

Une lampe à LED pour éclairer *La Joconde* : détail des innovations techniques (Lampe TOSHIBA - 2013)

Marc Fontoynt, Jean Pierre Miras, Marco Angelini, Jean Chanussot, Christophe Marty, Grégory Duchêne
Leonid Novakovski, Kazuaki Makita, Tokayoshi Moriyama

Résumé

Une lampe à LED a été spécifiquement conçue en vue de fournir un éclairage de la plus haute qualité possible au tableau de *La Joconde*, au musée du Louvre à Paris. La réalisation de ce nouvel éclairage à LED a été rendu possible grâce au mécénat de la société japonaise TOSHIBA. La lampe proposée est installée dans une tablette conçue par l'architecte de la salle (Lorenzo Piqueras, 2005) et fonctionne en contre-plongée. La lampe utilise 34 LED (single chip et multichips), et remplace la lampe développée en 2005 équipée de 7 LED. Trois systèmes optiques ont été développés pour permettre d'obtenir une uniformité des éclairages élevée sur le tableau : des optiques primaires situées sur les LED, un mélangeur de teintes de type *Scheib*, puis un troisième dispositif à double lentille et filtre intégré destiné à focaliser la lumière sur le tableau, et d'ajuster l'uniformité et la qualité du cadrage. Un cadreur a été intégré au dispositif. La lampe permet de modifier à volonté les températures de couleur, en conservant un Indice de Rendu des Couleurs élevé (IRC >95) avec une surface du Gamut maximale (en s'appuyant sur les travaux scientifiques de la Commission Internationale de l'Éclairage). Cela est obtenu sans produire de rayonnement Infra-Rouge ni Ultra-Violet. Un système de commande intelligent a été mis en place, permettant au Musée du Louvre d'apporter des corrections de teintes (déviations d_{uv}) avec à la fois une grande précision et une grande simplicité dans le mode opératoire. Ces ajustements s'avèrent utiles pour corriger la coloration due au verre de protection et à l'éclairage ambiant ainsi que pour obtenir le rendu le plus fiable possible. Enfin la lampe bénéficie d'un système de refroidissement particulièrement puissant pour stabiliser les mélanges de couleur, et offrir une durée de vie de 80 000 heures. Grâce à l'utilisation des LED de dernière génération, la lampe ne consomme qu'une vingtaine de watts en fonctionnement courant.

Introduction

Dans le cadre d'un accord de mécénat entre la société TOSHIBA et le Musée du Louvre à Paris, il a été décidé de développer une nouvelle lampe, de très hautes performances, pour apporter un éclairage complémentaire sur le tableau de *La Joconde*. Une équipe spéciale de développement a été réunie et la réalisation a été confiée à la société ARKANZ. Ce document présente les solutions développées par l'équipe. Cet éclairage à LED a été installé le 4 juin 2013.

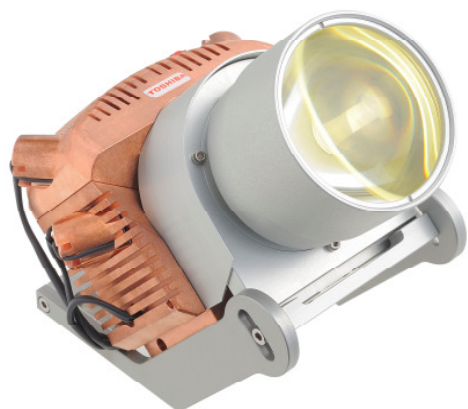


Figure 1 : Lampe TOSHIBA 2013 à 34 LED développée pour éclairer le tableau de *La Joconde*.

Principes de l'éclairage originaux et cahier des charges de la nouvelle lampe.

Marc Fontoynt, Consultant, Professeur, Aalborg University, Copenhagen, Danemark.

La rénovation de la Salle de *La Joconde* a été conduite par l'Architecte Lorenzo Piqueras de 2005, assisté, pour l'éclairage, de Marc Fontoynt. Il avait alors été décidé d'éclairer le tableau de *La Joconde* d'une manière non ostentatoire, et comparable à celle employée pour les tableaux environnants. La position du tableau sur une cimaise spécifique, et derrière une épaisse plaque de verre a néanmoins nécessité d'apporter un complément lumineux nécessitant des ajustements de couleur. Le choix de la contre-plongée depuis la tablette située devant s'est imposé pour obtenir un appoint lumineux de la manière la plus invisible possible, et sans le moindre risque de reflet.

Dans le projet de 2005, nous avons déjà établi qu'un éclairage à base de multiples diodes nous offrait la possibilité d'apporter les corrections chromatiques indispensables à la configuration (coloration due à l'épaisseur du verre, besoin de corriger l'éclairage ambiant). Une contrainte majeure avait été de réaliser une lampe à LED de très faible longueur pour être insérée dans la tablette. La lampe de 2005 était une lampe à 7 LED, qui avait déjà fait l'objet d'une étude colorimétrique poussée.



Figure 2 : Lampe à 7 LED développée par ARKANZ-Sklaer GmbH en 2005 (Projet de l'Architecte Lorenzo Piqueras, Eclairagiste Marc Fontoynt)

En 2013, à la fois les techniques, mais aussi les connaissances ayant évolué, nous avons choisi de développer une lampe de très hautes performances, encore plus adaptée aux exigences du Musée du Louvre :

- Avec des LEDs de meilleure efficacité lumineuse, et disposant de rendu de couleur supérieur
- Avec des optiques très précises, en vue d'améliorer considérablement l'uniformité
- Avec une découpe intégrée, ce qui représente un challenge important dans le cas de sources multiples (risque d'effet d'arc-en-ciel en périphérie)
- Avec un pilotage très sophistiqué, permettant au Musée du Louvre d'apporter des corrections chromatiques dans le plus grand confort possible. Et avec une fiabilité accrue.
- Avec une capacité de jouer sur le « Gamut Area », c'est-à-dire en élargissant le champ des couleurs (en s'appuyant sur les travaux récents de la Commission International de l'Eclairage)
- Avec des solutions destinées à apporter des réponses universelles en muséographie, c'est-à-dire applicables à n'importe quel tableau.

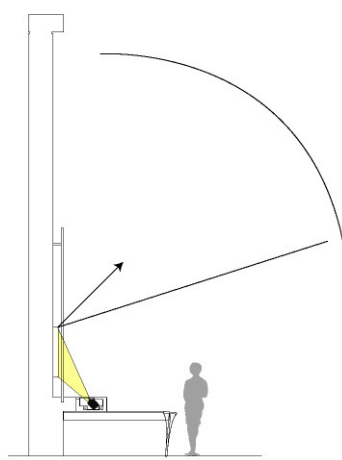


Figure 3 : Principe d'éclairage d'appoint en contre-plongée (approximativement 60°), choisi pour La Joconde, dans le projet de 2005 (Architecte Lorenzo Piqueras, Eclairagiste Marc Fontoynt) .

Une lampe tirant le meilleur parti des technologies et du savoir-faire disponibles en 2013.

Jean-Pierre Miras, CEO, Arkanz Lighting GmbH / Sklaer GmbH, Francfort, Allemagne

La première lampe développée pour La Joconde par Sklaer GmbH (filiale d'Arkanz) en 2005 comportait 7 LED, un cadreur-mélangeur de couleurs à fibres optiques de type FOCON (Convertisseur à fibres optiques), et disposait déjà d'un refroidissement actif à l'aide d'un ventilateur fonctionnant en permanence. Chacun des canaux bénéficiait d'un pilotage individuel à courant continu. Elle a fonctionné de manière ininterrompue plus de 70 000 heures sans panne.

La réalisation de la nouvelle lampe, pilotée par Arkanz Lighting en étroite collaboration avec TOSHIBA Lighting, fait appel à des solutions technologiques innovantes. La production de lumière est assurée par 34 LED disposées en étoile afin d'assurer l'homogénéité chromatique sur l'ensemble du tableau. Les LEDs ont été soigneusement choisies en fonction de leur spectre d'émission, ce qui permet notamment d'atteindre un Indice de Rendu des Couleurs (IRC) allant jusqu'à 98 sur la plage de couleur de température requise. La lampe combine un refroidissement passif (radiateur en cuivre) et un refroidissement actif avec un ventilateur permanent, afin de limiter au maximum les dérives chromatiques et de garantir le spectre sur la durée de vie imposée.

Un des défis majeurs consistait à mélanger les couleurs sur une distance très restreinte (12cm) ce qui a été rendu possible par l'intégration dans le système optique réalisé par la société partenaire Fraen Srl d'un mélangeur à fibre optique, le « Scheib ». (Voir articles suivants).

Les générateurs de courant ont été mis au point par la société DEF Srl (Lombardie, Italie) qui a également assemblé le projecteur et géré le contrôle de la qualité avec UL International Italia. Deux alimentations compactes 4 canaux du type Push de D-LED sont utilisées afin d'assurer le mélange et la gradation des couleurs et d'éliminer les interférences ou autres effets de balayage lors des prises de vue. Ces sont des alimentations 4 canaux compactes à courant continu spécialement adaptées aux luminaires à LED, avec interface DALI, et système de contrôle de surchauffe.

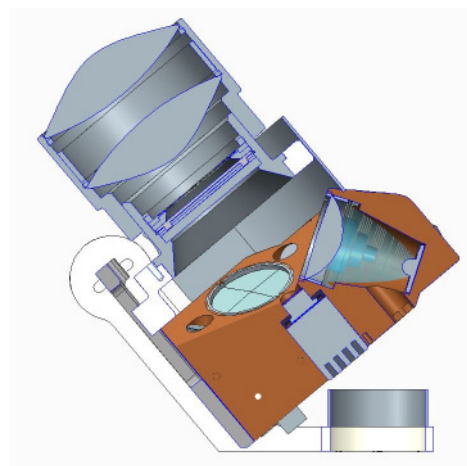


Figure 4: Éclaté du nouveau projecteur TOSHIBA. Design Vittorio Ferri, 2013

Les alimentations électroniques du projecteur sont commandées par un pilote standard CP64-LX-C de la société AELSYS (région PACA, France), dont les produits permettent de réaliser des éclairages sous protocole DALI et DMX tout en les adaptant à l'environnement (apport de lumière externe, détection de présence, action utilisateur, etc...). Ce pilote d'éclairage s'interface avec la GTC du Musée du Louvre pour remonter des informations sur le bon fonctionnement de la lampe. Dans le cadre du projet, le logiciel de configuration associé WINCP a été adapté pour intégrer le module de réglage colorimétrique, ce qui permet de gérer la lampe en mode « courant » ou en mode « colorimétrique ». AELSYS a également développé une application de présentation interactive sous PC/Tablette tactile Toshiba communiquant avec le CP64-LX-C sous liaison Ethernet filaire ou Wifi, application utilisée pour la présentation des possibilités de réglage offertes par le projecteur.

Cette « concept-lamp » mise au point par les sociétés Arkanz Lighting et Fraen srl a permis d'étudier de nombreuses solutions technologiques qui font l'objet de brevets et ouvrent la voie à de nouveaux projecteurs de musées très puissants et performants.

Optimisation optique pour un haut rendement, et une excellente uniformité sur le tableau

Marco Angelini, PdG, FRAEN CORPORATION S.r.l., Italie.

Dans le modèle de lampe de 2005, la lentille de projection était une simple lentille asphérique avec un rapport F/N très ouvert (0,8). La découpe du faisceau était obtenue par un convertisseur à fibres optiques, à sortie trapézoïdale, en vue d'obtenir une projection de forme rectangulaire sur le seul tableau de *La Joconde*.

Pour la configuration de 2013, le principe multi sources a été conservé, mais la répartition spatiale a été améliorée, afin d'améliorer l'homogénéité du mélange.

Le nombre d'émetteurs à LED est monté à 34, regroupés en 7 « single chip », et 3 « multichips » (9 LED)

Le mélange des couleurs se déroule en 3 phases successives :

- 1) une première phase – de « pre-mix » – basée sur des composants optiques FRAEN spécifiques pour la mélange couleurs des LEDs (FRAEN - FCM-M1+FCX Patent Pending Appl. N.WO2010US23071 20100203),
- 2) Une deuxième phase utilisant un système optique « Scheib » (voir section mélange des couleurs/Scheib)
- 3) Une troisième phase avec un filtre diffusant spécial FS³.

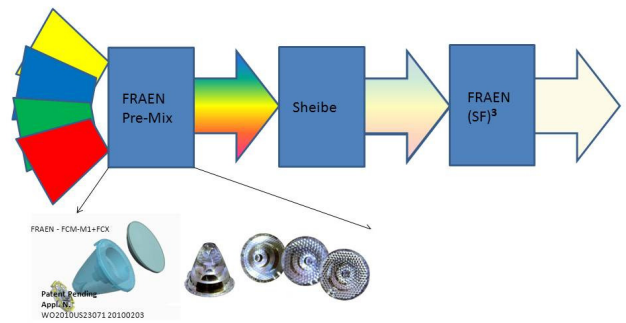


Figure 5. Détails de la chaîne optique assurant le mélange des couleurs et garantissant l'uniformité des éclairagements sur le tableau.

Grace aux systèmes optiques du « pré-mix » on focalise tous les faisceaux émis par les 34 sources à LED sur un disque réalisant ainsi un spot lumineux de grande homogénéité. La dimension de ce spot est optimisé en relation avec la taille du tableau de *La Joconde*.

En aval du mélangeur « Scheib », nous avons choisi de positionner le diaphragme de découpage trapézoïdal dans le plan focal du système de projection. Ceci permet de projeter sur le plan du tableau un spot de forme rectangulaire.

A la différence de l'ancienne lampe qui utilisait une seule lentille asphérique de projection, la nouvelle lampe a été équipée de deux lentilles, un doublet asphérique-symétrique. Ce doublet est caractérisé par une focale F/N de 0.7. La conception de ce nouveau système à deux lentilles, a été rendu nécessaire pour éliminer l'effet de distorsion qui existait sur l'ancienne lampe. Ceci permet d'obtenir un spot très bien découpé et rectangulaire. De plus, le système offre la possibilité de réduire le contraste entre la partie éclairée (le tableau) et son cadre.

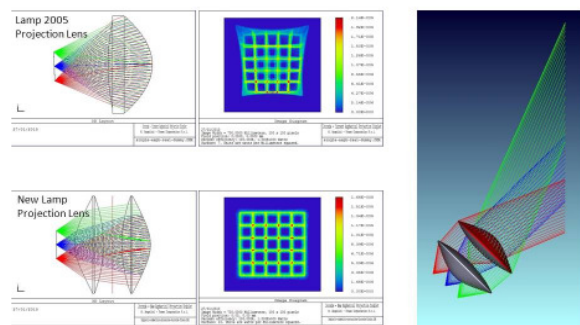


Figure 6. Système de projection asymétrique permettant de garantir une distribution uniforme de l'éclairage sur le tableau.

Pour gérer le decrescendo lumineux de la zone éclairée à la zone sombre, l'équipe a décidé de ne pas éclairer le

cadre mais de réaliser « un cut-off » légèrement flouté au bord du cadre, afin de réaliser une découpe « douce ».

L'uniformité des éclairagements sur le tableau est une des performances remarquables du spot de 2013.

Du fait que l'axe optique de la lampe forme un angle d'incidence d'environ 60° (par rapport à la normale au plan du tableau), le risque est de sur-éclairer la base du tableau. Au delà de la correction apportée par la double optique, il a été nécessaire de développer un filtre spécial, nommé FS³, qui permet d'équilibrer encore davantage la répartition des éclairagements sur le tableau. Ce filtre prototype peut, selon le cas être développé pour des cahiers des charges variés (autres angles d'incidence).



Figure 7. L'uniformité des éclairagements obtenue sur le tableau est de 0.85 (spot seul) et 0.93, en tenant en compte l'éclairage ambiant.

Mélanger les couleurs des diodes : le procédé « Scheib » *Leonid Novakovski, PHAROS-ALEF, Moscou,*

Le mélange des couleurs est renforcé par un dispositif nommé « Scheib » à fibre optique travaillant sur le même principe que le FOCON de la lampe précédente mais acceptant des diaphragmes plus sophistiqués. Il est constitué d'un faisceau de fibres optiques, de forte densité, sur une faible épaisseur de 4mm. L'indice d'ouverture important du *Scheib*, permet de disposer des modules à LED dans un cône très large de +/- 32°. Les tests effectués sur ce dispositif montrent un mélange des couleurs de très haute qualité résultant en une homogénéité pouvant atteindre 95% sur une cible.

Le « *Scheib* » (qui signifie tranche en allemand) est utilisé pour la transmission des rayons lumineux et la formation d'images quand l'application requiert une distribution précise de la lumière dans un espace réduit. Cette technologie élégante est utilisée avec succès dans l'industrie automobile pour les phares avant et fait l'objet d'un brevet déposé par les sociétés Pharos-Alef Ltd et Sklaer GmbH (Brevet N. 2283986)



Figure 8: Diffuseur de type « Scheib » »
(Photo SklaerGmbH)

Un contrôle total des teintes et puissances lumineuses *Christophe Marty, Gregory Duchêne, INGELUX, Lyon France*

Deux modes de pilotage de la lampe ont été proposés : le premier destiné aux réglages colorimétriques avant la livraison finale, l'autre en fonctionnement courant, et interfacé avec le protocole DALI déployé au Musée du Louvre. C'est sur le premier aspect que l'innovation a particulièrement porté.

Nous avons conçu un outil colorimétrique, en phase avec les travaux en cours de la part du *International Council of Museums (ICOM)* et la *Commission Internationale de l'Eclairage (CIE)*. Cet outil permet de naviguer dans l'espace colorimétrique, d'ajuster librement les coordonnées chromatiques de la lumière émise, tout en disposant à tout instant d'une lumière de qualité optimale (rendu de couleur et « Gamut Area »). Le développement du logiciel a nécessité des opérations de mesures spectrales pour chaque canal de production de lumière, de corrections dues aux systèmes optiques, de calibration et de vérification (sphère d'Ulbricht).

Cependant, le choix définitif des ajustements étant du ressort de la conservation du Musée du Louvre, nous avons élaboré un protocole de réglages sur place, devant le tableau de *La Joconde*. Le réglage définitif a été établi par le conservateur, Vincent Delieuvin, assisté de l'Architecte ayant conçu la Salle de *La Joconde*, Lorenzo Piqueras, dans des conditions d'éclairage général mixte (lumière fluorescente avec un peu d'éclairage naturel).

Il est important d'insister sur l'innovation qui consiste à offrir à la conservation le moyen d'éclairer le plus justement possible, et le plus fidèlement possible, une œuvre qu'elle connaît dans tous ses détails.

La procédure et le pilotage que nous avons élaborés mériteraient d'être systématisés dans de nombreux musées, dans tous les cas où la conservation souhaite ajuster l'éclairage, a) soit du fait de la détérioration du tableau, b) soit parce que les conditions d'éclairage général sont

jugées inappropriées et nécessitent une correction chromatique localisée.

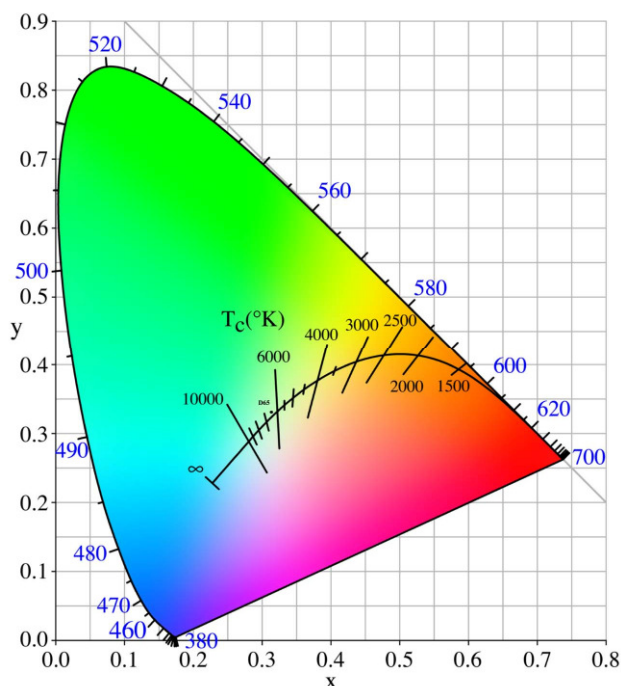


Figure 9: Le système de contrôle permet pour tous les points de fonctionnement situés sur une grande plage de températures de couleur, de disposer d'une qualité de lumière maximale. Le choix d'un grand nombre de LED (34) permet également de disposer d'un fort Gamut. La navigation sur le diagramme est effectuée par le pilote conçu par Ingélux, sur la base des connaissances établies par la CIE.

Une lampe LED de la plus haute qualité dans le monde Kazuaki Makita, TOSHIBA Corporation, Chief Specialist

La société Toshiba a engagé de nouvelles activités en éclairage en avril 2010, afin de créer une nouvelle « culture des lumières » au niveau mondial. Dans le cadre du premier projet de rénovation de la mise en lumière à l'extérieur du musée, nous avons signé un contrat de partenariat avec le Musée du Louvre (pour la période du 30 juin 2010 au 31 décembre 2023). Les éclairages de la Pyramide, des Pyramidions et du Pavillon Colbert ont été remplacés par des éclairages à LED le 6 décembre 2011, et les éclairages de la Cour Napoléon ont été remplacés par des éclairages à LED le 24 mai 2012. Aujourd'hui, les travaux sont en cours afin d'achever la mise en lumière de la Cour Carrée avant la fin 2014. Ce projet de rénovation de la mise en lumière à l'extérieur du musée ne se limite pas à un simple soutien technologique, mais il a permis de maintenir le patrimoine culturel mondial « de manière plus durable et plus belle », d'atteindre « la fusion des arts et de la technologie » et de réduire la consommation électrique de 73 %.

Le fait que nous ayons réussi à rendre compatible « la réduction des charges environnementales et la valorisation des arts » étant apprécié par le Musée du Louvre, nous avons pu signer un nouveau contrat de partenariat sur le

projet de rénovation de la mise en lumière de l'intérieur du musée en mai 2012. Cette fois-ci, une série d'éclairages sera remplacée par des LED, à commencer par les lumières dédiées à *La Joconde* de Léonard de Vinci, qui est appelé trésor du Musée du Louvre, celles de la Salle Rouge où les grands tableaux célèbres tels que le *Couronnement de l'Empereur et de l'Impératrice* sont exposés, ainsi que celle du Hall Napoléon qui se situe à l'entrée principale du Musée. Il est prévu que le système des éclairages dédiés à *La Joconde* et des appareils de lumières du plafond de la Salle Rouge seront remplacés en juin 2013, et que la rénovation de la mise en lumière du Hall Napoléon sera effectuée d'ici le milieu de 2014.

Au début, concernant le projet de *La Joconde*, il s'agissait de réaliser une lampe spécifique pour remplacer celle qui a été fabriquée par la société allemande SKLAER-ARKANZ et qui a été installée en 2005 devant le tableau de *La Joconde*.

Toshiba a décidé de réaliser de nouvelles lampes LED à haute performance dues à l'évolution technologique des lampes LED et à l'avancée des systèmes optiques, et a entamé le projet en accumulant les meilleures technologies afin de fabriquer des lumières de très haute qualité.

Un suivi étroit de l'équipe technique

T. Moriyama, TOSHIBA Lighting & Technology Corporation Senior Specialist

Toshiba a commencé à examiner avec le Musée du Louvre en avril 2012 la possibilité de développer un nouveau spot pour éclairer *La Joconde*. Afin de développer une lampe avec de meilleures performances que celle qui a été installée en 2005, nous avons effectué une étude de faisabilité pendant deux mois à partir de juin 2012 avec la société ARKANZ et nous avons entamé le développement technologique afin d'améliorer les qualités concernant les points suivants :

- 1) technologie pour maîtriser l'ajustement des lumières, la température de couleur corrélée, la déviation des couleurs et de l'indice rendu couleur moyen
- 2) technologie pour améliorer l'uniformité de l'éclairage et la répartition chromatique sur le tableau
- 3) technologie de cadrage du tableau
- 4) technologie pour limiter le rayonnement infrarouge et ultraviolet

Ainsi, un premier prototype a été réalisé en janvier 2013, et nous avons présenté le fonctionnement de la nouvelle lampe à la direction de l'Architecture en présence de M. Vincent Delieuvin, conservateur de la peinture italienne du XVI^e siècle du Musée du Louvre. En février, la distribution spectrale et le flux lumineux de haute qualité pour éclairer *La Joconde* ont été déterminés, suite à des essais sur place.

Le point de vue du conservateur du Musée du Louvre Vincent Delieuvin, conservateur de la peinture italienne du XVI^e siècle, Musée du Louvre, Paris

Au Musée du Louvre, l'éclairage des œuvres est étudié avec une extrême attention.

Chaque tableau mérite d'être observé dans les meilleures conditions d'éclairage qui doit permettre de comprendre la technique picturale de l'artiste ou d'admirer la subtilité de sa palette.

L'éclairage doit cependant s'adapter à de multiples contraintes. Le temps a pu notamment déformer certains supports, altérer les pigments ou dégrader les vernis. Par ailleurs la protection vitrée de certaines œuvres, nécessaire pour leur sécurité, peut troubler la visibilité avec des reflets de l'espace environnant dans le vitrage.

La Joconde rassemble à peu près toutes ces contraintes, à un niveau particulièrement aigu. Au cours de ses cinq siècles d'existence, le panneau de bois s'est déformé en prenant une forme convexe. Ce mouvement du bois a créé un réseau très complexe de craquelures, bouleversant la subtilité du travail pictural de Léonard. Les différentes couches de vernis posées sur la peinture se sont oxydées et ont à la fois obscurci et jauni la palette. Enfin, le verre de protection, particulièrement épais pour cette œuvre, ajoute un filtre coloré supplémentaire que l'éclairage doit compenser.

Le Musée du Louvre souhaitait que cette œuvre majeure du patrimoine artistique mondial puisse disposer des meilleures techniques d'éclairage.

Nous nous réjouissons que le tableau ait pu, grâce au mécénat de la société TOSHIBA, bénéficier des dernières avancées en la matière, une démarche qui s'inscrit pleinement dans l'esprit d'expérimentation et d'exigence de Léonard de Vinci.

Le point de vue de la directrice de l'Architecture, au Musée du Louvre *Sophie Lemonnier*

Le Palais du Louvre est en perpétuelle évolution à partir des éléments qu'il a pu constituer au fil des années, et cela depuis plusieurs siècles. Aujourd'hui encore, l'aboutissement de cette nouvelle lampe créée spécifiquement pour le tableau de la Joconde, est le fruit d'une collaboration itérative entre de grands spécialistes. Si en 2005, pour la réouverture de la salle des Etats avec la présentation de la Joconde dans cette configuration, un nouveau spot moderne était créé, aujourd'hui c'est grâce à la persévérance de TOSHIBA, qui a su de nouveau impliquer des spécialistes de renommée internationale autour d'une technologie ultra sophistiquée, que nous pouvons présenter ce nouveau spot prototypique à la pointe du développement de la lumière.

Les auteurs souhaitent remercier *Jean-Louis Bellec*, Chef de Service à la Direction de l'Architecture, pour le suivi de l'opération et sa participation active au projet

Caractéristiques	Cahier des charges	Lampe TOSHIBA
CCT avec IRC élevé	2700 à 3800 K	Réglable de 2700 K à 3800 K <i>réglage final à 3200 K</i>
Déviations des couleurs Duv	N/A	Réglable de -0,02 à 0,01
Flux lumineux (lm)	N/A	88 lm choisi pour <i>La Joconde</i> (flux maxi 400 lm)
IRC moyen	> 90	95-98 sur la courbe du corps noir
ColourQualityScale (CQS)	> 85	> 95 pour <i>La Joconde</i> > 85 pour l'ensemble des réglages entre 2700 LK et 3800 K
Rayonnement ultra-violet	< 5 μ W/lm	< 3 μ W/lm
Rayonnement infra-rouge	< 0.1 W	< 0.05W
Uniformité globale Eclairage mini / éclairage moyen	> 0.6	0.85 (mesure en 16 points) > 0.92 (avec éclairage ambiant)
Uniformité verticale moitié supérieure/ moyenne	> 0.9	0.93
Eclairage Moyen	100-250 lx spot + ambiant	180 lx sur verre / 108 lx sur tableau (lampe seule)
Flux hors cadre	< 1%	< 0.5 %
Durée de vie	> 50 000 heures	~ 80 000 heures

Figure 10. Performances de la lampe TOSHIBA

Adresses et liens utiles :

Marc Fontoynt, Consultant et Professeur, Aalborg University, Copenhagen, Danemark.
mrf.lights@gmail.com

Jean-Pierre Miras, CEO, ArkanzLighting GmbH, www.arkanz.com, www.sklaer.com

DEF S.r.l., *Paolo de Vecchi*
www.defsrl.it

Aelsys Sarl. *Jean Chanussot*
www.aelsys.fr

Marco Angelini, CEO *Fraen S.r.l. Italy*,
www.fraen.com

Leonid Novakovskij, CEO *Pharos-Alef, Russia*
www.pharos-alef.ru

Christophe Marty, *Gregory Duchêne*
Ingélux Lighting Consultants, *Vaulx en Velin Lyon*,
c.marty@ingelux.com, www.ingelux.com

Kazuaki Makita, Chief Specialist, New Lighting Systems Division, Toshiba, Tokyo, Japan.
kazuaki.makita@toshiba.co.jp