

DURÉE LIBRE

3 FORMULES AU CHOIX

BULLETIN D'ABONNEMENT

À renvoyer accompagné de votre règlement à :

Pour la Science – Marketing – 170 bis boulevard du Montparnasse – 75 014 Paris – email : boutique@pouirlascience.fr

☒ **OUI, je m'abonne à Pour la Science en prélèvement automatique**

PAG20NOE

1 / Je choisis ma formule (merci de cocher) et je complète l'autorisation de prélèvement ci-dessous.

☐

FORMULE PAPIER

- 12 n° du magazine papier
- + **UN CADEAU**

DPV4E90K8

4,90€
PAR MOIS

☐

FORMULE PAPIER + HORS SÉRIE

- 12 n° du magazine papier
- 4 Hors-série papier
- + **UN CADEAU**

PPV6E50K15

6,50€
PAR MOIS

☐

FORMULE INTÉGRALE

- 12 n° du magazine (papier et numérique)
- 4 Hors-série (papier et numérique)
- Accès illimité aux contenus en ligne
- + **UN CADEAU**

IPV8E20K15

8,20€
PAR MOIS

2 / Mes coordonnées

Nom:
Prénom:
Adresse:
.....
Code postal [] [] [] [] [] Ville:
Tél.: [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] [] []
E-mail:@.....
(indispensable pour la formule intégrale)
J'accepte de recevoir les offres de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON

Durée d'abonnement : 1 an. Délai de livraison : dans le mois suivant l'enregistrement de votre règlement. Offre valable jusqu'au 31/03/2021 en France métropolitaine uniquement. Pour un abonnement à l'étranger, merci de consulter notre site <http://boutique.pourlascience.fr>. Photos non contractuelles. Vous pouvez acheter séparément chaque élément de cette offre : les numéros de *Pour la Science* pour 6,90 €, les numéros de *Pour la Science Hors-série* pour 7,90 € et le livre *Pourquoi le Soleil brille* pour 16,00 €.

Les informations que nous collectons dans ce bulletin d'abonnement nous aident à personnaliser et à améliorer les services que nous vous proposons. Nous les utiliserons pour gérer votre accès à l'intégralité de nos services, traiter vos commandes et paiements, et nous faire part notamment par newsletters de nos offres commerciales moyennant le respect de vos choix en la matière. Le responsable du traitement est la société *Pour la Science*. Vos données personnelles ne seront pas conservées au-delà de la durée nécessaire à la finalité de leur traitement. *Pour la Science* ne commercialise ni ne loue vos données à caractère personnel à des tiers. Les données collectées sont exclusivement destinées à *Pour la Science*. Nous vous invitons à prendre connaissance de notre charte de protection des données personnelles à l'adresse suivante: <https://ebranulud.fr/charte-donnees-pls>. Conformément à la réglementation applicable (et notamment au Règlement 2016/679/UE dit «RGPD»), vous disposez des droits d'accès, de rectification, d'opposition, d'effacement, à la portabilité et à la limitation de vos données personnelles. Pour exercer ces droits (ou nous poser toute question concernant le traitement de vos données personnelles), vous pouvez nous contacter par courriel à l'adresse protection.donnees@pourlascience.fr.

Groupe Pour la Science - Siège social: 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris cedex 14 – Sarl au capital de 32 000€ – RCS Paris B 311 797 393 – Siret : 311 797 393 000 23 – APE 5814 Z

3 / Mandat de prélèvement SEPA

En signant ce mandat SEPA, j'autorise Pour la Science à transmettre des instructions à ma banque pour le prélèvement de mon abonnement dès réception de mon bulletin. Je bénéficie d'un droit de rétractation dans la limite de 8 semaines suivant le premier prélèvement. Plus d'informations auprès de mon établissement bancaire.

TYPE DE PAIEMENT : PAIEMENT RÉCURRENT

Titulaire du compte

Nom: Prénom:

Adresse:

Code postal | | | | | Ville: | | | | |

Désignation du compte à débiter

BIC (Identification internationale de la banque) _____

[illegible]

(Numéro d'identification international du compte bancaire)

Établissement teneur du compte

Nom:

Adresse:

Code postal : Ville :

Date et signature

Organisme Créancier: Pour la Science
170 bis, bd. du Montparnasse – 75014 Paris
N° ICS FR92ZZZ426900
N° de référence unique de mandat (RUM)

N° de référence unique de mandat (RUM)

4/ MERCI DE JOINDRE IMPÉRATIVEMENT UN RIB

Partie réservée au service abonnement Ne rien inscrire

L'ESSENTIEL

> Le *spolvero* est un procédé utilisé à la Renaissance italienne pour transférer, au moyen de poudre noire, un dessin préparatoire vers le support d'une peinture.

> L'utilisation du *spolvero* avait été mise en évidence sur certains tableaux de Léonard de Vinci, mais pas sur *La Joconde*.

> Grâce à de l'imagerie multispectrale et à LAM, une méthode d'analyse d'images développée par Pascal Cotte, trois zones de *La Joconde* ont révélé des traces de *spolvero*.

> La technique LAM se montre prometteuse pour l'analyse d'autres œuvres d'art ou documents.

LES AUTEURS



PASCAL COTTE
ingénieur et fondateur,
en 1989, de la société
Lumiere Technology,
basée à Ponthierry



LIONEL SIMONOT
enseignant-chercheur
à l'université de
Poitiers, à l'institut P'
du CNRS

La Joconde aussi a des points noirs

Des chercheurs ont mis en évidence, pour la première fois, l'utilisation du « *spolvero* », technique de transfert de dessin, sur le célèbre portrait de Mona Lisa peint par Léonard de Vinci.

C'est peut-être la peinture la plus observée de l'art occidental. Des points noirs sur le front de *La Joconde* et à la jointure des mains n'avaient pourtant encore jamais été remarqués ni par les millions de visiteurs annuels du musée du Louvre, ni par les spécialistes de Léonard de Vinci, ni par aucun dispositif scientifique. À leur décharge, les points noirs de Mona Lisa ne sont pas visibles à l'œil nu. Ils ne se trouvent pas en surface, mais légèrement en profondeur de la couche picturale. Nous les avons découverts récemment à l'aide de méthodes d'imagerie et d'analyse d'images novatrices.

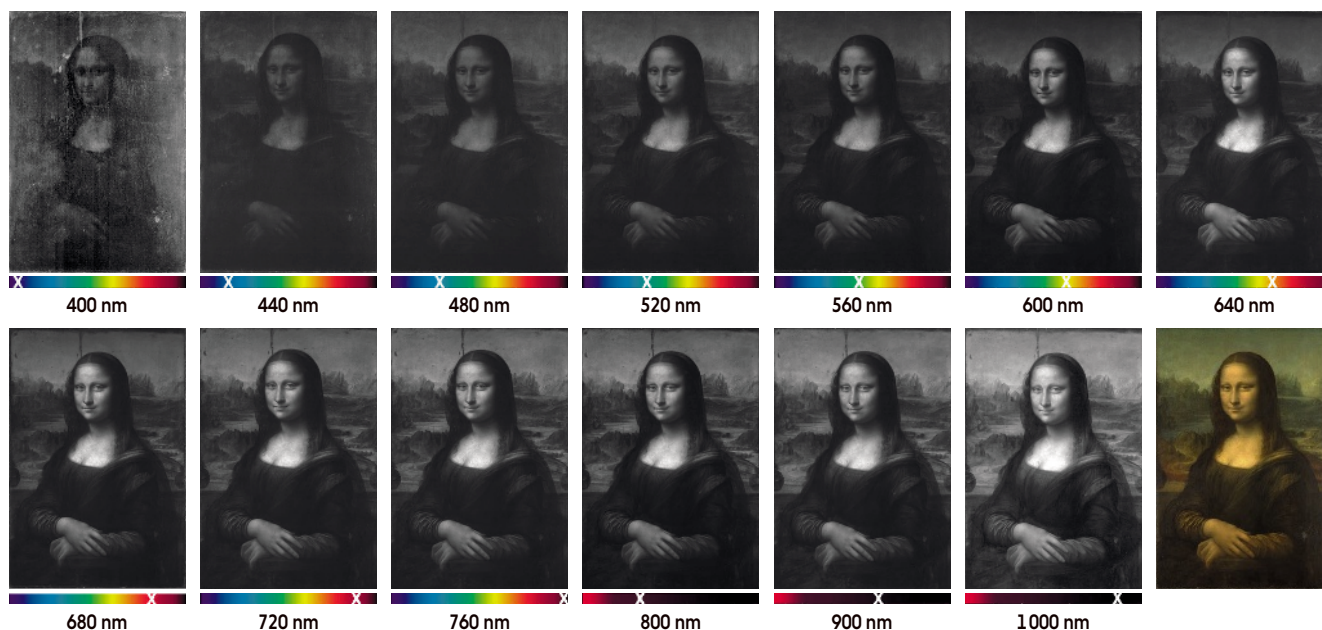
Ces points noirs témoignent de l'utilisation du *spolvero*, technique de transfert d'un dessin préparatoire vers l'œuvre picturale. Dans cette technique, le dessin est réalisé sur un « carton », feuille que l'on perce de petits trous suivant les contours du dessin, puis transféré sur un support en faisant passer à travers les trous du carton de la poudre (*polvere* en italien) de noir de charbon (voir l'encadré page 46).

Très utilisé à la Renaissance, le *spolvero* a été mis en évidence par réflectographie infrarouge (voir plus loin) depuis les années 1950 sur d'autres tableaux de Léonard de Vinci, tels la *Dame à l'hermine*, *La Belle Ferronnière* et le *Portrait de Ginevra de' Benci*. Dans le catalogue de l'exposition au Louvre sur Léonard de Vinci >





Malgré les millions de visiteurs du Louvre qui ont contemplé *La Joconde* et les nombreux spécialistes qui l'ont scrutée, ce tableau fait encore l'objet de découvertes.



Les treize images de *La Joconde* prises à des longueurs d'onde différentes, indiquées en nanomètres (dix dans le visible et trois dans l'infrarouge). La dernière image est une restitution en couleur. C'est l'analyse de ces images par la méthode LAM qui a mis en évidence les traces de *spolvero*.

> (octobre 2019-février 2020), une équipe du Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF) faisait la synthèse des dernières analyses scientifiques. Celles-ci n'avaient pu assurer l'existence d'un transfert pour *La Joconde*, mais les chercheurs affirmaient que « la pratique habituelle s'agissant des portraits le suggère fortement, au moins pour la tête ».

L'IMAGERIE INFRAROUGE NE SUFFIT PAS

Pourquoi n'avait-on pas détecté l'usage du *spolvero* sur *La Joconde*? La réflectographie infrarouge est la technique la plus usuelle pour révéler des dessins sous-jacents. Elle consiste à éclairer la peinture avec de la lumière infrarouge, rayonnement invisible pour l'œil humain, et à prendre une photographie avec un capteur d'image sensible à ce rayonnement. La matière picturale est en effet en grande partie transparente aux infrarouges. Les dessins préparatoires apparaissent alors par contraste, le noir de charbon absorbant davantage les infrarouges que les autres matériaux utilisés. L'analyse de *La Joconde* par cette technique, publiée en 2006 dans le livre *Au cœur de La Joconde*, montrait une reprise par Léonard de Vinci dans la position des doigts de la main gauche. Mais pas de *spolvero*.

En 2004, à l'occasion d'une campagne de mesures scientifiques sur le tableau, l'un de nous, Pascal Cotte, a scanné *La Joconde* à l'aide d'une caméra multispectrale de sa conception, inspirée de systèmes d'imagerie pour la télédétection satellitaire. L'objectif était de mesurer

précisément la couleur de chaque pixel dans la perspective de répéter l'opération plusieurs dizaines d'années plus tard et, ainsi, d'estimer les facteurs de vieillissement. Le procédé, à l'époque innovant pour l'analyse d'œuvres d'art, consiste à scanner le tableau *via* dix filtres optiques dans le visible et trois dans l'infrarouge (les caméras classiques, elles, ne sont sensibles qu'à trois canaux de couleur, les canaux rouge, vert et bleu).

Cette technique d'imagerie multispectrale est évidemment sans contact et les éclaircissements requis pour scanner le tableau sont choisis pour ne pas risquer d'endommager l'œuvre. Le procédé s'est depuis perfectionné avec une recherche de compromis entre résolution spectrale et spatiale. La caméra de Pascal Cotte ne fournit « que » 13 images (*voir la figure ci-dessus*), mais celles-ci présentent une haute résolution spatiale et une grande dynamique de mesure. Le résultat obtenu offre une signature spectrale pour chaque pixel, c'est-à-dire pour chaque point du tableau. Cela permet d'identifier certains pigments et de localiser leur utilisation sur le tableau, de proposer un allègement virtuel et réaliste du vernis vieilli, ou encore, grâce aux canaux dans l'infrarouge, de confirmer les observations réalisées en réflectographie infrarouge. Mais en 2004, même en augmentant au maximum le contraste des images, il n'y avait toujours pas de trace de *spolvero*.

Pascal Cotte passera alors plus d'une dizaine d'années à étudier dans les moindres détails ses images de Mona Lisa. Au cours de cette période, il eut l'idée de développer une méthode de



Dans le *Portrait de Maddalena Doni* par Raphaël (ici un détail), le voile sur le front présente une broderie. Le *spolvero* révélé sur *La Joconde* pourrait être le dessin d'une telle broderie, abandonné ensuite par Léonard de Vinci.

traitement d'images multispectrales appelée LAM (pour *Layer amplification method*, «méthode d'amplification de couche»).

TRAITEMENT D'IMAGES MULTISPECTRALES

Le principe consiste à appliquer pixel par pixel des opérations mathématiques, telles que des différences pondérées d'intensité, sur des images de deux ou trois canaux spectraux différents. Le choix des longueurs d'onde et des opérations implique de nombreuses combinaisons et est difficile à automatiser. En effet, les choix optimaux dépendent des couches de peinture recouvrant le dessin et peuvent différer beaucoup d'une zone à l'autre. La détection des informations (traits de dessins, reprises de l'artiste, coups de pinceau, *spolvero*, restaurations, etc.) se fait d'abord en visualisant un jeu d'images LAM d'une même zone puis, si un signal intéressant est détecté, en ajustant les paramètres des opérations pour un réglage plus fin.

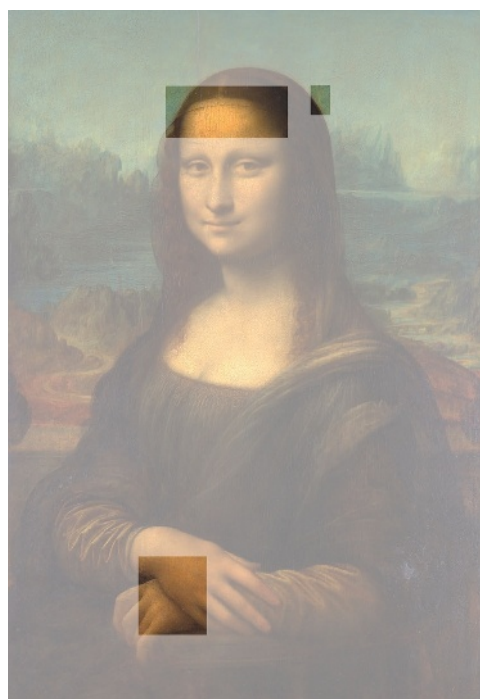
Toute la surface de *La Joconde* a ainsi été étudiée systématiquement par petites zones. Et vers 2015, trois d'entre elles se sont révélées d'un grand intérêt (voir la figure ci-dessous) : la

jointure des mains de Mona Lisa, son front et une petite région au-dessus de la tête.

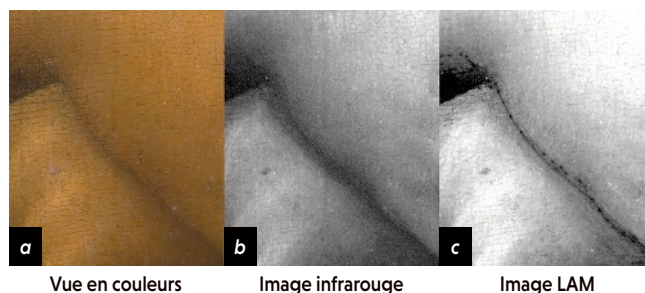
À la jointure des mains, le *spolvero* a été mis en évidence en utilisant uniquement des canaux dans le visible, à 480 et 720 nanomètres de longueur d'onde. Les images montrent que la peinture finale a repris le dessin préparatoire des points de *spolvero*.

Sur le front, les points de *spolvero* sont reliés, mais ils ne correspondent pas à la démarcation du front et du voile de Mona >

La méthode d'analyse LAM implique des choix difficiles à automatiser



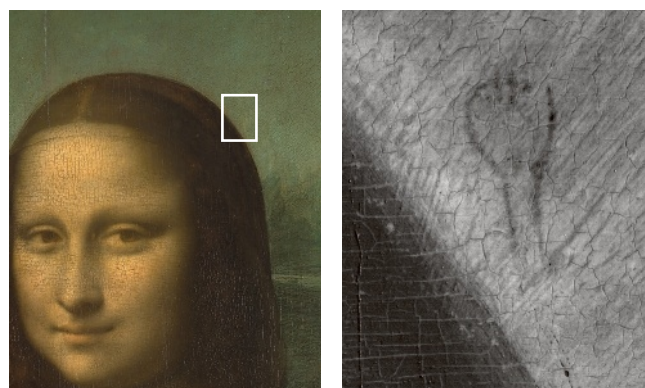
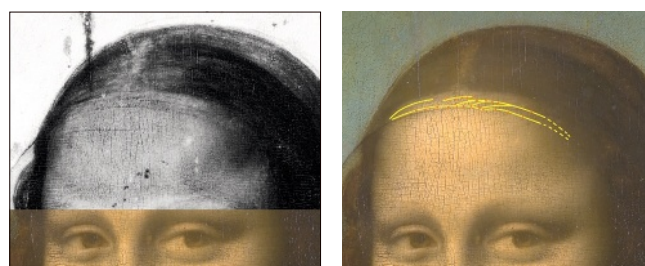
La localisation des trois zones d'intérêt identifiées est indiquée ci-dessus. À la jointure des mains (à droite, en haut), la vue en couleurs (a) et l'image infrarouge (b), à 1000 nanomètres de longueur d'onde, ne permettent pas de détecter le *spolvero*, alors que le traitement LAM le met en évidence sans ambiguïté (c). Sur le front (à droite, au milieu), l'image LAM révèle une double ligne de points en partie reliés ; la superposition avec l'image en couleurs montre que cette double ligne est décalée par rapport à la démarcation du voile. Au-dessus de la tête (ci-contre), le traitement LAM révèle un dessin intrigant.



Vue en couleurs

Image infrarouge

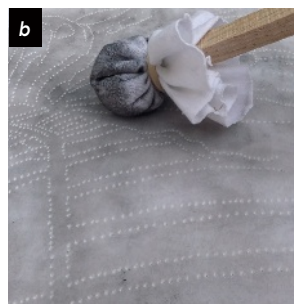
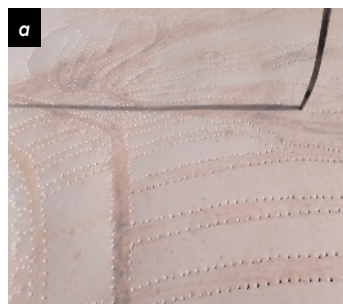
Image LAM



LA TECHNIQUE DU « SPOLVERO »

La *spolveratura*, ou technique dite « du *spolvero* », de l'italien *polvere* (« poudre »), consiste à reporter sur le *gesso* (enduit de préparation de la peinture) les principaux détails d'un dessin préparatoire appelée le *cartone* (« carton »).

La première étape consiste à exécuter le dessin sur une feuille de papier. On recouvre ensuite ce dessin, posé sur une surface molle (carton ou tissu) d'une feuille transparente ; à l'aide d'une pointe, on transperce l'ensemble en y faisant des



Perçage du calque posé sur le dessin (a), tamponnage du calque sur le gesso (b) et le dessin ainsi transféré sur le support de la peinture à venir (c).

séries de petits trous (a). Cette étape, plus complexe qu'il n'y paraît, requiert des choix artistiques nombreux, ce qui exclut son exécution par un apprenti. Dans la troisième étape, on pose la feuille transparente sur le *gesso* et on tamponne avec un petit pochon rempli de poudre noire, généralement du noir de fumée, ses trous ; les tracés du dessin préparatoire sont ainsi transférés sous la forme de petits points noirs (b et c).

Cette technique était utilisée à l'époque de la Renaissance italienne en peinture de chevalet, mais également pour les fresques et les peintures murales. Elle permet aussi de reporter de multiples fois une même composition. Elle porte en français le nom de « poncif ».

Le *cartone d'Isabelle d'Este*, de la main de Léonard de Vinci, aujourd'hui au Louvre, ainsi que le *cartone de La Joconde nue* (auteur non

identifié) du château de Chantilly sont deux exemples caractéristiques. De nombreux trous contournent les mains, le visage, le nez, la bouche, les bords des membres et des vêtements, mais il n'y a aucune marque de poudre noire du transfert. Cela suggère soit qu'ils ont été percés mais non utilisés, soit qu'il ait été fait usage d'une feuille de transfert intermédiaire.

BIBLIOGRAPHIE

P. Cotte et L. Simonot, **Mona Lisa's spolvero revealed**, *Journal of Cultural Heritage*, en ligne le 26 août 2020.

V. Delieuvin et L. Frank, **Léonard de Vinci**, catalogue de l'exposition au Louvre 24 octobre 2019-24 février 2020, Hazan, 2019.

M. Menu et al. (dir.), **Au cœur de la Joconde**, Gallimard/Musée du Louvre, 2006.

P. Cotte et D. Dupraz, **Spectral imaging of Leonardo Da Vinci's Mona Lisa : A true color smile without the influence of aged varnish**, dans *Conference on Colour in Graphics, Imaging, and Vision*, Society for Imaging Science and Technology, 2006, pp. 311-317.

> Lisa. Cela indique que dans le projet initial de Léonard de Vinci, le visage était orienté davantage vers la droite. Le *spolvero* marque une double ligne ainsi que des petits traits de jonctions en diagonale. Peut-être s'agissait-il d'une broderie, comme sur le front du modèle dans le *Portrait de Maddalena Doni* (ou *Maddalena Strozzi*), par Raphaël (voir la figure page 44), dont la posture rappelle fortement celle de *La Joconde*. Peint à la même époque et également à Florence, ce portrait témoigne des règles vestimentaires des dames de la bourgeoisie florentine.

UN PETIT DESSIN ÉNIGMATIQUE

La technique LAM a également mis en évidence un petit dessin initial au-dessus de la tête et détaché de celle-ci (voir la figure page 45). Manifestement, le projet a été abandonné par Léonard. Il pourrait s'agir d'une tête d'aiguille à cheveux. Pourtant, les historiens du costume sont formels : aucune aiguille à cheveux n'était de règle dans la ville de Florence entre 1503 et 1510, période probable à laquelle *La Joconde* a été peinte. Les cheveux étaient au contraire enfermés dans un filet et plaqués sur la tête. On trouve des représentations de coiffures avec des draperies et des aiguilles pour les maintenir, mais uniquement pour des personnages irréels tels que des madones, des allégories ou des déesses, comme nous l'a précisé Elisabetta Gnignera, historienne du costume et autrice de

nombreux ouvrages sur les modes de la Renaissance italienne. Le petit dessin initial de Léonard de Vinci reste donc énigmatique.

Comme pour la réflectographie infrarouge, la technique LAM devient moins performante quand la couche picturale est très absorbante. La détection du *spolvero* sur des zones très sombres du tableau est moins évidente. Pour éviter les faux positifs qu'engendre toute technique de détection, l'interprétation des images LAM doit se faire en collaboration avec des experts des techniques picturales, et en complémentarité avec d'autres méthodes existantes d'analyse des œuvres d'art.

Les données multispectrales de *La Joconde* continuent d'être analysées. Elles révéleront peut-être d'autres informations cachées dans la profondeur des couches picturales. Outre les résultats sur *La Joconde*, la technique LAM a également permis de discriminer différentes écritures d'un palimpseste. Rappelons en effet qu'une page de parchemin pouvait être grattée ou lavée pour être réutilisée ; parfois certaines écritures persistent, imprégnées dans le parchemin, mais restent difficiles à lire. Or les images LAM éliminent les textes récents en surface pour isoler les textes anciens imprégnés, avec un taux de réussite supérieur à toutes les autres techniques testées. L'imagerie LAM ouvre ainsi de nouvelles perspectives pour l'analyse et l'interprétation d'œuvres d'art ou de documents archéologiques. ■

U N



N E M E U R T

J A M A I S .

EN TRIANT VOS JOURNAUX,
MAGAZINES, CARNETS, ENVELOPPES,
PROSPECTUS ET TOUS VOS AUTRES
PAPIERS, VOUS AGISSEZ POUR UN MONDE PLUS
DURABLE. PLUS D'INFORMATIONS SUR
LE RECYCLAGE SUR
TRIERCESTDONNER.FR

CITEO

Donnons ensemble une nouvelle vie à nos produits