

Contrôle du ressuage coloré

Comment choisir son type d'éclairage ?



Par **Alain CARTAILLAC MORETTI**, responsable technico-commercial, Babb Co SA.

La détection des indications dans les méthodes 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 employé pour leur détection visuelle joue un grand rôle dans le processus de détection par l'opérateur des indications émergentes.

Le ressuage coloré est une méthode très efficace 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 relative à l'H&S. Leur formulation n'est donc pas aisée, et ce banal liquide rouge est en fait un véritable concentré de chimie fine : ils sont seuls à pouvoir détecter des fissures de l'ordre de quelques μm , voire moins, d'ouverture et de profondeur.

Les pénétrants de ressuage doivent être de couleur rouge, pourpre ou orangée. 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

L'image perçue par notre système de vision se forme sur la rétine qui comprend plusieurs zones (cf. figure 1).

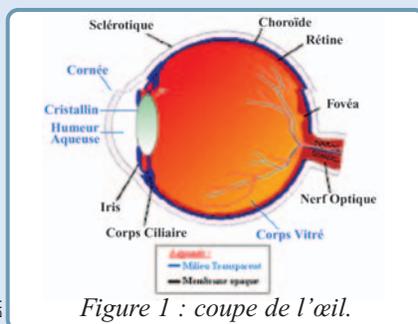


Figure 1 : coupe de l'œil.

Les 2 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. 3 types de cellules sont sensibles à 3 couleurs différentes selon la figure 2. Les cônes sont relativement peu sensibles à la lumière : il faut un nombre relativement important de photons pour exciter les cônes afin qu'ils

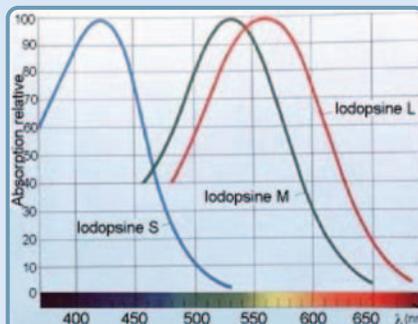


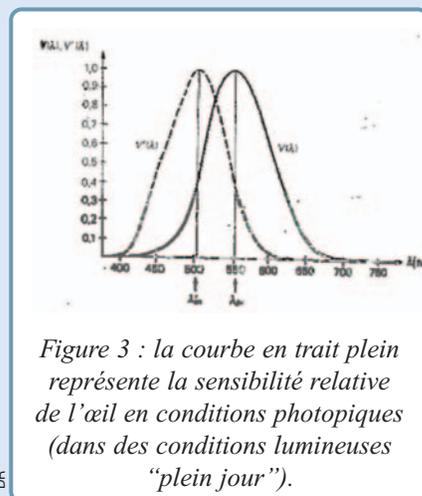
Figure 2 : 3 types de cellules sont sensibles à 3 couleurs différentes.

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).

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 leurs signaux jusqu'au cerveau via le nerf optique qui réalise avec les couches dédiées de la rétine un véritable prodige de "traitement du signal".



La CEI a établi la courbe, dite courbe de sensibilité de l'œil standard (figure 3). Le facteur primordial pour la vision est donc le contraste mesuré par les champs rétiniens (centre et pourtour) qui est de 2 ordres : le contraste lumineux (entre le blanc et le noir par exemple) et le contraste par opposition de couleur. 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 par notre cerveau n'est pas possible.

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 (par exemple une indication en ressuage rouge).

La courbe de l'œil V_{λ} de la figure 3 (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 gauches de la courbe CEL.

Pourquoi les pénétrants colorés sont en rouge ?

On utilise des colorants dont la colorimétrie résultante est composée de photons auxquels l'œil est peu sensible et ce afin de maximiser le contraste sur le révélateur blanc : les pieds de la courbe V_{λ} : couleurs bleutées et rouges. 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

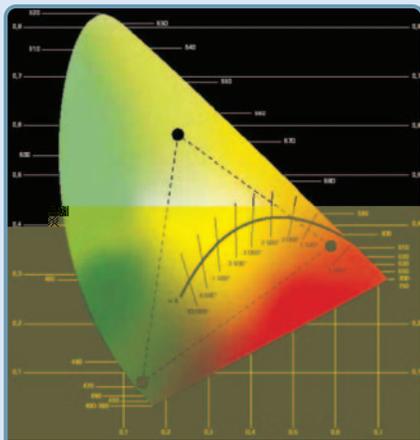


Figure 4 : diagramme de chromaticité normalisé CIE.

coloré est le rouge. Il est vrai que le rouge signifie l'interdiction, l'urgence, le danger. Les spécialistes des "codes couleur" évoquent 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 500 lux et pas de lumière colorée, telle que la lumière orangée monochromatique des lampes à sodium. Pourquoi l'interdiction de la lumière orangée des lampes à sodium ? Tout simplement parce que la longueur d'onde de ce spectre orangé est trop proche de l'émission des colorants rouges (ou trop éloignée de leur absorption). 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.

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

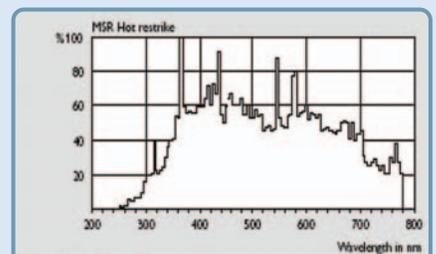
La teinte d'une lumière visible blanche est définie par sa "température de couleur" qui est la température en degrés Kelvins d'un corps noir incandescent (radiateur de Planck).

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 : 2 700 à 3 000 °K, et d'autres sources procurant une lumière dite "froide" (éclairages blanc public, blanc "industrie") : 4 500, 5 000 et 6 000 °K.

La lumière solaire donne une température de couleur moyenne de 6 500 °K.

Intuitivement on se rend compte qu'une lumière chaude (projecteur halogène, par exemple) 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).

L'indice de rendu des couleurs



Spectral power distribution

Figure 5 : Xénon, IRC > 90 environ 7 000 °K.

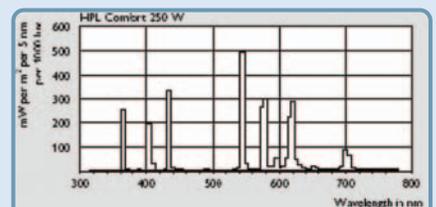


Figure 6 : vapeur de mercure poudrée IRC50/3 500 °K.

L'indice de rendu des couleurs est une indication de la capacité de l'ampoule à révéler et différencier les 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 (cf. figure 5) utilisées pour la projection d'images, l'IRC est maximum : il est de 100 ; toutes les longueurs d'ondes sont présentes en proportion homogène (selon le radiateur de Planck).

Dans le cas de lumière blanche à spectre de raies (ampoules à décharge poudrées ou claires, cf. figure 6), 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 absorption 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-contre représentent une même cale vue avec une lumière chaude (cf. figure 7), puis avec une lumière froide à haut indice de rendu des couleurs (IRC mini 95) (cf. figure 8).

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.

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 : voir le spectre vapeur de mercure poudrée par exemple, figure 6.

Les projecteurs sur batterie à ampoule filament : le plus mauvais choix

Ce type de projecteur à ampoule incandescente halogène dépasse rarement les 3 500 °K : il s'agit donc de lumière chaude et nous avons vu que c'est la lumière froide qui donne les meilleurs résultats.



Figure 7 : 3 000 °K.



Figure 8 : 5 400 °K.



Figure 9 : éclairage lampe à filament tungstène sur batterie (env. 3 000 °K) et éclairage lampe LED (diode) ultrablanc (env. 6 500 °K).

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 et dangereux pour le contrôleur resseur.

Les lampes à diodes : 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 puis-

sance jusqu'à 5 W, délivrent une lumière très froide convenant bien pour le ressuage. De plus, la faible consommation électrique de ces leds 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 (6 500 °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.

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 μ Xénon, disponibles sur secteur ou en portable, afin de procéder à des inspections 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.