



Papiers KODAK PROFESSIONAL

ENDURA

Définir la durée de vie des tirages : **L'équilibre critique
entre la stabilité à la
lumière et la stabilité
thermique**

Papiers KODAK PROFESSIONAL ENDURA

Les pages suivantes traitent de la stabilité à la lumière et à la chaleur de la nouvelle génération de papiers négatifs couleur professionnels KODAK PROFESSIONAL SUPRA, SUPRA VC numérique, ULTRA ENDURA et ENDURA Metallic.

Depuis le début de la photographie, les photographes ont cherché un moyen d'améliorer la stabilité et de prolonger la durée de vie des images capturées. Avec l'évolution des supports, la priorité est accordée à l'amélioration de la stabilité de l'image, et aux nouveaux défis qui l'accompagnent.

L'introduction de la pellicule KODACHROME pour les films et les diapositives en couleur dans les années 1930 fit apparaître de nouveaux défis liés à la stabilité de la couleur. En 1942, Kodak annonce la sortie de la pellicule KODACOLOR pour les tirages, la première vraie pellicule négative couleur au monde. Les progrès de la technologie couleur pour les tirages ont permis à la photographie couleur de se développer rapidement dans les environnements professionnels du portrait/social et du consommateur.

C'est à cette époque que Kodak comprit que des installations d'essais dédiées à l'étude de la stabilité des images étaient devenues nécessaires. Depuis lors, la société a investi dans ses installations et les a développées continuellement pendant plus de 50 ans.

Alors que les progrès technologiques ont permis d'améliorer la stabilité des images et de résoudre en partie les principaux problèmes, d'autres problèmes nouveaux et plus subtils sont apparus. Au cours des 15 dernières années les supports argentiques de tous les fabricants se sont considérablement améliorés et ont provoqué un besoin de mesures plus précises, de la stabilité des images, sur des périodes plus longues. Les nouvelles technologies ont également créé le besoin de mieux comprendre les facteurs suivants :

- Les complexités associées à la manière dont les images pâlisent sur les tirages photographiques modernes.
- La manière dont les différentes utilisations des images affectent leur durée de vie.

Les pages suivantes traitent de ces facteurs pour la nouvelle génération de papiers négatifs couleur professionnels KODAK PROFESSIONAL SUPRA, SUPRA VC numérique, ULTRA ENDURA et ENDURA Metallic. Elles couvriront les thèmes suivants :

- les objectifs dans la conception des supports photographiques

- la manière dont les tirages sont traités et utilisés par les laboratoires de finition
- la manière dont les tirages sont utilisés et stockés par l'utilisateur final
- ce que signifie 'stabilité de l'image' aujourd'hui
- l'importance de la manière dont on mesure et interprète la stabilité de l'image

Remarque : Quand on parle de stabilité de l'image, on suppose que les conditions de traitement dans le laboratoire sont conformes aux critères définis par le fabricant du support. Un traitement non conforme aux critères spécifiés peut avoir un impact sur la stabilité de l'image aussi important, sinon plus, que toutes les variables décrites ici.

Philosophie dans la conception du produit

Il est évident que la stabilité de l'image est un facteur décisif dans la conception d'un papier photographique couleur. En fait, il serait possible de concevoir un papier uniquement dans le but d'optimiser la stabilité de l'image. Cependant, concevoir et optimiser un seul et unique critère, tel que la stabilité de l'image nuit souvent aux autres facteurs clés.

Au cours des 20 dernières années, pour concevoir ses papiers couleur argentiques, Kodak a suivi une stratégie à trois volets couplée à une amélioration continue. Alors qu'un papier couleur Kodak typique est composé de plus de 60 paramètres individuels, nous suivons trois critères de conception principaux :

- la qualité de l'image aujourd'hui
- la qualité de l'image demain (c'est-à-dire la durée de vie du tirage)
- la facilité d'utilisation dans le laboratoire

Dans de nombreux cas, il serait possible de privilégier un critère. Par exemple, une excellente qualité de l'image avec des couleurs précises et une reproduction fidèle des tons chair dépend des colorants formés par le papier. Cette reproduction des couleurs et des tons chair pourrait être compromise pour obtenir une bonne stabilité des colorants. De même, les colorants optimisés pour la stabilité de l'image peuvent être plus sensibles au traitement, ce qui peut causer des difficultés au laboratoire.

La conception des papiers KODAK PROFESSIONAL ENDURA n'implique aucun compromis de ce genre. La palette de colorants utilisés, les émulsions et les courbes sont destinées à assurer la qualité de l'image à court et à long terme, ainsi que la facilité de manipulation et de traitement.

En plus de sa philosophie de conception à trois volets, Kodak est engagé à apporter des améliorations continues entre chaque programme de développement majeur. Ces améliorations continues ont permis de maintenir la fraîcheur des produits en y ajoutant les nouvelles technologies au fur et à mesure qu'elles apparaissent. Au cours des 20 dernières années, nous avons effectué une multitude d'améliorations de la qualité de l'image, des opérations de laboratoire, en plus de la stabilité de l'image.

Cependant, les papiers KODAK PROFESSIONAL ENDURA sont réellement révolutionnaires. Conçus en intégrant la technologie avancée des colorants, ils représentent une étape majeure dans la recherche de la stabilité de l'image et de la durée de vie des tirages, sans pour autant sacrifier la qualité de l'image, et tout en améliorant la facilité d'utilisation au laboratoire.

Sur le marché professionnel, la reproduction des tons chair est le critère le plus important de la qualité de l'image. Dans de nombreux papiers couleur optimisés pour la stabilité de l'image, la qualité de celle-ci et la reproduction des tons chair souffrent. Mais les nouveaux colorants des papiers KODAK PROFESSIONAL ENDURA ont été optimisés pour obtenir une excellente stabilité de l'image sans dégrader la reproduction des couleurs ou des tons chair. Les papiers SUPRA ENDURA intègrent des technologies supplémentaires brevetées spécifiquement conçues pour optimiser la reproduction des tons chair grâce à la modification des colorants combinée à un contrôle précis de la courbe des émulsions.

Méthodologies d'essais et composants des papiers modernes

Les essais de stabilité des papiers couleur se concentrent sur les principaux critères responsables de la dégradation. Ils intègrent les facteurs d'exposition à la lumière, thermiques (dégradation due à la chaleur souvent appelée « altération dans le noir – dark fade ») et la dégradation du support. Bien que nous ne traitons pas des aspects spécifiques des essais de stabilité de l'image dans ce document, il est important de comprendre les principaux défis rencontrés dans l'exécution correcte de ces essais et dans l'interprétation des données obtenues.

Au fur et à mesure que la stabilité des papiers s'améliore, les essais deviennent de plus en plus complexes. Les prédictions sur la stabilité de l'image sont basées sur des essais accélérés et leur précision dépend entièrement de la production de données précises. Les Figures 1 et 2 illustrent un exemple hypothétique d'essais de stabilité thermique sur deux papiers différents. Un papier est plus stable que l'autre, mais à cause des limites temporelles, les deux échantillons ont été testés sur un an.

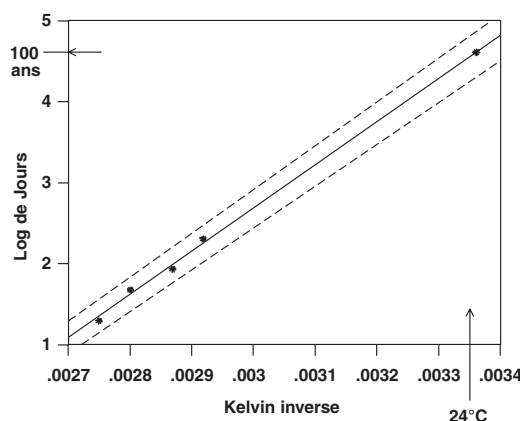
Figure 1

Prédiction à quatre points

— Courbe linéaire

Courbe linéaire

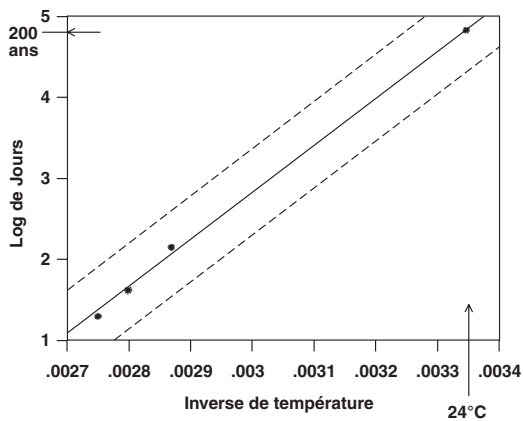
Jours d'essais = $13.04666 + 5229.7488 \text{ Kelvin inverse}$



La **Figure 1** montre quatre points de données basées sur l'altération générée en conditions de température élevée. Les points forment une ligne droite avec un coefficient de corrélation linéaire élevé et les prédictions extrapolées de performances à température ambiante sont de 100 ans. Etant donné la corrélation et l'erreur statistique calculée à partir de cette extrapolation, la limite supérieure et inférieure de variation autour de 100 ans est de plus ou moins 40 ans. Les performances effectives peuvent donc atteindre 140 quarante ans ou être de seulement 60 ans.

Figure 2

Analyse bivariée du nombre de jours d'essais par l'inverse de température



—Courbe linéaire

Courbe linéaire

La **Figure 2** montre une extrapolation en ligne droite à 200 ans. Cependant, le papier étant plus stable que celui de la Figure 1, seuls trois points de données sont disponibles. À cause du bruit, les trois points sont dispersés autour de la ligne droite de prédiction. Avec seulement trois points et une résonance supérieure, la corrélation est inférieure et la marge d'erreur est supérieure. Donc, alors que l'extrapolation en ligne droite prédit une performance de 200 ans, l'erreur statistique calculée est très importante et relativement non linéaire. Selon la courbe, le papier peut durer jusqu'à 600 ans ou pendant seulement 50 ans. Dans cet exemple, si l'essai était exécuté sur une période plus longue, on obtiendrait finalement un quatrième point de données qui permettrait de réaliser des prédictions plus précises avec moins d'erreurs.

Dans les essais d'altération due à la lumière, et avec uniquement des essais très accélérés, on obtient des erreurs significatives dues à la réciprocité et à d'autres facteurs externes. Par exemple, nous savons maintenant que les images sur certains supports à jet d'encre sont très sensibles aux altérations dues à de très faibles niveaux d'ozone ambiant dans l'atmosphère.¹ Regardons les résultats d'un

essai d'altération due à une lumière de haute intensité seulement, qui prédit la stabilité du support sur 100 ans. Ces essais étant extrêmement accélérés et exécutés sur une courte période, ils ne peuvent pas détecter l'impact de l'ozone ambiant. C'est seulement une fois les images exposées dans un environnement réel incluant de faibles niveaux d'ozone ambiant, que leur stabilité réelle a pu être déterminée. Il s'est alors avéré que la stabilité du produit était mesurée en semaine et non en années.

Alors que Kodak ajoutait des nouvelles résines de stabilisation pour augmenter la stabilité de son support papier, ses chercheurs trouvèrent un autre exemple d'essai difficile à utiliser à cause du bruit dans les données. L'essai accéléré qui était alors utilisé pour mesurer la craquelure et les fissurations de la résine ne générerait plus les réponses de craquement normales qui permettraient de prédire la stabilité à long terme de la résine. Au lieu de tenter d'accélérer encore l'essai et de risquer la création de données encore plus bruyantes et éventuellement erronées, les chercheurs se sont tournés vers le niveau moléculaire en tant que mécanisme de prédiction. Ils ont effectué des mesures de l'altération effective des molécules de résine et ont trouvé que ces mesures offraient une bonne corrélation avec la prédiction de la stabilité à long terme de la résine.

A notre époque, où toutes les sociétés y compris Kodak, sortent de nouveaux produits à un rythme plus rapide, il est tentant de réaliser des essais de stabilité d'image sur des périodes plus courtes encore plus accélérées, avec des données plus bruyantes. Il serait encore pire de se baser sur la gamme haute de bruits statistiques pour promouvoir un produit comme étant plus stable qu'il ne le serait réellement.

Chez Kodak, nous ne faisons ni l'un ni l'autre. Nous continuons à réaliser des essais de détection très accélérés des altérations dues à la lumière et thermiques en appliquant des niveaux élevés de luminosité et de température. Cependant, nous vérifions les résultats à l'aide d'essais moins accélérés avec des niveaux inférieurs de luminosité et de température. Bien que ces essais prennent beaucoup plus de temps, souvent plus d'un an, les données sont beaucoup plus fiables. Nous utilisons uniquement ces données pour supporter nos arguments quant à la stabilité de l'image de notre produit. Nous prenons tout le temps nécessaire pour produire des

¹ D.E. Bugner, D. Kopperl, et P. Artz, "Further Studies on the Apparent Reciprocity Failure Resulting from the Accelerated Fade of Inkjet Photographic Prints," *Minutes du 12ème Symposium international IS&T sur la technologie de finition photographique*, 2002, pp. 54-57.

données fiables conformément à notre engagement de fournir des données de stabilité d'image précises et de maintenir notre intégrité et notre crédibilité envers nos clients.

Kodak est réellement confiant sur la stabilité révolutionnaire des papiers KODAK PROFESSIONAL ENDURA. Pour prouver cette stabilité, nous avons lancé une étude majeure en collaboration avec l'Institut de la permanence de l'image à l'Institut Technologique de Rochester. Tout au long de cette étude, nous nous attendons à ce que les essais internes de Kodak reçoivent une validation supplémentaire d'un institut indépendant.

Définir la durée de vie des tirages —

Les mécanismes de dégradation

Définir la durée de vie des tirages exige de bien connaître les mécanismes de dégradation et plus particulièrement, le mécanisme limiteur qui intervient en premier. Cela demande souvent une bonne connaissance de l'environnement dans lequel l'image est stockée ou exposée car certains mécanismes de dégradation sont plus importants que d'autres dans différents environnements.

Dans les papiers couleur argentiques, quatre mécanismes contribuent à déterminer la durée de vie des tirages :

- la dégradation des colorants due à la chaleur.
- la dégradation des colorants due à la lumière.
- le jaunissement des densités minimum (D-min) dû à la lumière ou à la chaleur.
- la dégradation de la résine du support.

Par exemple, l'émulsion d'un papier couleur peut être très stable à la lumière mais la stabilité de la résine de son support peut être médiocre. Il se comportera bien dans les essais de stabilité à la lumière. Cependant, s'il est stocké dans un environnement dans lequel le support se dégrade plus vite que les colorants, cette excellente stabilité à la lumière ne veut plus rien dire. Dans cet exemple, la dégradation de la résine du support est le mécanisme limiteur.

Ces quatre mécanismes de dégradation s'appliquent aussi aux supports à jet d'encre. Cependant, nous devons également tenir compte d'autres mécanismes :

- l'humidité ambiante (humidité relative).
- les polluants atmosphériques.
- le contact direct avec l'eau.
- les traces de doigts.

Une multitude de tests, de rapports et de conclusions provenant de nombreuses sources ont décrit les avancées significatives qui ont été effectuées dans le domaine de la stabilité à la lumière des supports à jet d'encre. Cependant, alors que la stabilité thermique de la plupart des systèmes à jet d'encre est relativement bonne et que des améliorations significatives ont été apportées à la stabilité des colorants exposés à la lumière, il est trompeur de promouvoir ces produits sur la base des essais de stabilité à la lumière en ignorant les autres mécanismes de dégradation importants. Pour décrire précisément la durée de vie des tirages, on doit tenir compte de tous les mécanismes de dégradation. Un support peut offrir d'excellentes performances de résistance à l'altération par la lumière et thermique mais une piètre durée de vie du tirage si la stabilité des colorants est mauvaise quand ils sont exposés à l'humidité ou à des polluants atmosphériques.

Pour plus de détails sur les mécanismes de dégradation et les performances de stabilité de l'image des supports à jet d'encre Kodak, consultez les références^{2,3} ci-dessous ainsi que les dossiers techniques

http://www.kodak.com/eknec/PageQuerier.jhtml?pq-locale=en_US&pq-path=98#technical_papers

Il est extrêmement important de reconnaître que la durée de vie de l'image peut ne pas être forcément limitée par la stabilité des colorants. Il est fort probable qu'un fabricant qui parle seulement de « stabilité des colorants » ou de « stabilité à la lumière » ou qui utilise seulement des données d'altération à la lumière pour décrire les performances d'un produit ne fournit pas une prédiction exacte de la durée de vie du tirage.

² D.E. Bugner et C.E. Romano, "Printing Memories to Last a Lifetime: Understanding Image Stability for Ink Jet Prints," Magazine Recharger, 13(1), 2001, pp. 134-140.

³ D.E. Bugner et P. Artz, "A Comparison of the Image Stability of Digital Photographic Prints Produced by Various Desktop Output Technologies," Minutes de la Conférence internationale sur la science de l'imagerie 2002, 2002, pp. 308-310.

Critères de définition de la durée de vie des tirages

Il est nécessaire de savoir quel mécanisme de dégradation est le mécanisme limiteur dans un environnement de stockage donné et de connaître les critères de durée de vie des tirages utilisés pour indiquer cette dernière. Les critères de durée de vie du tirage déterminent la limite inférieure acceptable, c'est-à-dire, par exemple, le moment où un consommateur ne veut plus exposer le tirage et le jette.

Kodak utilise les critères définis à titre indicatif dans la norme ANSI/ISO qui fixe les limites d'altération des colorants à 30 %.^{4,5} Des études internes menées par Kodak confirment qu'une altération de 30 % est une limite conservatrice.

Le **Tableau 1** compare les limites d'altération des colorants, les descriptions et les perceptions ou réactions des consommateurs.⁶

Tableau 1

Corrélation approximative entre les descriptions des couleurs et la perte de colorant à partir d'une densité de 1.0

Perte approximative de colorant	Impact visuel corrélé
0 à 10 %	Minimale
10 à 15 %	Très légère ; un expert la remarquera uniquement par comparaison rapprochée des mêmes tirages
15 à 20 %	Légère ; se remarque en comparaison rapprochée des mêmes tirages
20 à 30 %	Modérée ; une personne qui connaît la qualité de la scène d'origine le remarquera en stimulation visuelle unique
30 à 60 %	Altération visible avec stimulation unique mais pas rédhibitoire
Supérieure à 60 %	Altération extrêmement visible avec stimulation unique ; peut être rédhibitoire selon l'utilisation prévue

Selon le contenu de la scène, les niveaux d'altération inférieurs à environ 15 à 20 pour cent ne se remarquent généralement pas sans comparaison directe avec une image non altérée. Un niveau d'altération entre 20 et 30 pour cent peut être considéré comme visible sans comparaison avec une image non altérée, mais il ne serait pas normalement considéré comme rédhibitoire. Des niveaux de décoloration entre 30 et 60 % ne seraient pas considérés comme rédhibitoires : les consommateurs continueraient à accorder une valeur à l'image sur la base du contenu de la scène et des implications émotionnelles.

D'autres recherches indiquent que l'utilisation de la valeur limite de 30 % comme critère à prendre en compte est très conservatrice et qu'une décoloration supérieure à 60 % peut encore être considérée comme acceptable. En règle générale, les études psychophysiques montrent qu'au-delà de 70 % de décoloration, la plupart des tirages sont considérés comme « inacceptables » voire pire.⁷

Toutefois, bien qu'il soit possible d'utiliser une limite d'altération supérieure à 30 % et d'indiquer une durée de vie de l'image plus longue, Kodak adopte une approche conservatrice avec une limite supérieure fixée à 30 %. Il est aussi important de noter que l'utilisation d'une limite d'altération inférieure à 30 % entraînerait une sous-estimation de la durée de vie des tirages. Par exemple, une valeur limite de décoloration de 15 % peut convenir aux photos exposées dans un musée, mais est beaucoup trop basse pour la plupart des consommateurs, car le tirage n'a subi qu'une très légère altération. Se référer à une valeur limitée de 15 % conduirait à annoncer une durée de vie inférieure de moitié à celle calculée en tenant compte d'une valeur à 30 %, ce qui serait très trompeur. De nombreux consommateurs ne verraient que peu ou pas d'altération dans une situation à stimulus unique. L'application de ce critère comme valeur limite causerait ainsi des inquiétudes inutiles.

⁴ Stabilité des images photographiques couleurs - Méthodes de mesure, ANSI IT9.9-1996 et ISO 10977.

⁵ Stabilité des images photographiques couleurs - Méthodes de mesure, Publication ISO 18909-2006.

⁶ D. Oldfield & G. Pino, R Segur, J Twist, « Assessment of the current light fade End-Point Metrics Used in the Determination Of Print Life, Part I », Journal of Imaging Science and Technology, 48 (6), 2004, pp. 495 à 501

⁷ D. Oldfield et J. Twist, « Assessment of the Current Light-Fade End-Point Metrics Used in the Determination of Print Life: Part II », Proceedings of IS&T's 2004 Conference on Archiving, pp. 36 à 42

Normes de mesure de stabilité

Les normes internationales de mesure de la stabilité des produits colorés sont définies dans la norme ANSI/ISO *Standard Stability of Color Photographic Images-Methods for Measuring* (Stabilité des images photographiques couleur - Méthodes de mesure), publication ANSI IT9.9-1996 et publication ISO 10977. Une version actualisée de cette norme, la publication ISO 18909-2006, a été publiée en 2006. Les travaux actuellement en cours au sein du comité de normalisation incluent des mises à jour de ces publications pour répondre aux nouvelles complexités et aux nouveaux mécanismes de dégradation constatés dans les supports couleur non argentiques.

Un simple regard sur la norme actuelle de 60 pages sur les supports argentiques révèle très vite que les essais et les mesures de la stabilité des images est une science très complexe. La norme prévoit aussi des recommandations et un guide d'interprétation des données générées par les méthodes d'essai. Pourquoi la norme ne fournit-elle pas des règles et des définitions spécifiques sur la manière d'interpréter les données ? Elle fournit uniquement des recommandations et des consignes générales car les images en général ont une large gamme d'exigences de stabilité basées sur l'application prévue et elle sont aussi rangées ou exposées dans une large gamme de conditions différentes.

La norme suggère fortement de baser l'interprétation des données d'essai sur les conditions spécifiques rencontrées telles que celles dans lesquelles le produit est utilisé dans la vie réelle. Par exemple, les tirages sur papier SUPRA ENDURA ou SUPRA ENDURA VC numérique sont généralement encadrés ou placés dans un album de mariage conservé chez soi. Ces conditions diffèrent radicalement de l'environnement usuel des tirages sur papier ENDURA Metallic, à savoir un affichage très éclairé dans un point de vente dans un centre commercial. Il est donc logique que l'interprétation des données de stabilité des images de ces deux produits reflète les deux environnements.

Une conception adaptée aux conditions dans le monde réel

Kodak conçoit depuis longtemps combien il est important de développer des produits basés sur l'utilisation qu'en fera le client. Les papiers KODAK PROFESSIONAL SUPRA ENDURA et SUPRA ENDURA VC numérique sont conçus pour être utilisés par les consommateurs finaux chez eux. Ces papiers sont conçus pour des applications « portraits et social », c'est-à-dire des portraits formels et des photos de mariage exposées à la maison ou rangées dans un album.

Rappelons ici les trois principaux critères de conception : la qualité de l'image, la durée de vie du tirage et les performances dans le laboratoire. Dans le cas des papiers pour les applications « portrait et social », la conception du produit, quant à la longévité du tirage et quelles que soient les conditions dans le monde réel et les trois principaux critères de conception, pourrait avoir pour résultat de nombreux compromis sur la durée de vie même du tirage. Par exemple, une excellente stabilité à la lumière haute intensité associée à une stabilité thermique médiocre serait une mauvaise combinaison pour les tirages stockés et exposés à des endroits où l'intensité lumineuse est faible mais où la chaleur est élevée. De même, un compromis au niveau des opérations de finition dans le laboratoire, tel que tolérer des niveaux de sensibilité élevés aux variations chimiques pour obtenir une bonne durée de vie du tirage, serait un mauvais choix.

Les papiers KODAK PROFESSIONAL SUPRA ENDURA et SUPRA ENDURA VC numérique sont optimisés pour les trois critères de conception principaux dans le contexte des applications portrait/social dans le monde réel. Les critères de conception des papiers KODAK PROFESSIONAL Métalliques et ULTRA ENDURA sont adaptés aux besoins du secteur de l'affichage commercial.

De la même façon que les papiers KODAK PROFESSIONAL ENDURA reflètent le monde réel, tous les tests et toutes les interprétations des données de stabilité doivent refléter également l'environnement dans lequel les produits seront utilisés et stockés. Les rapports de résultats de stabilité pour les papiers portrait/social, tels que les papiers SUPRA et SUPRA ENDURA VC numérique, qui ne respectent pas le monde réel peuvent tromper les laboratoires dans leur choix de papier couleur, ainsi que les photographes et les consommateurs lorsqu'ils sélectionnent un laboratoire de finition.

Certains critiques ont discuté de l'utilisation de tests ponctuels et très accélérés, d'altération à la lumière et dans le noir comme étant très trompeuse.⁸ Ces tests sont utiles pour un contrôle rapide des colorants expérimentaux, mais sont très susceptibles aux erreurs (par exemple, la réciprocité dans l'altération à la lumière ou la variance du mécanisme de réaction de l'altération dans le noir), ce qui limite leur fiabilité pour la prédiction de la longévité des tirages. Ils ne reflètent pas les conditions dans le monde réel et demandent une interprétation très soignée. Cela est vrai non seulement parce que les essais accélérés dépassent largement les niveaux de lumière et de chaleur courants dans un foyer, mais aussi parce que les données sont souvent rapportées de manière isolée. Exécuter des essais de stabilité sur une fenêtre donne aussi des résultats encore plus trompeurs.

L'importance de la stabilité thermique étant tellement importante dans l'environnement portrait et social, les essais et les rapports concernant uniquement l'altération à la lumière sans tenir compte de l'impact de la stabilité thermique, intéresseraient uniquement les consommateurs qui exposent leurs tirages dans un congélateur éclairé.⁹

Prédominance de la stabilité thermique dans l'environnement portrait/social

La stabilité thermique, souvent appelée stabilité dans le noir, est soumise à la température ambiante. Cela est particulièrement important dans l'environnement portrait et social lorsque le niveau de luminosité est faible. La dégradation thermique, même lorsque les tirages sont exposés, est prédominante.

Remarque : La température joue également un rôle dans l'environnement commercial, par exemple dans les caissons lumineux utilisés dans les publicités rétro éclairées. Cependant le délai d'utilisation d'un affichage commercial est relativement court (souvent trois à douze mois). Les effets thermiques ne sont pas apparents car les effets de l'altération par la lumière sont prédominants.

Lorsque que vous lisez l'expression « stabilité dans le noir », rappelez-vous que ce n'est pas le noir qui cause l'altération des colorants ou le jaunissement de la D-min : c'est la chaleur. Donc, même quand un tirage est exposé (à moins que ce ne soit dans un congélateur éclairé), une dégradation thermique a lieu. La stabilité dans le noir est en fait une combinaison des effets de l'altération thermique et de tous les autres éléments qui ne sont pas liés à l'altération par la lumière.¹⁰ Cependant depuis le tout début de l'histoire de la photographie couleur jusqu'au début des années 1980, l'altération thermique est restée le mécanisme principal.

Les améliorations de la stabilité thermique ont été peu fréquentes, mais quand elles sont apparues, elles ont été très importantes :

- L'introduction par Kodak des coupleurs 5-éthyl-4, 6-dichloro-2-amidophénoliques a amélioré par 3 ou 4 la stabilité des tirages. Les papiers KODAK EKTACOLOR Plus et Professional ont été les premiers à utiliser cette nouvelle technologie.
- L'utilisation de couleurs magenta de catégorie pyrazolotriazole (PT) non jaunissants a pratiquement éliminé le jaunissement des tirages causés par la température et à la lumière (altération due à un coupleur magenta non réactif). Kodak a utilisé cette technologie pour la première fois dans le papier KODAK PROFESSIONAL PORTRA III.
- Ce ne fut pas avant l'invention des coupleurs 2,5-diacylaminophénol qu'on obtint une excellente stabilité thermique combinée à des teintes attrayantes. Kodak a inventé ces coupleurs et les a brevetés en 1997.¹¹ Le papier KODAK EKTACOLOR a été le premier à les utiliser en 1999.

⁸ R.E. McComb, "Separating Facts from Fiction: Examining Photo Prints," *PhotoTrade News*, Février 1998.

⁹ Op. cit., R.E. McComb.

¹⁰ M. Oakland, D.E. Bugner, R. Levesque, et R. Vanhanehem, *Minutes de NIP 17*, 2001, p. 175.

¹¹ Brevet U.S. 5686235 (Nov. 11, 1997) et Brevet U.S. 5962198 (Oct. 5, 1999).

Des modifications significatives dans la version la plus récente de ce coupleur ont permis de l'utiliser dans les secteurs professionnels critiques, c'est à dire dans les papiers SUPRA ENDURA et SUPRA ENDURA VC numérique. Le succès de la commercialisation de ces coupleurs a doublé la stabilité thermique par rapport à celle des papiers précédents.

Les papiers Kodak qui intègrent cette technologie de couleur assurent une stabilité thermique deux fois supérieure à celle de n'importe quel autre papier couleur photographique argentique. Pour les applications portrait et social dont l'environnement est totalement soumis aux altérations thermiques (par exemple le stockage dans le noir dans un album), cela signifie que les tirages dureront plus de 200 ans avant qu'on puisse remarquer une altération visible. Dans un environnement d'exposition à la maison, cela signifie que les tirages dureront plus de 100 ans avant qu'on puisse remarquer une altération visible.

Niveaux de lumière

La grande majorité des tirages dans les applications portrait et social étant stockée dans le noir, des performances thermiques exceptionnelles sont essentielles. Cependant ces mêmes images sont également exposées et sont soumises simultanément à une altération thermique et à une altération par la lumière. La durée de vie du papier dépend des niveaux de lumière existants et de la stabilité du papier à l'altération thermique et à la lumière. Par conséquent, le processus de conception inclut l'équilibrage des mécanismes de décoloration thermiques et lumineux.

Une étude destinée à mesurer les niveaux de lumière effectifs dans les foyers a trouvé que 120 lux est l'intensité lumineuse représentative. Cette étude a été publiée une première fois en 1987¹² et a été répétée en 1991.¹³ Les conclusions ont été confirmées par une étude sur 10 ans dans laquelle des tirages ont été exposés dans des foyers dans tous les États-Unis, aux endroits où on place habituellement des photos, et ont été mesurés à intervalles réguliers. Au bout de 10 ans, le niveau d'altération a confirmé les niveaux prédits sur la base de 120 lux et ce niveau (120 lux) comme étant le niveau typique.

A quelle luminosité correspondent 120 lux ? Pensez à un pavillon de banlieue de classe moyenne typique aux États-Unis avec des photos exposées dans le salon, deux fenêtres à l'ouest et une autre au sud. En tenant compte des saisons et du cycle journées courtes (hiver) et journées longues (été) avec des périodes de lumière du jour calculées sur une moyenne de 12 heures, les niveaux de lumière dans la pièce peuvent aller de 50 à 100 lux aux heures les plus sombres de la journée (le matin dans cet exemple) et de 150 à 200 lux aux heures les plus claires (après-midi/soirée dans cet exemple). La période moyenne de 12 heures de lumière du jour inclurait des périodes d'éclairage uniquement par la lumière indirecte soleil, des périodes d'éclairage par la lumière directe du soleil et des périodes avec éclairage artificiel uniquement. Sur toute la durée de ces périodes journalières et saisonnières, le niveau moyen serait typiquement de 120 lux.^{14,15}

S'il y a deux fenêtres au sud et une fenêtre à l'ouest dans le salon, les niveaux de luminosité sont en moyenne relativement plus élevés et pourraient peut-être atteindre 150 lux. Si le salon ne comporte que des fenêtres au nord et à l'est, les niveaux pourraient être relativement plus faibles, peut-être jusqu'à 100 lux.

Dans les appartements ou les immeubles, les niveaux d'éclairage moyens peuvent être inférieurs. Dans une maison avec de très grandes fenêtres et des Velux, les niveaux d'intensité lumineuse peuvent atteindre 1 000 lux pendant une période de la journée selon l'orientation de la pièce par rapport au soleil et le nombre de fenêtres et de Velux.

Sur la base des études publiées et de l'étude de vérification sur 10 ans, nous estimons que l'intensité moyenne de 120 lux est correcte pour les logements de banlieue typiques et une bonne moyenne pour les niveaux de luminosité supérieurs et inférieurs dans les maisons et appartements courants aux États-Unis. Bien sûr, la plage effective peut être très large. Des tirages exposés dans la chambre d'un appartement sans fenêtre à ceux exposés dans le solarium d'une maison luxueuse en Californie du Sud, la gamme de périodes de haute et faible intensité lumineuse va de 0 à 4 000 ou 5 000 lux.

¹² S. Anderson et G. Larson, "A Study of Environmental Conditions Associated with Customer Keeping of Photographic Prints," *Journal of Imaging Technology*, 13, 1987, pp. 49-54.

¹³ S. Anderson et R. Anderson, "A Study of Lighting Conditions Associated with Print Display in Homes," *Journal of Imaging Technology*, 17 (3), 1991, pp. 127-131.

¹⁴ Op. cit., S. Anderson et G. Larson.

¹⁵ Op. cit., S. Anderson et R. Anderson.

Si on tient compte de la distribution de la population pondérée par le revenu aux États-Unis, on trouve plus de pièces sombres que de pièces très lumineuses. Cependant, pour rester conservatrice, l'étude qui définit 120 lux comme étant la condition d'exposition domestique typique, n'a tenu compte d'aucun de ces deux extrêmes.

Une étude destinée à mesurer les niveaux de lumière effectifs dans les foyers a trouvé que 120 lux est l'intensité lumineuse représentative. Les résultats de cette étude ont montré que 90 % des domiciles avaient une illumination **inférieure** à 137 lux. Cette étude a été menée sur une période de deux ans dans des domiciles en Amérique du Sud et du Nord, en Asie, en Europe et en Australie, et recense plus de 100 000 mesures distinctes.¹⁶

Dans les applications commerciales, l'intensité lumineuse dans les conditions d'affichage typiques couvre une gamme beaucoup plus large que dans les conditions d'affichage domestiques. Les conditions domestiques typiques sont regroupées sur une bande relativement étroite d'intensités. Les conditions commerciales ne sont pas regroupées du tout et la différence entre les niveaux inférieurs et supérieurs peut être multipliée par un facteur de 1 000 ou plus. La gamme couvre des conditions en musée allant de 50 lux à 100 lux, et l'affichage en extérieur allant de 50 000 à 100 000 lux. Cette large gamme ne permet pas de choisir un niveau d'intensité lumineuse particulier pour représenter les conditions commerciales. Utiliser une seule intensité lumineuse pour prédire la durée de vie des tirages commerciaux serait extrêmement trompeur.

En mettant au point les nouveaux papiers KODAK PROFESSIONAL ENDURA pour les applications commerciales, Kodak a reconnu la gamme extrêmement diversifiée des conditions commerciales. Il est rare que deux applications commerciales, même dans des environnements relativement similaires, aient les mêmes conditions de luminosité, de température et d'humidité ambiantes. Néanmoins, diverses études ont été effectuées pour quantifier les conditions commerciales et plusieurs grandes catégories ont été identifiées.¹⁷ Celles-ci sont résumées dans le **Tableau 2**. En établissant des niveaux de luminosité typiques dans les grandes catégories, il est possible de fournir une estimation générale de la durée de vie des tirages. Une estimation plus précise demanderait de quantifier les conditions ambiantes d'intensité lumineuse et de température à un minimum.

Tableau 2

Catégories d'exposition commerciale et niveaux de luminosité approximatifs

Catégorie d'exposition	Niveau de luminosité approximatif (Lux)
Musée	150
Bureau	450
Affichage en réflexion réfléchissante commerciale sous intensité modérée	1 000
Affichage en réflexion sous haute-intensité	5 000

Comme guide pour estimer la durée de vie des tirages dans un environnement commercial, le **Tableau 3** ajoute une estimation moyenne pour le papier ULTRA ENDURA en application commerciale.

Tableau 3

Durée de vie approximative des tirages pour le papier KODAK PROFESSIONAL ULTRA ENDURA en applications commerciales

Catégorie d'exposition	Niveau de luminosité approximatif (Lux)	Durée de vie approximative des tirages
Musée	150	Plus de 100 ans
Bureau	450	35 ans
Affichage en réflexion sous intensité modérée	1 000	8,5 ans
Affichage en réflexion sous haute-intensité	5 000	20 mois

Remarque : les conditions d'éclairage présumées sont de 12 heures d'éclairage et 12 heures d'obscurité. Les conditions thermiques présumées, pour les niveaux à faible intensité, sont de 24°C avec une hygrométrie de 50 %.

¹⁶ D. Bugner, J. LaBarca et Al., « A Survey of Environmental Conditions Relative to the Storage and Display of Photographs in Consumer homes » (Etude des conditions environnementales relatives de conservation et d'affichage des photographies dans les domiciles), Journal of Imaging Science and Technology, 50 (4), 2006, p. 309 à 319

¹⁷ D.F. Kopperl, résultats non publiés.

Equilibrage des mécanismes lumineux et thermiques

Comme nous l'avons mentionné plus haut, il est important d'équilibrer le taux d'altération des colorants due à une dégradation par la lumière et à une dégradation thermique pour optimiser la durée de vie des tirages. C'est plus particulièrement le cas dans l'environnement portrait/social où les niveaux d'éclairage sont faibles. Les **Figures 3 et 4** montrent des exemples de relations entre l'altération par la lumière et thermique (pour faciliter l'illustration, les données proviennent d'une génération antérieure de papiers couleur Kodak). En situation d'éclairage faible, les deux mécanismes de dégradation contribuent à part à peu près égale à la durée de vie globale des tirages (**Figure 3**). Sous un éclairage haute intensité, tel que les affichages commerciaux, le mécanisme d'altération par la lumière est supérieur à celui d'altération thermique (**Figure 4**).

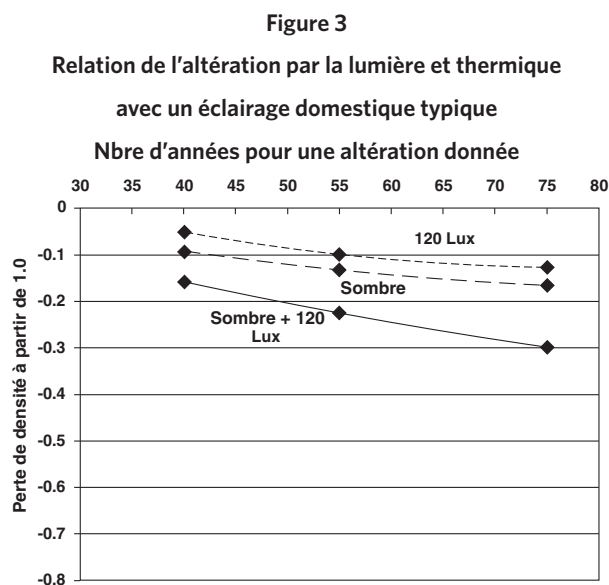
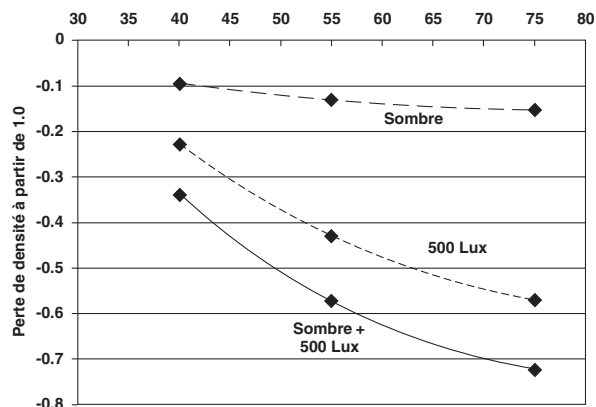


Figure 4
Relation de l'altération par la lumière et thermique
avec un éclairage commercial typique

Nbre d'années pour une altération donnée



Aux environ de 1975, la stabilité thermique était le principal mécanisme d'altération. Puis, les améliorations des produits permirent à la stabilité thermique de rattraper la stabilité à la lumière. Dès le milieu des années 90, de nombreux fabricants avaient obtenu un bon équilibre entre l'altération par la lumière et thermique. Cependant, pour diverses raisons, l'industrie accorda plus d'attention aux améliorations de la stabilité à la lumière plutôt qu'à celles de la stabilité thermique. Cela est dommageable tant pour le secteur portrait/social que pour le secteur commercial, car toutes les images dans ces deux environnements subissent des dégradations thermiques qu'elles soient exposées à la lumière ou rangées dans le noir. Plus particulièrement, dans l'environnement portrait/social (les photos des consommateurs et les portraits professionnels inclus), la grande majorité des images sont rangées dans le noir : dans des albums, des boîtes à chaussures, des débarras, etc.¹⁸

Quand on équilibre la stabilité à la lumière et thermique, il est important d'évaluer la combinaison des deux effets plutôt que l'un ou l'autre individuellement. Une amélioration de la stabilité à la lumière sans amélioration correspondante de la stabilité thermique, ou réciproquement, n'améliorera pas forcément la durée de vie du tirage.

Il y a déjà longtemps que Kodak a reconnu la nécessité d'améliorer la stabilité à la lumière et la stabilité thermique en même temps, et la société a joué un rôle prépondérant dans la création de nouvelles technologies de colorants dorénavant

¹⁸ D.S. Hachey, rapport non publié.

utilisées dans les papiers KODAK PROFESSIONAL ENDURA. Résultat de six ans de recherche, de développement technologique, d'essais, de modélisation et de commercialisation, ces nouveaux papiers apportent des améliorations exceptionnelles dans le domaine de la durée de vie des tirages à tous les segments du marché professionnel.

Pour plus de renseignements sur la conception et l'équilibrage des mécanismes de dégradation par la lumière et thermique, visitez le site web Kodak Research and Development, Brève technique de janvier 2002 à

<http://www.kodak.com/US/en/corp/researchDevelopment/productFeatures/balance.shtml>.

Pour une discussion en profondeur, reportez-vous "The Importance of the Balance of Light and Thermal Image Stability Effects in the Design of Photographic Color Paper."¹⁹

Habitudes d'utilisation des images — Exemples pratiques de durée de vie de tirages à l'intention de l'utilisateur final

Tous les papiers KODAK PROFESSIONAL ENDURA sont conçus pour durer plus de 200 ans avant qu'on puisse remarquer des changements visibles dans un environnement domestique typique de rangement dans le noir tel que dans un album. Dans un environnement d'exposition domestique typique, les nouveaux papiers dureront plus de 100 ans avant qu'on puisse remarquer des changements visibles.

Bien que la très grande majorité des images des utilisateurs finaux dans un environnement portrait et social soient rangées dans le noir, nombre d'entrées sont exposées. Au milieu des années 90, on avait demandé, dans une enquête non officielle, aux laboratoires de finition de portraits professionnels aux États-Unis quelle durée de vie pratique ils prévoyaient pour les images exposées. Plus spécifiquement, cette enquête demandait combien, parmi les images réalisées destinées à être exposées, le seraient toujours après diverses périodes. Les données tirées de cette enquête sont indiquées dans le **Tableau 4**.

Tableau 4

Enquête non officielle sur la durée de vie des tirages professionnels exposés

Age de l'image (années)	Nbre approximatif d'images toujours exposées
5	54 %
10	42 %
20	21 %
40	1.9 %
60	Pratiquement aucune

Pour diverses raisons, comme la redécoration d'une maison ou un divorce, la majorité des images exposées sont souvent enlevées au bout de 10 ans.

Si on tient compte de l'équilibre de l'altération thermique et à la lumière dans l'environnement portrait/social, des effets ajoutés de la dégradation thermique et par la lumière, et du fait que de nombreuses images exposées à l'origine sont finalement rangées dans le noir, il est possible de calculer une estimation de la durée de vie pratique des tirages. Les estimations sont fondées sur la combinaison des valeurs de décoloration des tirages affichés et des tirages conservés à l'obscurité. Le **Tableau 5** présente plusieurs estimations.

¹⁹ J. LaBarca et S. O'Dell, "The Importance of the Balance of Light and Thermal Image Stability Effects in the Design of Photographic Color Paper," *Minutes du 12ème Symposium international IS&T sur la technologie de finition photographique*, 2002, pp. 38-47.

Tableau 5

Estimations pratiques de la durée de vie des tirages sur la base combinée de l'exposition domestique (120 Lux) et du rangement final dans le noir (24°C et 50 pour cent d'humidité relative)

Temps d'exposition de l'image (années)	Durée de vie restante estimée après rangement dans le noir (années)	Durée de vie totale estimée des tirages (années)
0	Plus de 200	Plus de 200
10	Plus de 180	Plus de 190
20	Plus de 160	Plus de 180
40	Plus de 120	Plus de 160
60	Plus de 80	Plus de 140
80	Plus de 40	Plus de 120

Une fois qu'un tirage n'est plus exposé, le mécanisme de dégradation revient à l'effet thermique le plus lent et la durée de vie restante en stockage dans le noir fait un grand bond.

Conclusions

Il est clair que la science de la mesure, de l'interprétation et de l'estimation de la durée de vie des tirages est très complexe. Elle dépend de nombreuses variables extérieures qui peuvent couvrir une large gamme de conditions.

Alors que les toutes dernières techniques d'imagerie ont révélé d'autres mécanismes de dégradation (et d'autres mécanismes peuvent encore être découverts dans l'avenir), les papiers photographiques couleur argentiques existent depuis déjà plus de cinquante ans. On connaît donc très bien les principaux mécanismes de dégradation à la lumière et thermiques. Les améliorations des produits ont rendu d'autres mécanismes de dégradation qui existaient à l'origine, par exemple la stabilité du support, sans importance.

Les papiers couleur argentiques existant depuis si longtemps, il est peu probable qu'on découvre de nouveaux mécanismes de dégradation qu'on ne connaissait pas jusque-là. Pour toutes ces raisons, il est possible de prédire la durée de vie des tirages avec précision et en toute confiance.

Comme on l'a dit plus haut, la précision des prédictions dépend de la qualité des données d'essai, et des données statistiquement correctes sont très longues à obtenir et réclament un degré élevé de précision dans les essais. De même, concevoir pour obtenir une durée de vie optimale et prédire précisément la durée de vie des tirages réclame une parfaite compréhension des mécanismes de dégradation dans le monde réel, là où les produits seront utilisés.

Enfin, il est essentiel de ne pas concevoir un produit exclusivement dans le cadre de la stabilité de l'image et de la durée de vie des tirages aux dépens des autres critères de conception, c'est-à-dire la qualité de l'image et les performances dans le laboratoire. La conception des papiers KODAK PROFESSIONAL ENDURA a réussi à améliorer les trois critères de conception principaux. Les nouveaux papiers offrent une excellente durée de vie des tirages, une excellente qualité d'image et d'excellentes performances dans le laboratoire, toutes dans le contexte des exigences des utilisateurs finaux dans le monde réel et dans les secteurs du portrait/social et de l'affichage commercial.

Kodak Professional



www.kodak.com/go/endura

Kodak, Kodak Professional, Kodachrome, Kodacolor, Ektacolor, Endura, Supra et Ultra sont des marques déposées d'Eastman Kodak Company. Imprimé aux Etats-Unis. Décembre 2003 © Eastman Kodak Company, 2007
PPI-1097 N° cat. 134 1817

Kodak Professional
Solutions photographiques