subjectives sont sous l'influence de la température de couleur

	Effet de $T_{cp}$	Effet de l'éclaircement	Effet selon participant
Lumineux	↗	↗	<del>XXXX</del>
Clair	↗	↗	✓
Eblouissant	↗	↗	✓
Agréable	↘	50 ↗ 100	<del>XXXX</del>
Confortable	↘	<del>XXXX</del>	<del>XXXX</del>
Relaxant	↘	<del>XXXX</del>	<del>XXXX</del>
Chaud	↘	<del>XXXX</del>	✓
Gai	<del>XXXX</del>	↗ 0	✓
Rendu des couleurs	<del>XXXX</del>	<del>XXXX</del>	<del>XXXX</del>

### Sensations subjectives : ANOVA

Les sensations subjectives sont sous l'influence de la température de couleur

	Effet de $T_{cp}$	Effet de l'éclairément	Effet selon participant
Lumineux	↗	↗	<del>↗</del>
Clair	↗	↗	✓
Eblouissant	↗	↗	✓
Agréable	↘	50↗100	<del>↘</del>
Confortable	↘	<del>↘</del>	<del>↘</del>
Relaxant	↘	<del>↘</del>	<del>↘</del>
Chaud	↘	<del>↘</del>	✓
Gai	<del>↘</del>	↗ 0	✓
Rendu des couleurs	<del>↘</del>	<del>↘</del>	<del>↘</del>

25

### Sensations subjectives : ANOVA

Les sensations subjectives sont sous l'influence de la température de couleur

	Effet de $T_{cp}$	Effet de l'éclairément	Effet selon participant
Lumineux	↗	↗	<del>↗</del>
Clair	↗	↗	✓
Eblouissant	↗	↗	✓
Agréable	↘	50↗100	<del>↘</del>
Confortable	↘	<del>↘</del>	<del>↘</del>
Relaxant	↘	<del>↘</del>	<del>↘</del>
Chaud	↘	<del>↘</del>	✓
Gai	<del>↘</del>	↗ 0	✓
Rendu des couleurs	<del>↘</del>	<del>↘</del>	<del>↘</del>

26

### Sensations subjectives : ANOVA

Les sensations subjectives sont sous l'influence de la température de couleur

	Effet de $T_{cp}$	Effet de l'éclairément	Effet selon participant
Lumineux	↗ 0	↗ 0	<del>↗</del>
Clair	↗ 0	↗ 0	✓
Eblouissant	↗ 0	↗ 0.03	✓
Agréable	↘ .0042	50↗100 0.002	<del>↘</del>
Confortable	↘ .0007	<del>↘</del>	<del>↘</del>
Relaxant	↘ 0	<del>↘</del>	<del>↘</del>
Chaud	↘ 0	<del>↘</del>	✓
Gai	<del>↘</del>	↗ 0	✓
Rendu des couleurs	<del>↘</del>	<del>↘</del>	<del>↘</del>

27

### Subjective feelings: ANOVA

Les sensations subjectives sont sous l'influence de la température de couleur

	Effet de $T_{cp}$	Effet de l'éclairément	Effet selon participant
Lumineux	↗ 0	↗ 0	<del>↗</del>
Clair	↗ 0	↗ 0	✓
Eblouissant	↗ 0	↗ 0.03	✓
Agréable	↘ .0042	50↗100 0.002	<del>↘</del>
Confortable	↘ .0007	<del>↘</del>	<del>↘</del>
Relaxant	↘ 0	<del>↘</del>	<del>↘</del>
Chaud	↘ 0	<del>↘</del>	✓
Gai	<del>↘</del>	↗ 0	✓
Rendu des couleurs	<del>↘</del>	<del>↘</del>	<del>↘</del>

Ces résultats s'accordent avec ceux de : Cuttle and Boyce, 1988.

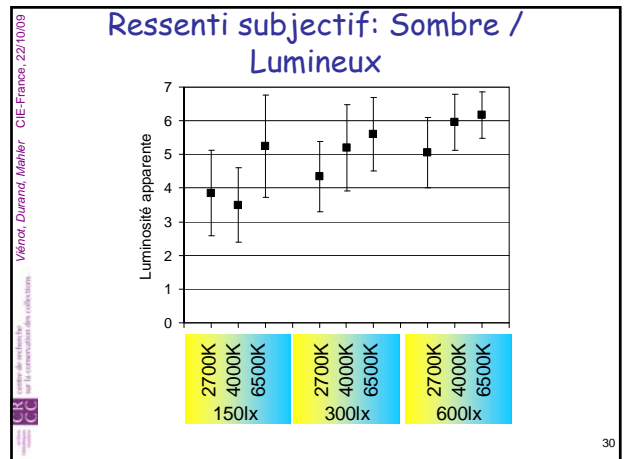
28

### Subjective feelings: ANOVA

Les sensations subjectives sont sous l'influence de la température de couleur

	Effect of CCT	Effect of illuminance	Effect of participants
Lumineux	↗ 0	↗ 0	<del>↗</del>
Clair	↗ 0	↗ 0	✓
Eblouissant	↗ 0	↗ 0.03	✓
Agréable	↘ .0042	50↗100 0.002	<del>↘</del>
Confortable	↘ .0007	<del>↘</del>	<del>↘</del>
Relaxant	↘ 0	<del>↘</del>	<del>↘</del>
Chaud	↘ 0	<del>↘</del>	✓
Gai	<del>↘</del>	↗ 0	✓
Rendu des couleurs	<del>↘</del>	<del>↘</del>	<del>↘</del>

29



Discussion et conclusion

Vénot, Durand, Mahler, CIE-France, 22/10/09

Centre de recherche sur la colorimétrie des collections

31

### Discussion sur l'origine de la sensation de Luminosité

- A luminance constante,

Vénot, Durand, Mahler, CIE-France, 22/10/09

Centre de recherche sur la colorimétrie des collections

32

### Discussion sur l'origine de la sensation de Luminosité

- A luminance constante, la luminosité augmente quand la température de couleur augmente

Vénot, Durand, Mahler, CIE-France, 22/10/09

Centre de recherche sur la colorimétrie des collections

33

### Discussion sur l'origine de la sensation de Luminosité

- A luminance constante, la luminosité augmente quand la température de couleur augmente

- Pourquoi la luminosité augmente-t-elle avec la température de couleur?

Vénot, Durand, Mahler, CIE-France, 22/10/09

Centre de recherche sur la colorimétrie des collections

34

## Le système visuel

Siège du traitement de l'information dans le système visuel

CERVEAU

RETINE  
Cônes pour la vision de jour

CORTEX

Traitement des images

Couleur

Vénot, Durand, Mahler, CIE-France, 22/10/09

Centre de recherche sur la colorimétrie des collections

35

## Le système visuel

Siège du traitement de l'information dans le système visuel

CERVEAU

RETINE  
Cônes pour la vision de jour  
Bâtonnets pour la vision de nuit

CORTEX

Traitement des images

Couleur

Vénot, Durand, Mahler, CIE-France, 22/10/09

Centre de recherche sur la colorimétrie des collections

36

## Le système visuel

Siège du traitement de l'information dans le système visuel

**CERVEAU**

**CORTEX**  
Traitement des images  
Couleur

**RETINE**  
Cônes pour la vision de jour  
Bâtonnets pour la vision de nuit  
Mélanopsine pour les contrôles réflexes: rythme circadien, pupille

**VOIES VISUELLES ACCESSOIRES**

37

## Le système visuel

**Rétine**

Quelques cellules ganglionnaires à mélanopsine  
 $\lambda_{\max} = 480-490 \text{ nm}$

**Cônes**  
**Bâtonnets**  
 $\lambda_{\max} = 507 \text{ nm}$

38

## Discussion sur l'origine de la sensation de Luminosité

- Luminosité perçue
- Intensité du stimulus pour la mélanopsine, les bâtonnets, les cônes-S

Perceived Brightness

Stimulus Intensity

39

## Diamètre pupillaire

Valeur relative du diamètre pupillaire chez trois sujets

2700K 4000K 6500K

Diamètre pupillaire (rel.)

40

## Diamètre pupillaire

Valeur relative du diamètre pupillaire chez trois sujets

2700K 4000K 6500K

Diamètre pupillaire (rel.)

41

## Luminance, Luminosité et Température de couleur

- L'expérience montre que, à luminance constante, la luminosité apparente augmente quand la température de couleur augmente.
- Y aurait-il un contrôle indirect de la sensation de luminosité selon le schéma suivant?

La  $T_{cp}$  augmente

Le stimulus pour la mélanopsine augmente

La pupille se contracte

L'observateur « ressent » une augmentation apparente de lumière

*Bien que moins de lumière atteigne la rétine*

42



## Conclusions

- Avec un éclairage à base de LEDs, il a été possible de contrôler l'éclairement et la température de couleur, tout en optimisant l'IRC.
- La performance visuelle dépend de l'éclairement, mais pratiquement pas de la température de couleur.
- L'apparence colorée et les sensations subjectives sont influencées par la température de couleur.
- La règle de Kruithof n'est que partiellement validée.
  - OUI: Une  $T_{cp}$  élevée avec un faible éclairement est désagréable.
  - NON: Les  $T_{cp}$  faibles sont agréables, même quand l'éclairement est élevé.
- La stimulation de la mélanopsine pourrait être à l'origine de la sensation de luminosité.

43

## Merci de votre attention

- VIÉNOT F., MAHLER E., EZRATI J.-J., BOUST C., RAMBAUD A., BRICOUNE A., 2008, Color appearance under LED illumination: The visual judgment of observers. *Journal of Light and Visual Environment*, 32 :208-213.
- MAHLER E., EZRATI J.-J., VIÉNOT F., 2009, Testing LED Lighting for Colour Discrimination and Colour Rendering. *Color Research & Application*, 34 : 8-17.
- VIÉNOT F., DURAND M.-L., MAHLER E., 2009, Kruithof's rule revisited using LED illumination. *J. Mod. Optics*, 56 : 1433-1446.
- VIÉNOT F., DURAND M.-L., MAHLER E., 2009, The effect of LED lighting on performance, appearance and sensations. *Proceedings of the CIE Light and Lighting Conference*, Budapest, 27-29 May 2009.

44