

Température de Couleur V5.2

Proposé par Henri Gaud en Octobre 2013

Mise à jour Juillet 2021

Des mises à jours seront sûrement proposées dans un futur plus ou moins proche

Principes

Contexte

Buts

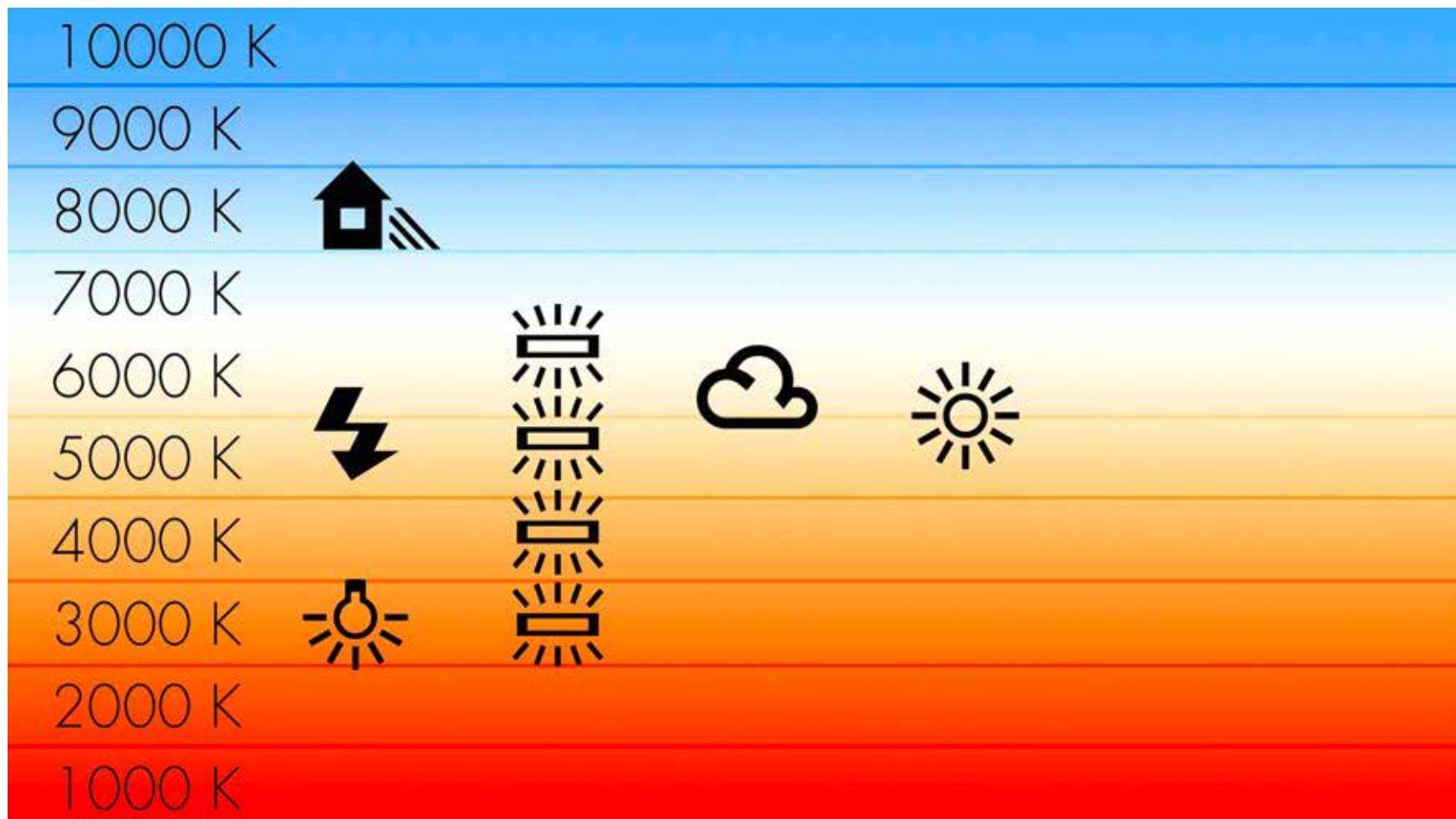
Moyens

Process

Résultats

Méthodes

C'est quoi cette T°C ?



Une vraie définition

La couleur d'une source lumineuse est comparée à celle d'un corps noir théorique chauffé entre 2 000 et 10 000 K, qui aurait dans le domaine de la lumière visible un spectre d'émission similaire à la couleur considérée.

La couleur apparente d'une source lumineuse varie du rouge orangé de la flamme d'une bougie (1 850 K) à bleuté dans le cas d'un flash électronique (entre 5 000 et 6 500 K selon les fabricants) bien que certaines de ces températures n'aient aucune relation avec la température du corps noir.

Cette variation de couleur de la lumière dans une même journée n'est que difficilement reproductible par la lumière artificielle et bien souvent cela nécessite des appareils complexes et coûteux.

Température de couleur de quelques sources lumineuses

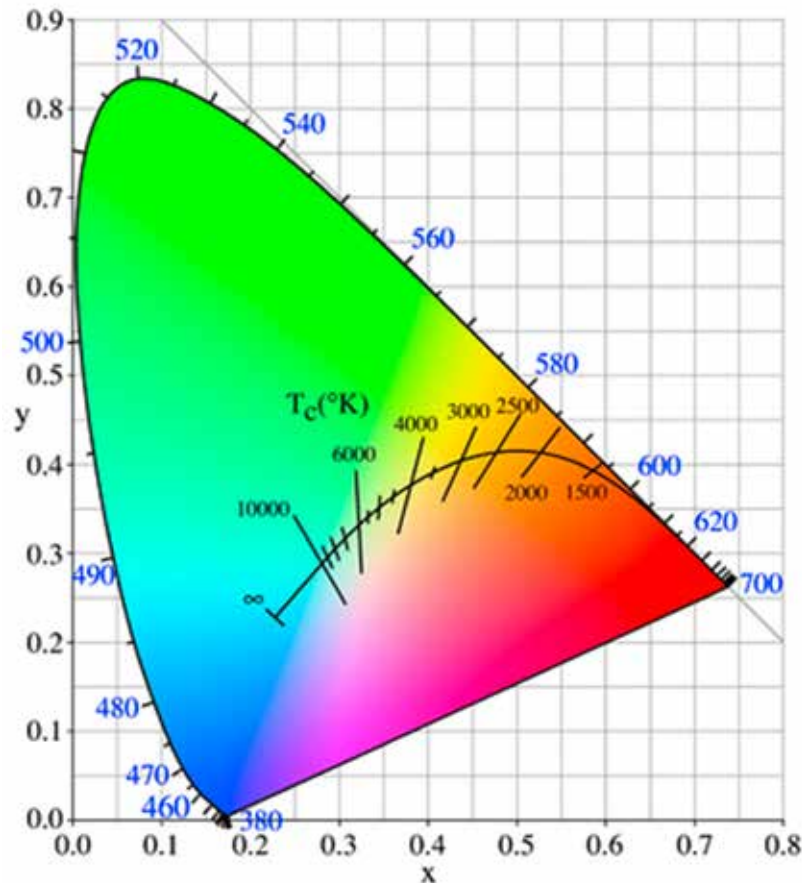
Source	Température de couleur en kelvins	Équivalence en mireds
Soleil moyen à midi.....	5400	185
Lumière du ciel	12000 à 18000	83 à 56
Lumière du jour photographique*.....	5500	182
Cratère d'un arc à charbon (ordinaire à mèche dure)	4000	250
Arc au charbon à flamme blanche	5000	200
Flashcube.....	4950	202
Arc au charbon de grande intensité (arc solaire)	5500	182
Lampe flash claire à feuille de zirconium	4200	238
Lampe flash claire à feuille d'aluminium	3800	263
500 watts (lampe photoflood), environ 34 lumens par watt	3400	294
500 watts (lampe à 3200 K) environ 27 lumens par watt.	3200	312
200 watts (usage général) environ 20 lumens par watt.	2980	336
100 watts (usage général) environ 17,5 lumens par watt.	2900	345
75 watts (usage général) environ 15,4 lumens par watt.	2820	353
40 watts (usage général) environ 11,8 lumens par watt.	2650	377

* Lumière du jour correspondant aux conditions normalement rencontrées en photographie courante.

Bibliographie : « Spectral Distribution of Typical Daylight as a function of Correlated Temperature » (Répartition spectrale de la lumière du jour type en fonction de la température de couleur).

Journal of the Optical Society of America, vol. 54, n° 8, août 1964, pages 1031 à 1041.

Espace CIE Lab



CIE Lab (plus précisément $L^*a^*b^*$) est un modèle de représentation des couleurs développé en 1976 par la Commission internationale de l'éclairage (CIE). Il s'agit d'une version corrigée du modèle Hunter Lab créé en 1948.

Comme tous les systèmes issus du système CIE XYZ, ce modèle caractérise une couleur à l'aide d'un paramètre d'intensité correspondant à la luminance et de deux paramètres de chrominance qui décrivent la couleur.

Il a été spécialement étudié pour que les distances calculées entre couleurs correspondent aux différences perçues par l'œil humain.

Il s'agit d'un modèle placé entre la physique, la physiologie et les statistiques.

Buts

D'un côté, le spectacle envoûtant de la nature,
de l'autre, le désir de reproduire sans dommage ce spectacle par des moyens
photographiques.

Et comme arbitre,
D'un côté, la vision humaine et ses travers, l'inné, l'acquis et tout ce qui suit,
de l'autre, des supports photosensibles divers et variés, remplis de défauts plus ou
moins sympathiques et submergés par un marketing débridé.

La vision c'est quoi ?
La quête d'information c'est quoi ?

**Capteur Silicium
Film gélatino bromure
Matrice de Bayer
Filtre de sélection trichrome**

Outils (Moyens)

Un inventaire à la Prévert

Une Mire IT8 (le truc qui sert à caler des scanners)

Un Canon Ds III + 100 Macro (le numérique nous intéresse ne soyons pas snob)

Fichiers au format RAW

Un Hasselblad 500CM + 120 Macro planar (n'oublions pas d'où nous venons)

Une carte CompactFlash 32Gb

Quelques bobines de films : HP5, TRI-X 320, FUJICOLOR 160, VELVIA 100F

Un jeu de filtre de compensation de T°C

Un jeu de filtre de sélection 25-47-58

Flashmètre Minolta VI

Thermocolorimètre Minolta III F

Tête couleur à lumière diffuse pour contretypage de chez De Vere

Un pied Carbone No 05 de chez Gitzo + Cube C1 de chez Arca

Un scanner Iqsmart III

Un MacPro de puissance suffisante + 4 écrans 22" Quato calibrés

le logiciel Lightroom V 4.3 de chez Adobe

Le logiciel Pulse Color Elite V 1.0.2 de chez X-Rite

Le logiciel Monaco GamutWorks V 1.1.2 de chez X-Rite

KODAK Q-60 Color Input Target



IT8.7/1-1993
2005:02

*Q-60E1 Target for KODAK EKTACHROME
Professional Films
FTP://FTP.KODAK.COM/GASTDS/Q60DATA*





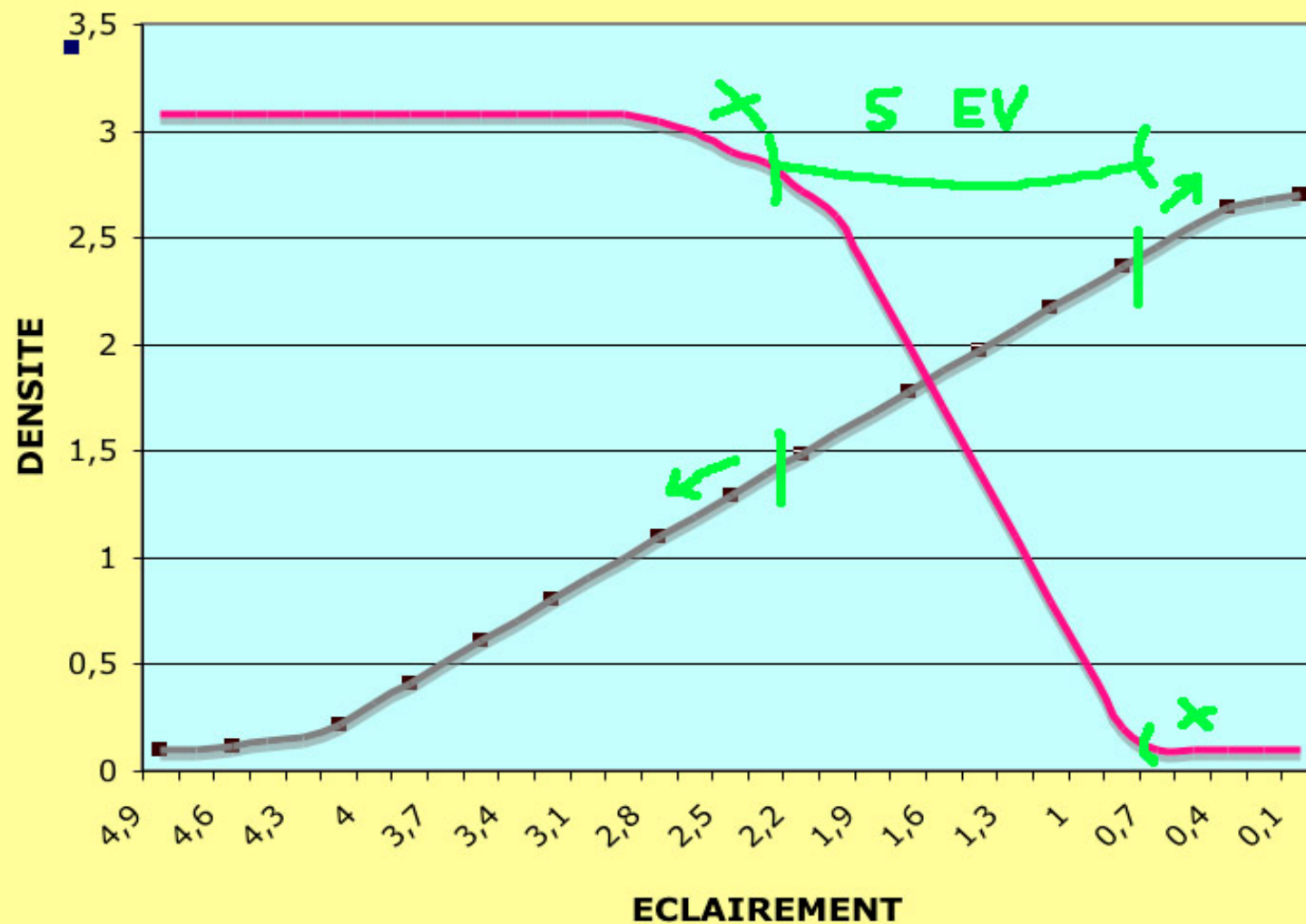




Quête de l'information

**Le Delta E - E pour éclaircissement
Nommée Dynamique, profondeur d'analyse,
Même problématique pour le film, le Capteur et la problématique
renforcée en couleur, en film comme en capteur silicium.**

COURBES H&D **COURBES CARACTERISTIQUES**



— Négatif
— Inversible

Quête de l'information entre l'information

Echantillonnage 8, 10, 12, 14, 16 bits, etc

Vient du codage informatique de l'image, dédié au capteur silicium, permet juste des traitements d'informations musclés, mais ne change pas le delta E enregistrable.

Le nombre d'arbres le long de la route ne change pas la longueur de la route.

Les capteurs silicium étant analogiques, la capture du delta E (dynamique) se fait en analogique puis l'information est ensuite codée, ce qui n'a aucune incidence sur la capture, comme le fait de couper une pomme en 4 dans son assiette n'a aucune influence sur sa pousse dans le verger.

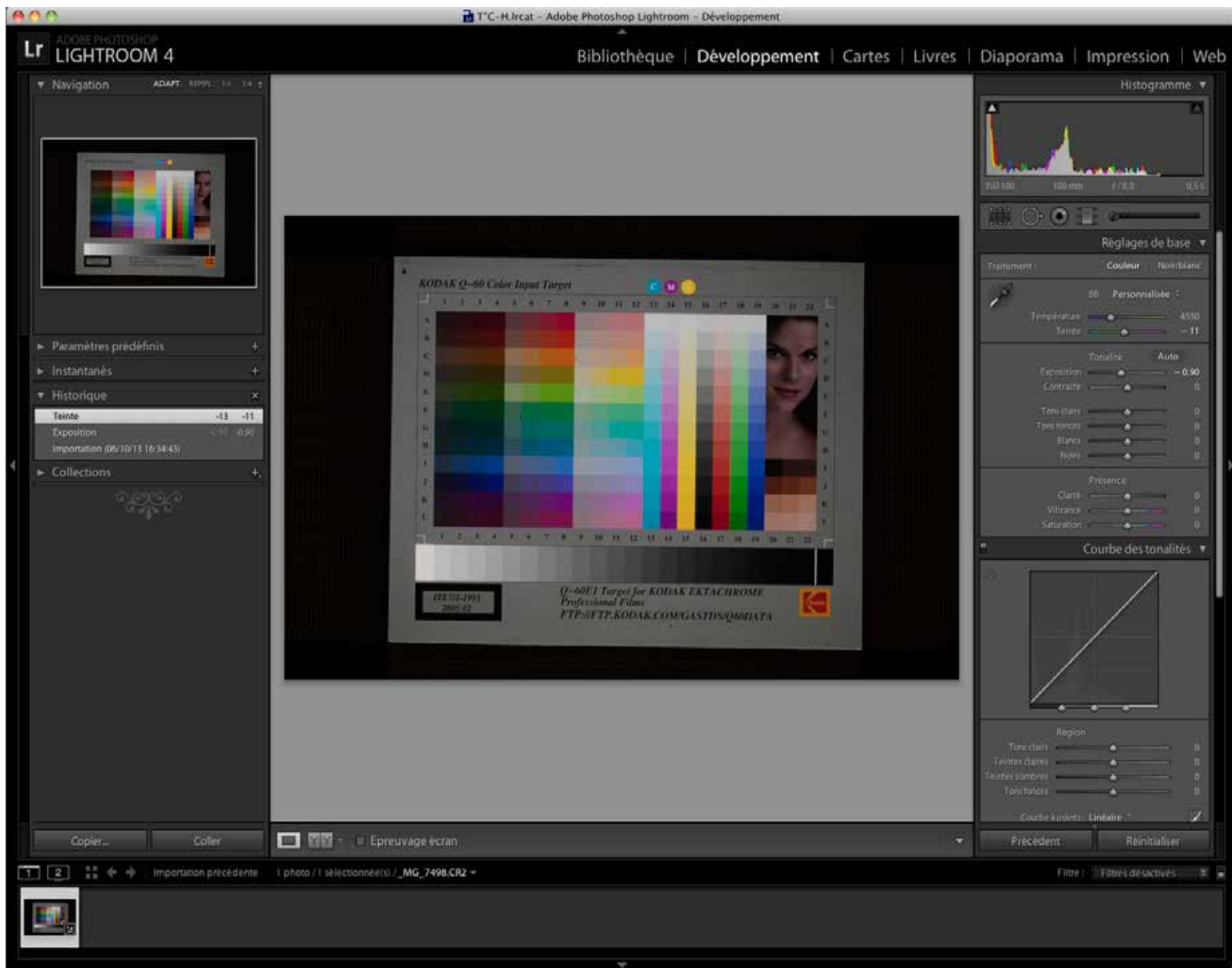




	Filtrage		
T°C	Jaune	Magenta	Cyan
2 000 K	104	028	000
3 000 K	000	015	035
4 000 K	000	047	110
5 000 K	000	065	136
6 000 K	000	080	149
7 000 K	000	090	157
10 000 K	000	110	169
20 000 K	000	120	180







Process

Photographier une mire IT8 sous différentes T°C, 2 000 K, 3 000 K, 4 000 K, 5 000 K, 6 000 K, 7 000 K, 10 000 K, 20 000 K, avec différentes machines, Canon, Blad, Velvia, Fujicolor, HP5, Tri-X, HC 110, Lightroom.

Une fois ce travail accompli, réaliser un profil ICC de chacune de ces images grâce au logiciel Pulse Color Elite V 1.0.2 de chez X-Rite, ce qui permet d'obtenir des infos sur les caractéristiques chromatiques de ces images.

Delta E CIE 1976

La différence de couleur (dE) en CIE 1976 de deux données colorimétrique L1a1b1 et L2a2b2 est la suivante:

$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2}$$

Delta E CIE 2000

La différence de couleur (dE) en CIE 2000 de deux données colorimétrique L1a1b1 et L2a2b2 est la suivante:

$$\Delta E = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{K_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{K_C S_C}\right) \left(\frac{\Delta H'}{K_H S_H}\right)}$$

avec

$$\bar{L}' = (L_1 + L_2)/2$$

$$C_1 = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}$$

$$C_2 = \sqrt{a_2^2 + b_2^2}$$

$$\bar{C} = (C_1 + C_2)/2$$

$$G = \left(1 - \sqrt{\frac{\bar{C}'}{\bar{C}' + 25}}\right) / 2$$

$$a'_1 = a_1(1 + G)$$

$$a'_2 = a_2(1 + G)$$

$$C'_1 = \sqrt{a'^2_1 + b_1^2}$$

$$C'_2 = \sqrt{a'^2_2 + b_2^2}$$

$$\bar{C}' = (C'_1 + C'_2)/2$$

$$h'_1 = \begin{cases} \tan^{-1}(b_1/a'_1) & \tan^{-1}(b_1/a'_1) \geq 0 \\ \tan^{-1}(b_1/a'_1) + 360^\circ & \tan^{-1}(b_1/a'_1) < 0 \end{cases}$$

$$h'_2 = \begin{cases} \tan^{-1}(b_2/a'_2) & \tan^{-1}(b_2/a'_2) \geq 0 \\ \tan^{-1}(b_2/a'_2) + 360^\circ & \tan^{-1}(b_2/a'_2) < 0 \end{cases}$$

$$\bar{H}' = \begin{cases} (h'_1 + h'_2 + 360^\circ)/2 & |h'_1 - h'_2| > 180^\circ \\ (h'_1 + h'_2)/2 & |h'_1 - h'_2| \leq 180^\circ \end{cases}$$

$$T = 1 - 0.17 \cos(\bar{H}' - 30^\circ) + 0.24 \cos(2\bar{H}') + 0.32 \cos(3\bar{H}' + 6^\circ) - 0.20 \cos(4\bar{H}' - 63^\circ)$$

$$\Delta h' = \begin{cases} h'_2 - h'_1 & |h'_2 - h'_1| \leq 180^\circ \\ h'_2 - h'_1 + 360^\circ & |h'_2 - h'_1| > 180^\circ; h'_2 \leq h'_1 \\ h'_2 - h'_1 - 360^\circ & |h'_2 - h'_1| > 180^\circ; h'_2 > h'_1 \end{cases}$$

$$\Delta L' = L_2 - L_1$$

$$\Delta C' = C'_2 - C'_1$$

$$\Delta H' = 2\sqrt{C'_1 C'_2} \sin(\Delta h'/2)$$

$$S_L = 1 + \frac{0.015(\bar{L}' - 50)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L}' - 50)^2}}$$

$$S_C = 1 + 0.045\bar{C}'$$

$$S_H = 1 + 0.015\bar{C}'T$$

$$\Delta\theta = 30 \exp\left\{-\left(\frac{\bar{H}' - 275^\circ}{25}\right)^2\right\}$$

$$R_C = \sqrt{\frac{\bar{C}'^7}{\bar{C}'^7 + 25^7}}$$

$$R_T = -2R_C \sin(2\Delta\theta)$$

$$K_L = 1 \quad \text{default}$$

$$K_C = 1 \quad \text{default}$$

$$K_H = 1 \quad \text{default}$$

Delta E CMC

(Colour Measurement Committee)

Les chiffres que nous utilisons pour ces comparaisons sont simples : le Delta E CMC. Il s'agit d'une différence de la perception entre deux couleurs, plus le Delta E est élevé plus les couleurs sont différentes. Un Delta E égal à 0 indique deux couleurs identiques. En pratique un Delta E CMC inférieur à 1 est une différence de couleur difficilement décelable à l'oeil, avec un Delta E CMC supérieur à 3 la différence est flagrante.

Le delta E correspond à la distance entre deux couleurs positionnées dans cet espace de couleur. L'espace CIE $L^* a^* b^*$ étant presque perceptuellement uniforme, des couleurs à égale distance dans l'espace Lab (donc ayant un même delta E) devraient être perçues par l'œil humain comme ayant la même différence de couleur.

Il existe actuellement d'autres formules plus avancées pour calculer ce delta E (CIE 1976, CIE 1994, CIE 2000, CMC). Ces nouvelles formules introduisent des coefficients pour ajuster le résultat selon la teinte ou le domaine d'application (arts graphique, textile).

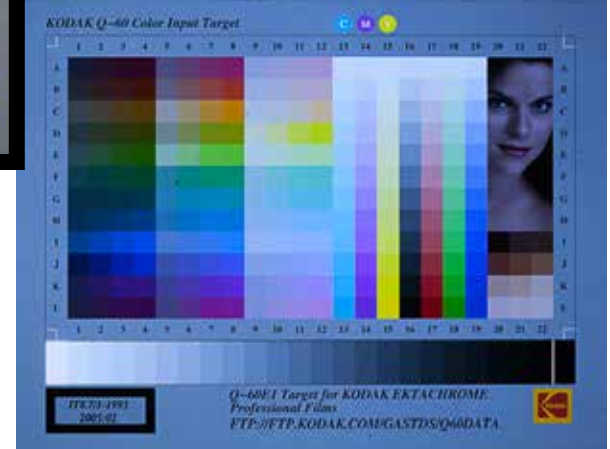
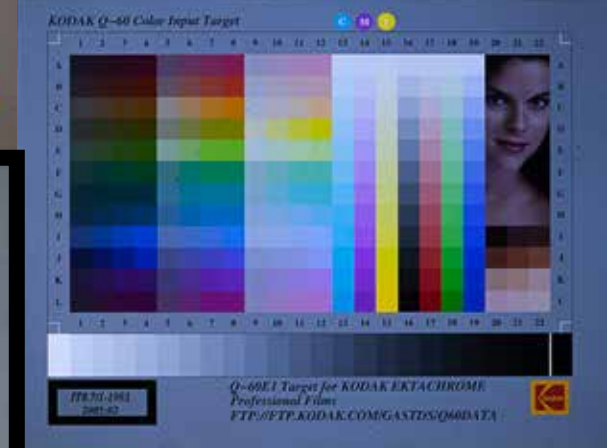
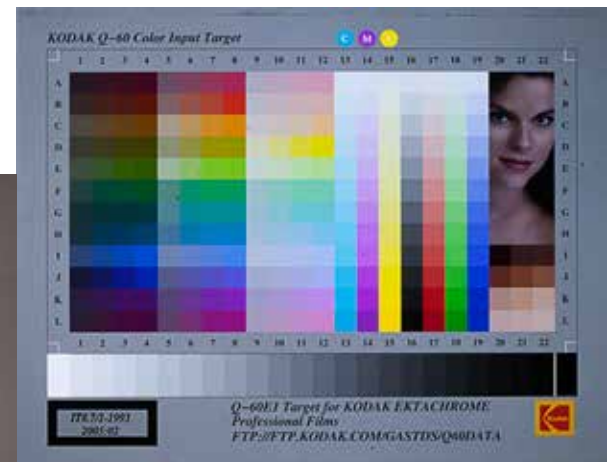
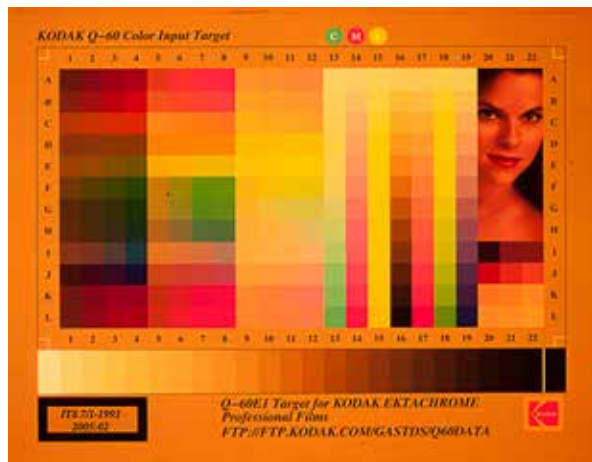
Variations de Pose

N-3 ; N-2 ; N-1 ; N ; N+1 ; N+2 ; N+3



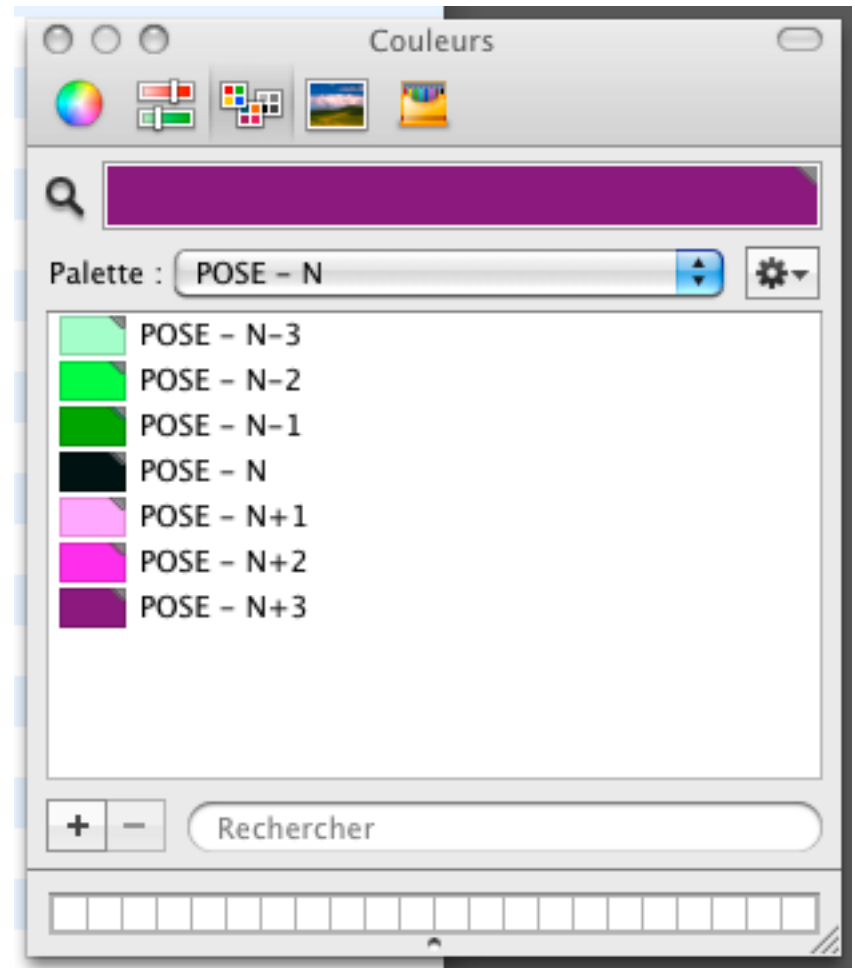
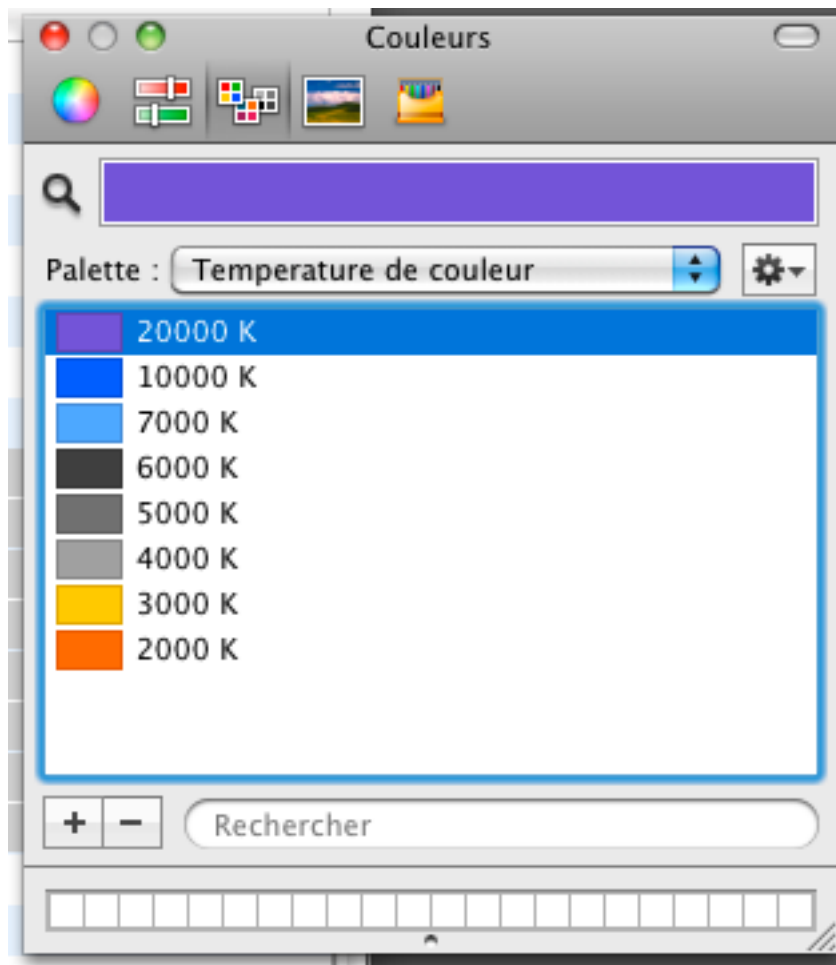
Variations de T°C

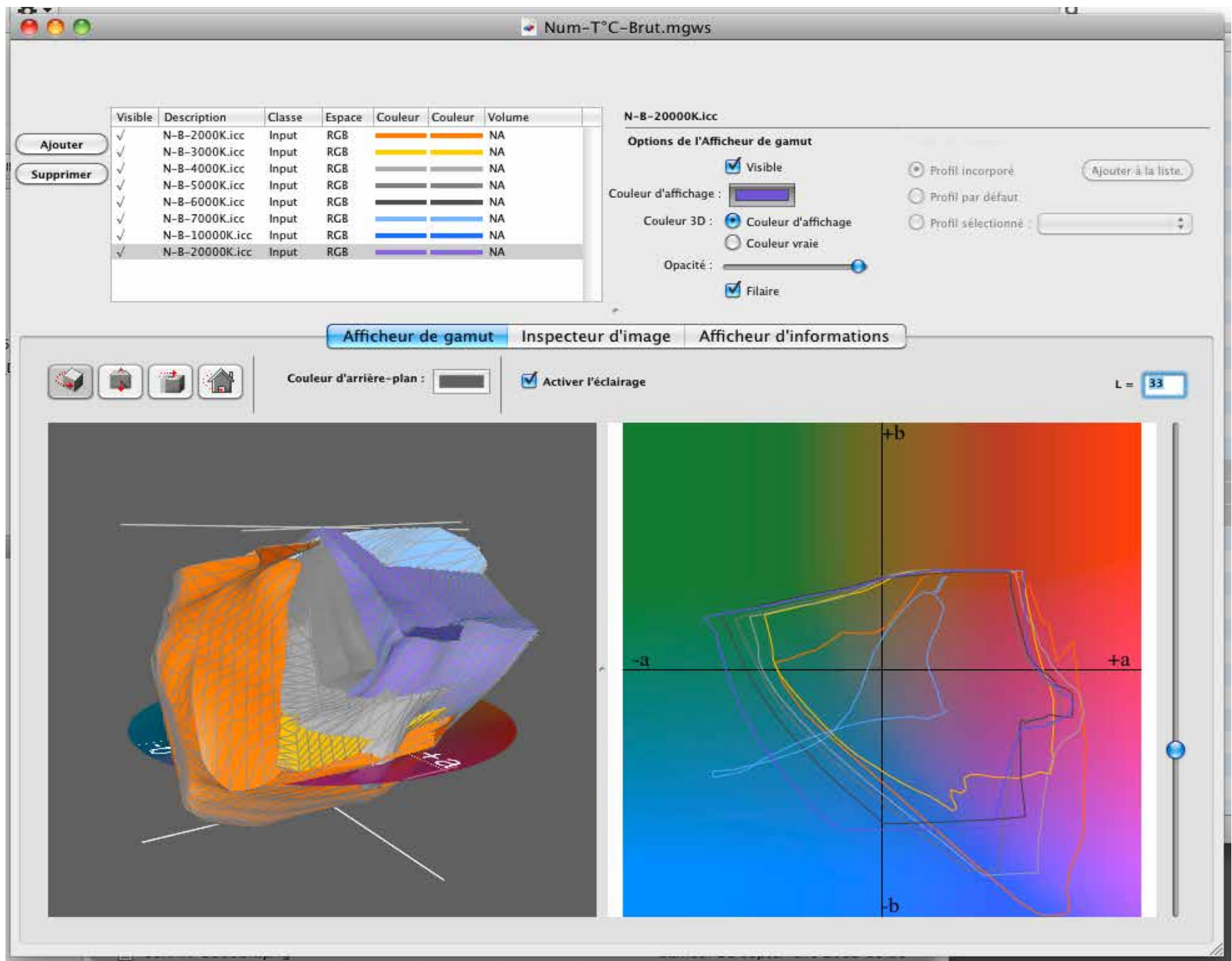
**2 000 K, 3 000 K, 4 000 K,
5 000 K, 6 000 K, 7 000 K,
10 000 K, 20 000 K**

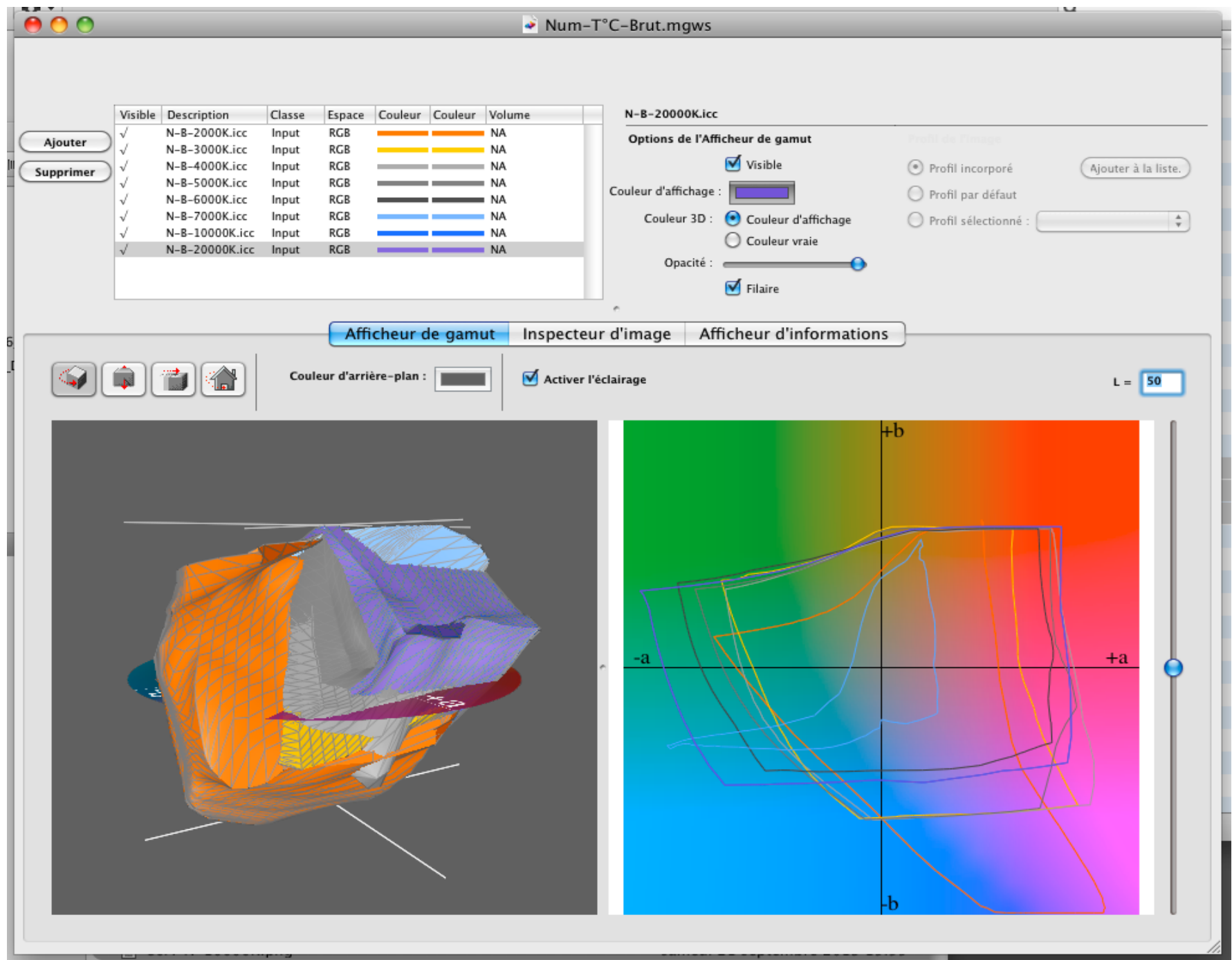


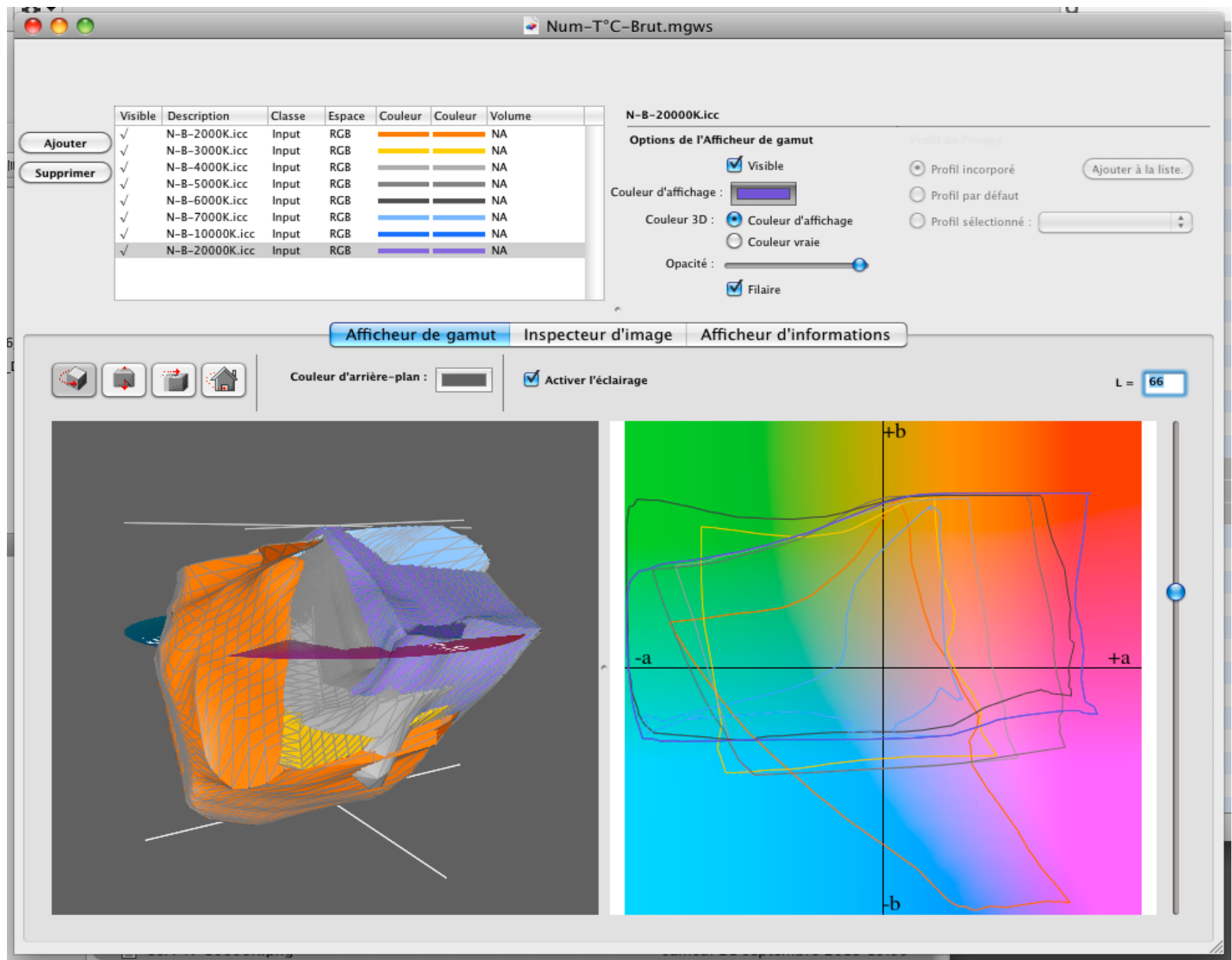
Comparaisons

Canon Ds III fichiers bruts





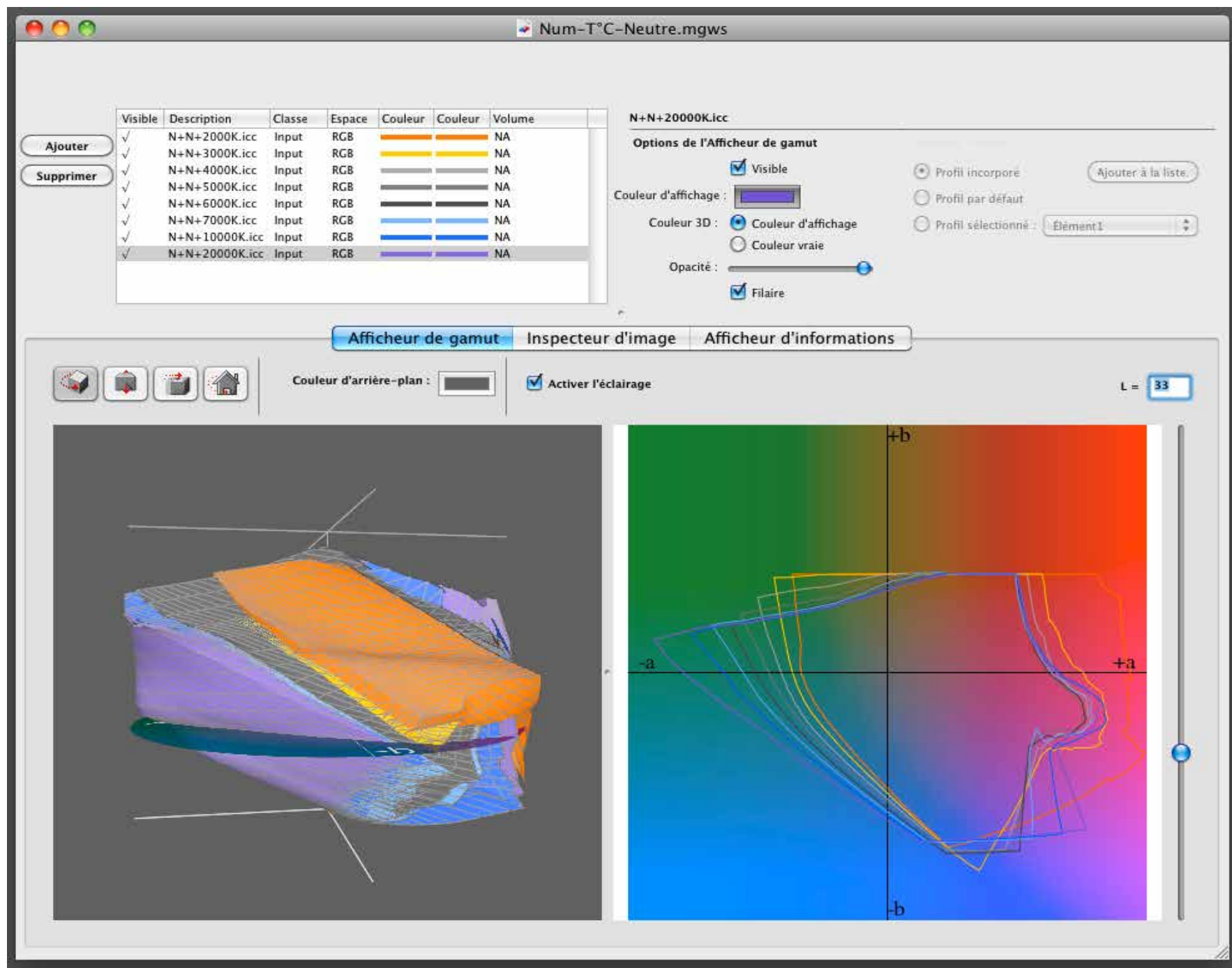


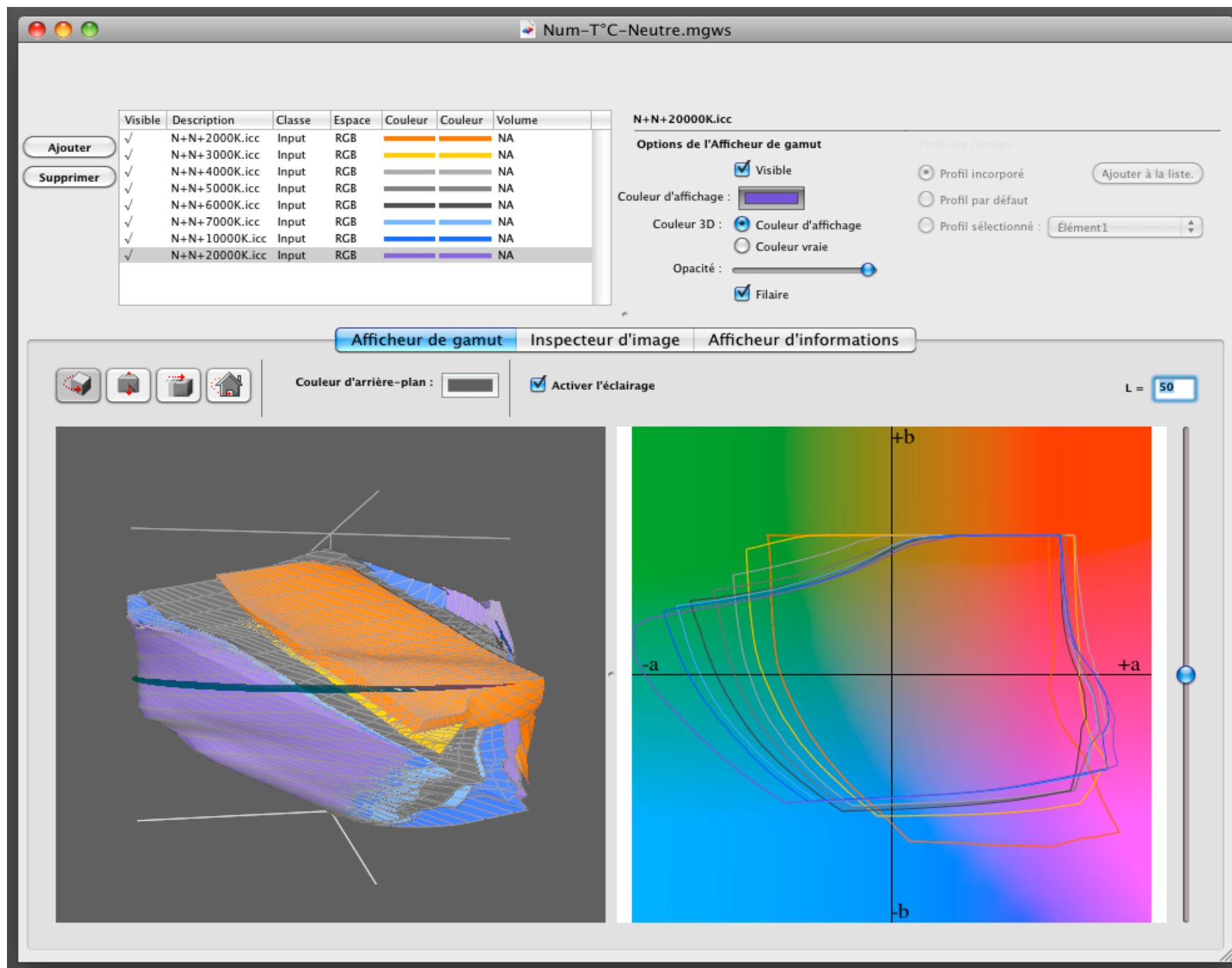


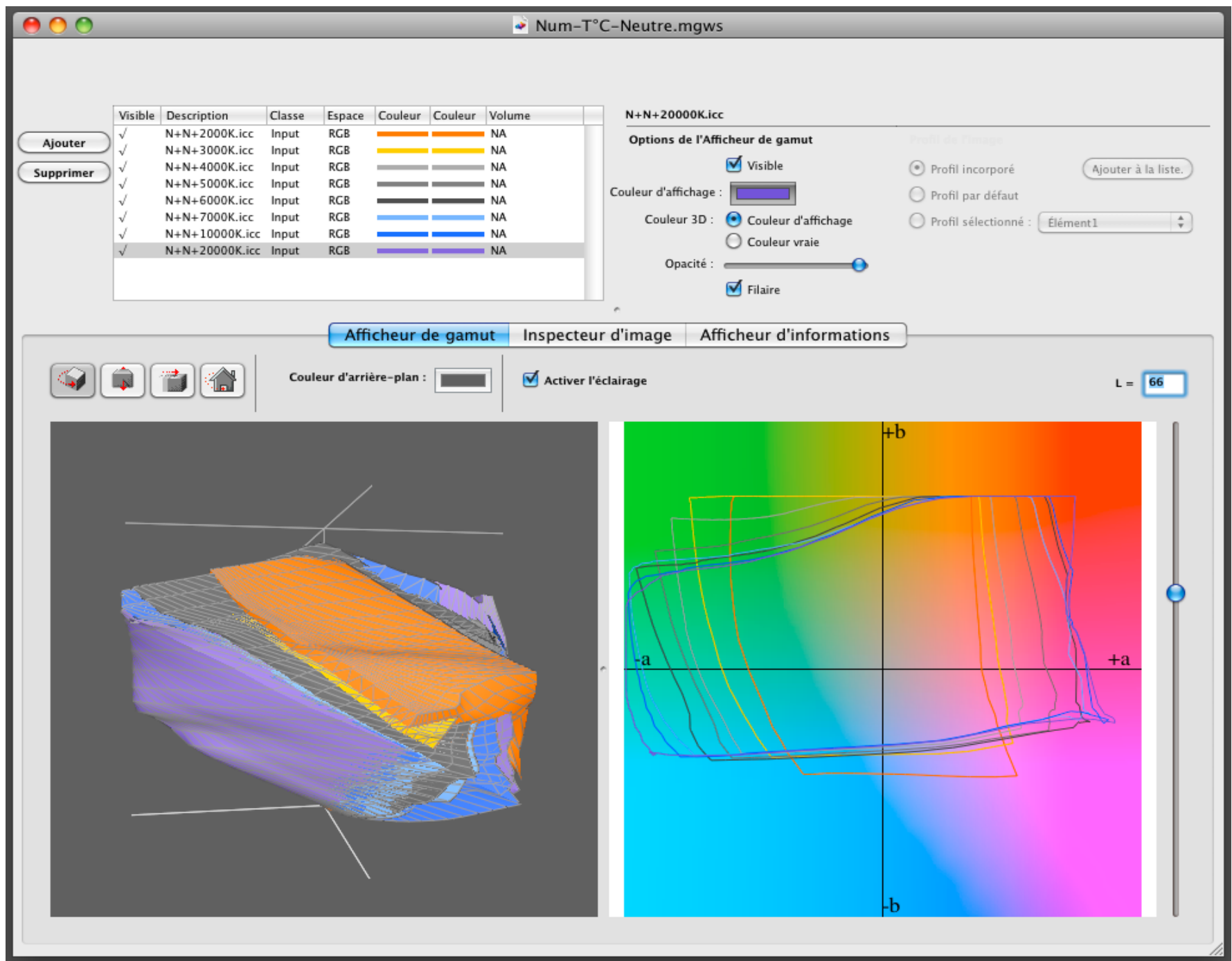
Comparaisons

Canon Ds III fichiers traités

Lightroom V4





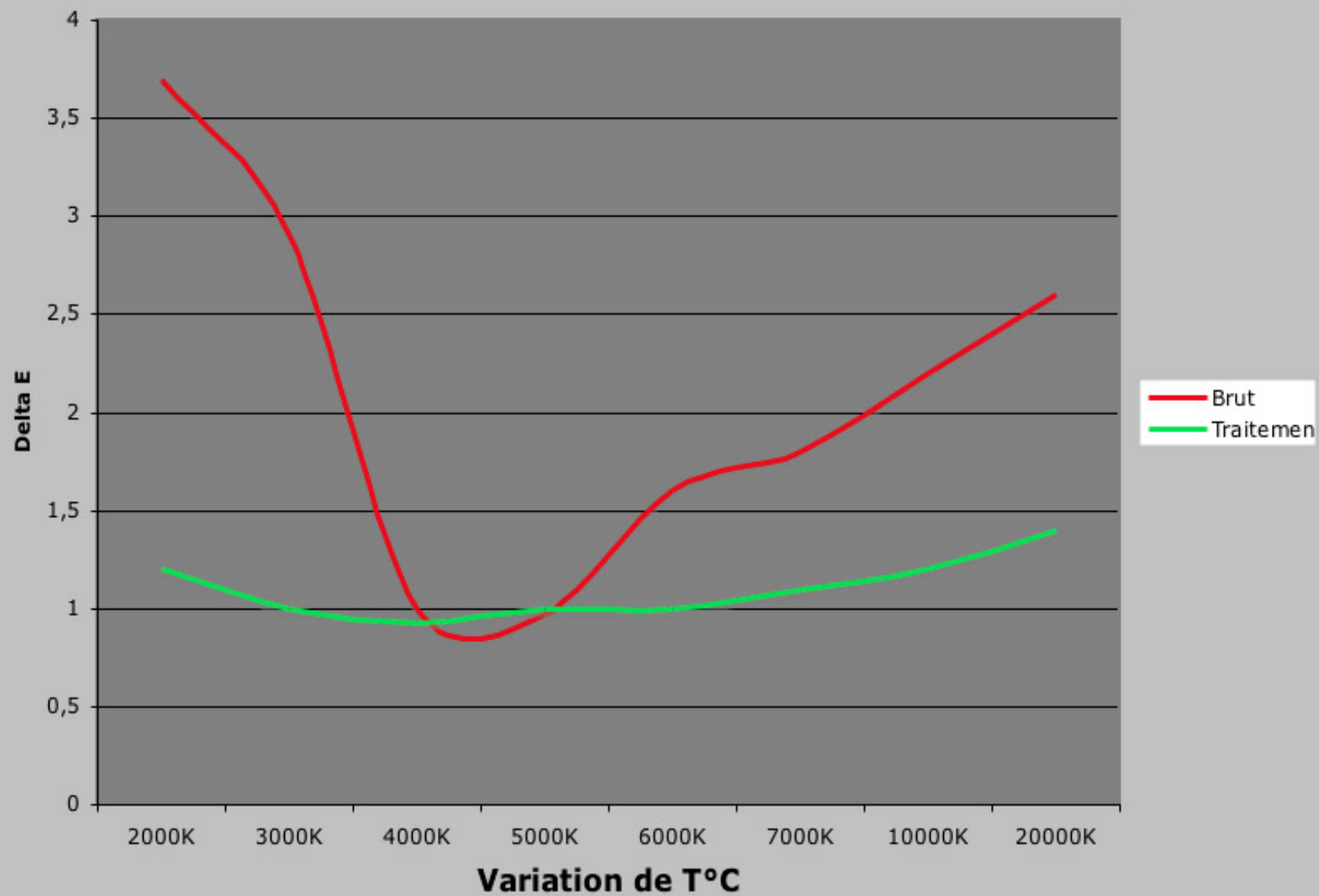


Comparaisons

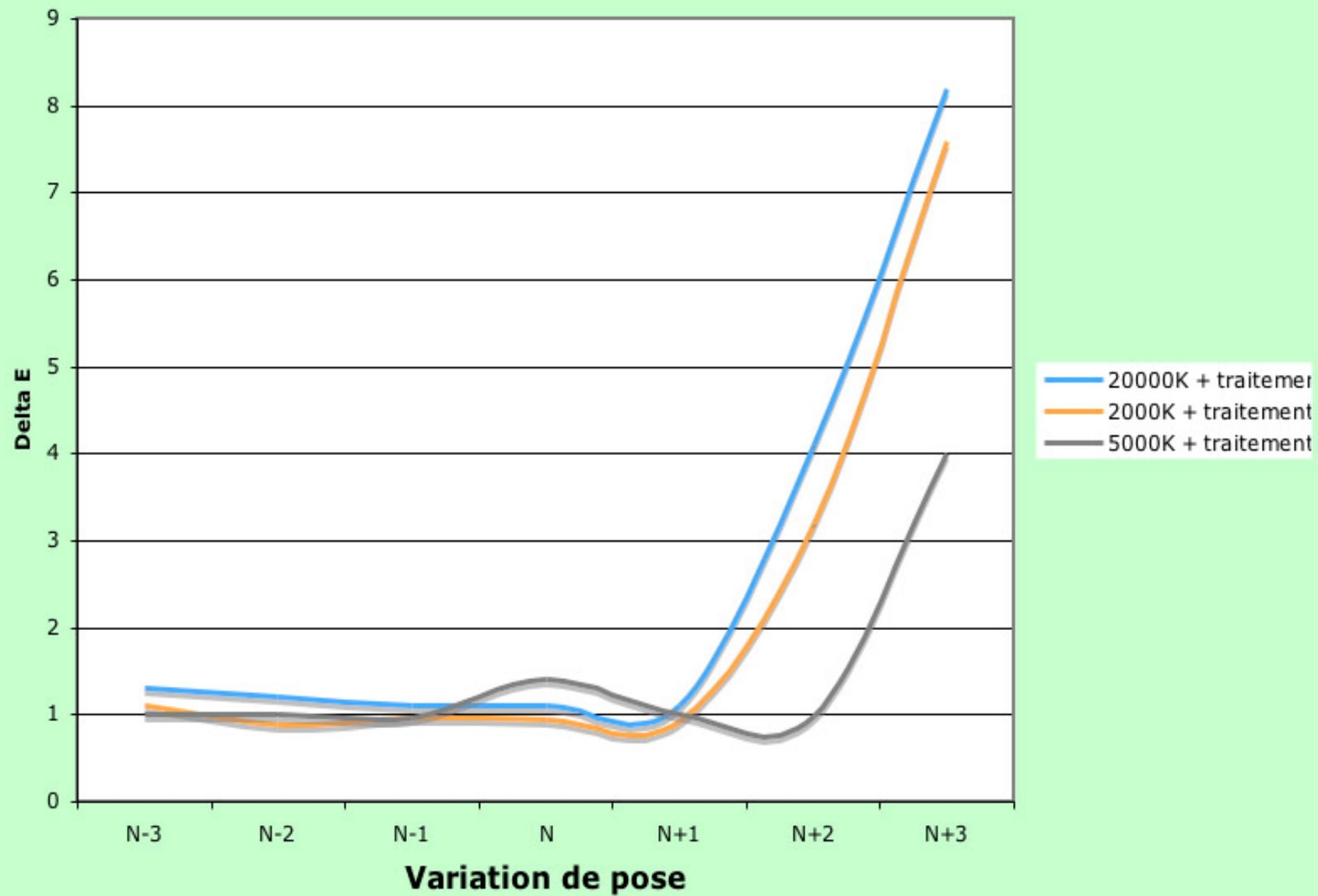
Canon Ds III fichiers traités

Delta E CMC

Variation Delta E CMC - Ds III



Variation Delta E CMC



Comparaisons

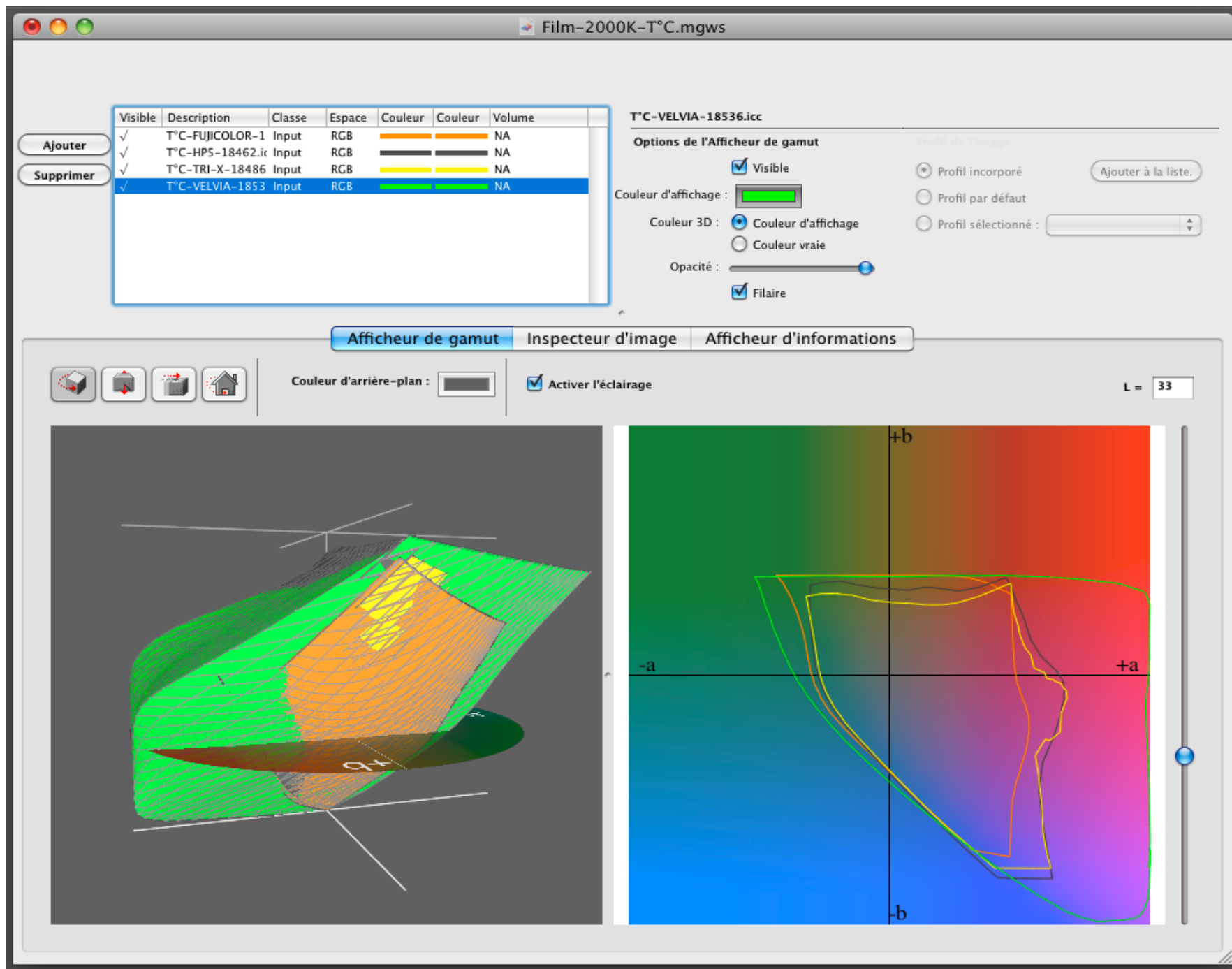
Films & 2000 K

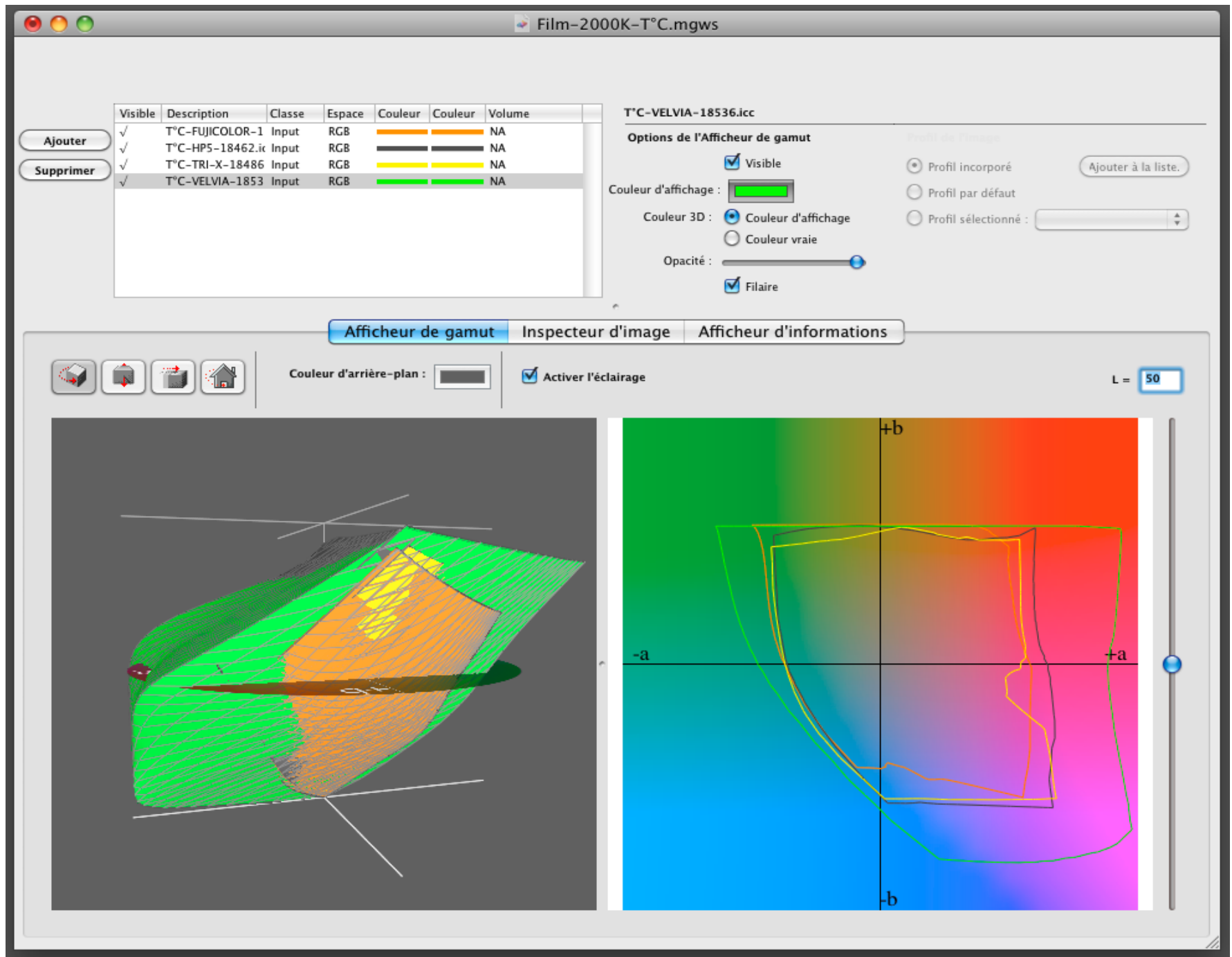
Fujicolor 160 C41

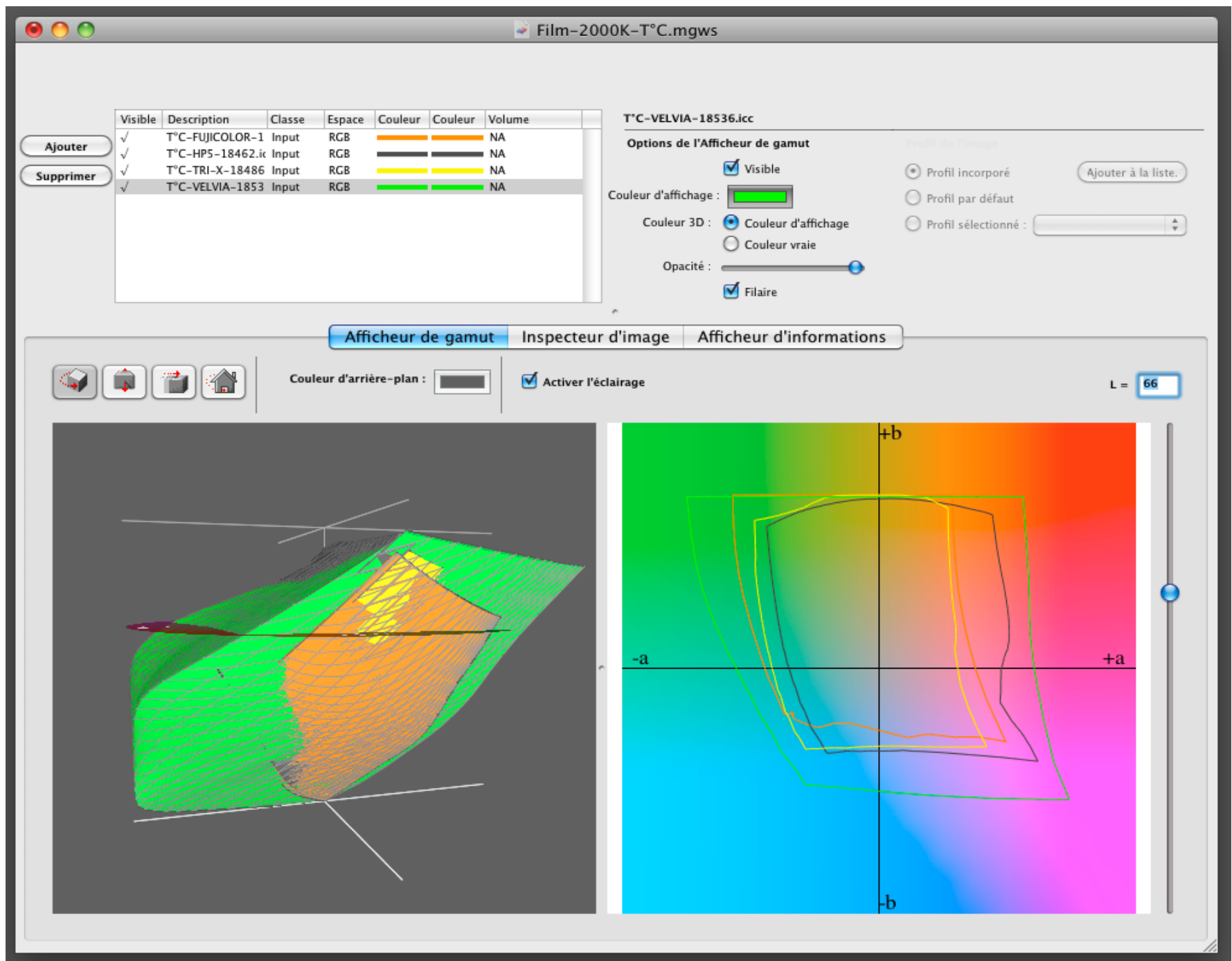
Velvia 100F traitement croisé C41

HP5 HC110 trichromie

Tri-X HC110 trichromie







Les comparaisons

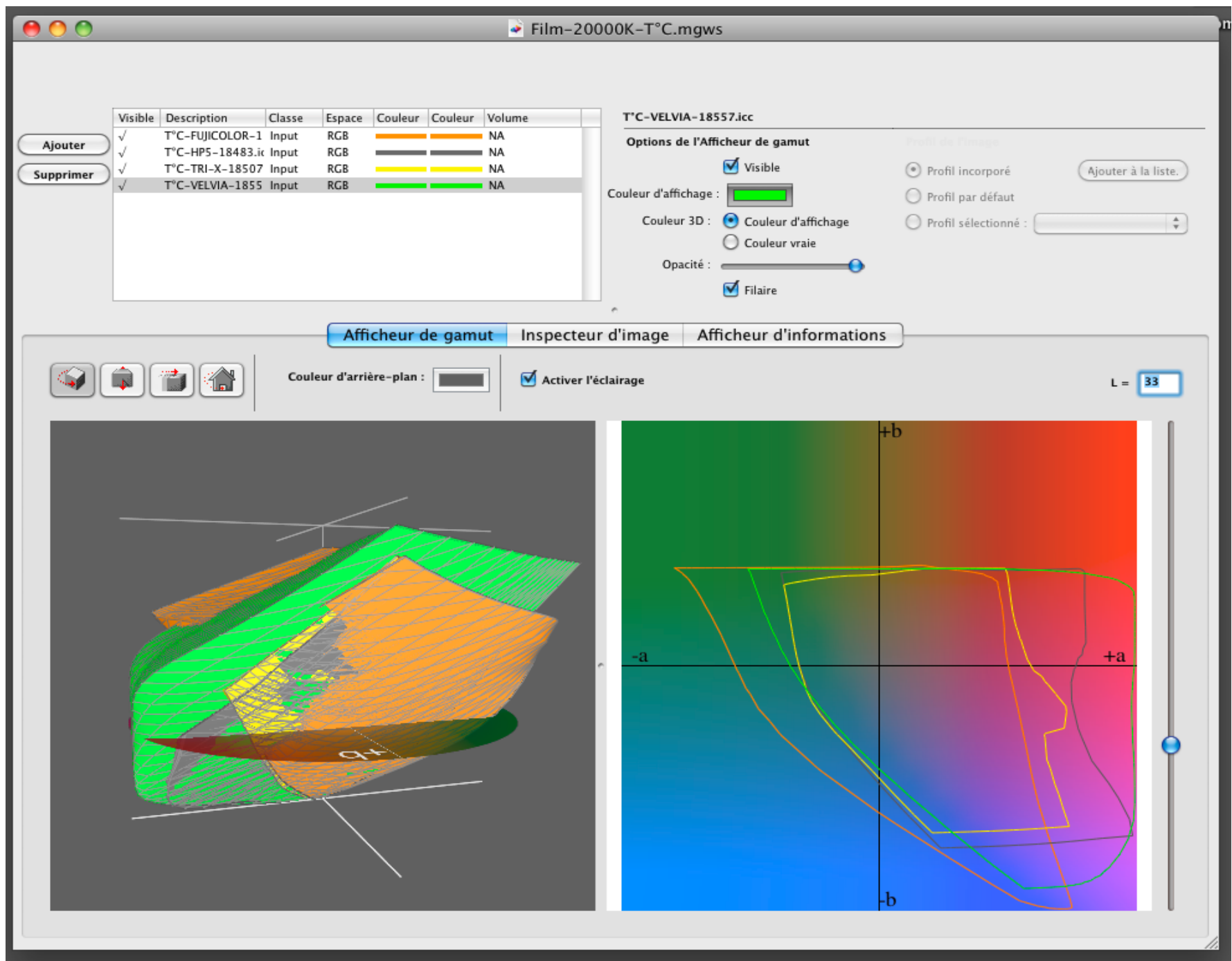
Films & 20 000 K

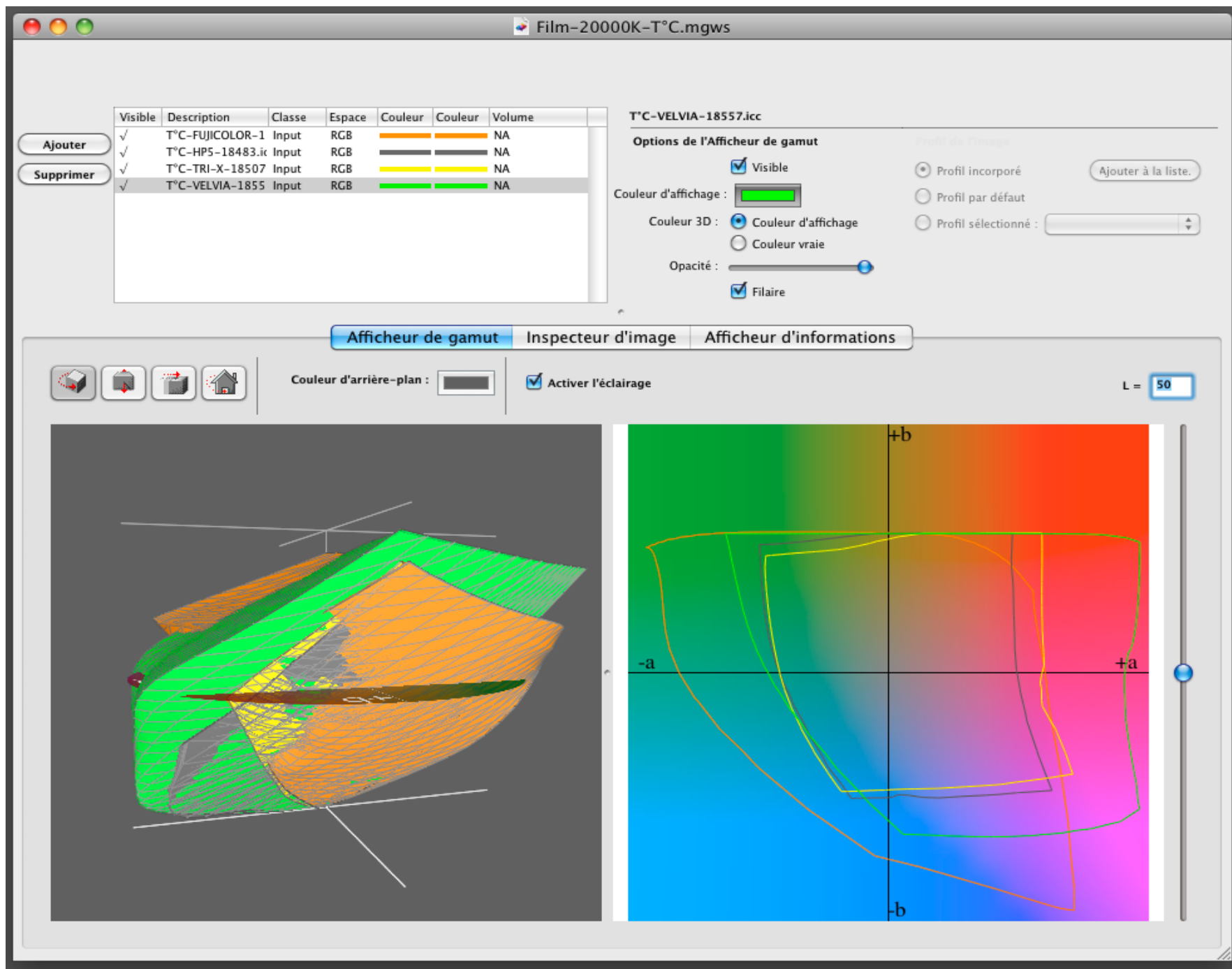
Fujicolor 160 C41

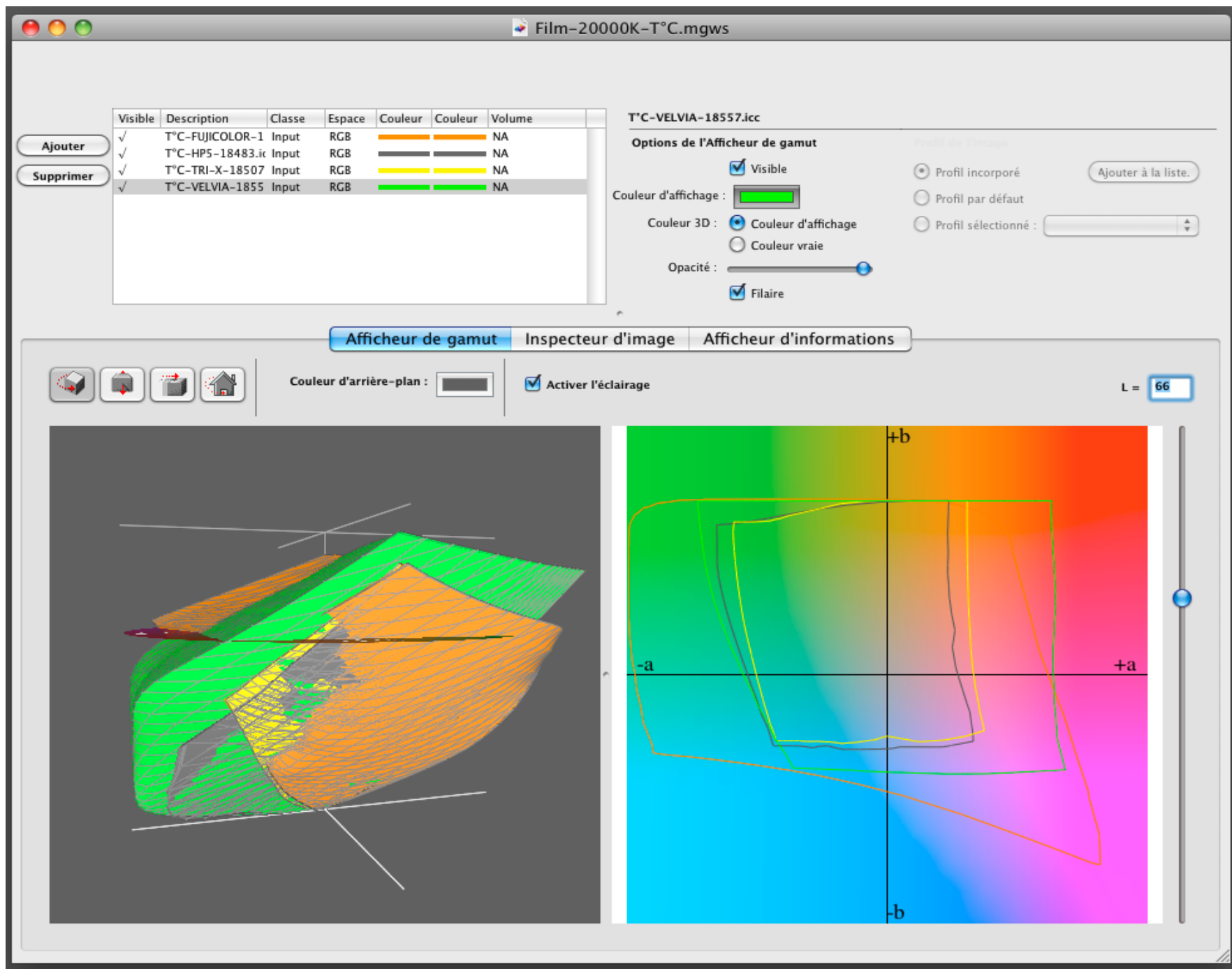
Velvia 100F traitement croisé C41

HP5 HC110 trichromie

Tri-X HC110 trichromie







Les comparaisons

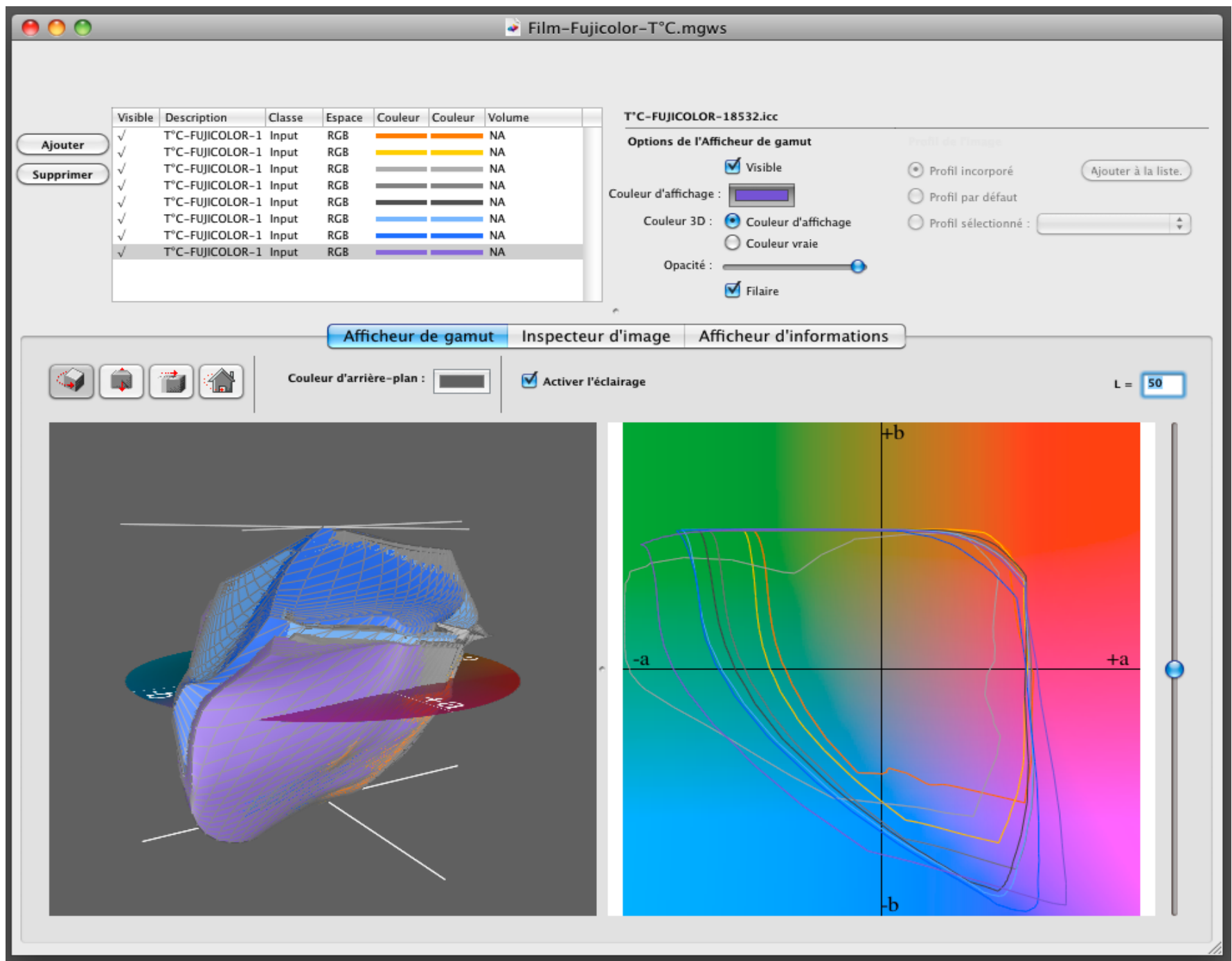
Films & T°C

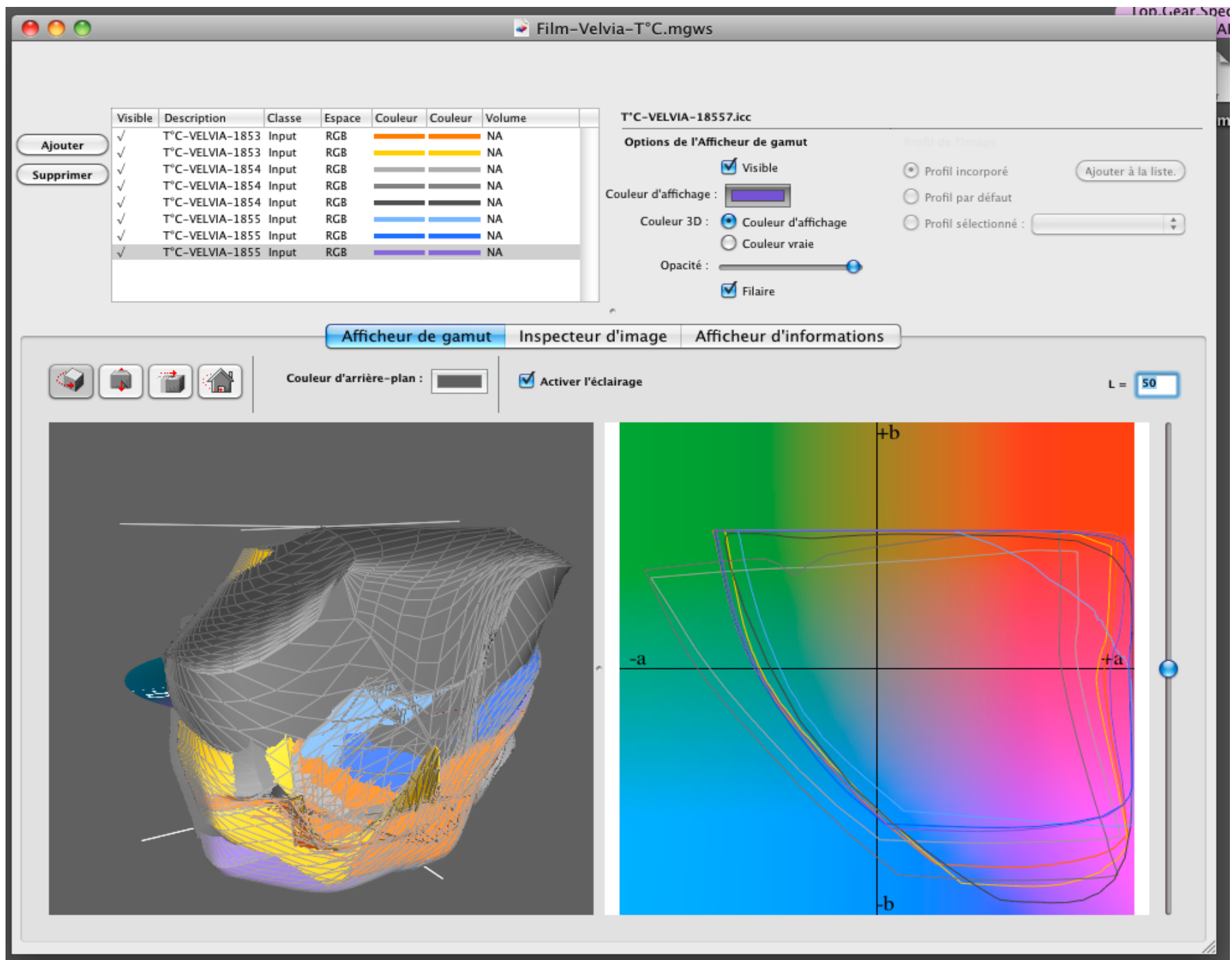
Fujicolor 160 C41

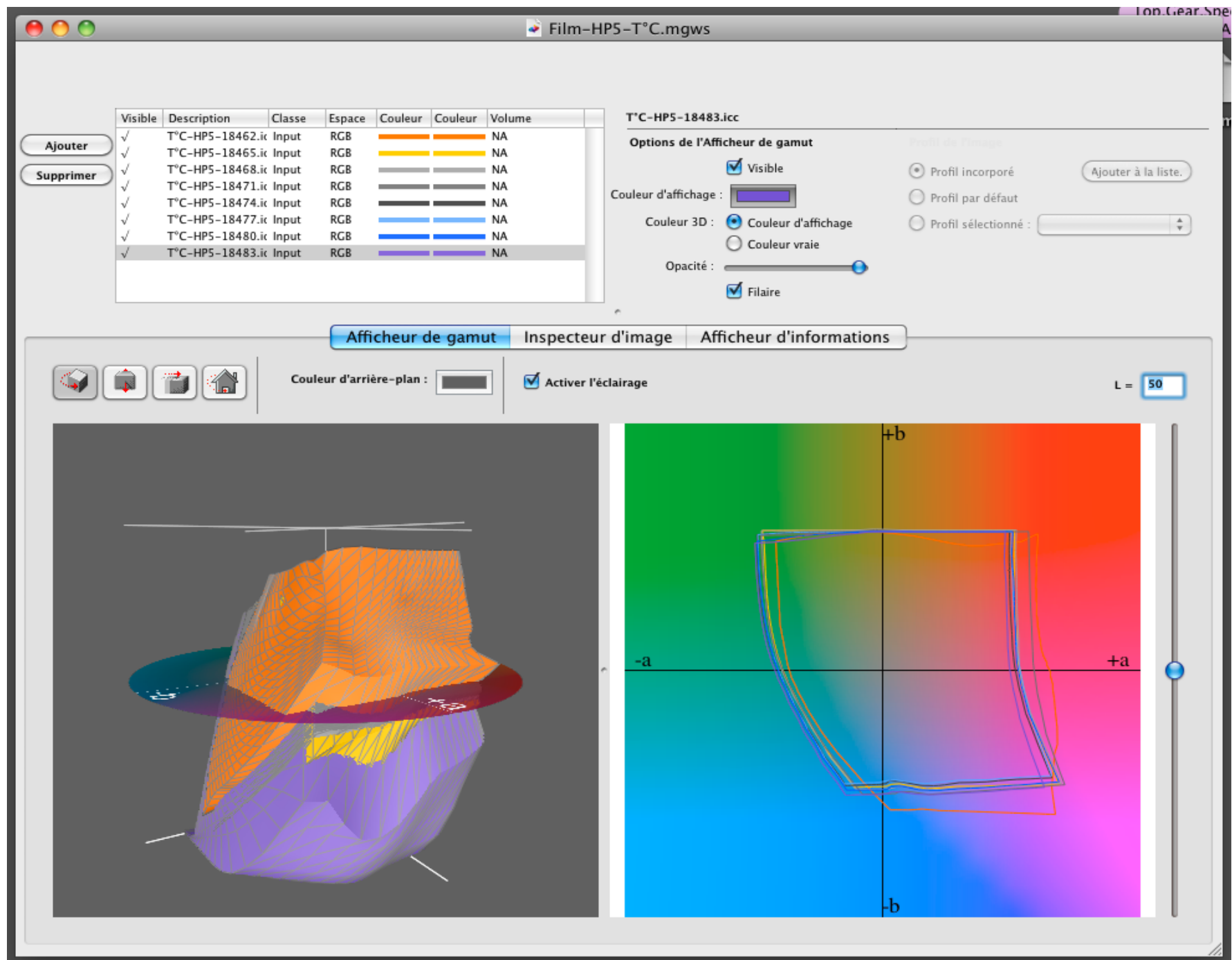
Velvia 100F traitement croisé C41

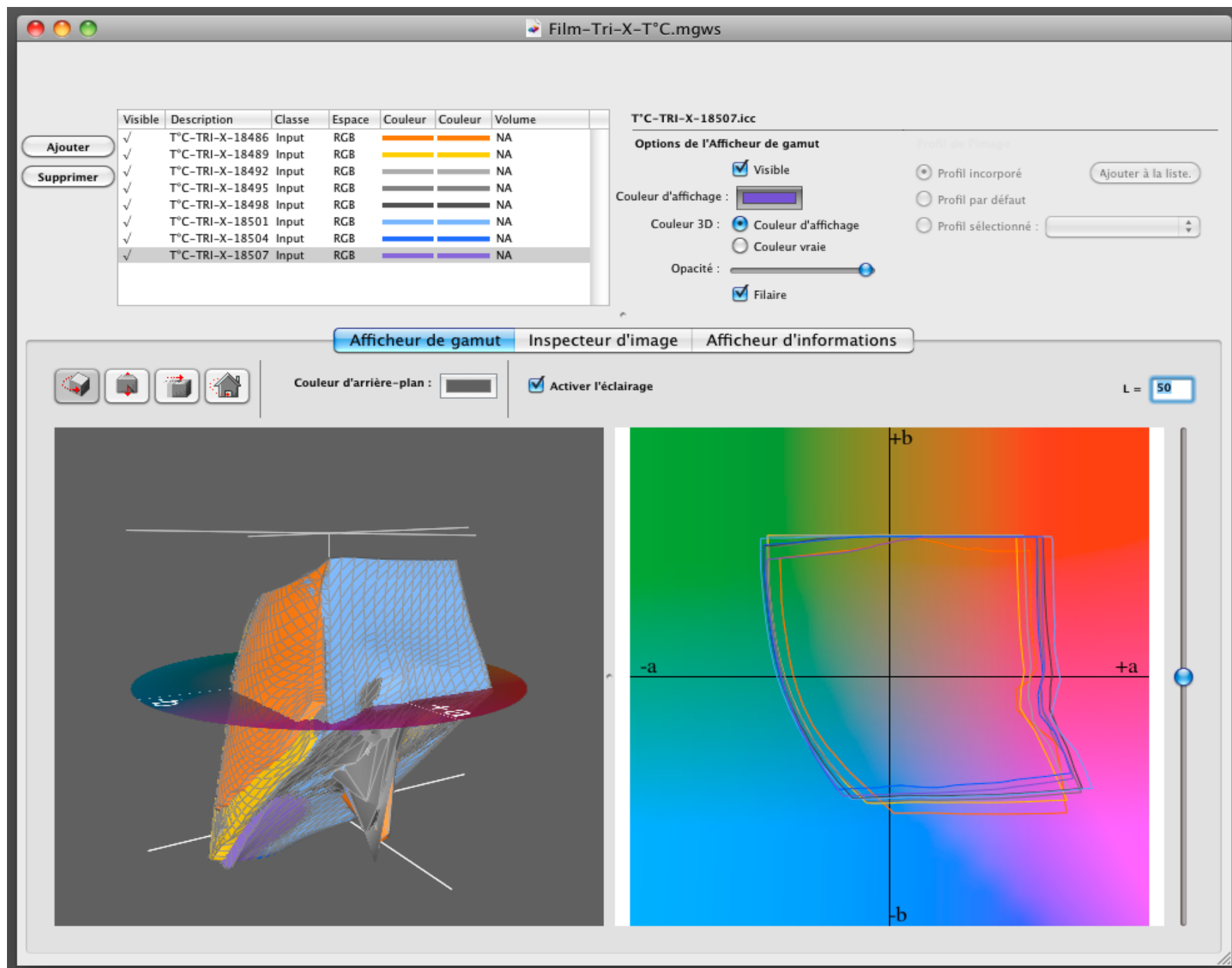
HP5 HC110 trichromie

Tri-X HC110 trichromie





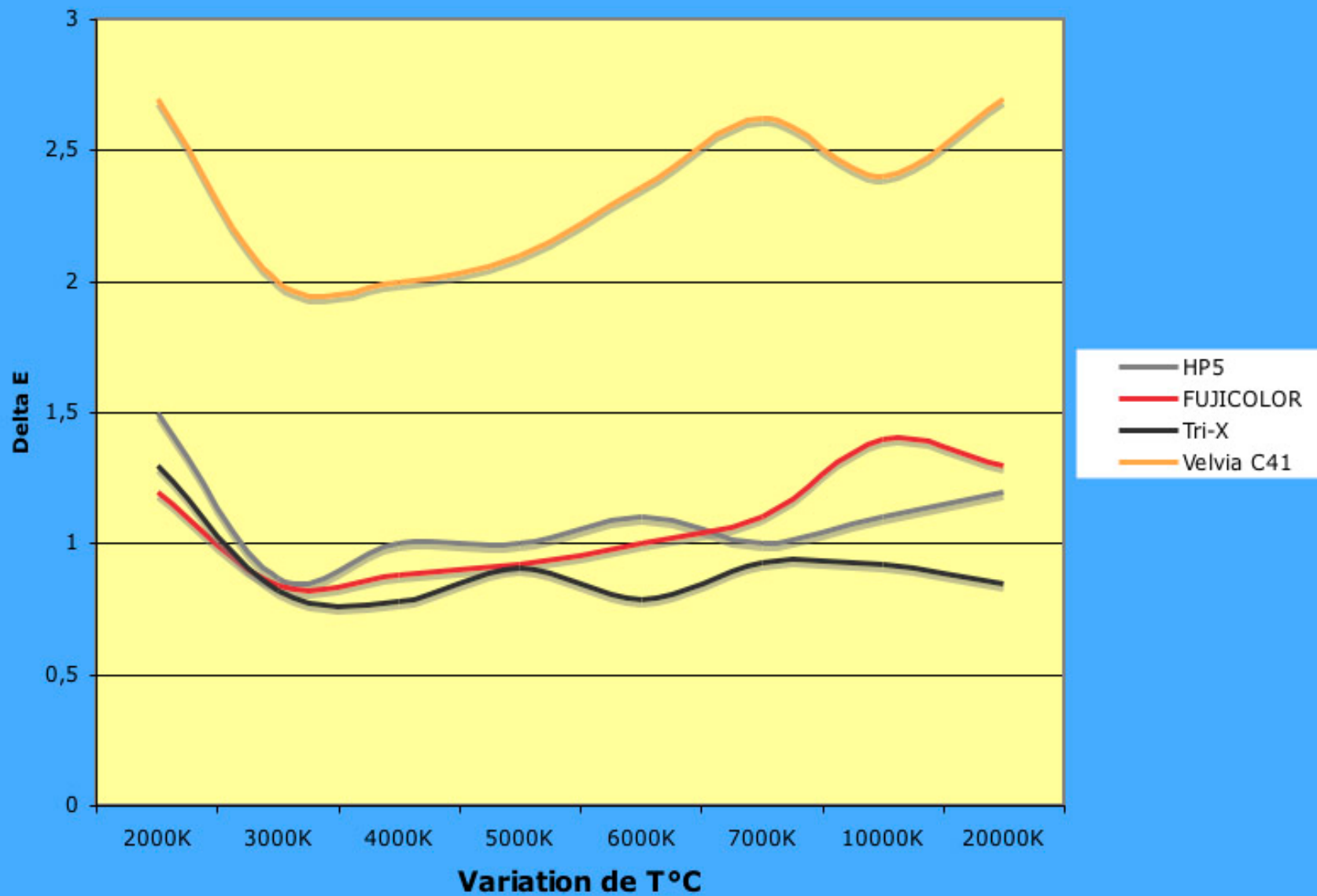




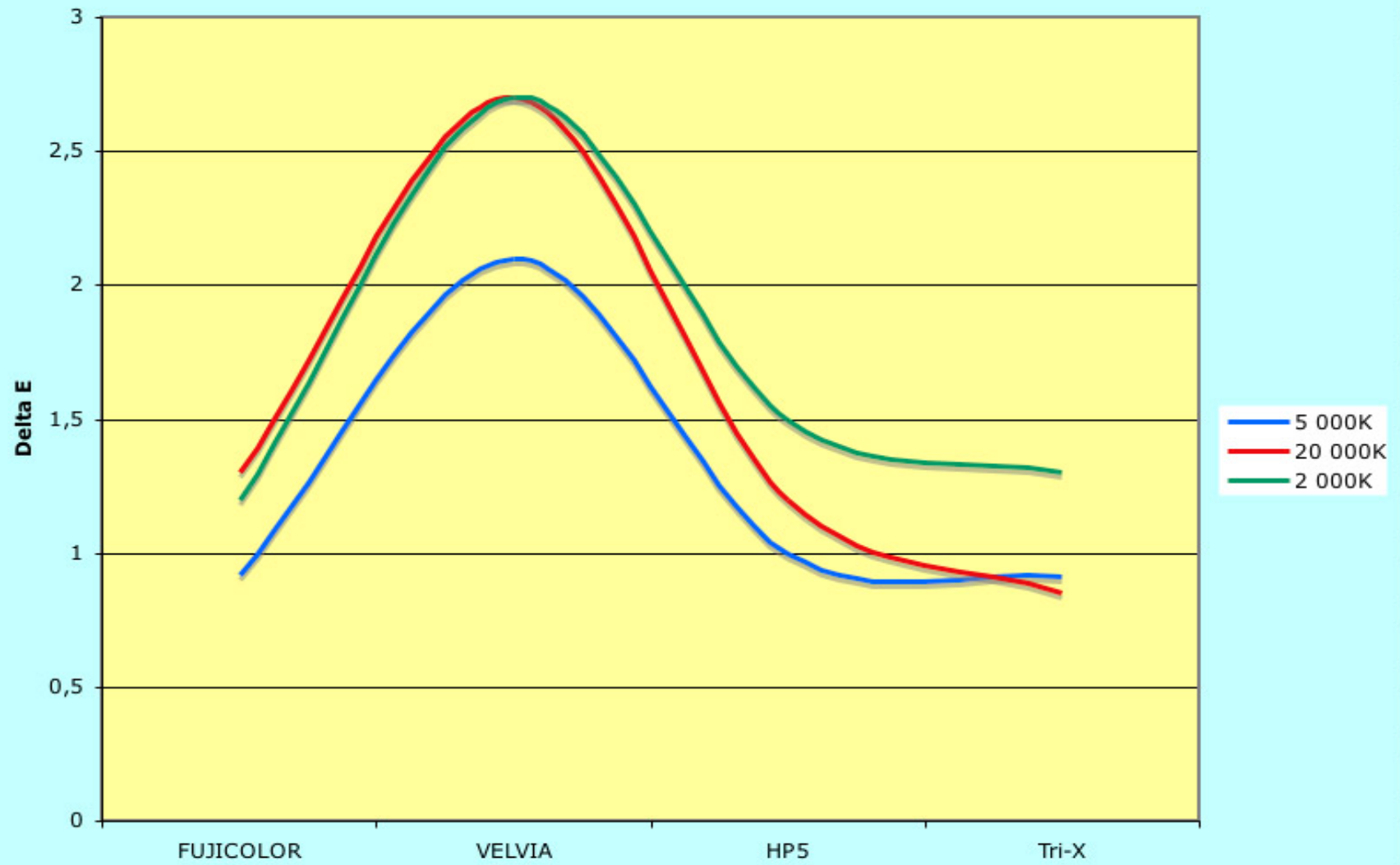
Les comparaisons

Films & Delta E CMC

Variation Delta E CMC - FILMS DIVERS



Variation Delta E CMC



Variation Delta E selon les émulsions & la T°C

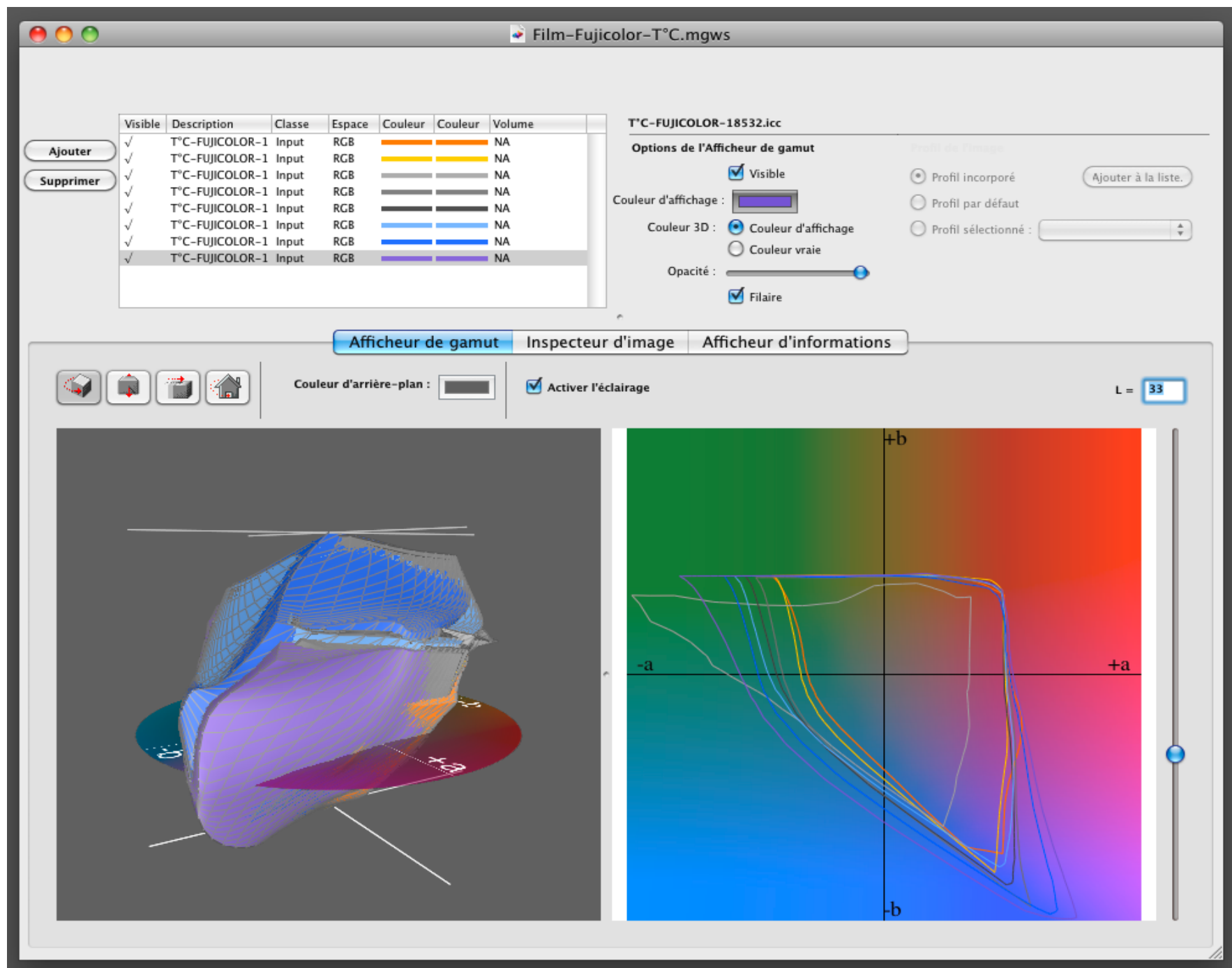
Les comparaisons

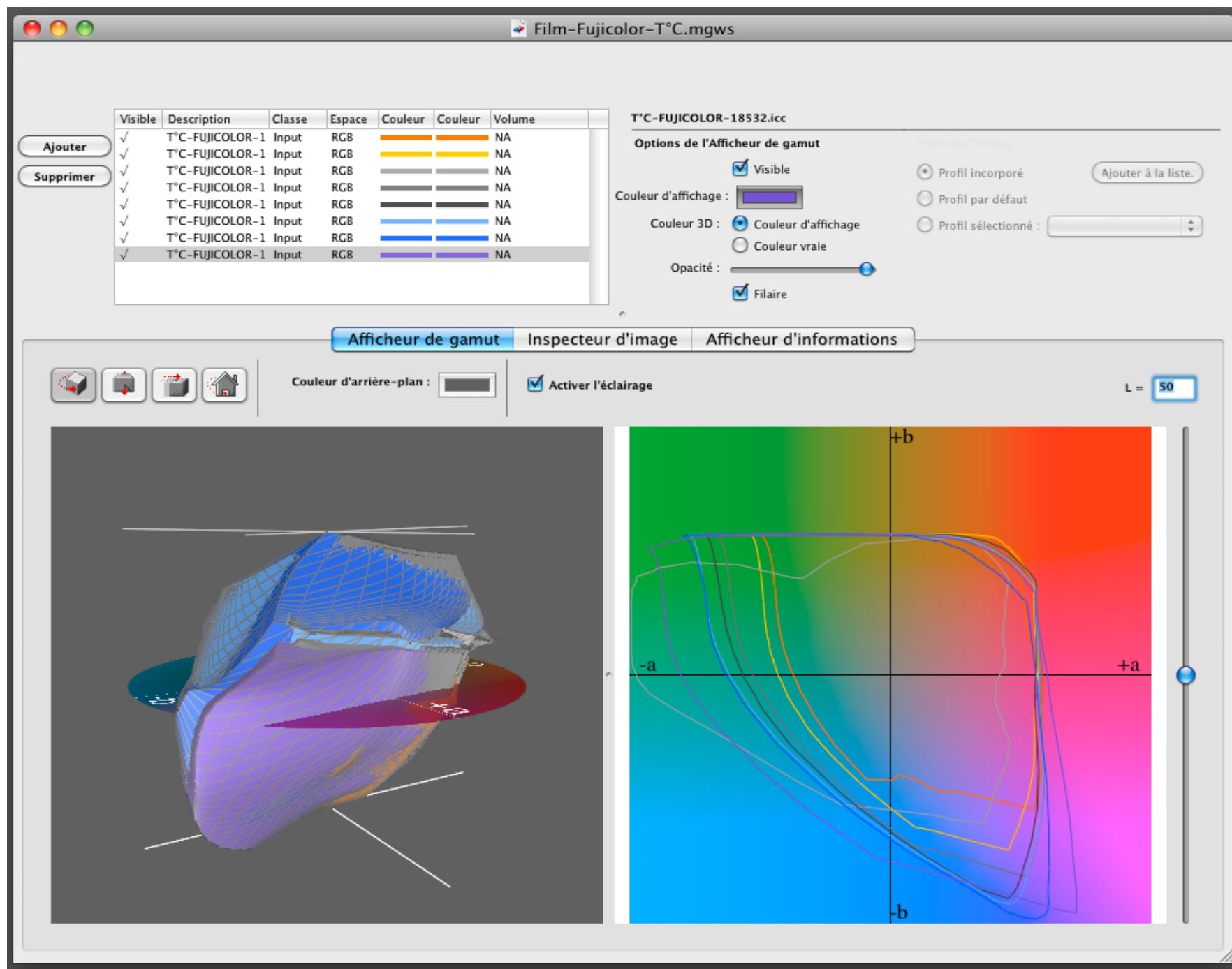
(Sortons notre loupe)

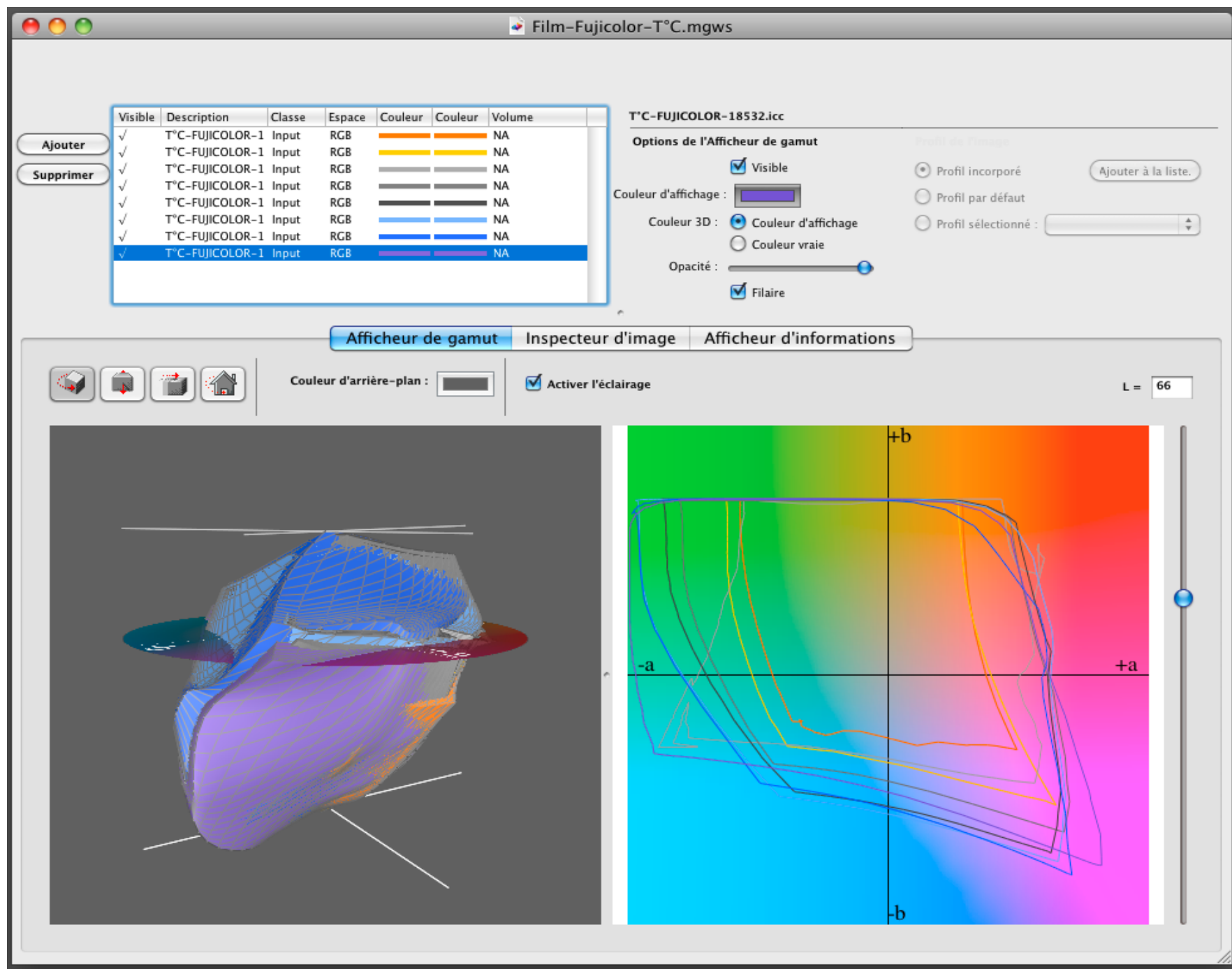
Films & T°C

Fujicolor 160 C41
Tri-X HC110 trichromie
Canon Ds III

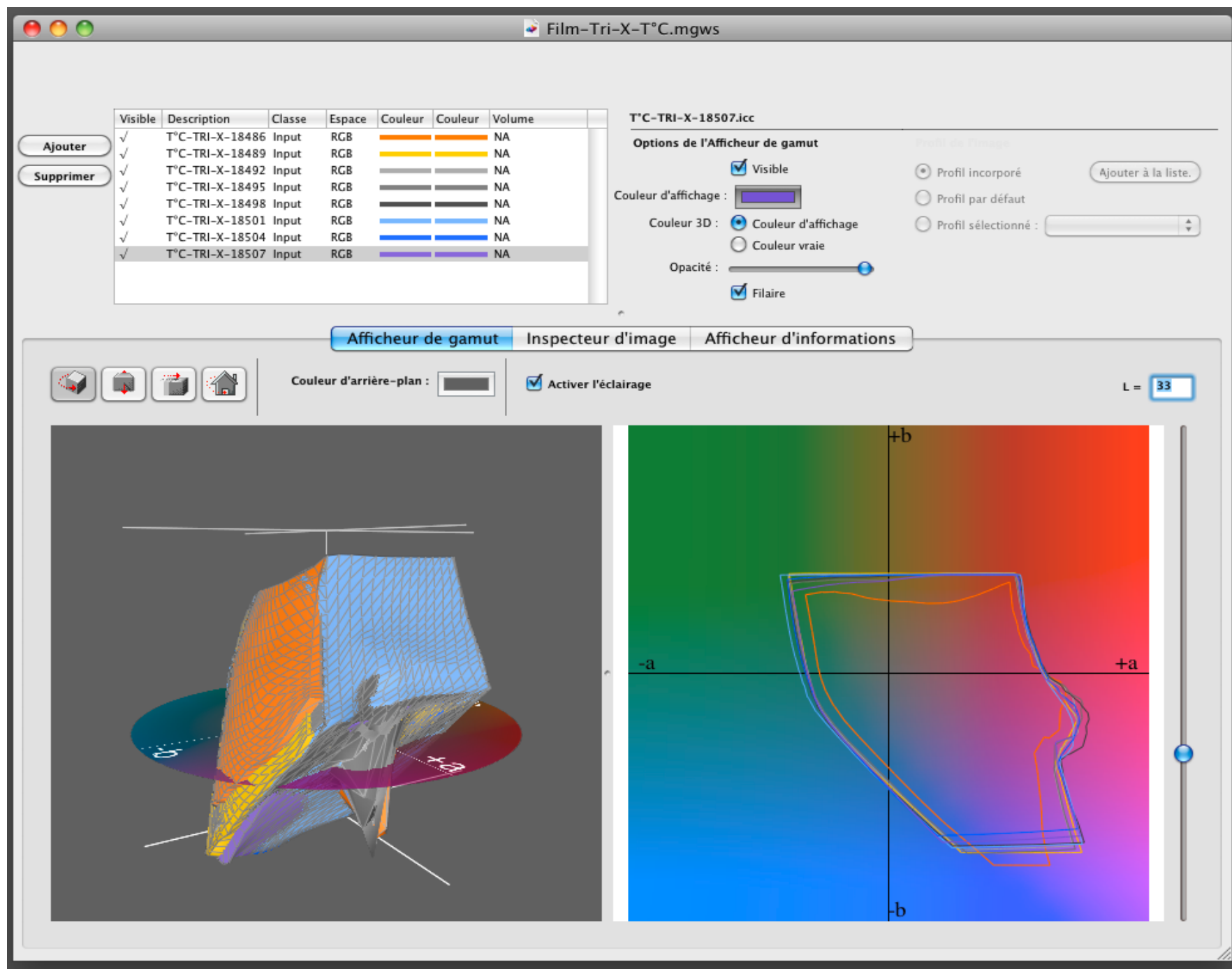
Fujicolor 160 / C41

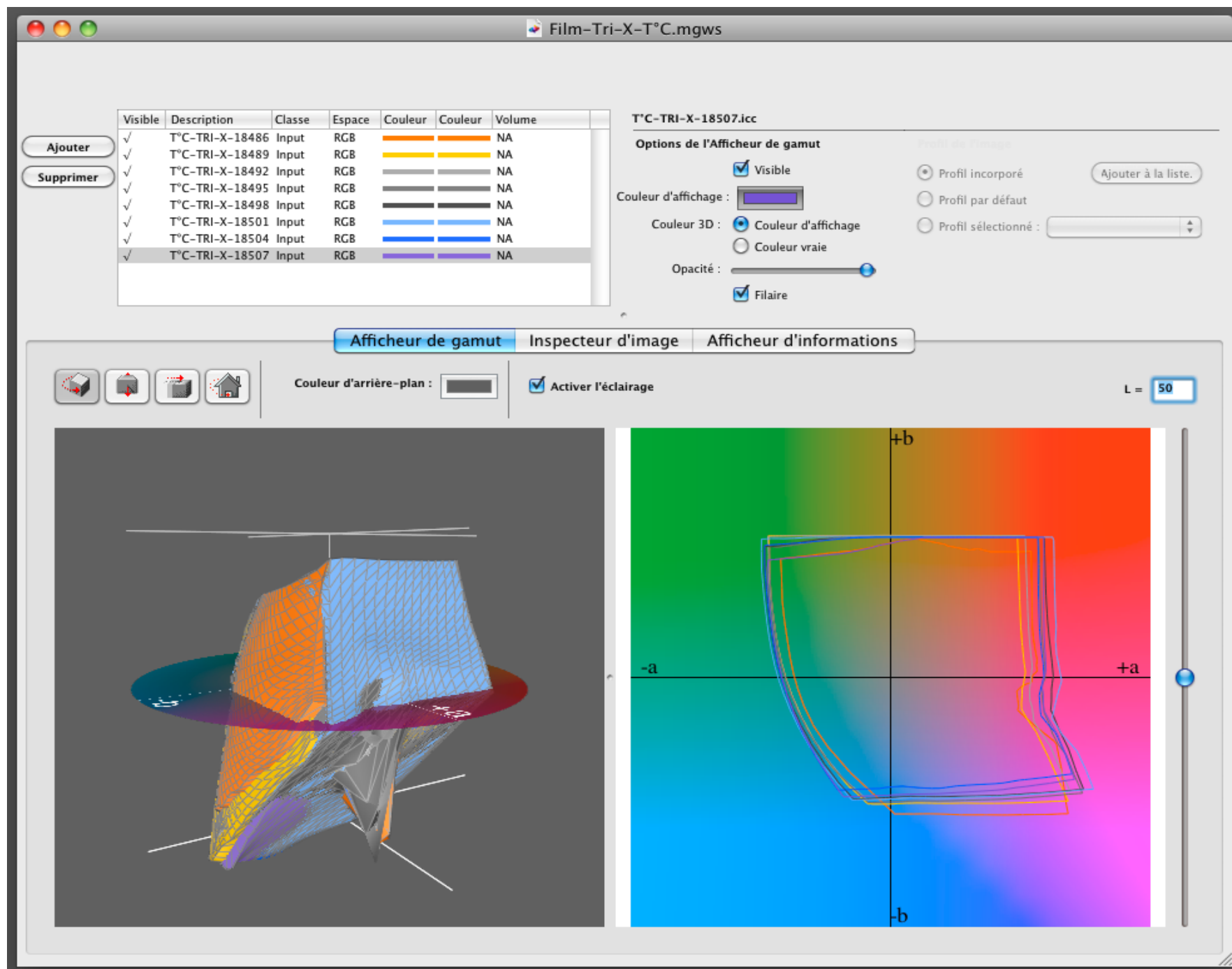


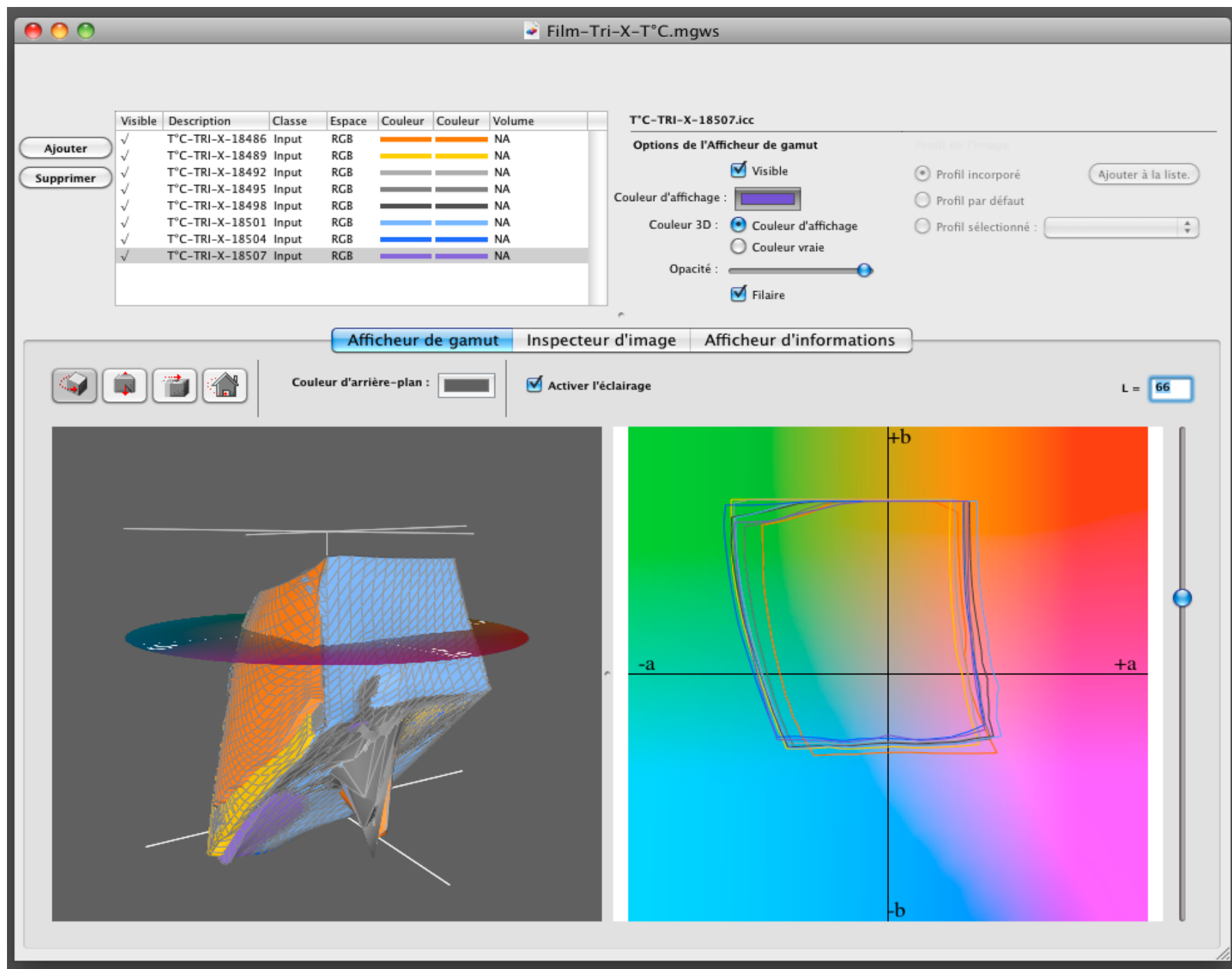




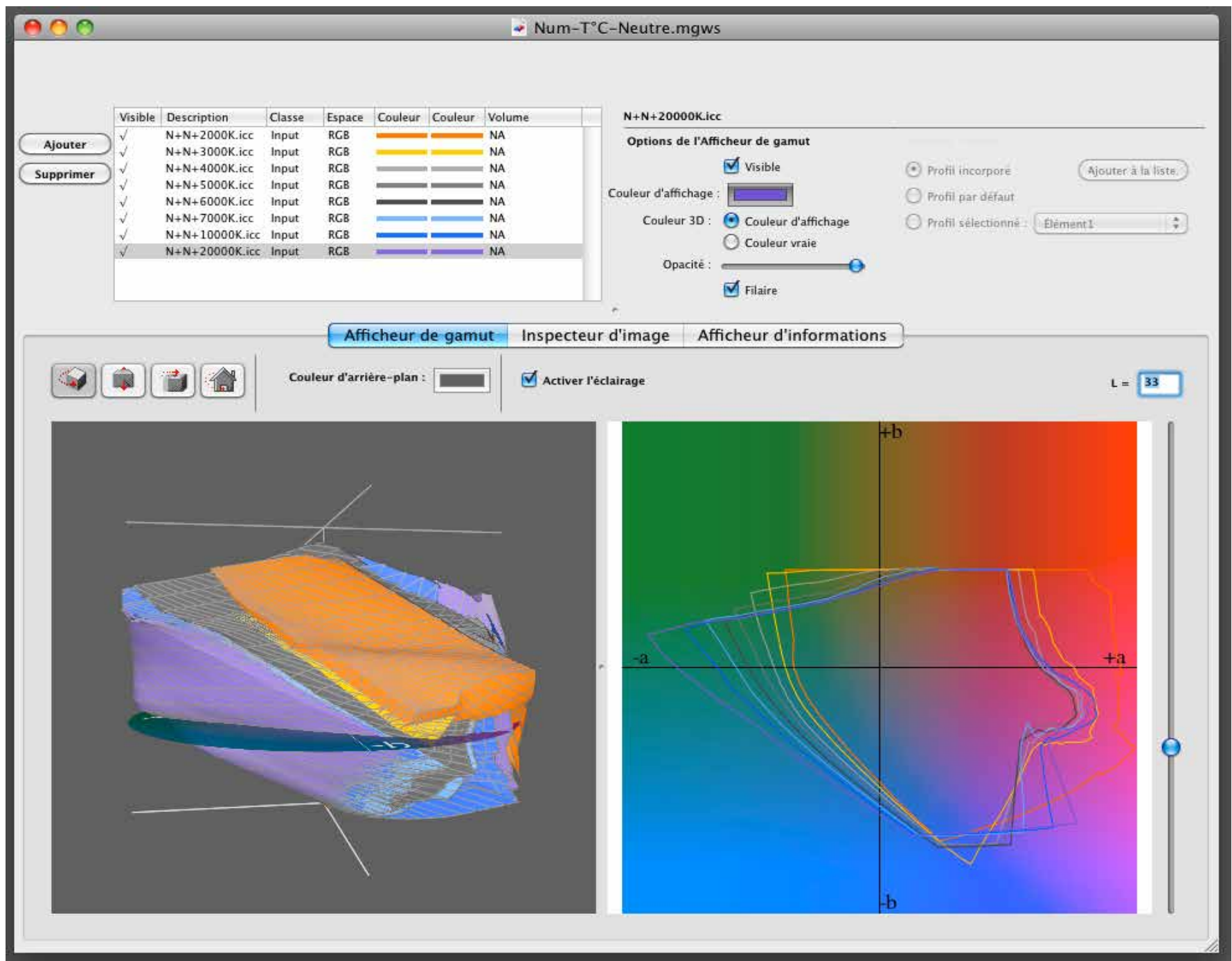
Tri-X 320 / HC110

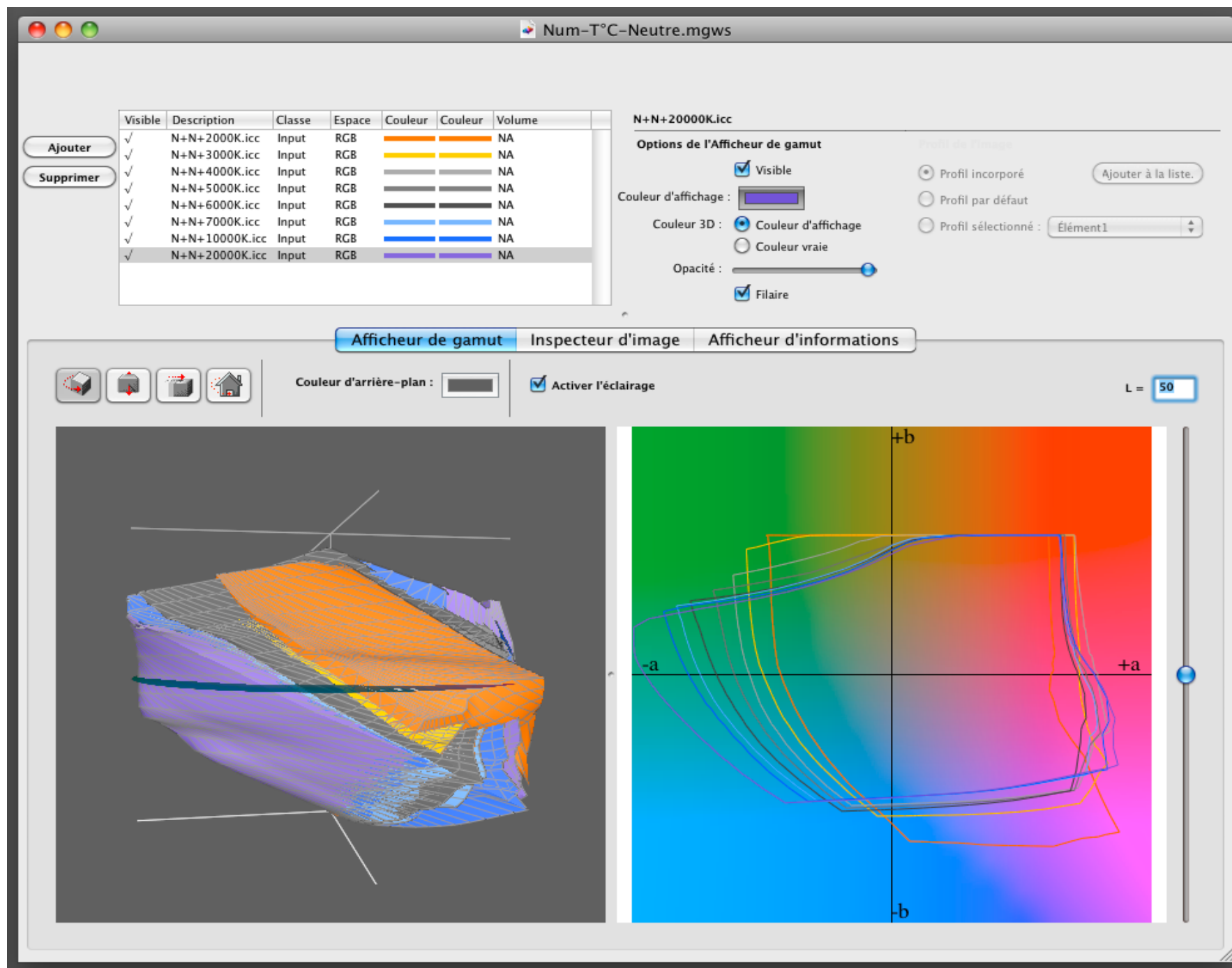


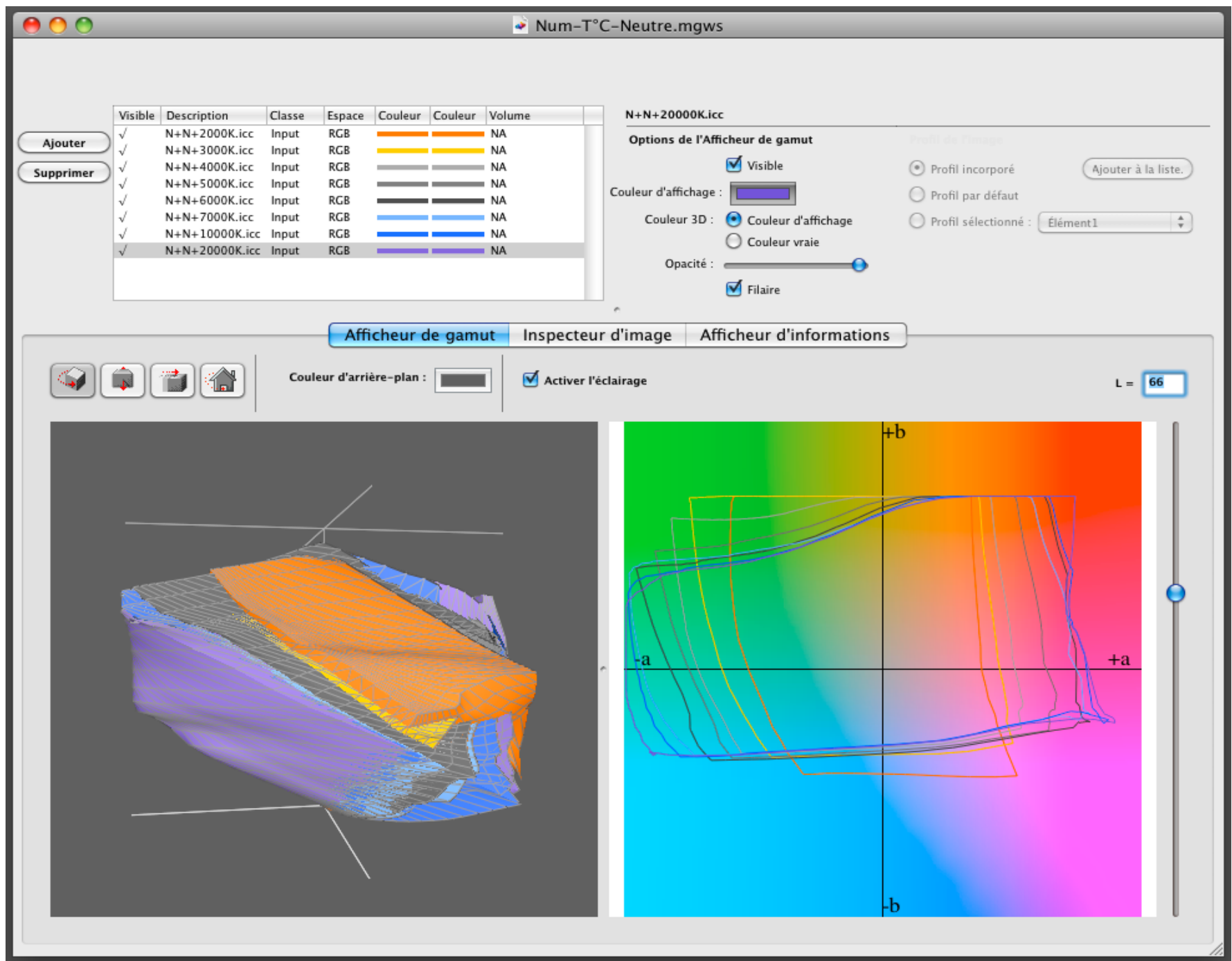




Canon Ds III / Lightroom IV







Premières Conclusions "Industrielles"

Capteurs et films s'en sortent bien, les industriels nous proposent des solutions satisfaisantes, mais

Suites ...

**Comment faire mieux ?
Comment déjouer le système ?
Comment trouver ce qu'il convient ?**

Filtres Compensateurs

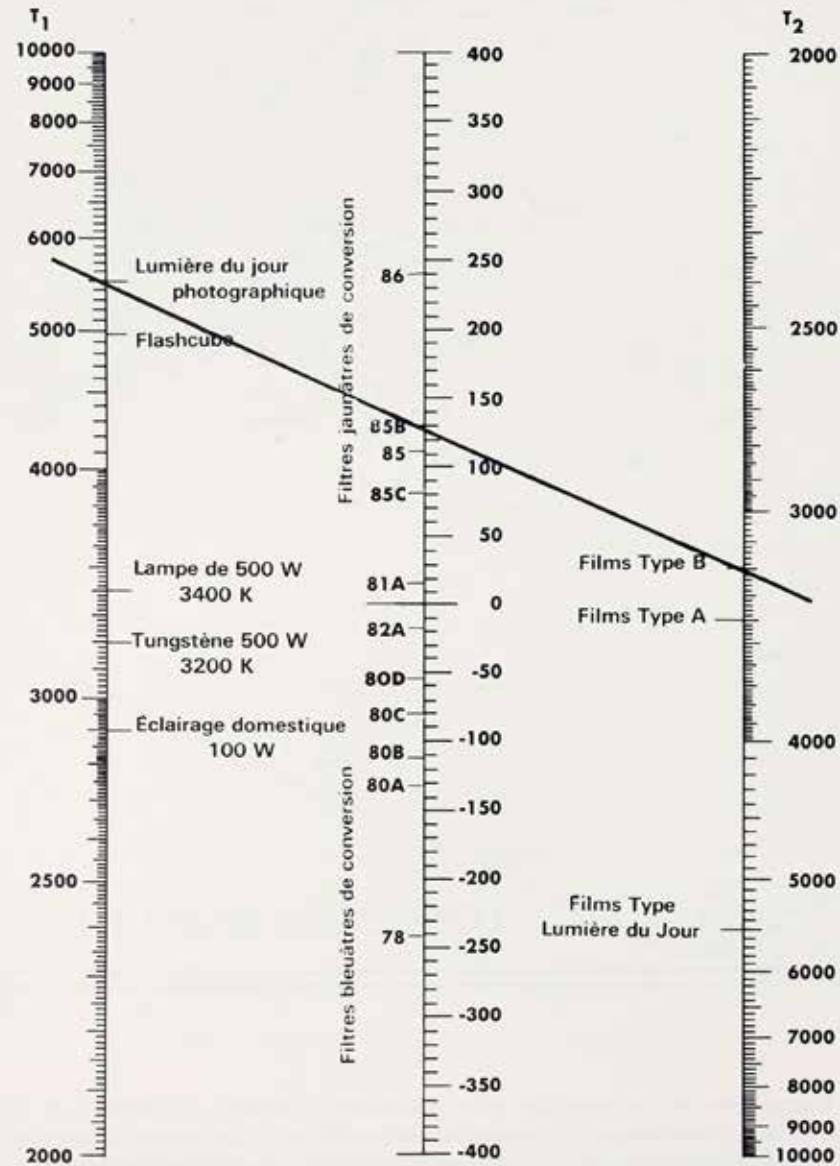
séries 80 - 82 : Bleu - Bleuâtre
séries 85 - 81 : Jaune - Jaunâtre

NOMOGRAMME DE CONVERSION DES SOURCES LUMINEUSES

SOURCE ORIGINALE
(en kelvins)

VARIATION EN MIREDS

SOURCE CONVERTIE
(en kelvins)





Filtres de conversion pour films couleur

Couleur du filtre	Numéro du filtre	Augmentation de l'exposition (en divisions de diaphragme)*	Conversion en kelvins	Ecart en mired
Bleu	80A	2	3200 à 5500	- 131
	80B	1 2/3	3400 à 5500	- 112
	80C	1	3800 à 5500	- 81
	80D	1/3	4200 à 5500	- 56
Ambré	85C	1/3	5500 à 3800	81
	85	2/3	5500 à 3400	112
	85N3	1 2/3	5500 à 3400	112
	85N5	2 2/3	5500 à 3400	112
	85N9	3 2/3	5500 à 3400	112
	85B	2/3	5500 à 3200	131
	85BN3	1 2/3	5500 à 3200	131
	85BN6	2 2/3	5500 à 3200	131
* Ces indications sont approximatives et devront être vérifiées par un essai pratique, pour tous travaux critiques, particulièrement dans le cas d'emploi de plusieurs filtres.				

Filtres KODAK correcteurs de lumière

Couleur du filtre	Numéro du filtre	Augmentation de l'exposition (en divisions de diaphragme)*	Pour obtenir 3200 K à partir de	Pour obtenir 3400 K à partir de	Ecart en mired
Bleuâtre	82C + 82C	1 1/3	2490 K	2610 K	- 89
	82C + 82B	1 1/3	2570 K	2700 K	- 77
	82C + 82A	1	2650 K	2780 K	- 65
	82C + 82	1	2720 K	2870 K	- 55
	82C	2/3	2800 K	2950 K	- 45
	82B	2/3	2900 K	3060 K	- 32
	82A	1/3	3000 K	3180 K	- 21
	82	1/3	3100 K	3290 K	- 10
Aucun filtre			3200 K	3400 K	-
Jaunâtre	81	1/3	3300 K	3510 K	9
	81A	1/3	3400 K	3630 K	18
	81B	1/3	3500 K	3740 K	27
	81C	1/3	3600 K	3850 K	35
	81D	2/3	3700 K	3970 K	42
	81EF	2/3	3850 K	4140 K	52

* Ces indications sont approximatives et devront être vérifiées par un essai pratique pour tous travaux critiques, particulièrement dans le cas d'emploi de plusieurs filtres.

Filtres Compensateurs

Ces filtres de la vieille école sont prévus pour les films couleurs du XX^{ème} siècle, ils replacent les films sur le terrain qui est le leur, les résultats sont conformes pour toutes les T°C, inutile de vous montrer un résultat.

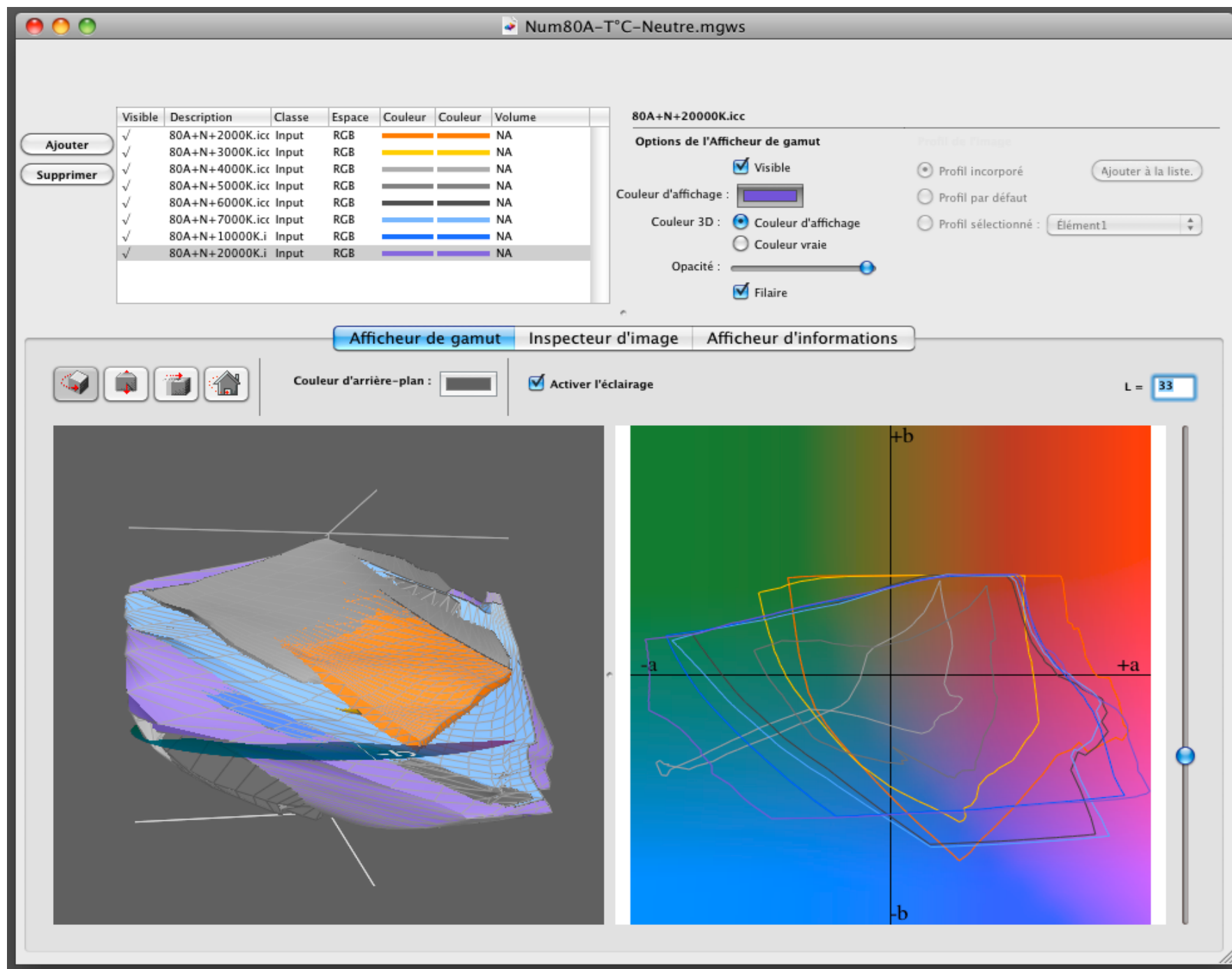
Mais pour le Canon Ds III et ses photosites cela peut-il améliorer le rendu chromatique ?

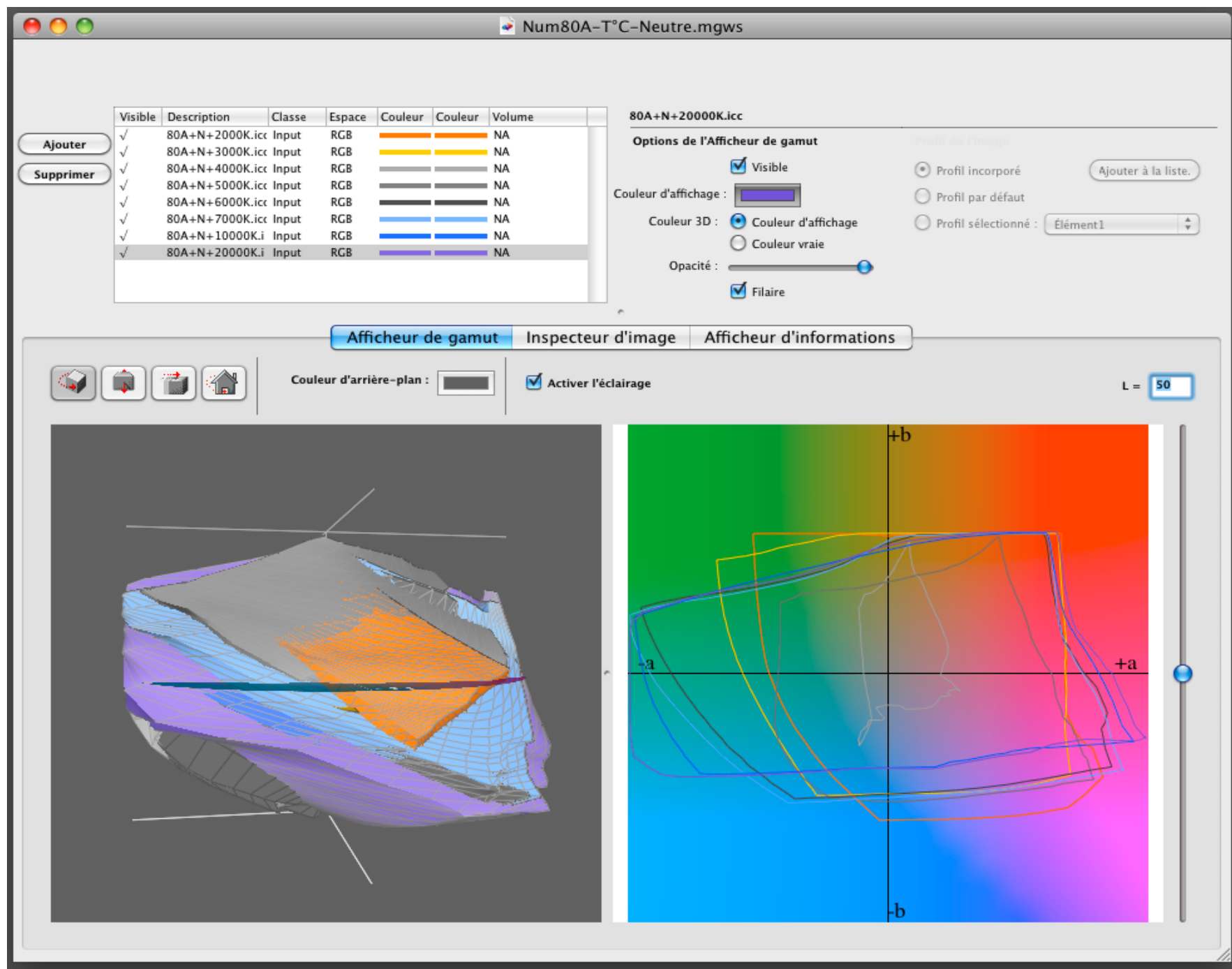
Filtres Compensateurs

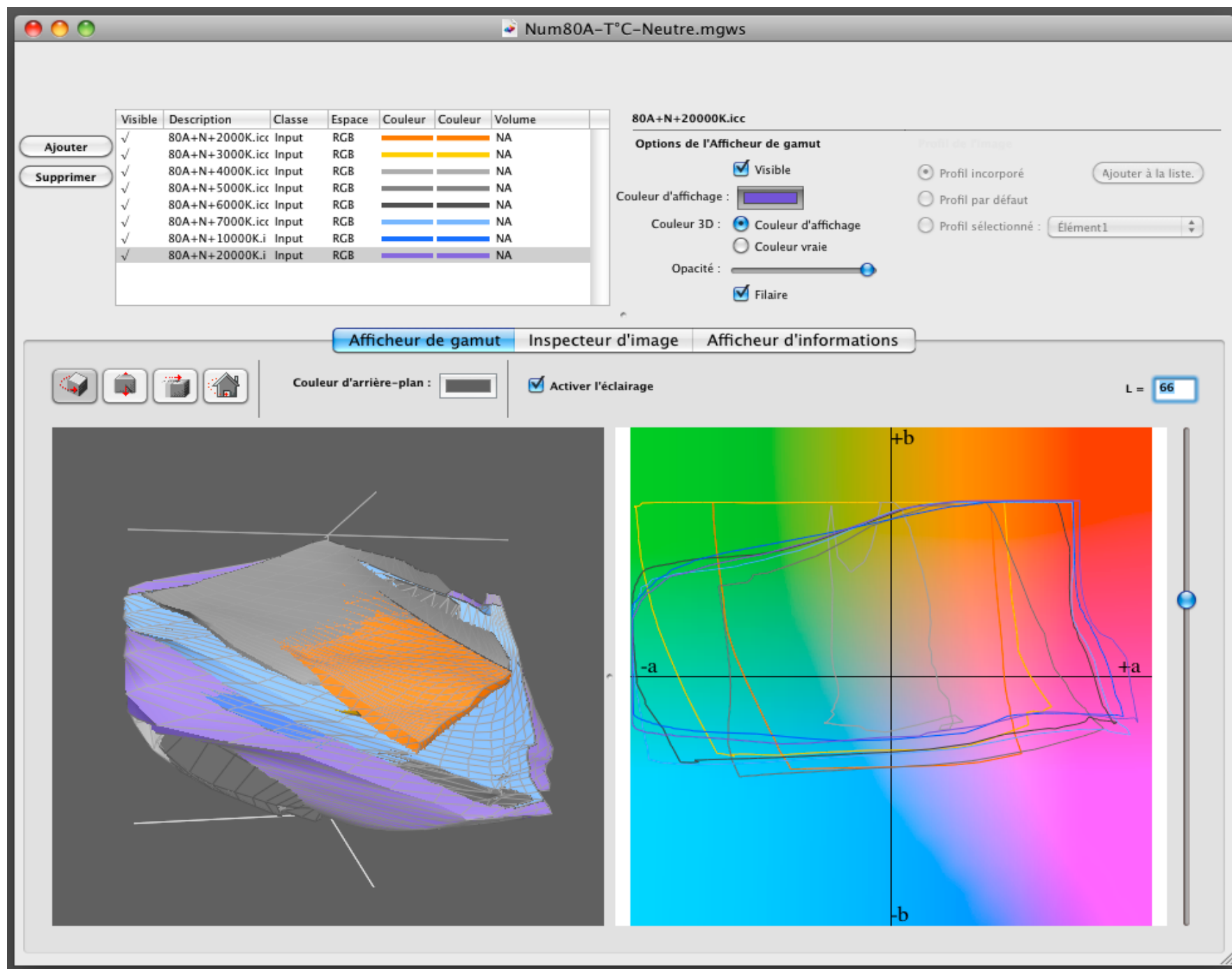
Canon Ds III

Lightroom 4

80A





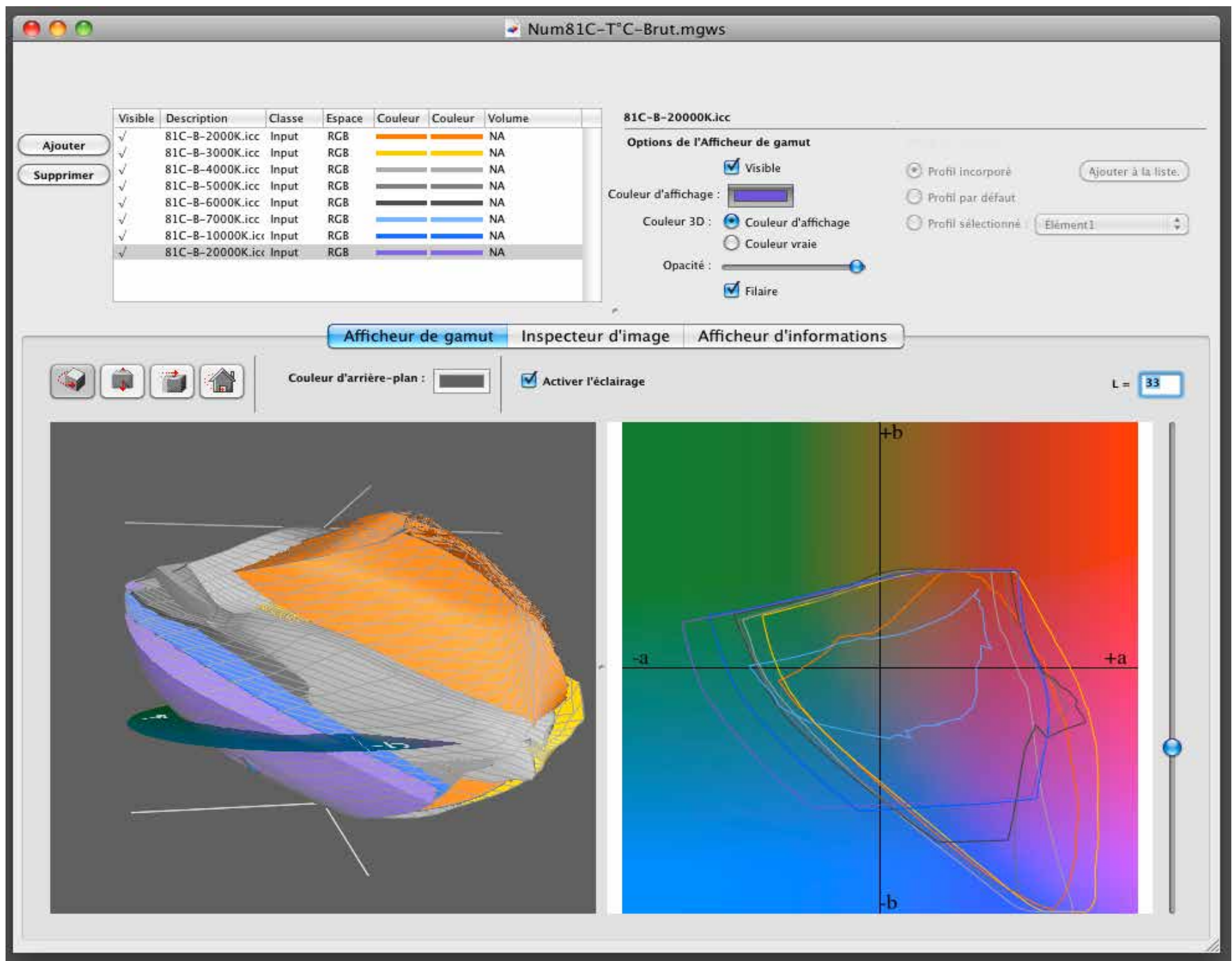


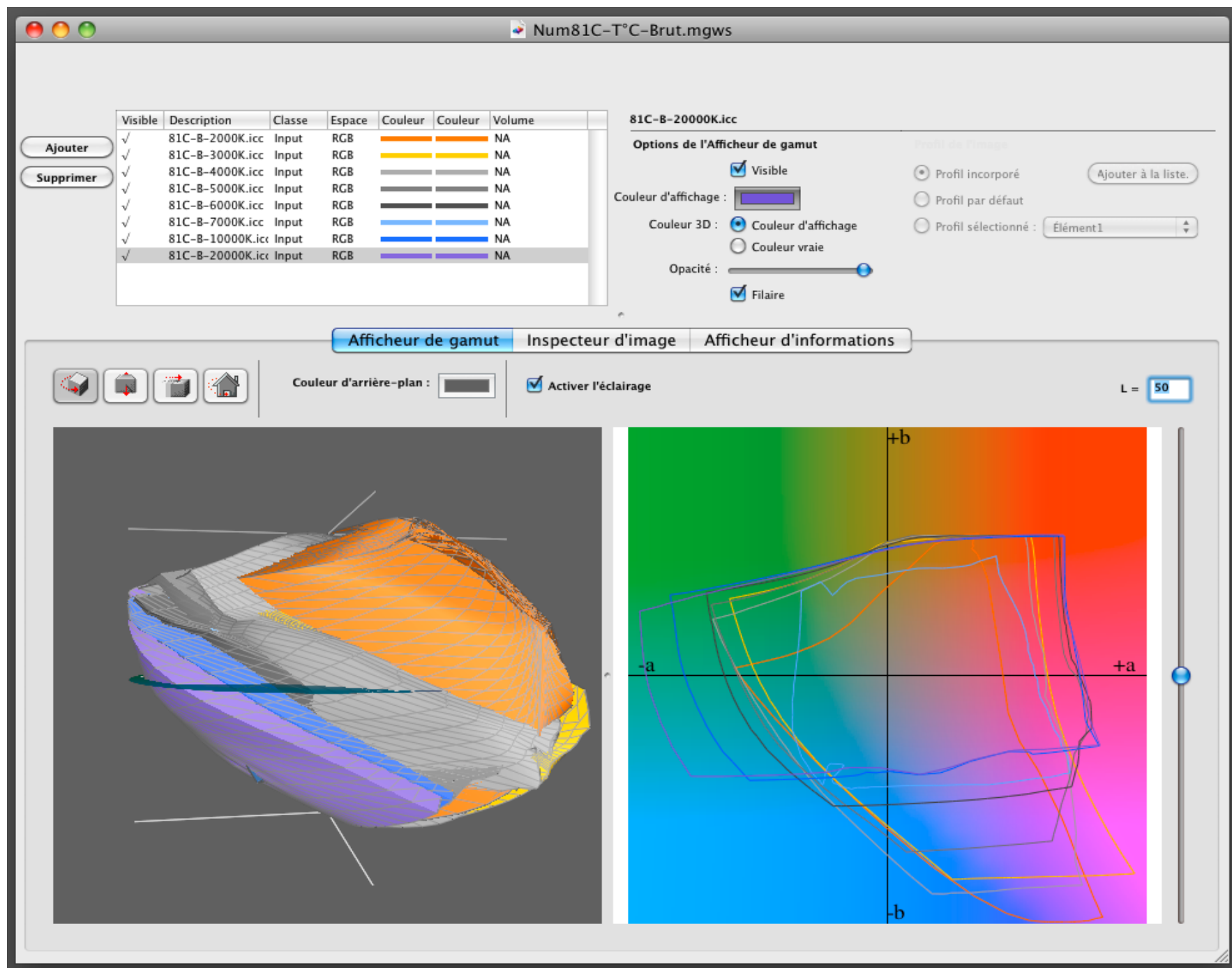
Filtres Compensateurs

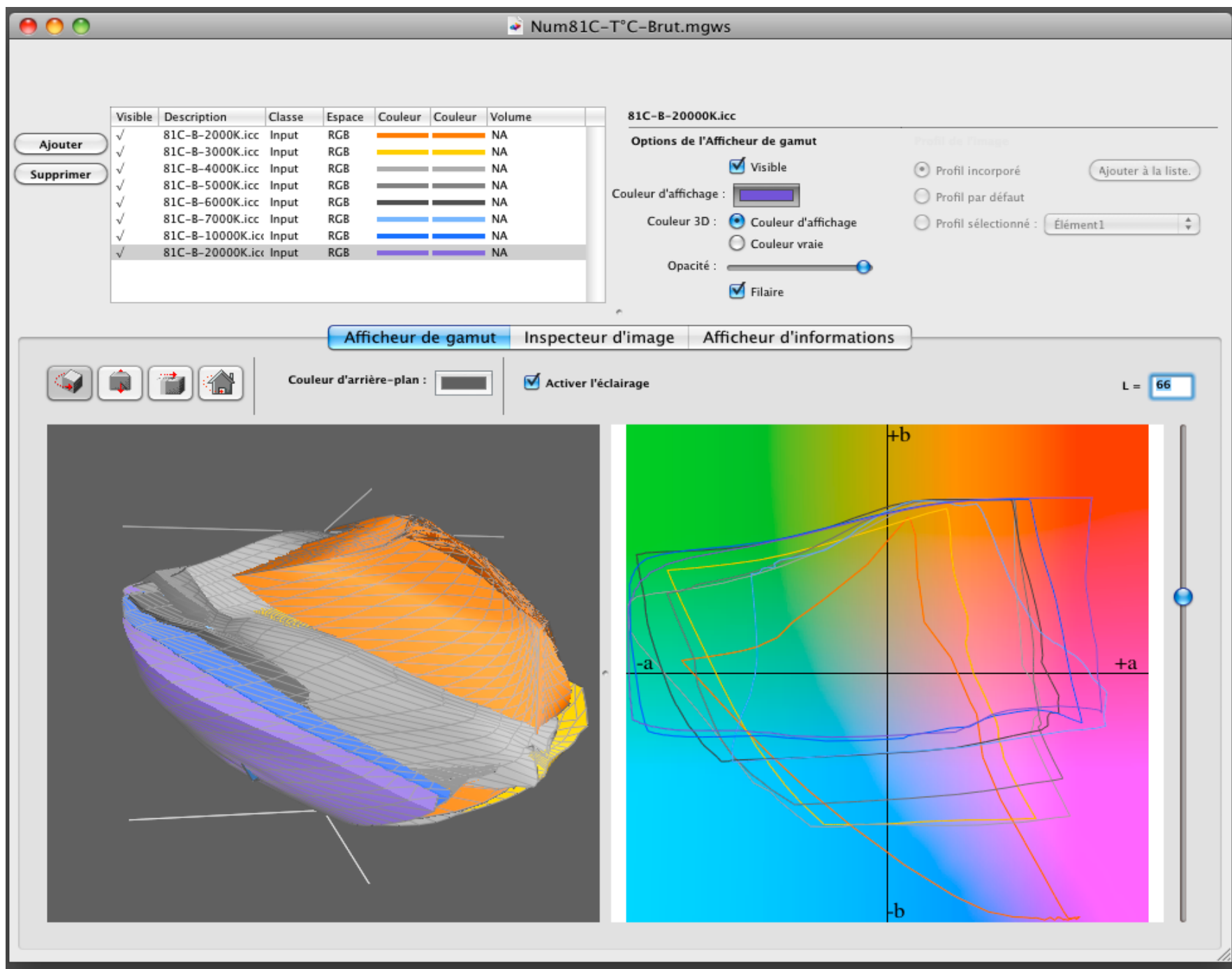
Canon Ds III

Lightroom 4

81C



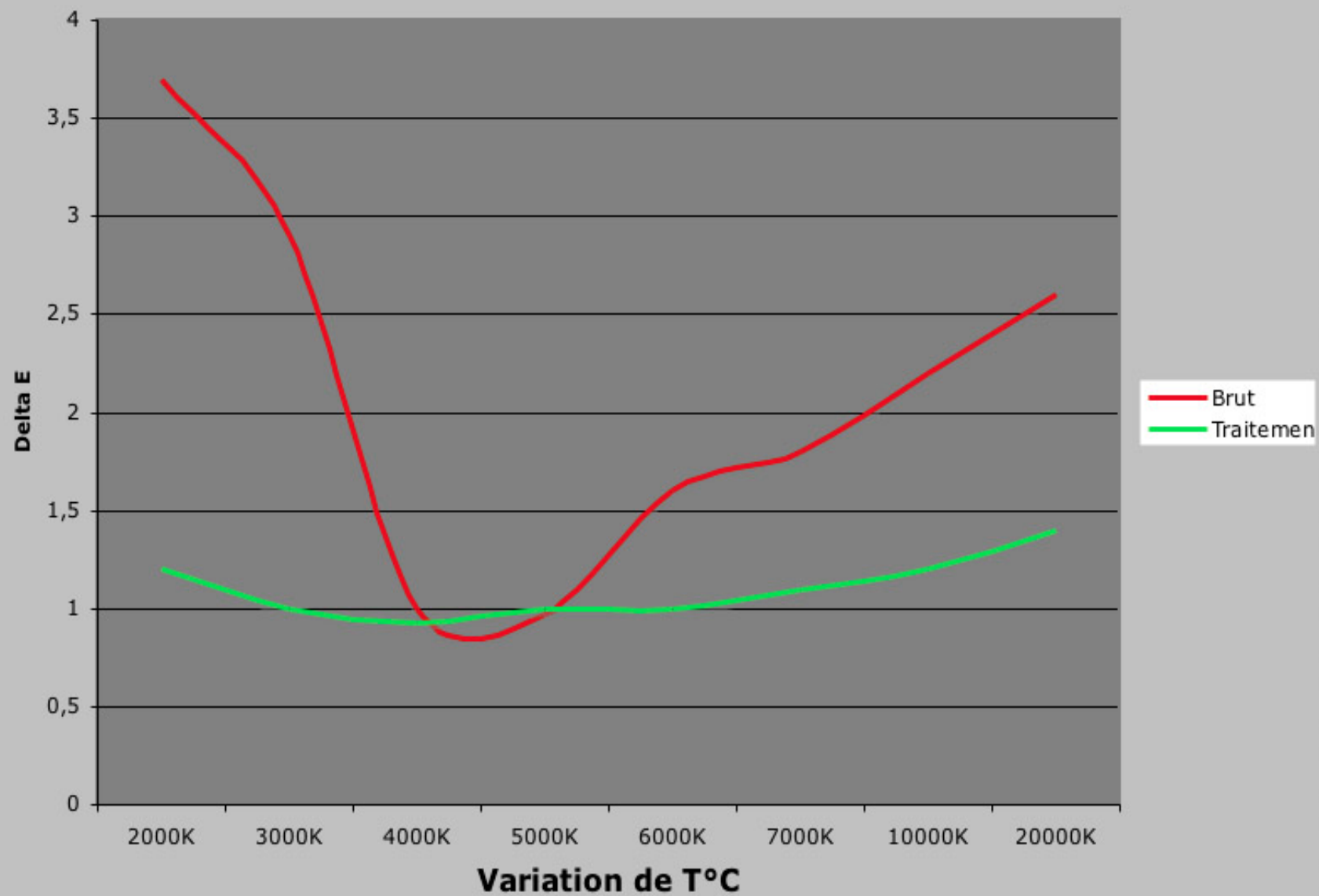




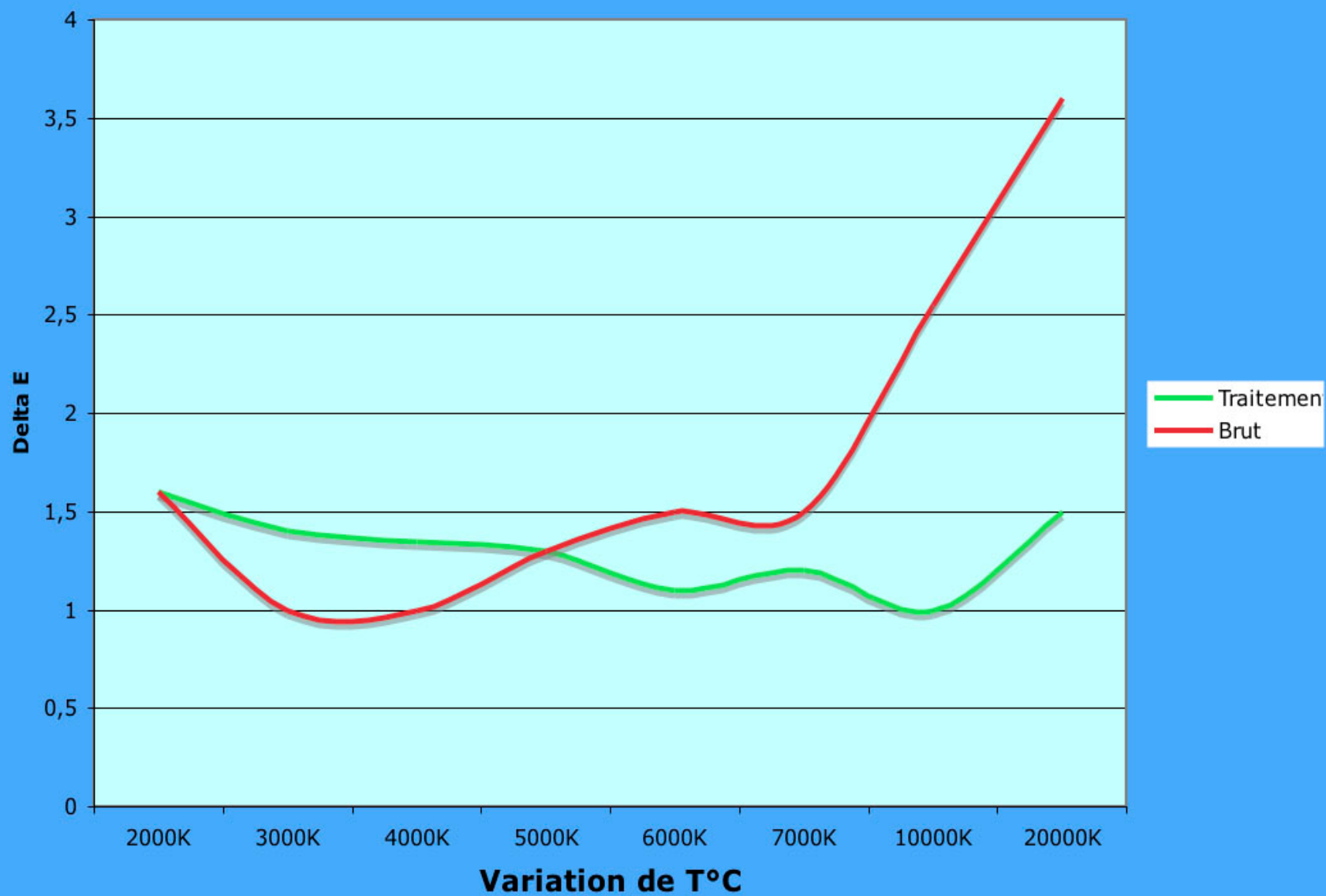
Comparaisons

Films & 80A & 81C & Delta E CMC

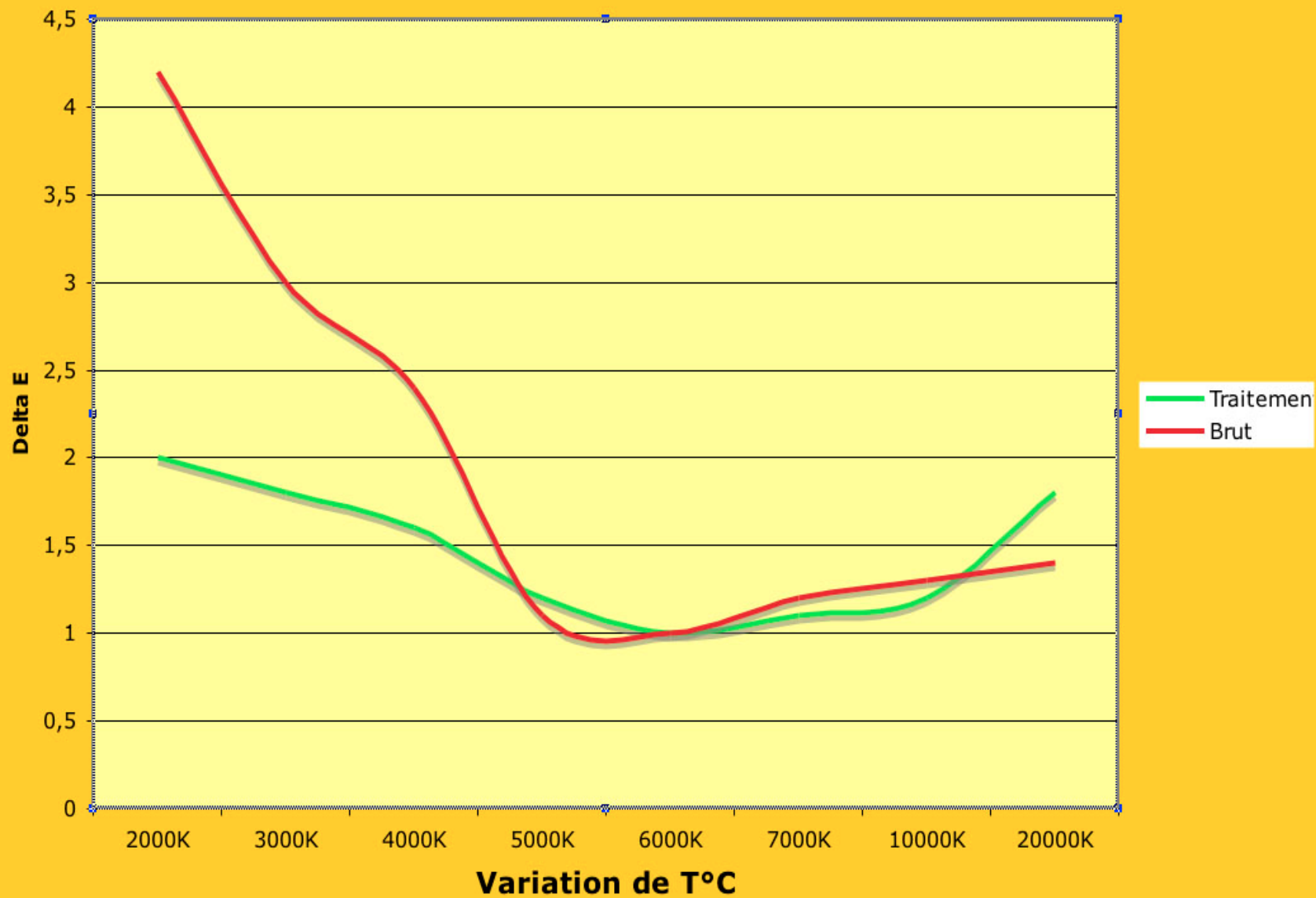
Variation Delta E CMC - Ds III



Variation Delta E CMC - Ds III + 80A



Variation Delta E CMC - Ds III + 81C



Braketing HDR chromatique

Canon Ds III

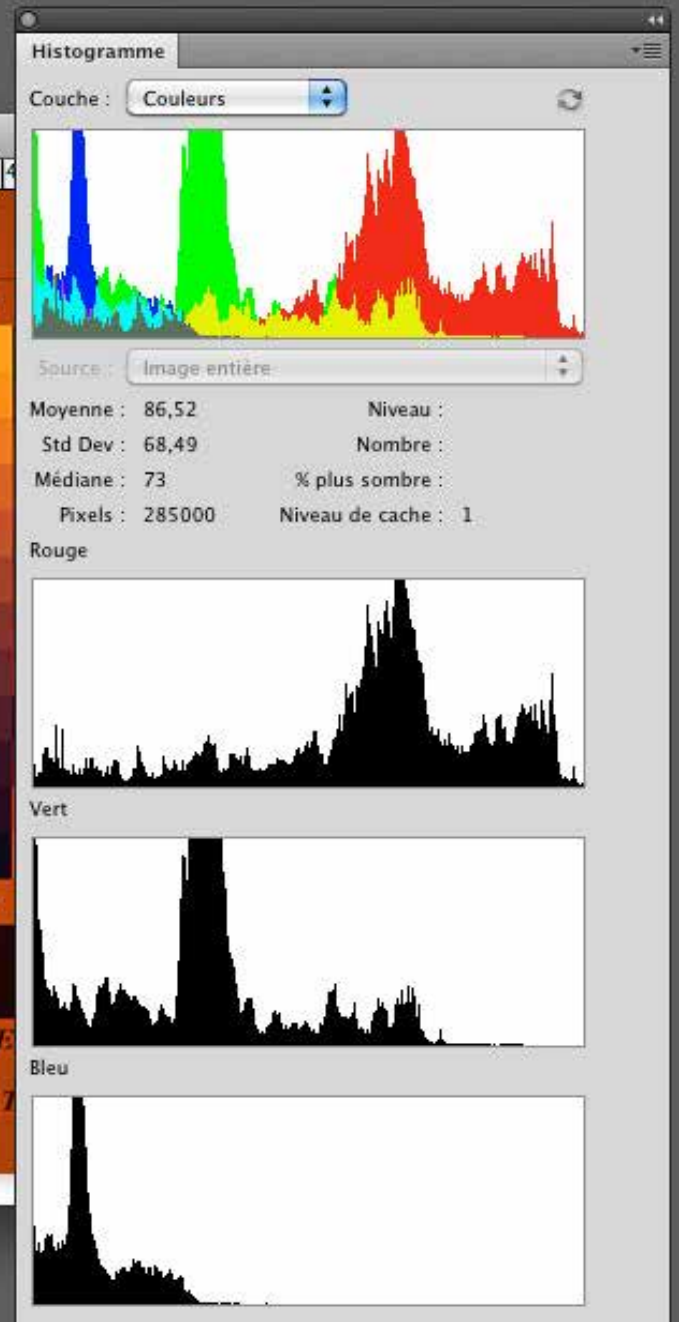
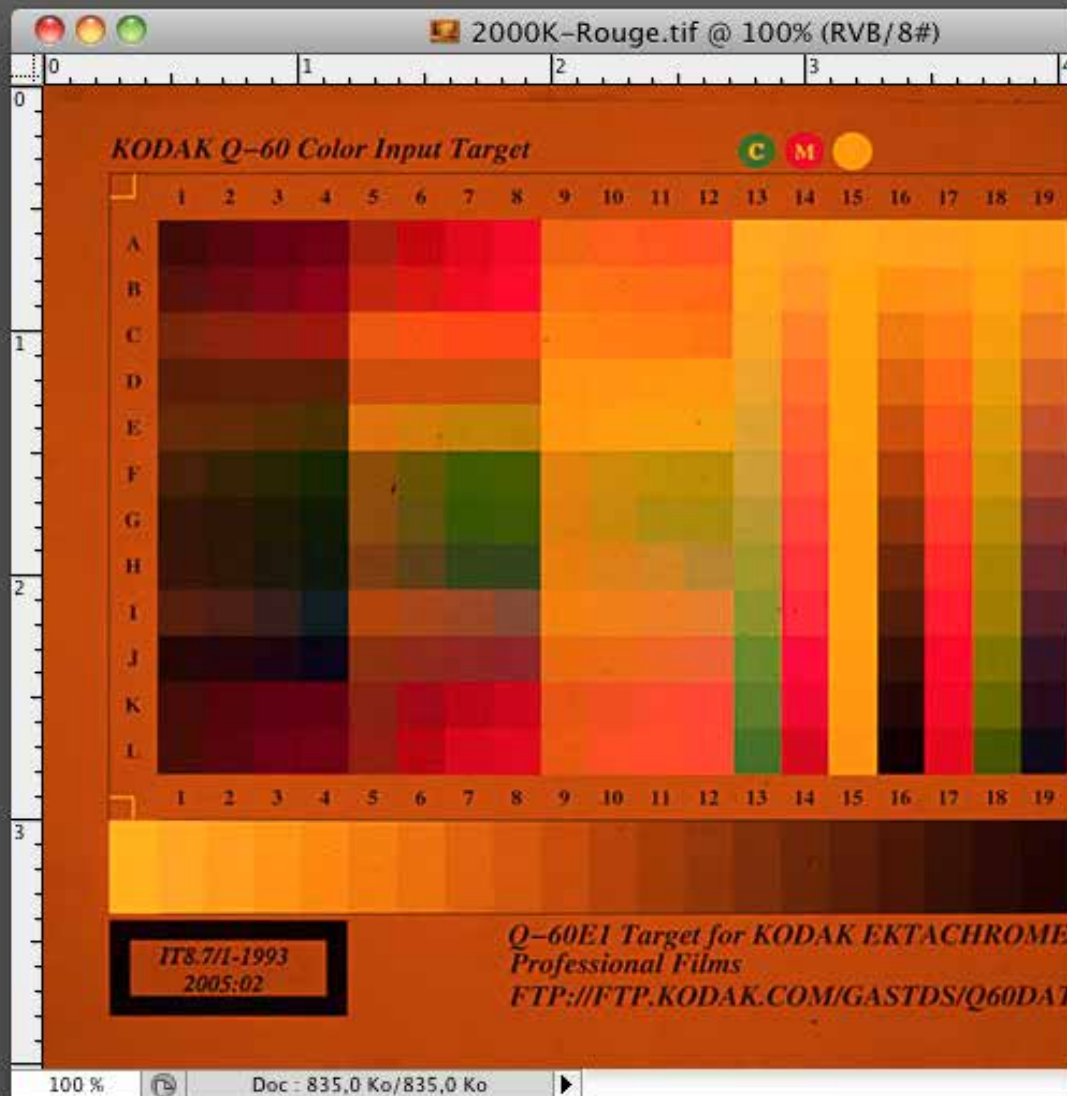
Wouaou !!!

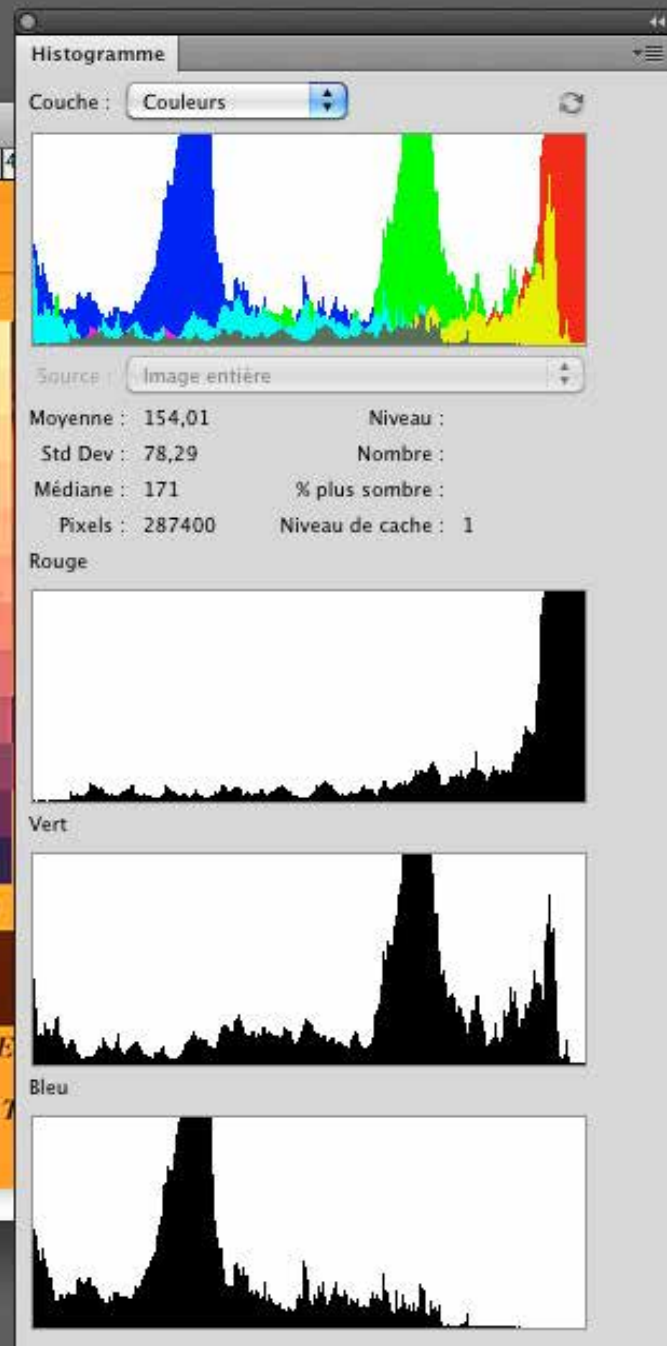
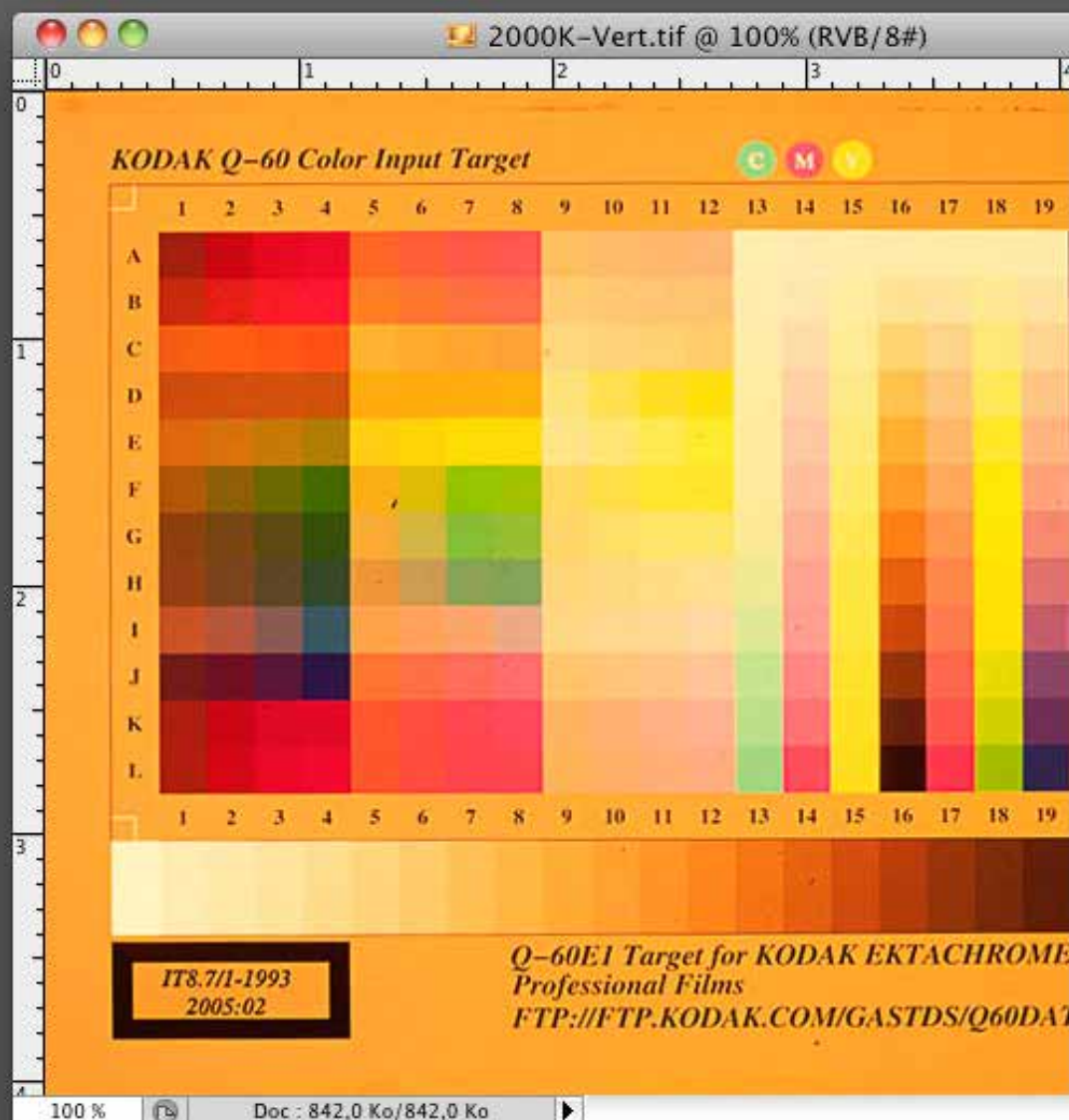
Ne rigolez pas

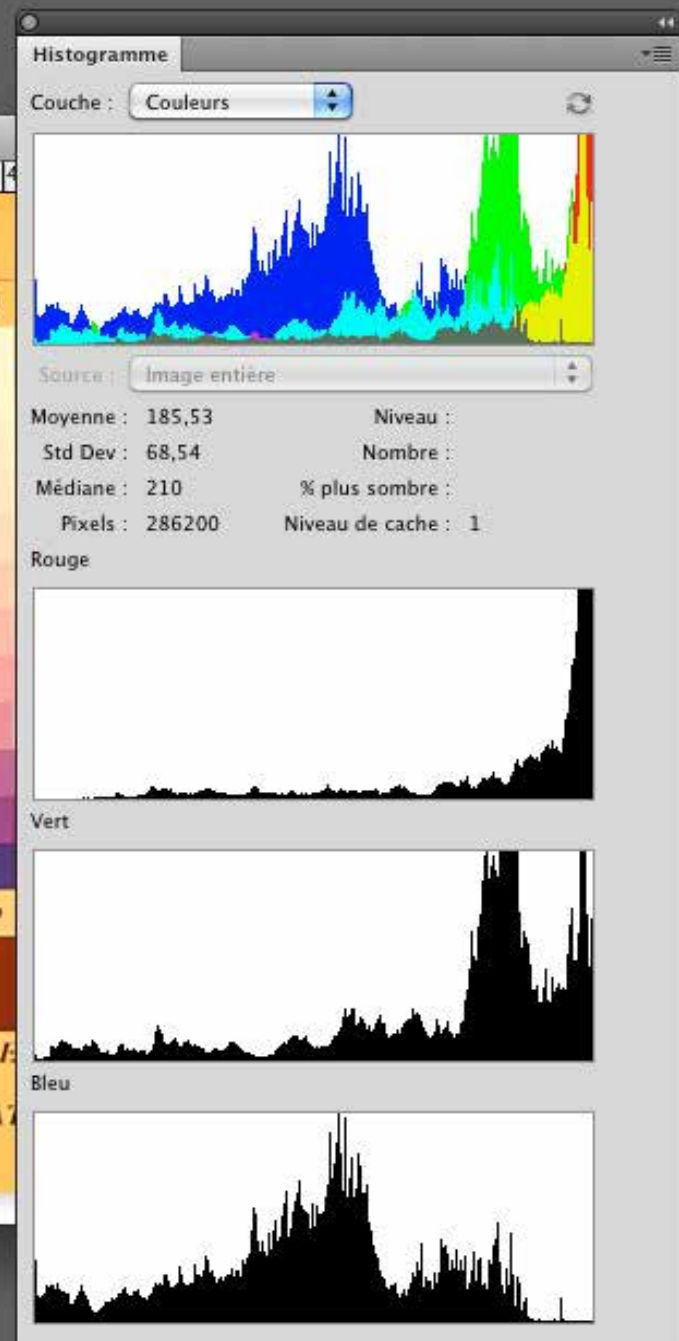
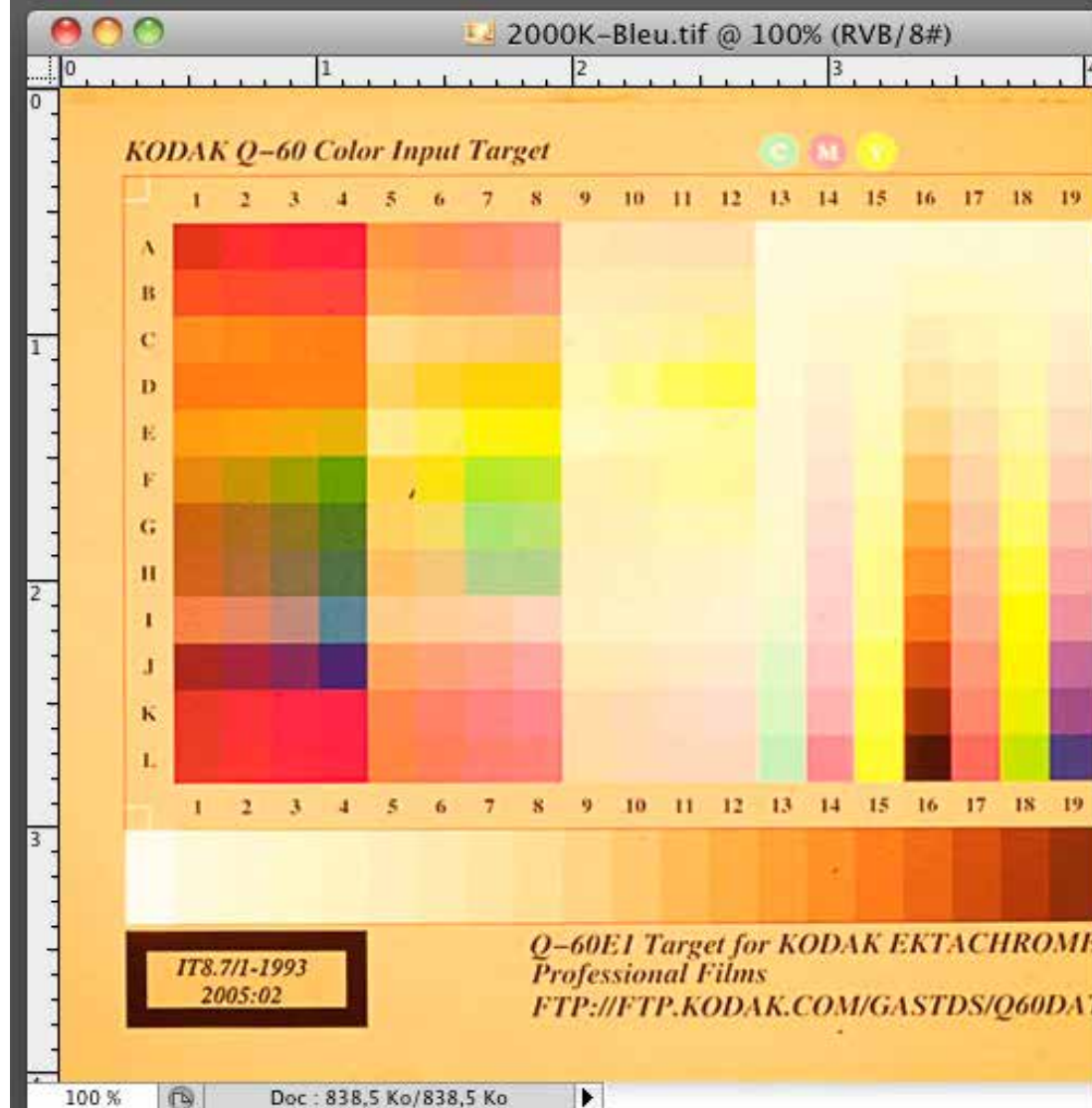
Ca marche (en fait cela fonctionne)

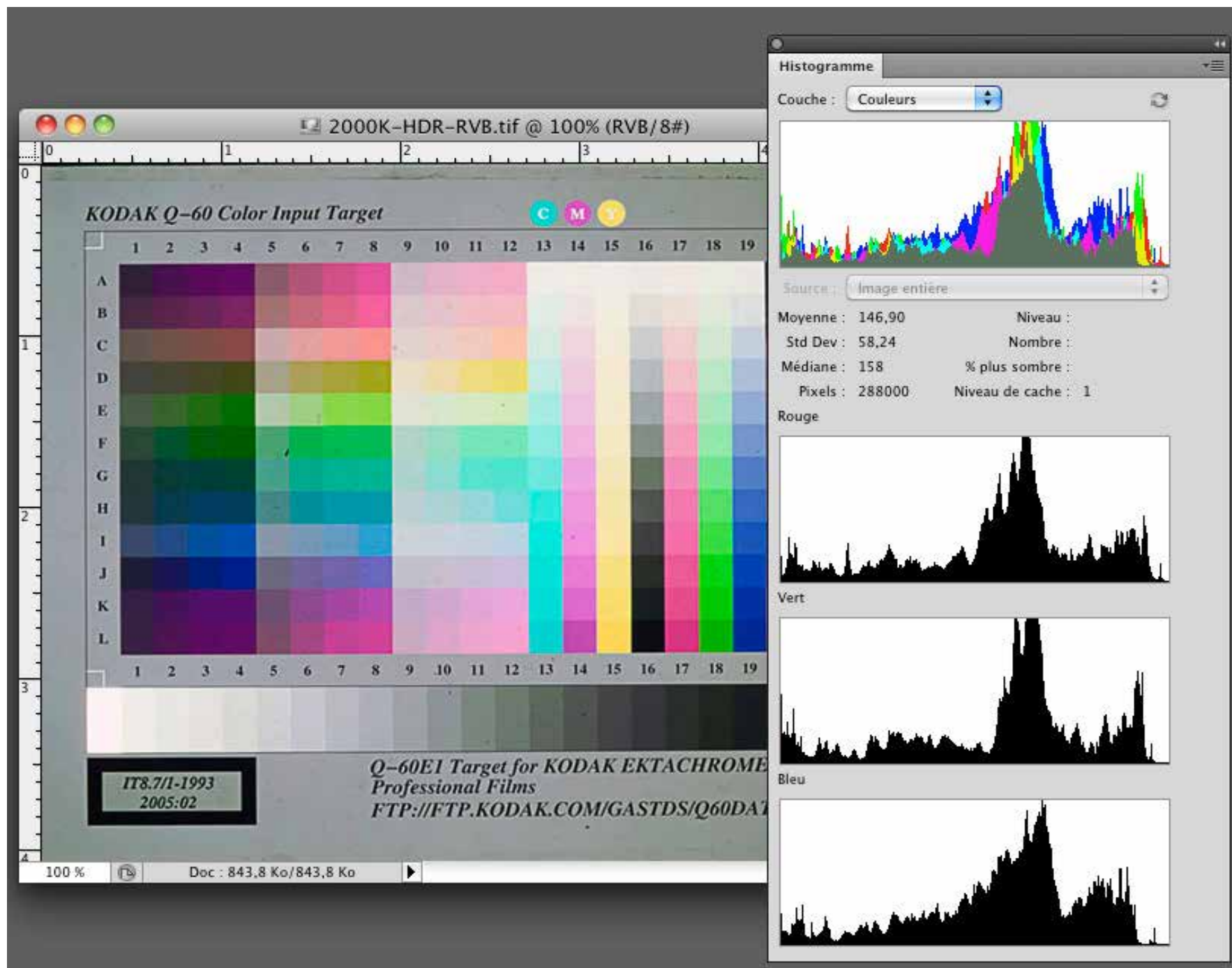
test à 2 000 K

Observez les histogrammes des fichiers braquetés et ceux de l'image finale,
les histogrammes détiennent la réponse à nos questions









Braketing HDR chromatique

Canon Ds III

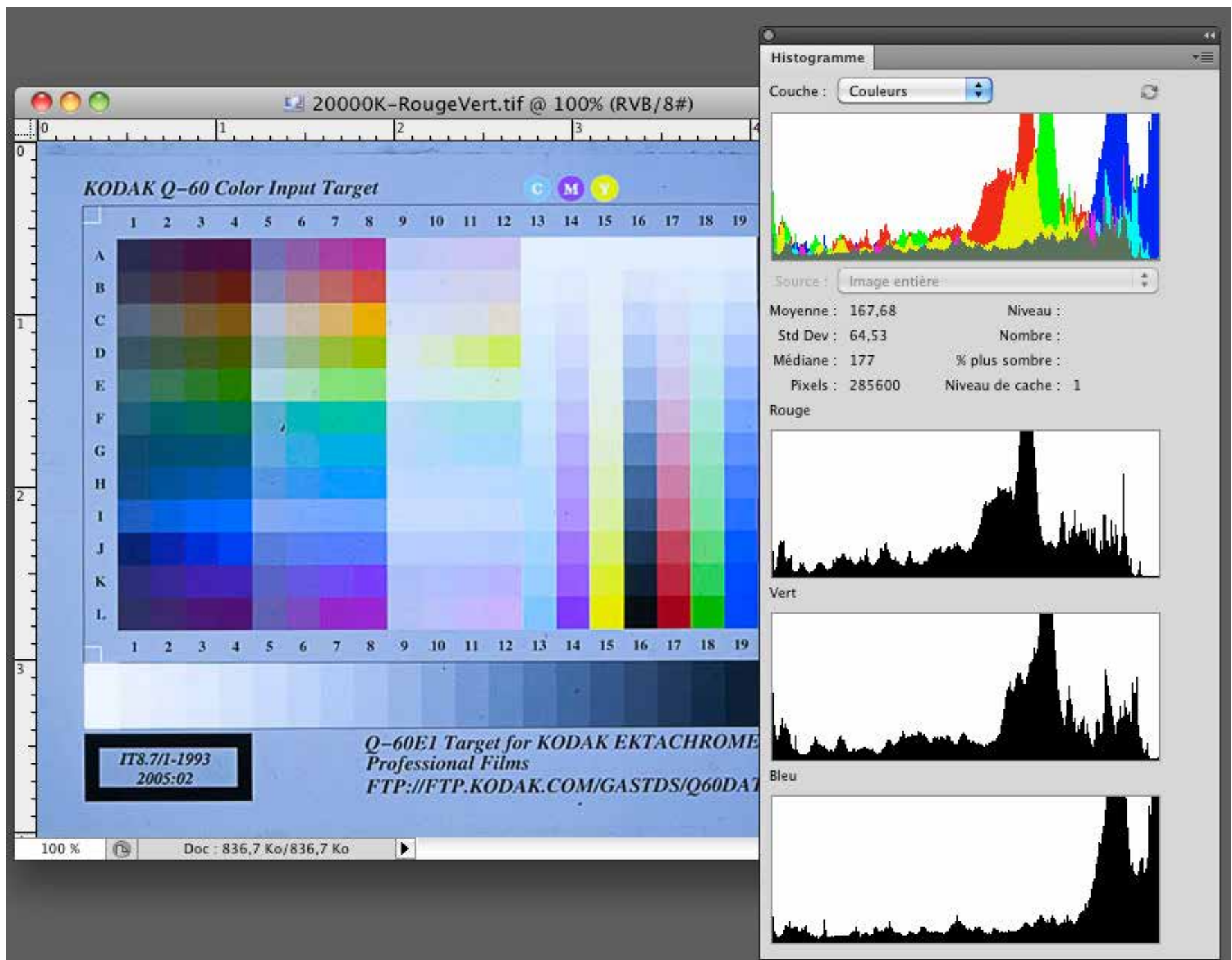
Wouaou !!!

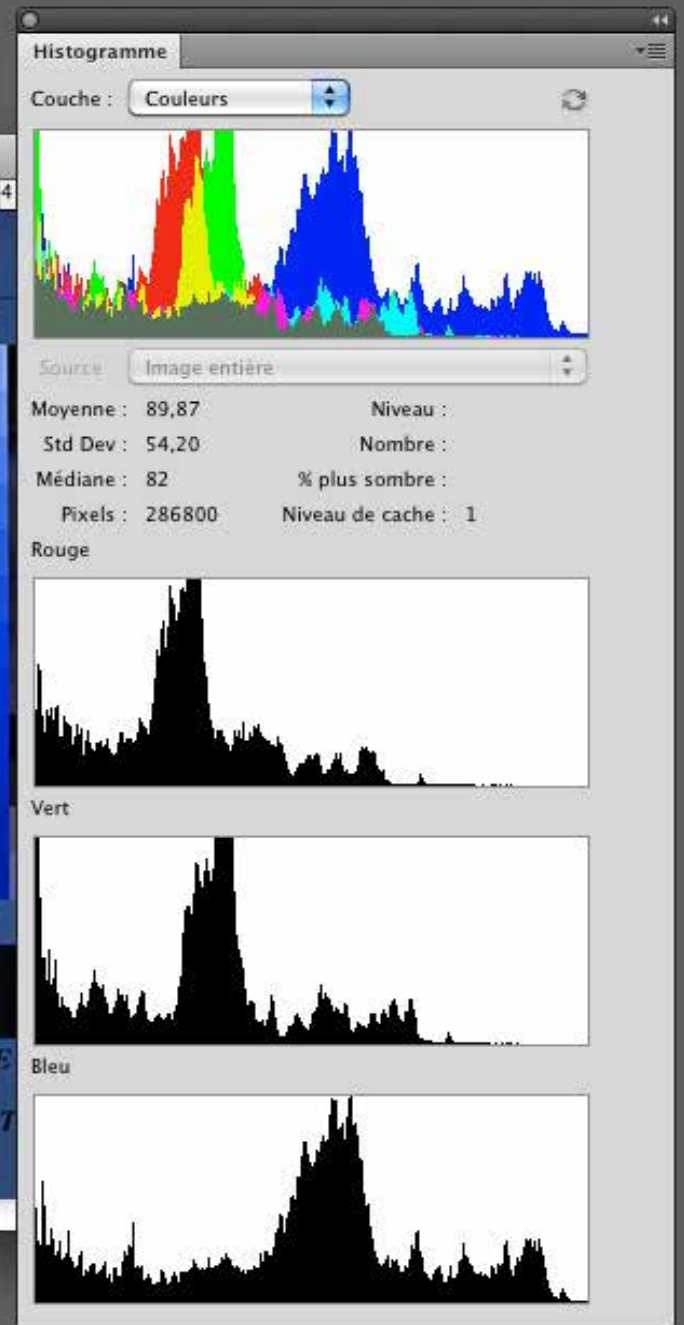
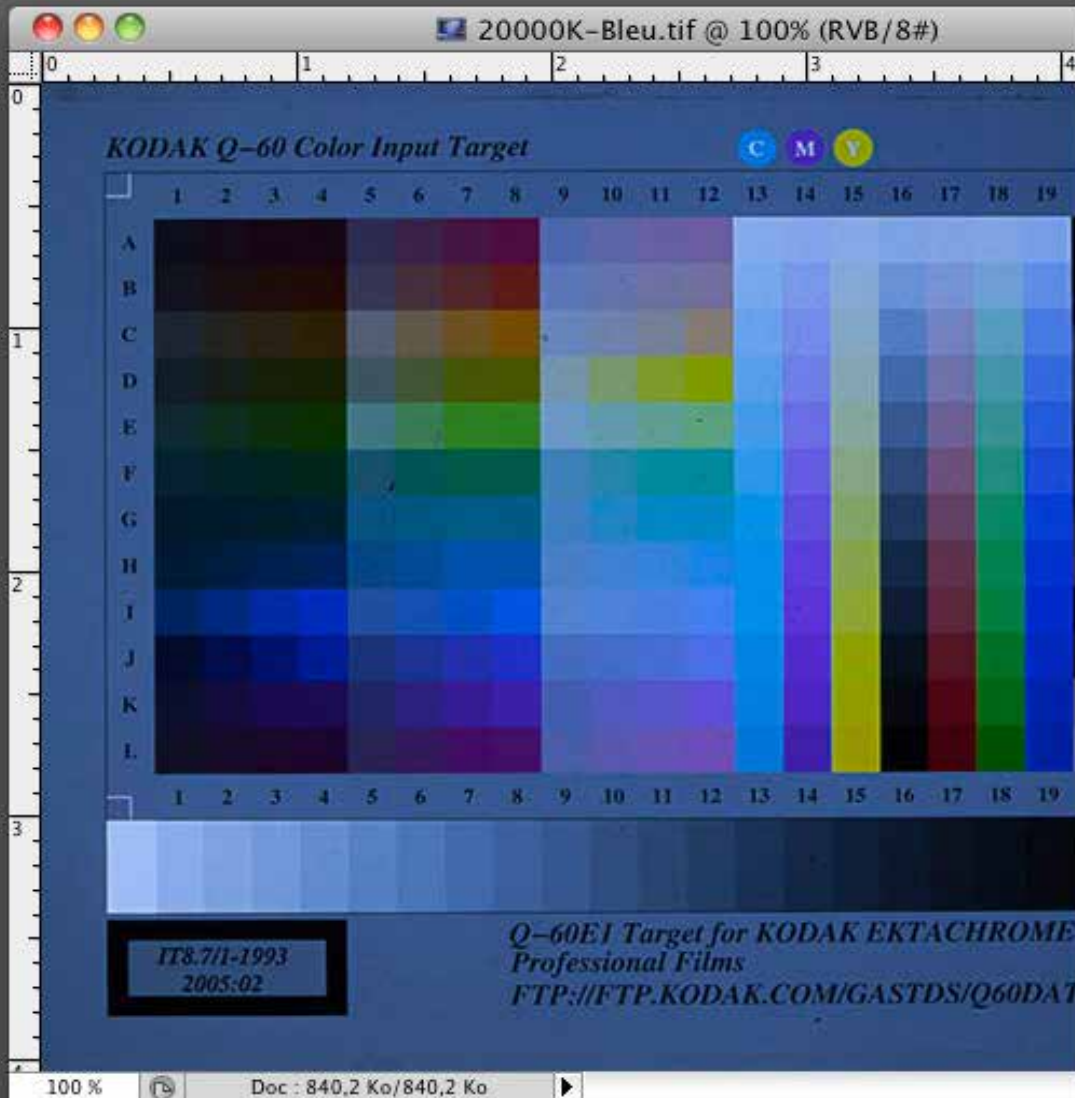
Ne rigolez pas

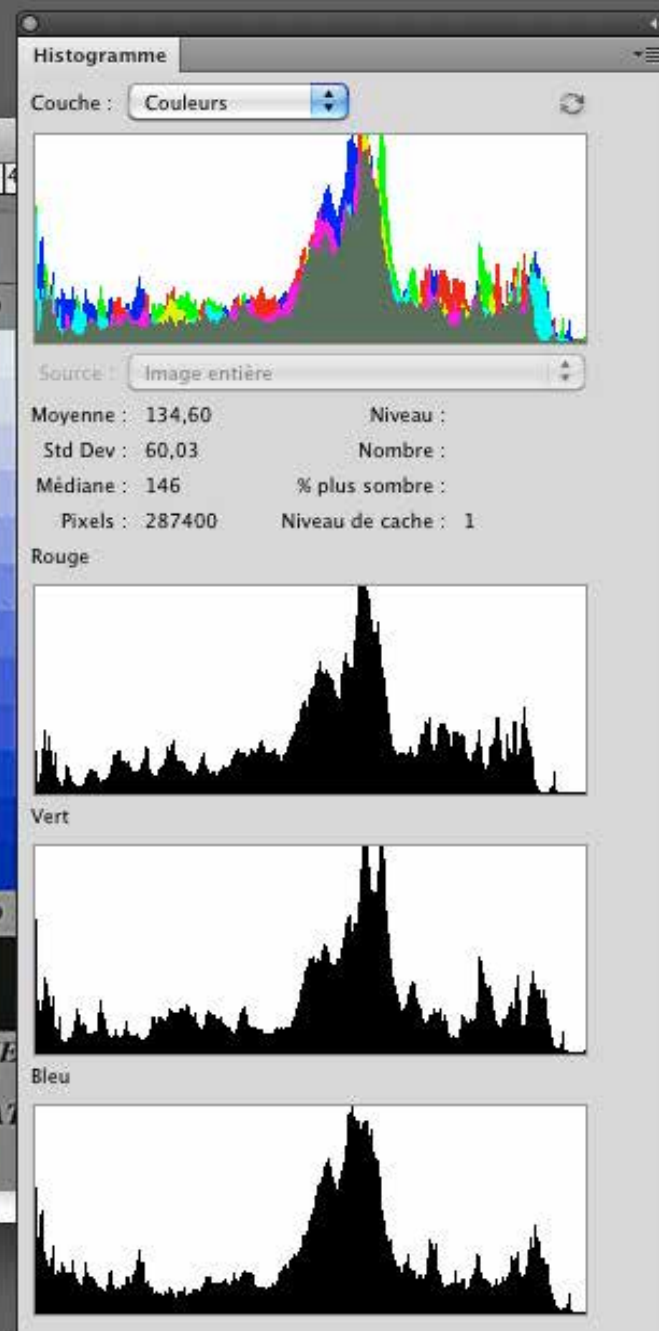
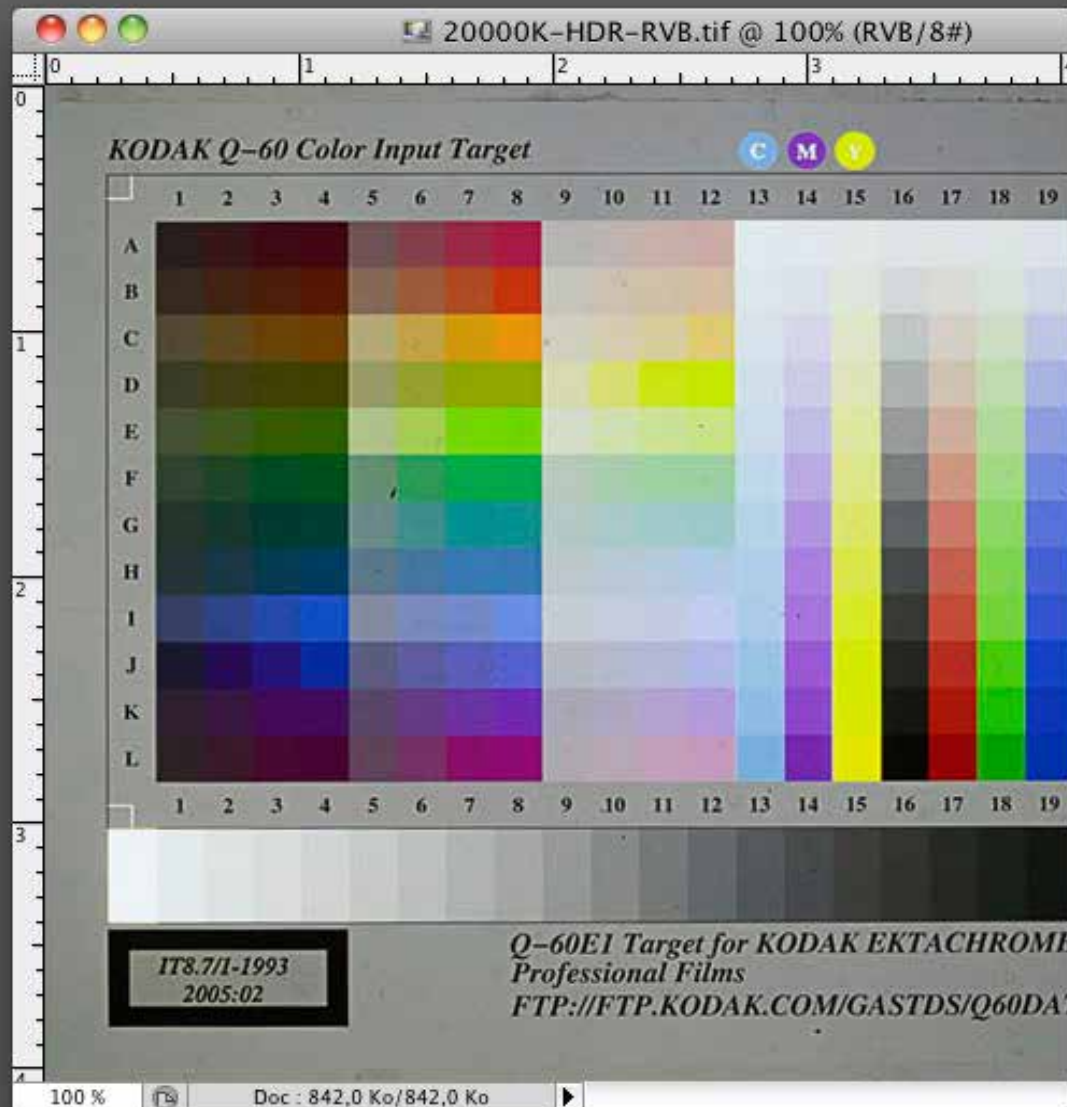
Ca marche (en fait cela fonctionne)

test à 20 000 K

Observez les histogrammes des fichiers braquetés et ceux de l'image finale,
les histogrammes détiennent la réponse à nos questions

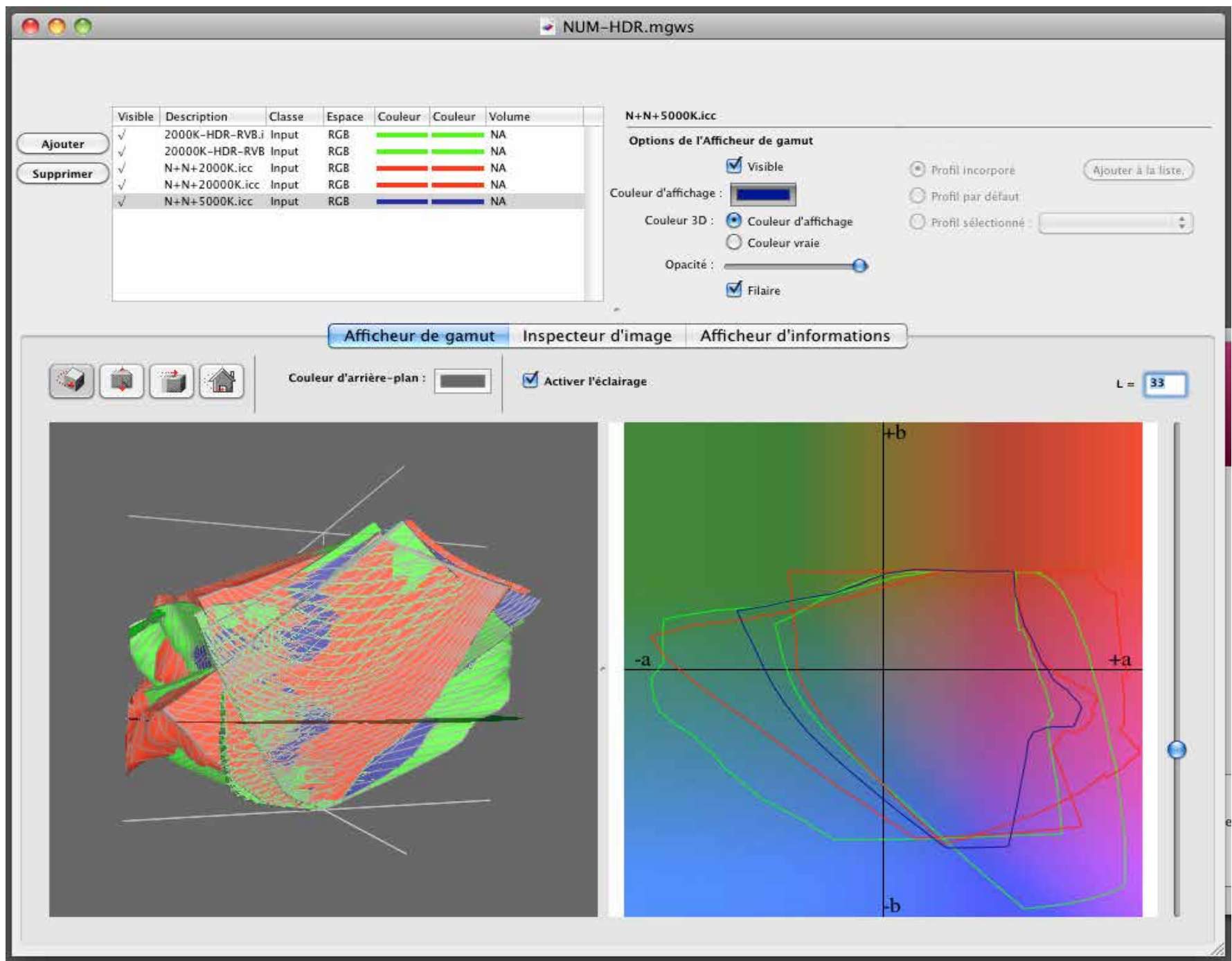


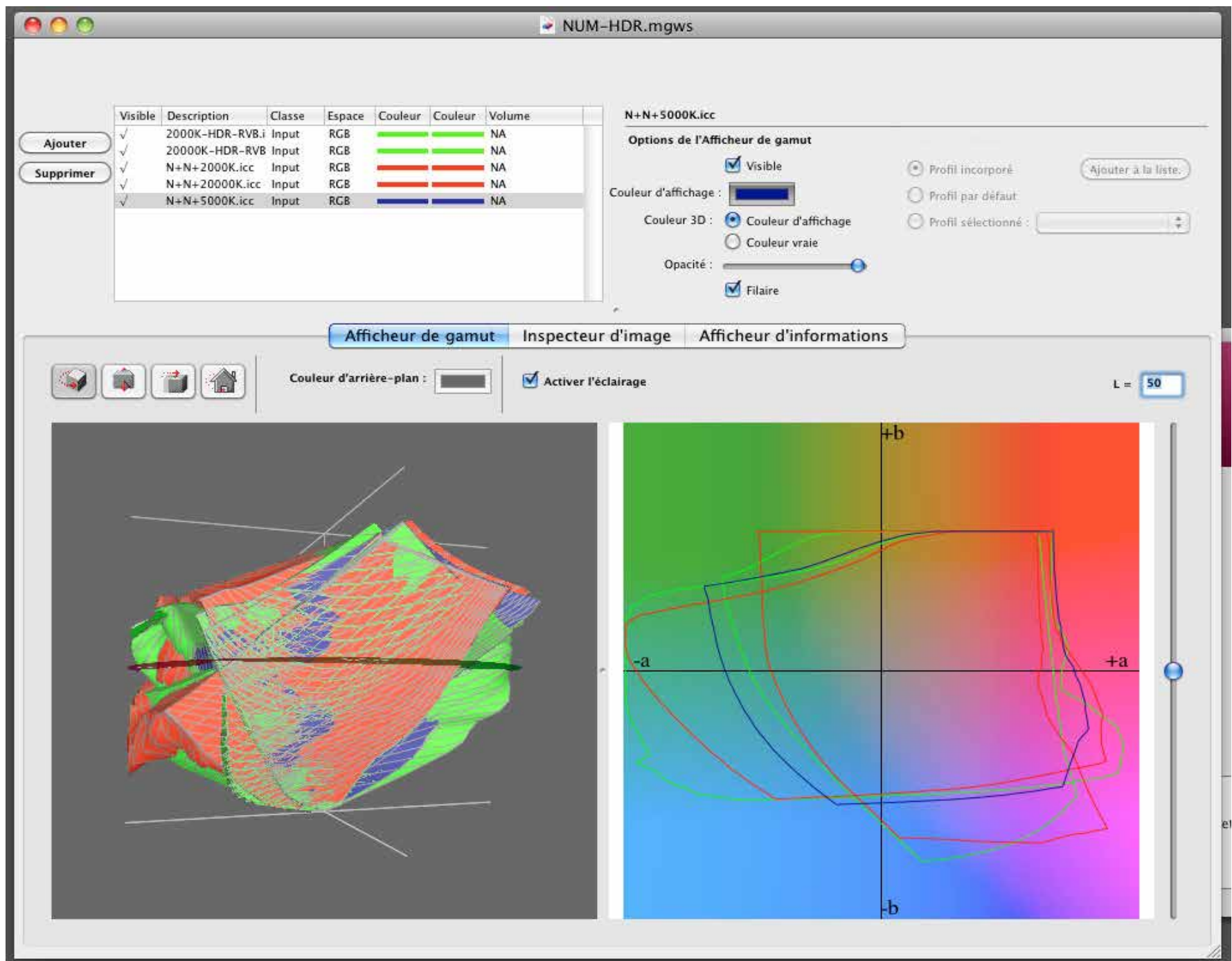


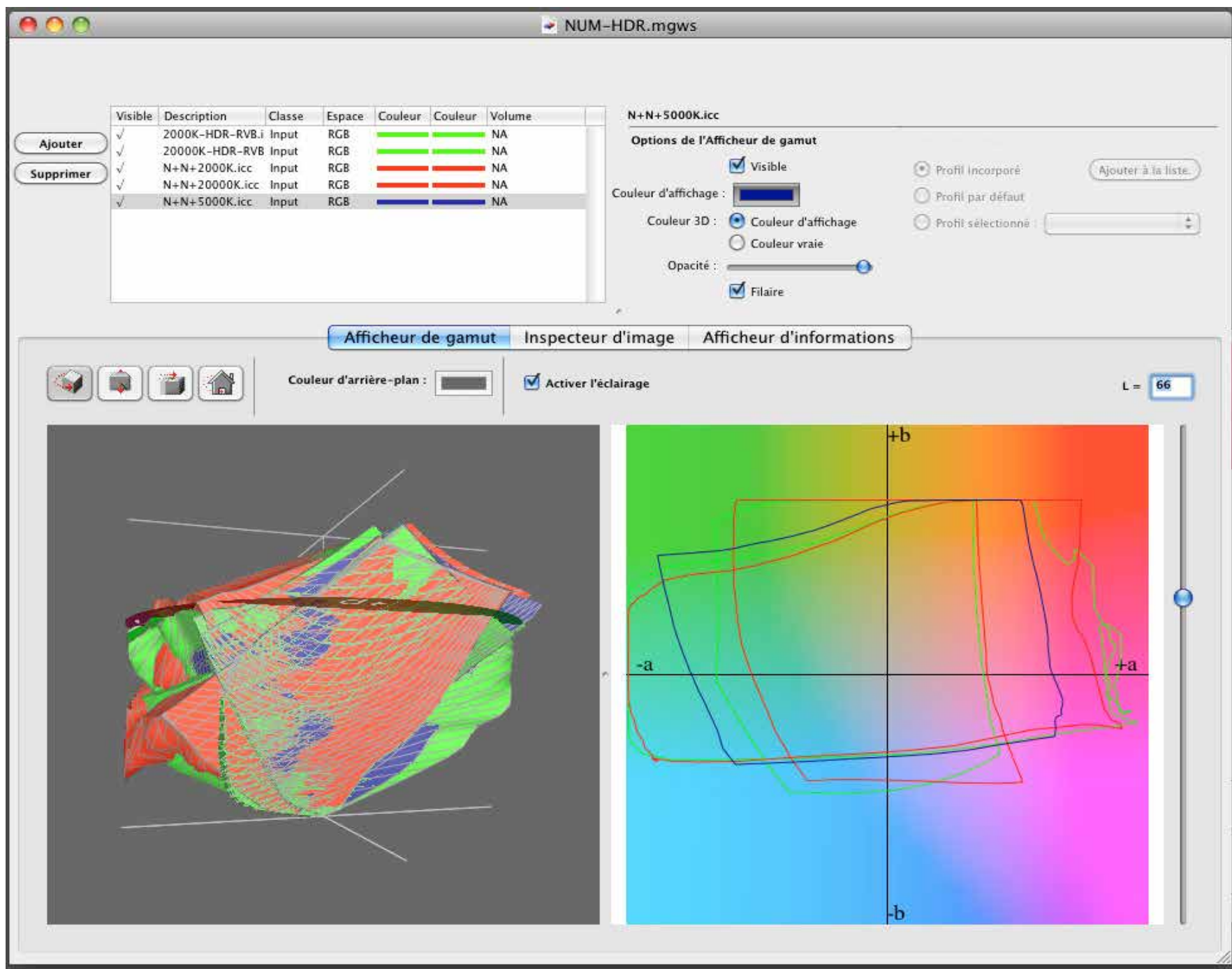


Comparaisons

Braketing HDR Chromatique & Espaces



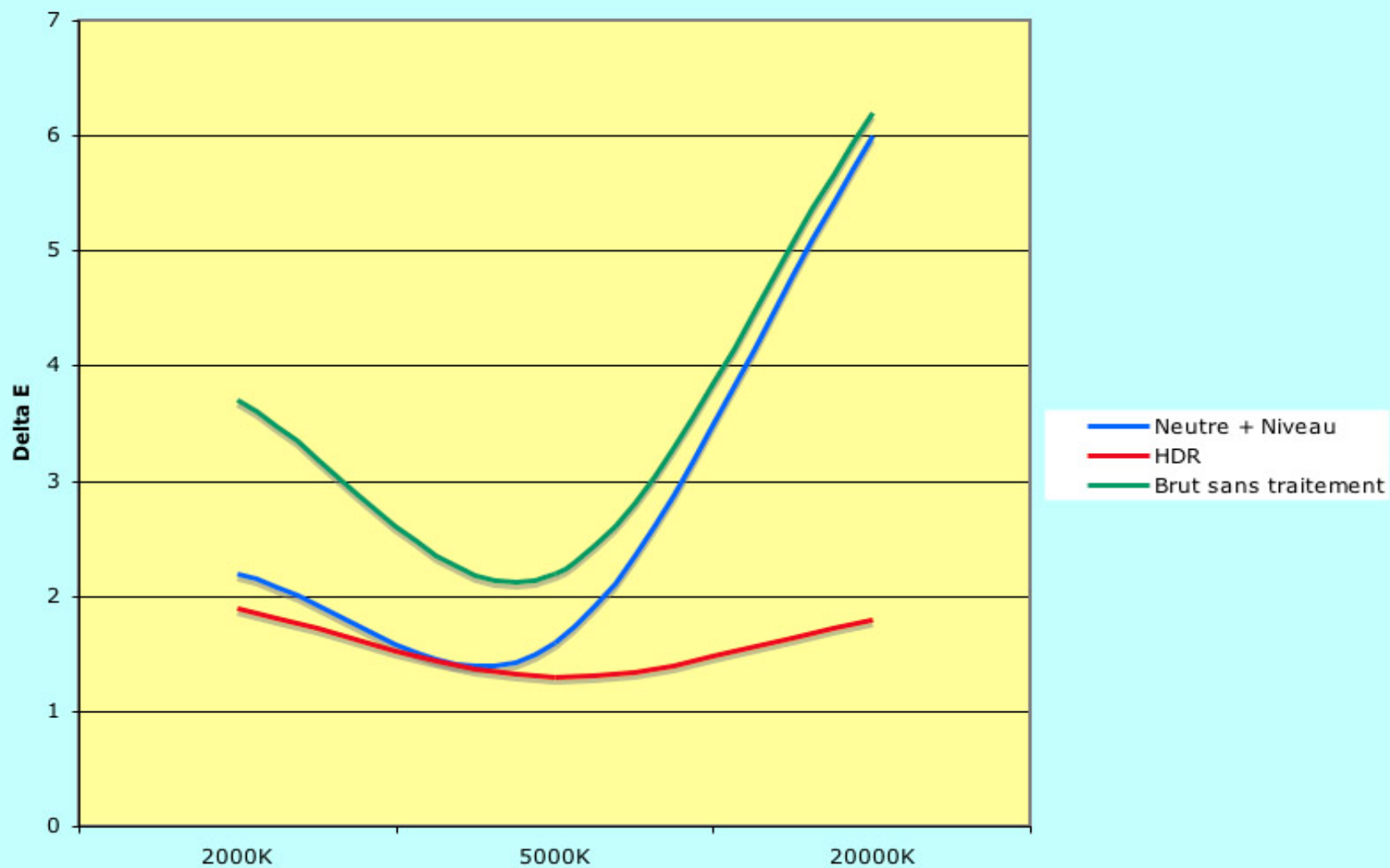




Comparaisons

Braketing HDR chromatique & Delta E CMC

Variation Delta E CMC



3 traitements :
Brut - Neutre + Niveau - HDR chromatique

Conclusions expérimentales

Nos boîtiers numériques + logiciels fonctionnent plutôt bien,
Les différentes solutions de films fonctionnent plutôt bien,
Les filtres de conversion restent utiles pour les travaux délicats,
Le bracketing HDR est une très bonne solution tout terrain.

Dans cette affaire pas de solution perdante et un seul gagnant, le photographe qui peut adapter ces solutions à ses exigences, en fonction du terrain, du client et de ses humeurs.

Test en vraie grandeur

Braketing HDR Chromatique

Sujet nature morte

PdV Canon Ds III traité dans Lightroom

Eclairage par 62 bougies

Des bougies "chauffe plat" normalisées

Pose de "base" 4 s à F/4 pour 200 ISO

Soit 6 EV (c'est pas énorme mais suffisant pour ce genre de test)

PdV au flash servant de référent

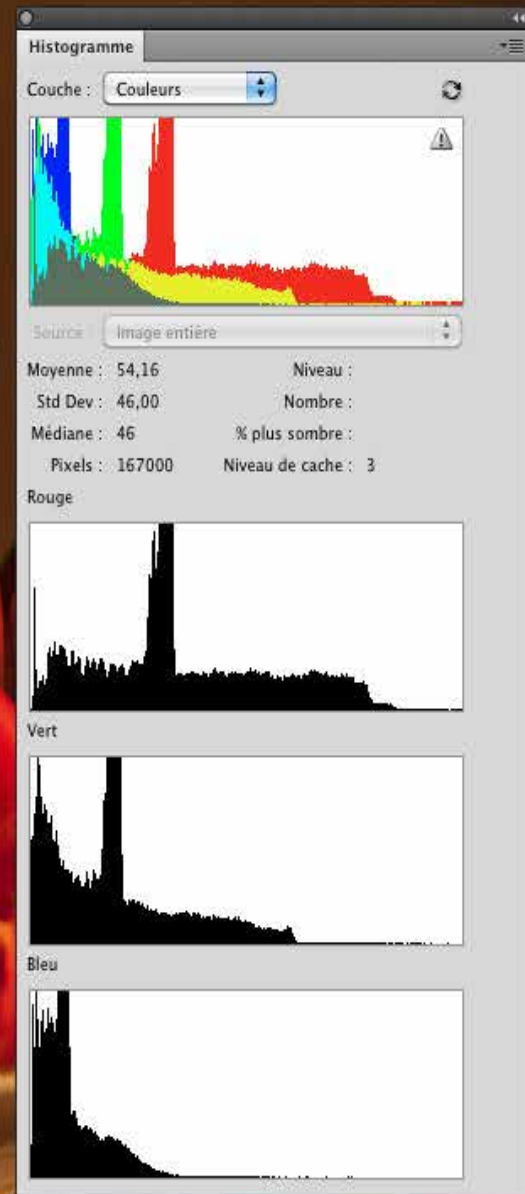
(2 Striplite de chez Broncolor)

Dispositif

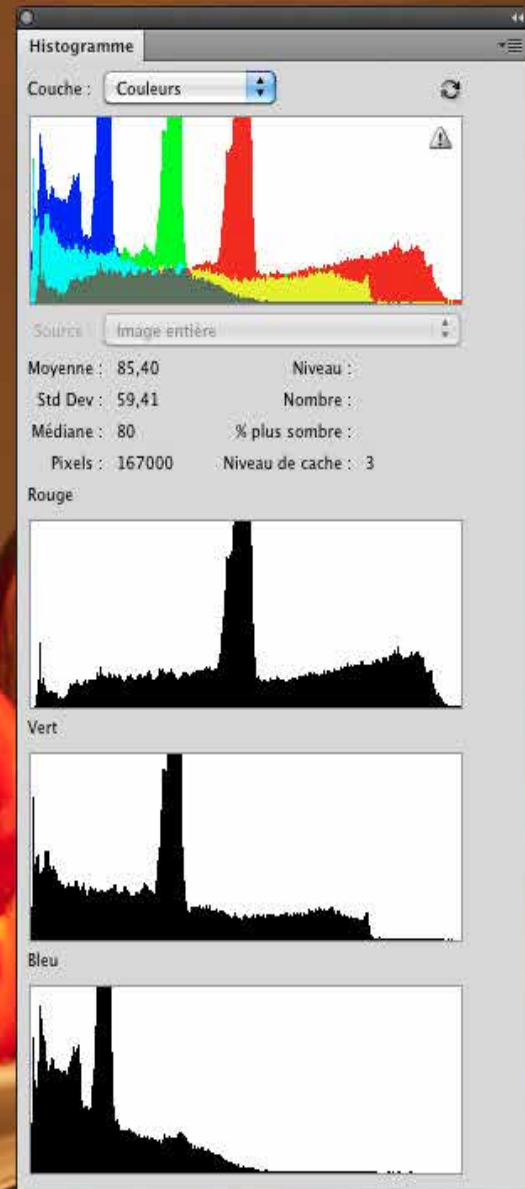
Je n'ai pas pu mesurer la T°C le Thermocolorimètre IIF de chez Minolta refuse de travailler en basse lumière, mais depuis ce premier test, le Sekonic Spectromaster C-700 m'a permis de mesurer la T°C des bougies "chauffe plat" normalisées et nous pouvons lire 2300 K



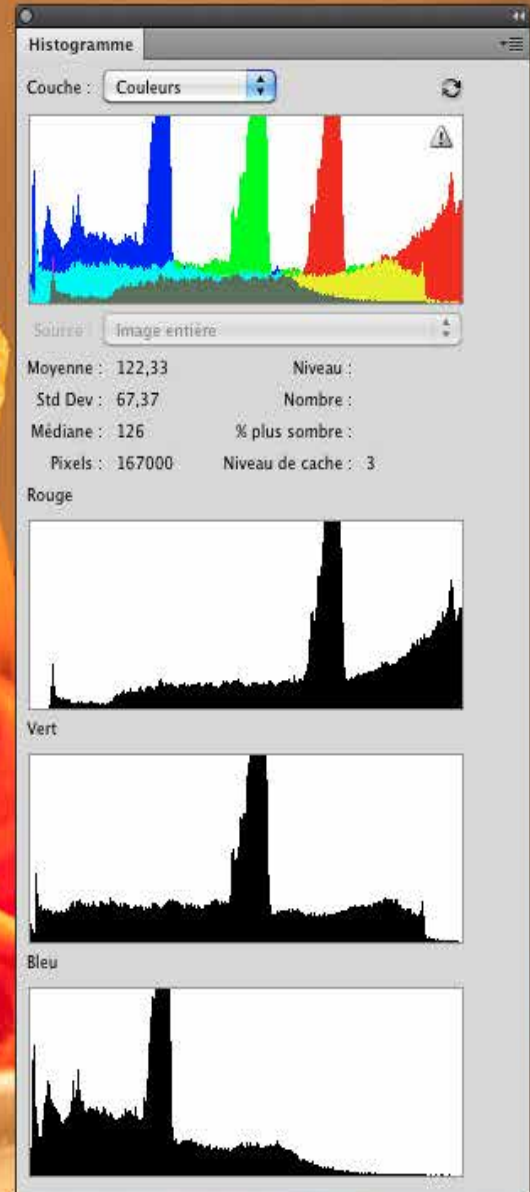
Pose N



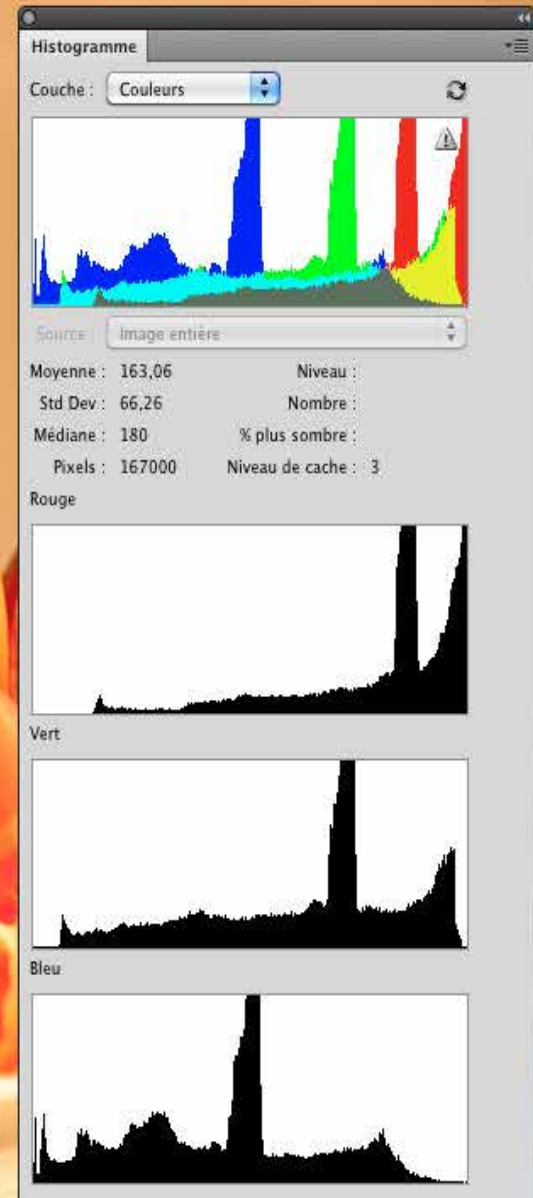
Pose N+1



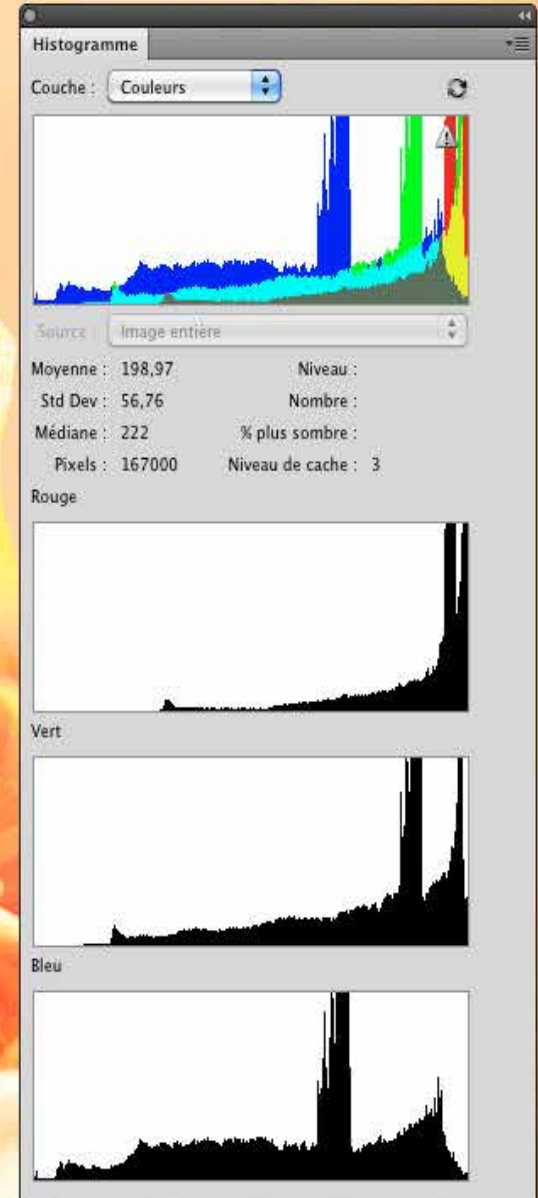
Pose N+2



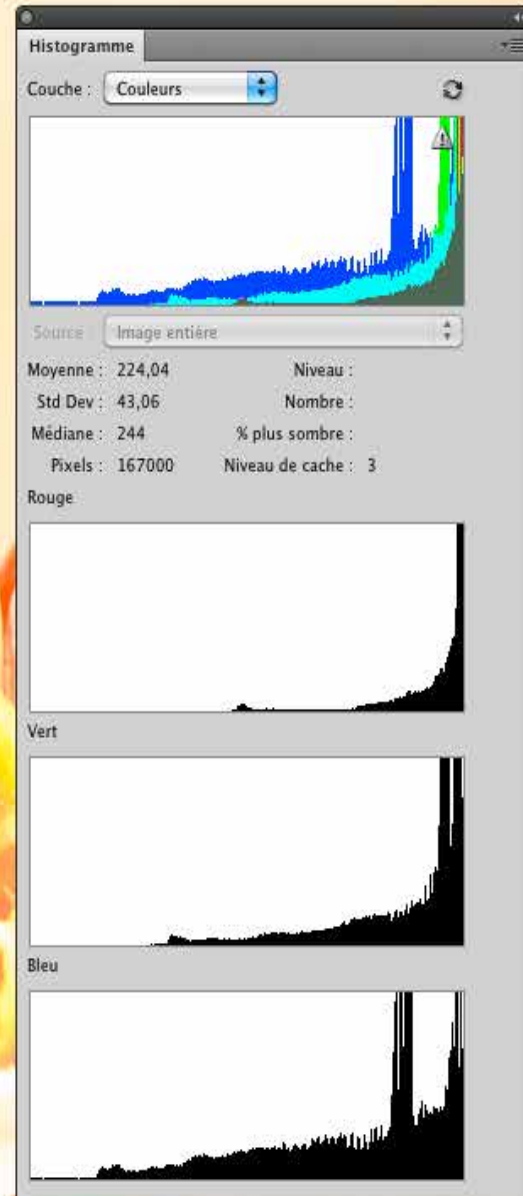
Pose N+3



Pose N+4



Pose N+5



50 %

Doc : 7,63 Mo/7,63 Mo

Cuisine Chromatique

Les 6 poses obtenues
permettent d'avoir les histogrammes complet, bien propre, nécessaires et suffisants
pour un rendu optimisé mais sur un intervalle de 5 EV

Parmi ces 6 poses on peut choisir 3 histogrammes complets

Pose N+1 pour le rouge



Pose N+3 pour le Vert



Pose N+4 pour le bleu



On mixte le tout

Pomme c Pomme v
Pomme c Pomme v





Version Lightroom 4
ce soft est quand même très efficace



Version Lightroom 4
Flash électronique 5 000 K
2 Striplite Broncolor
Pulso 3200 joules



Conclusions de terrain

Nos boitiers numériques + logiciels fonctionnent plutôt bien,
Le bracketing HDR est une très bonne solution tout terrain, mais le logiciel lightroom 4
est assez impressionnant.

La version Bracketing HDR et cet éclairage bougie autour de 2200 K est très proche de
la réalité, même si la version Lightroom est excellente, la version HDR est meilleure
dans les bleus, plus détaillée dans les rouges et le contraste de détail est meilleur et
les HL présentent beaucoup plus de détails. La mise en œuvre est un peu plus lourde,
mais pour les sujets délicats et au delta E élevé la différence de qualité peut être
déterminante.

Vos Conclusions de terrain

Do it !!!

Il n'y a rien d'autre à dire

Pour les éventuelles questions :

henrigaud55@gmail.com

Et merci de votre attention ...