

# LA COLORIMÉTRIE ET LES ILLUMINANTS ADÉQUATS EN CND RESSUAGE COLORÉ

## SCIENCE OF COLOR IN PENETRANT TESTING OR HOW TO IMPROVE SIGHT SEEING BY USING ADEQUATE LIGHTNINGS

CARTAILLAC MORETTI A., Responsable technico-commercial - Babb Co SA.  
DUFOUR F., Directrice technique - Babb Co SA.

### Résumé

Les consommables pénétrants rouges et révélateurs blancs utilisés pour ce contrôle 'simple en apparence' doivent répondre à de nombreuses exigences techniques, parfois antagonistes, comme la résistance au surlavage et la rinçabilité, sans oublier les contraintes réglementaires de tout ordre et notamment celles relatives à l'hygiène et sécurité (H&S). La détection des indications dans la méthode ressuage coloré fait appel à la perception des couleurs et des contrastes.

Il est donc évident que le choix des colorimétries utilisées pour les traceurs des pénétrants et le système d'éclairage qui est utilisé pour leur détection visuelle joue un grand rôle dans le process de la détection par l'opérateur des indications émergentes.

### Abstract

*The consumables, red dye penetrant and developers used to perform this easy at first glance NDT, have to comply to severals –sometimes antagonists- technicals behaviours ; such as washability & overwashing resistance, keeping in mind regulations relative to safety and others.*

*The detection is based on Black & White and color contrast; then making the right choice of the dyes involved in the penetrant formulation, and the adequate type of lightnings used for detection of the indications revealed is highly important to achieve a sensitive test.*

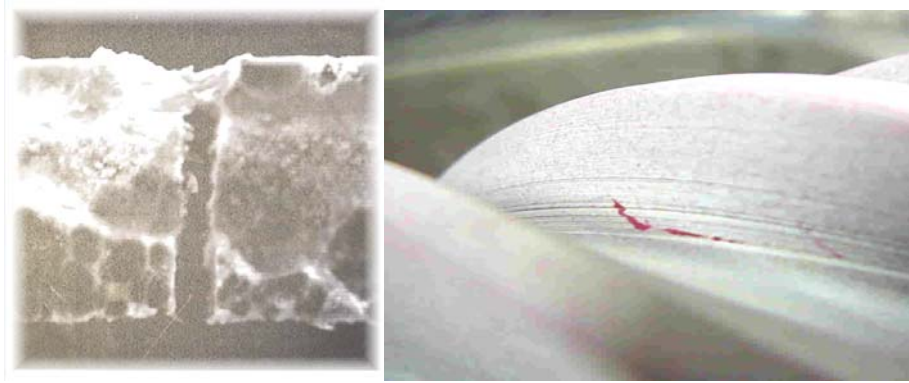
### INTRODUCTION

La détection des indications dans la méthode ressuage coloré fait appel à la perception des couleurs et des contrastes.

Il est donc évident que le choix des colorimétries utilisées pour les traceurs des pénétrants et le système d'éclairage, qui est utilisé pour leur détection visuelle, joue un grand rôle dans le process de la détection par l'opérateur des indications émergentes.

Le ressuage coloré est une méthode très simple pour la détection de discontinuités de surface de taille très réduite.

Les consommables, pénétrants rouges et révélateurs blancs utilisés pour ce contrôle 'simple en apparence' doivent répondre à de nombreuses exigences techniques, parfois antagonistes, comme la résistance au surlavage et la rinçabilité, sans oublier les contraintes réglementaires de tout ordre et notamment celles relatives à l'H&S. Leur formulation n'est donc pas simple, et ce banal liquide rouge est en fait un véritable concentré liquide de chimie fine : ils sont seuls à pouvoir détecter des fissures de l'ordre de quelques  $\mu\text{m}$ , voire moins, d'ouverture et de profondeur : la photo ci à coté illustre une fissure de  $30\mu\text{m}$  de profondeur et de  $1,5\mu\text{m}$  de largeur (cale NiCr EN ISO 3452-2 type1)



cale NiCr EN ISO 3452-2 type1

Une indication : fissuration de fatigue sur vis sans fin.

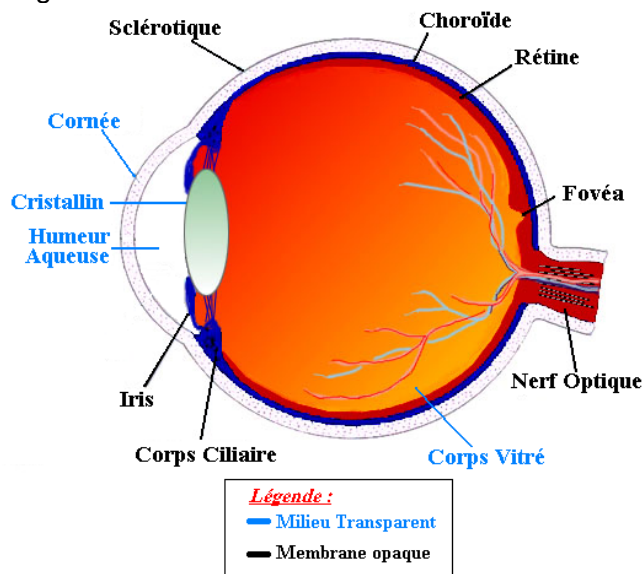
Les pénétrants de ressuage doivent être de couleur rouge, pourpre ou orangé. Sont donc exclues les variantes roses et autres déclinaisons bleues bien que cette dernière couleur donne d'excellents résultats en détection.

Pourquoi ces couleurs imposées ?

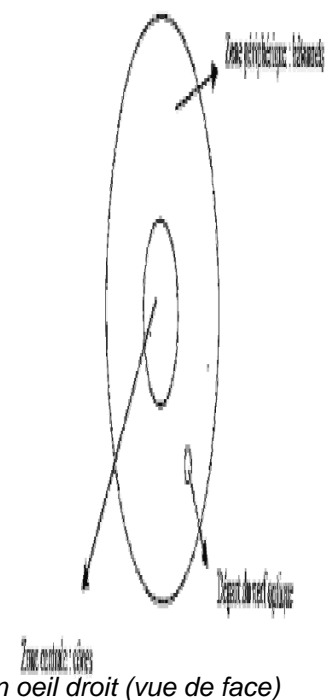
La détection des indications se base sur le contraste en couleur et en luminosité : l'indication est rougeâtre sur le fond blanc du révélateur.

### La vision humaine : comment cela fonctionne

Regardons le schéma de fonctionnement de l'œil humain



Coupe d'un œil



Rétine d'un œil droit (vue de face)

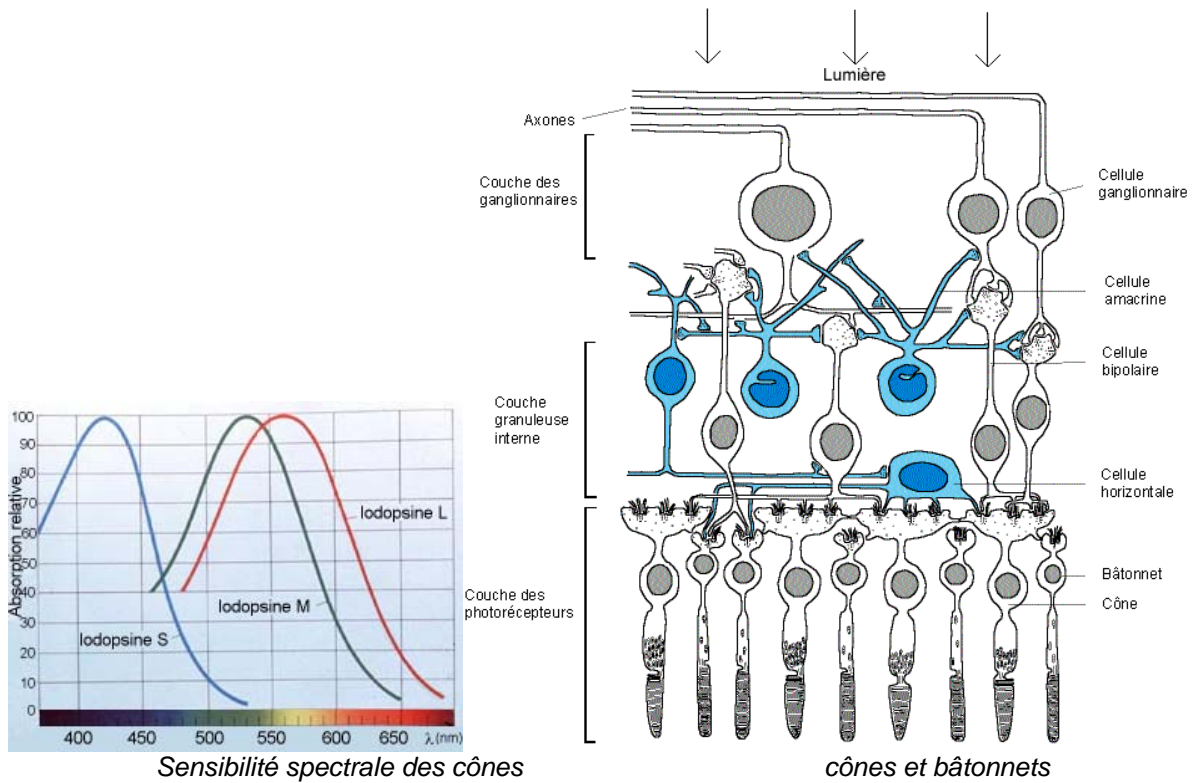
L'image perçue par notre système de vision se forme sur la rétine qui comprend plusieurs zones : centrale / périphérique et le départ du nerf optique.

Les deux zones qui nous intéressent particulièrement ici sont la zone centrale et la zone périphérique.

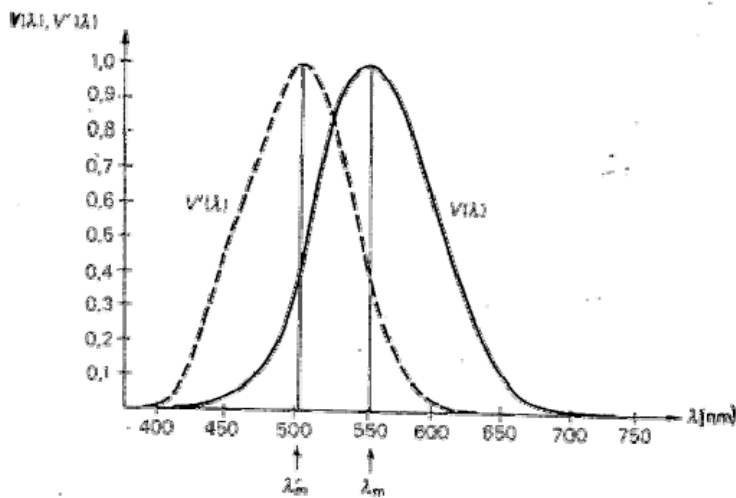
La zone centrale contient des cellules appelées cônes (en raison de leur forme), qui déterminent notre aptitude à différencier les couleurs. Trois types de cellules sont sensibles

à trois régions du spectre visible, en gros Rouge (L) Vert (M) et Bleu (S). Les cônes sont relativement peu sensibles à la lumière : il faut un nombre relativement important de photons pour exciter les cônes afin qu'ils produisent suffisamment de "réactifs" qui assureront la cascade de réactions chimiques entraînant finalement le signal de dépolarisation transmis par le nerf optique.

La zone périphérique contient des cellules appelées bâtonnets (là encore, en raison de leur forme).

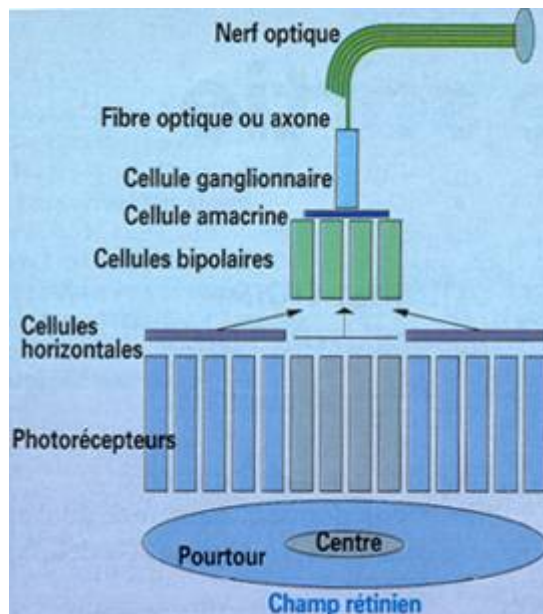


La CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) a établi la courbe suivante, dite courbe de sensibilité de l'œil standard. La courbe en trait plein représente la sensibilité relative de l'œil en conditions photopiques (dans des conditions lumineuses 'plein jour').



Les bâtonnets sont très sensibles à la lumière, mais ne donnent qu'une vision en noir et blanc : nous sommes incapables de distinguer les couleurs s'il n'y a pas assez de photons. La nuit, tous les chats sont gris, c'est bien connu !

En fonction de la luminosité, les 2 systèmes sont actifs et envoient leur signaux jusqu'au cerveau via le nerf optique qui réalise avec les couches dédiées de la rétine un véritable prodige de 'traitement du signal' allant du champ rétinien (groupement de plusieurs cellules photoréceptrices) jusqu'au départ du nerf optique.



*De la rétine jusqu'au nerf optique*

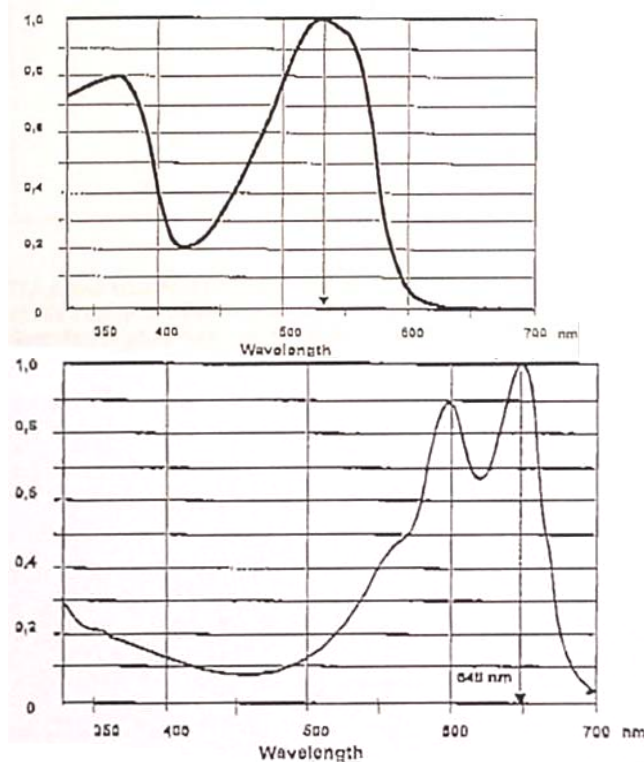
Le facteur primordial pour la vision est donc le contraste mesuré par les champs rétiens (centre et pourtour) qui est de 2 ordres : le contraste lumineux (entre le blanc et le noir par ex) et le contraste par opposition de couleurs. Notre cortex cérébral analyse facilement les images contrastées ; en revanche, rien n'est plus désagréable que de se trouver dans un environnement à faible contraste : brouillard épais, lieux enneigés par temps sombre et nuageux où l'analyse des détails n'est pas possible par notre cerveau.

Pour maximiser la perception, Il est bien entendu judicieux d'ajouter au contraste uniquement lumineux (par exemple une indication « noir sur blanc » en magnétoscopie) un contraste de couleur (p ex une indication en ressuage rouge).

La courbe de l'œil VLambda (trait continu) en conditions photopiques montre un pic de sensibilité à la longueur d'onde 550 nm (jaune vert) alors que pour les couleurs rouge profond (proche infrarouge) et violet profond (proche UVA) notre sensibilité spectrale n'est pas bonne.

Il est donc évident qu'un pénétrant de ressuage coloré sera de couleur rouge ou bleue : les domaines spectraux où la sensibilité de l'œil est médiocre, en gros les 'pieds' droits et gauche de la courbe de la CIE.

## Pourquoi les pénétrants colorés le sont en rouge ?



*Absorption de colorants rouge (à gauche) et bleu*

Ci-dessus figurent les spectres d'absorption de colorants utilisés pour la formulation de pénétrants de ressuage colorés.

A gauche un colorant rouge et un bleu à droite. Logiquement le colorant bleu absorbe les longueurs d'onde correspondant à des couleurs rouge orangé à jaune, tandis que le colorant rouge absorbe les couleurs bleutées à vertes.

Pour des raisons historiques certainement, la couleur répandue pour le ressuage coloré est le rouge. Il est vrai que le rouge signifie l'interdiction, l'urgence, le danger.

Les spécialistes des 'codes couleurs' associent cela à un réflexe primaire de notre cerveau (un comportement 'programmé') qui associe le rouge (la couleur du sang) à un événement d'importance voire dramatique.

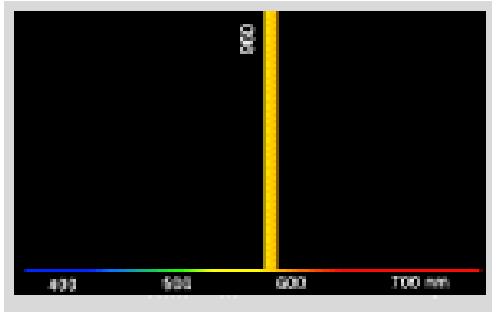
Ceci colle tout à fait à l'état de dangerosité d'une pièce ressuée, fendue d'une belle fissure rouge !

Il existe toutefois des pénétrants bleus qui donnent des résultats en ressuage tout à fait étonnants.

## Le rôle de la qualité de la lumière

La norme NF EN ISO 3059 'conditions d'observation' est peu drastique en ce qui concerne l'éclairage blanc : un minimum de 500lux et pas de lumière coloré telle que la lumière orangée monochromatique des lampes à sodium.

Pourquoi l'interdiction de la lumière orangée des lampes à sodium ?



*spectre de raie de lampe à sodium.*

Tout simplement parce que la longueur d'onde de ce spectre orangé est trop éloigné de leur absorption des colorants rouges.

En effet une indication rouge sur fond orange n'est pas très visible :

- Le contraste lumineux est faible
- Le contraste coloré est quasiment inexistant !

Alors, si une lumière peut dégrader la détection, l'inverse existe également : un certain type d'éclairage peut faciliter l'interprétation des indications.

Deux facteurs sont suffisants pour caractériser un spectre de lumière blanche : la température de couleur et l'indice de rendu des couleurs que nous allons aborder succinctement ci après

## La lumière blanche

Les couleurs de l'environnement reçues et perçues par l'œil sont conditionnées par le spectre de la lumière blanche utilisée pour éclairer les objets observés.

### Température de couleur :

La lumière visible blanche composé de longueurs d'ondes de 400 à 700nm peut prendre différentes teintes ; quand certaines longueurs d'ondes sont absentes, on parle de lumière colorée.

La teinte d'une lumière visible blanche est définie par sa 'température de couleur' qui est la température en degrés Kelvins d'un corps noir incandescent (radiateur de Planck).

Plus ce corps est chaud plus la lumière sera 'froide' c'est à dire bleutée. On trouve dans le commerce des sources lumineuses procurant une lumière dite 'chaude' (jaunâtre) telles que les ampoules à incandescence : 2700 à 3000°K, et d'autres sources procurant une lumière dite 'froide' (éclairages blanc public, blanc 'industrie') : 4500/5000/6000°K.

La lumière solaire donne une température de couleur moyenne de 6500°K.

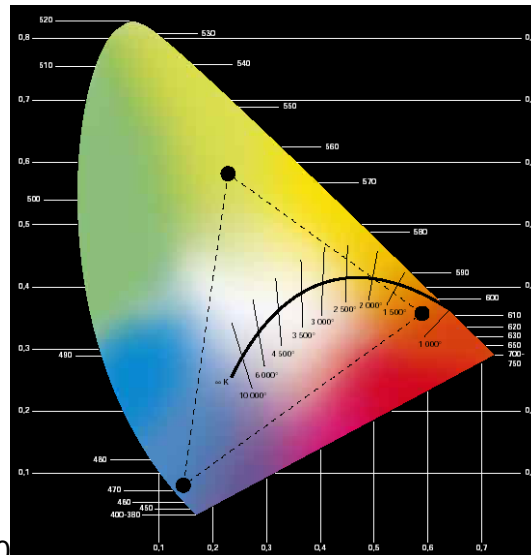
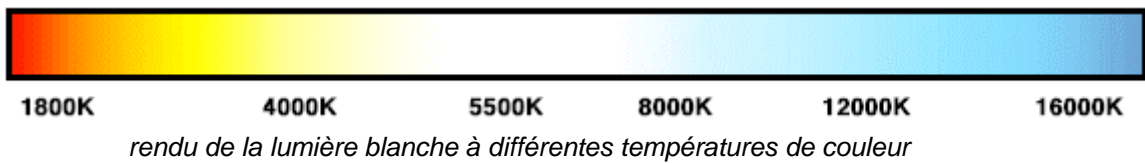


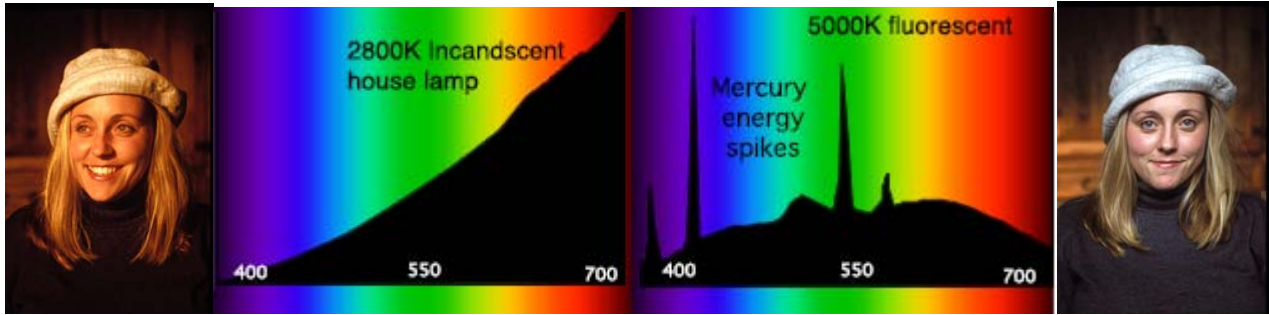
Fig 10

Diagramme de chromaticité normalisé CIE.



Source	Color temperature °K
Ciel bleu	12,000 - 20,000
Lumière du jour (soleil+ciel)	6500
Ampoule Xenon short-arc	6400
Arc mercure ampoule non poudrée	5900
Blanc Deluxe Mercury lamp ampoule poudrée	4000
Ampoule Halogène Xénon surchauffé	3200
100-watt tungsten halogen	3000
100-watt incandescent	2870
High-pressure sodium light	2100
Flamme de bougie	1850 - 1900
Feu de bois	1700

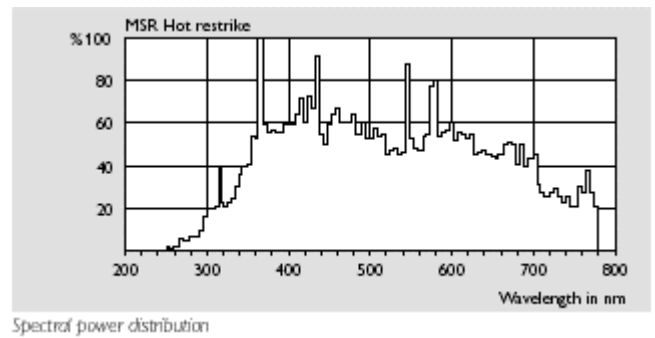
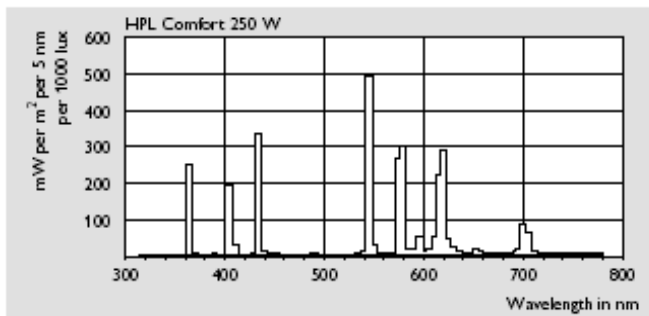
Intuitivement on se rend compte qu'une lumière chaude (projecteur halogène par ex) comprend proportionnellement plus de photons de grande longueur d'onde (jaune / orange / rouge) que de photons à courte longueur d'onde (vert / bleu / violet), alors qu'une lumière froide voit la proportion de photons 'courts' augmenter (la lumière est plus bleutée)



2 rendus de couleurs : respectivement blanc chaud puis froid

Les spectres ci dessus illustrent la différence entre les blancs : chaud à gauche (2800°K) et froid à droite (5000°K : moins de bleuté/vert et plus de jaune/orange/rouge).

### L'indice de rendu des couleurs



Spectres Vapeur de mercure poudrée IRC50 / 3500°K et Xénon , IRC>90 env 7000°K

L'indice de rendu des couleurs 'IRC' est une indication de la capacité de la source de lumière à révéler et différencier de fines nuances des couleurs d'un objet éclairé.

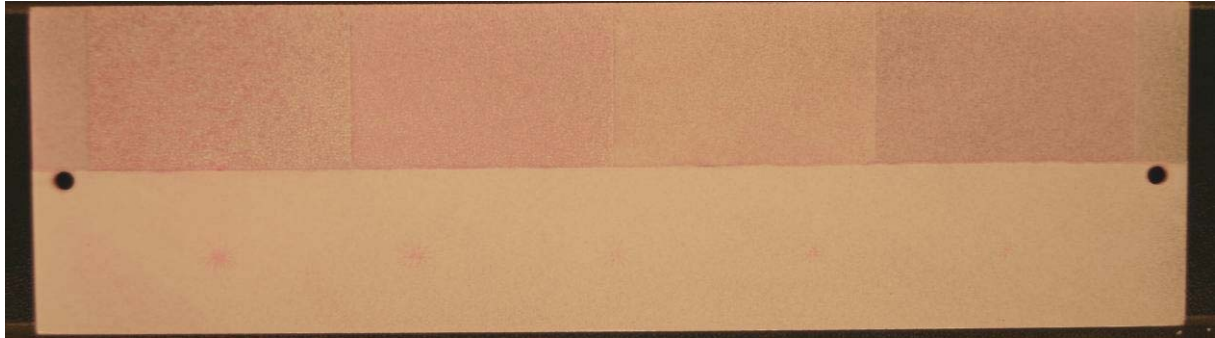
Dans le cas d'un spectre discret (continu) comme ceux des ampoules à incandescence ou des ampoules à Xénon utilisées pour la projection d'images, l'IRC est maximum : il est de 100 ; toutes les longueurs d'ondes sont présentes en proportion variables (selon le radiateur de Planck).

Dans le cas de lumière blanche à spectre de raies (ampoules à décharge poudrées ou claires), l'IRC se dégrade car le spectre présente des manques : certains photons sont absents ou trop peu présents et ne contribuent pas à révéler la vraie couleur des objets éclairés.

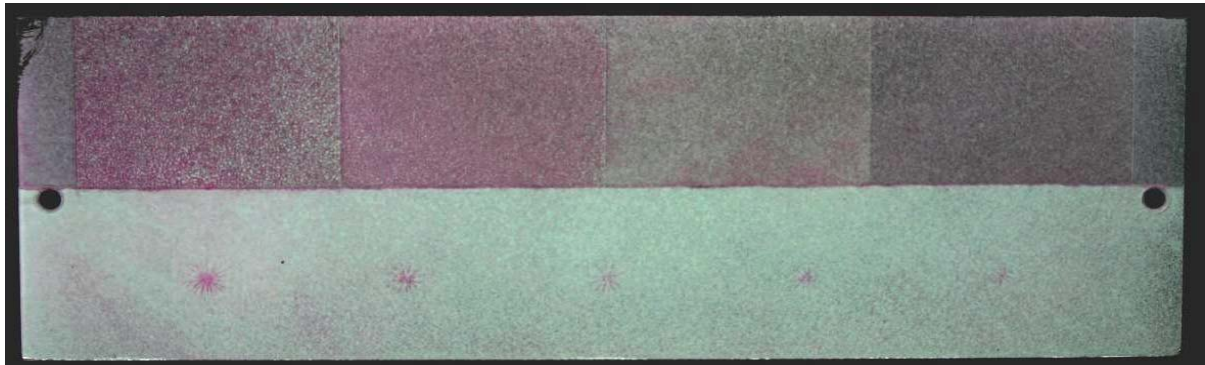
### La colorimétrie

Que se passe-t'il lorsque l'on éclaire une pièce ressuée avec un pénétrant rouge ? Le révélateur blanc, lui, est neutre vis-à-vis de la lumière qu'il reçoit : il la diffuse de façon spectralement homogène. Cela veut dire qu'il 'prend' la couleur de la lumière incidente en la réfléchissant sans la modifier (spectralement parlant). Les clichés ci-dessous représentent une même cale vue avec une lumière chaude, puis avec une lumière froide à haut indice de rendu des couleurs (IRC mini 95).





*Blanc chaud 3000°K KO*



*Blanc froid 5400°K OK*

Il est clair que la lumière dite froide donne un meilleur contraste avec le pénétrant rouge.

Cela est dû au spectre d'absorption du colorant rouge utilisé : nous avons vu que le colorant rouge absorbe une partie des photons bleus/verts : il faut donc que la lumière incidente en contienne suffisamment pour que les indications de ressuage présentent le contraste le plus élevé possible.

### **Discussion : quels moyens d'éclairage choisir ?**

Même avec un IRC médiocre, le contraste avec le pénétrant est toutefois assuré à partir du moment où le triplet Rouge/Vert/Bleu existe dans le spectre émis

- les projecteurs sur batterie à ampoule filament : le plus mauvais choix

Ce type de projecteur à ampoule incandescente halogène dépasse rarement les 3500°K : il s'agit donc de lumière chaude et nous avons vu que c'est la lumière froide qui donne les meilleurs résultats. De plus, si le projecteur est de type portable sur piles ou accus, la pleine charge ne dure que 20% du temps d'utilisation ; au delà le filament n'est pas correctement alimenté et il se refroidit : la lumière devient de plus en plus jaunâtre tout en perdant de son intensité : peu pratique, dangereux pour le contrôleur ressueur !

- les lampes à diodes blanches de puissance (1,3,5W) : pas mal du tout

On voit à présent arriver sur le marché des lampes sur secteur ou sur batterie équipées de diodes blanches. Les modèles Luxéon dont la diode présente une puissance jusqu'à 5W délivrent une lumière très froide convenant bien pour le ressuage. De plus, la faible consommation électrique de ces LED fait que les modèles portables sont très légers et présentent une autonomie intéressante. Fait complémentaire : même en cas de sous-tension, la température de couleur ne varie pas !

- les lampes à décharge Xénon et mercure : idéales

Elles présentent des températures de couleur proches du spectre solaire (6500°K) et des puissances intéressantes (vous connaissez sans doute les phares 'Bixénon' en option sur les automobiles. Des modèles sur secteur et sur batterie existent également. Fig 17



*Phare Xénon HID*



*Ampoule décharge Xénon*



*Torche à diode blanche de puissance*

### **Discussion :est ce que le pénétrant peut 'pardonner' les erreurs d'éclairage ?**

OUI, mais dans une certaine mesure.

Il existe dans la gamme Sherwin des pénétrants à multiples colorants qui présentent donc une absorption optimum quel que soit le type de lumière utilisée : chaude ou froide. Dans une certaine mesure, il offrent donc des possibilités d'utilisation 'universelles' de par leur colorimétrie spécifique rouge violacé, adaptée aux lumières froides comme aux lumières chaudes. Les meilleurs résultats sont toutefois toujours obtenus avec des lumières froides.

Ces pénétrants sont estampillés 'ColorPerfect' et ont fait l'objet d'une étude colorimétrique théorique et pratique lors de leur formulation.

**Color Perfect**

### **Conclusion**

Mieux vaut choisir un mode d'éclairage adapté tel que nous l'offre la technologie moderne avec les nouvelles diodes de puissance et les ampoules à décharge  $\mu$ Xénon disponibles sur secteur ou en portable afin de procéder à des inspections par ressuage coloré dans des conditions vraiment optimales et reproductibles.

Il faut donc oublier au plus vite nos bons vieux projecteurs à ampoules incandescentes qui présentaient cependant l'avantage d'être robustes et de résister aux conditions 'de chantier'. Certains contrôles automatisés voient avec ces nouvelles sources lumineuses, leurs performances et leur fiabilité grandement améliorées.



*comparaison lampe à diode (la plus petite) et projecteur halogène (incandescent) sur accus.*

## English resume

At first glance, penetrant inspection seems simple, however, to do it properly requires an understanding of color and lighting. The consumables, red dye penetrant and developers, used have to comply to several –sometimes opposite technical properties; such as good washability & over-washing resistance, while keeping in mind regulations, e.g., safety and environmental. Then, developing a penetrant liquid that performs well is not so easy. The ISO 3452 level 2 penetrants are very sensitive. For example, pictured is a crack 30 $\mu$  in depth and 1.5  $\mu$ m in width, which is easily found when PT is performed. The red dye penetrant has to be red, purple or orange. Pink or blue are not allowed, even if the blue color leads to very sharp indications. Why are those colors mandatory? Detection is based on B&W and color contrast: a dark red indication on a white background (developer).

A thorough understanding of how our eyesight works leads to efficient development of the right 'color space,' in order to, match the best conditions for easy detection / inspection. The image perceived by our eye, first, takes birth on the retina, in which 2 areas are involved: the central one is where we're looking -where the focus is adjusted- ; and the peripheral.

The retina is made of cones and rods. The incident light is analyzed for brightness and color respectively by rods & cones. The cones are not as sensitive, they need a 'high' illumination to work, but they're able to distinguish 3 spectral visible areas: blue, green and red (Short, Medium and Long wavelengths in the visible spectrum). The center of the retina contains mostly cones (the 3 types: S/M&L) dedicated to photopic vision. The peripheral area consists mostly of rods, which are very sensitive to a very small amount of light, but dedicated to scotopic vision ; they send only monochromatic signals.

Both rods and cones are located on the retina. The visual field, the external area seen by the eye. The retinal field is the focused representation of the visual field, where incident light is analyzed in terms of color and/or brightness changes. The field sends the information to the brain for analysis: for example, the boundary of a red dye indication on the whiteness of the developer layer.

Here is the standard human eye spectral response established by IEC. We're not sensitive to deep red and blue photons; we have our nominal response in the greenish colors (555nm). This slide shows the B&W contrast and the colored contrast. Red vs. green is the most evident, you cannot imagine a greenish red but you can imagine a greenish blue (Turkish) or a red-blue mixing.

Taking IEC spectral response in account, a penetrant liquid is made red due to the low relative response of the human eye to this color: dark red vs. white background. The maximum absorption rate of the dyes used by babb co is relative to the maximum sensitivity response of the human eye: then a high contrast is easily reached.

The perceived color of the lighted object is defined by the type of incident light. The white light can simply (but partially) be described with 2 simple words: warm (white light with in majority red / orange & yellow tones such as a candle flame) or cold (the precedent spectrum but with much more blue & green photons) like 'industrial lights'.

This is called the 'color temperature' in Kelvin degrees. Warm white: low color temp (left pictured) / cold white: high color temp.

Another parameter can be introduced: the 'rendering color index'. The higher it is, the more complete is the spectrum (without any 'gap' the 100% rendering color index: is full spectrum from 400 to 700nm). A light with a high rendering color index is able to reveal the exact color of the lightened object reached.

On the field applications: red dye panel observed. The maximum contrast is achieved of course with the cold white lighting conditions. The warm white do not contain enough blue & green photons which are absorbed by the red dye penetrant to obtain a contrast.

What should be used as white light sources for red dye testing? What's new? The new white, high output, high IRC Light Emitting Diodes are very good for the NDT field (even for visual inspections). From 4500 to 10000°K, a wide range of LED's are now available. HID Xenon bulbs such as bixenon cars head lamps are also convenient.