

Réflexions sur l'encodage de l'image et propositions de recherches à effectuer

Eric de BAZELAIRE et Marcel ALONSO

Ingénieurs experts

Lorsqu'on regarde le Linceul, ce que l'on voit d'abord, c'est essentiellement une pièce de tissu, quatre fois plus longue que large¹, marquée par une répétition périodique de brûlures quasi-noires². De couleur jaune-paille, sa surface est couverte de nervures d'apparence plus sombres. Cette armure dessine des « arêtes-de-poisson », ou chevrons, constitués par les fils clairs de la chaîne, maillés 3 par 3 par une trame transversale d'apparence plus sombre³ (voir planche couleur fig. 1 & 2).

Cette trame porte une image⁴ monochrome, jaune-paille également, par endroits légèrement brunâtre, mais de prime abord très peu visible. A l'oeil nu, en s'éloignant, elle apparaît plus nettement lorsque l'on perd la vision nette des fils, à partir d'un mètre environ. Pour que les contours de l'image se précisent davantage, les yeux doivent, petit à petit, se défocaliser de la toile et de ses irrégularités⁵. On distingue alors un corps humain aux contours flous et au visage difforme et laid (voir planche couleur fig. 3).

Le photographe qui cherche à « capter » une telle image est amené à effectuer une opération tout-à-fait analogue avec son appareil. Il diaphragme et défocalise son objectif. Mais c'est au développement du film que sa surprise devient totale. Il va constater sur son négatif la présence déconcertante d'une image à la fois infiniment plus nette et plus « parlante » que la forme vague et laide présentée par le drap. Au lieu d'un négatif classique, l'émulsion a révélé une image positive, d'une grande qualité optique. Cette image, d'un réalisme inouï, représentant un corps martyrisé, a été rendue célèbre par la première photo de Secondo Pia, en 1898, et par celle non moins célèbre, faite « sous contrôle judiciaire », par Enrié en 1931 (voir planche couleur fig. 4).

L'image sur le drap est donc un négatif de qualité optique, dont nous ne connaissons nul équivalent, et dont la probabilité pour qu'elle soit faite « de main d'homme » est estimée par G. Salet comme voisine de zéro⁶.

A cette échelle d'observation, les « bruits » organisés qui nuisent à la qualité de l'image sont les chevrons eux-mêmes, qui portent une information parasite heureusement

de structure périodique bien identifiable, et les « lais », véritables bandes verticales de demi-chevrons, bordées généralement par deux fils de chaîne bien nets. Leur homogénéité verticale est très souvent remarquable (Fig. 5). Nous verrons que ces 2 observations devraient, bien sûr, permettre de « purifier » l'image (voir planche couleur fig. 6, 7).

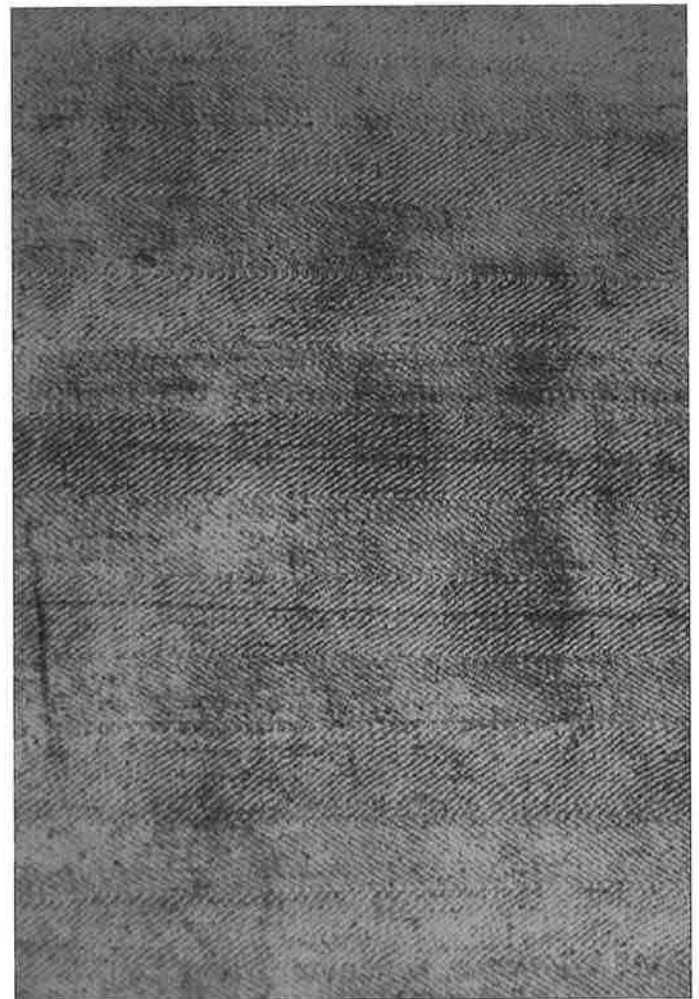


Fig. 5. Vue des chevrons porteurs de l'information, sous forme de grains de chapelet alignés

A l'autre extrémité de l'échelle d'observation, à très fort grossissement, le physicien qui observe les fibres élémentaires, dont les torsades en Z⁷ forment les fils, ne voit rien de majeur (voir planche couleur fig. 8). Les fibres de chaîne et de trame paraissent identiquement lisses. Seules des roussissures pâles, de teinte brun-miel uniforme, extrêmement superficielles (quelques microns), en points plus ou moins nombreux, forment des ombres : c'est là la trame élémentaire de l'image au sens photographique. Le contraste roussissure-fibre est faible (environ 10%) et ce sont les variations de la densité spatiale de ces points monochromes qui sont responsables de l'image⁸. Il en faut environ un milliard uniquement pour dessiner le visage que nous apercevons d'où la stabilité extraordinaire de cette image vis-à-vis des agressions diverses⁹. Cette propriété « digitale » de l'image a été découverte par S. Pellicori.

L'autre propriété extraordinaire, découverte par le STURP, est que le nombre de roussissures par unité de surface, portées par les fibres¹⁰, est une fonction de la distance entre l'objet source de l'émission (ou de la réflexion) et le plan de l'image. Autrement dit, les courbes d'iso-densité des points d'impression dessinent le relief de l'objet par rapport à un plan de référence. Comme nombre de ces points sont des « bruits », l'image en relief brute obtenue est quelque peu « chahutée ». Ce sera un des objectifs de cette communication que de proposer une méthode pour améliorer cette restitution.

A l'échelle intermédiaire, celle de la loupe, l'opticien qui examine un cliché du tissu¹¹ constate que les fils de chaîne sont généralement lisses et peu marqués sur 80% de la surface du drap, et que, par contre, c'est toujours la trame qui semble beaucoup plus sombre et qui porte, sur sa maille apparente, l'essentiel de l'image à la fois du tissu (l'allure en chevrons classique) et du corps humain qui y est imprimé. Ces mailles forment des chapelets en V de petits grains marrons allongés, quasi-horizontalement, de 200 par 300 µm environ, et espacés d'autant dans le sens du chevron (voir planche couleur fig. 9). Ces grains ne sont plus de nature « digitale » comme les points de roussissures signalés précédemment. A cette échelle, sur une photo positive, et donc par une vision directe du drap, on voit le chevron porteur de toutes les nuances de brun représentant à la fois les effets de lumière sur les reliefs et les trous des mailles, et l'information image qui nous préoccupe.

Sur le négatif, les 80% de la surface de chaîne vont apparaître très noirs, et dessiner des chevrons continus très larges et très sombres (fig. 10). Les mailles de trame, discrètes et à direction majeure horizontale, vont apparaître entre ces chevrons de chaîne, et constituer les batonnets gris étudiés tout particulièrement par l'Institut d'optique de Paris (voir Poster B et communication n° 2). A notre avis, une part importante de ce gris représente l'ombre portée par la trame, accentuée par endroit par des trous dans le tissage (mailles insuffisamment serrées). Il y a là un « bruit » redoutable dont on pourra difficilement se débarrasser.

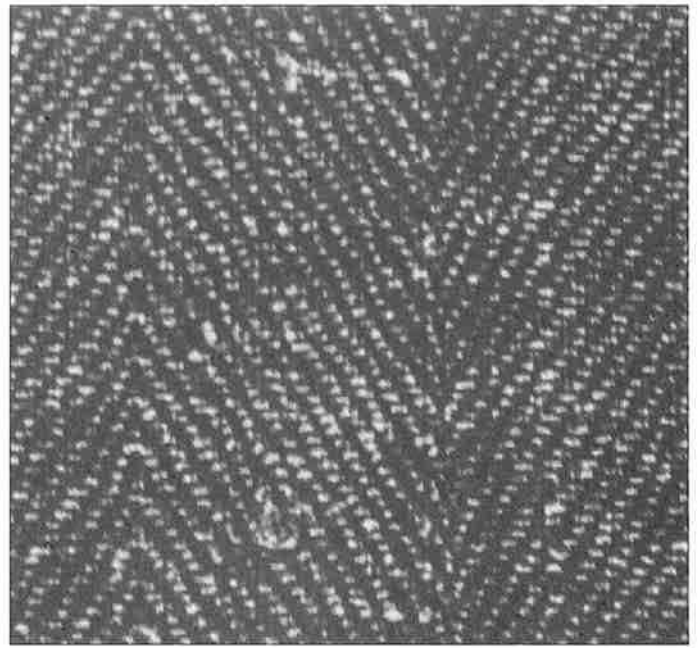


Fig : 10. Vue grossie d'un négatif. Les chevrons sont noirs. Seule apparaît ici la trame sous forme de bâtonnets gris horizontaux. 80% de l'information portée par la chaîne ont disparu

Cependant, étant en creux, la trame peut avoir conservé davantage d'image que la chaîne lisse et proéminente, mais aussi de sang imbibant les mailles, et même d'encres, surtout si celles-ci ont été déposées sur la face à dominante trame. Il se pourrait qu'il faille voir là l'origine du succès des recherches de l'Institut d'Optique¹². L'ensemble de ces « témoins » des aventures¹³ du tissu confère à l'image un caractère « dur »¹⁴ duquel il sera difficile d'éliminer le seul « bruit » gênant.

Les observations ci-dessus, faites principalement par le STURP américain et l'Institut d'optique d'Orsay français, nous permettent maintenant de comprendre la démarche du photographe : le défaut de mise au point produit une convolution spatiale des tâches diverses que nous avons évoquées, lesquelles nouvellement « somméées » et organisées fournissent des contours tout à fait nouveaux et peu visibles précédemment. Par une augmentation du défaut de mise au point sur le drap, le photographe provoque une augmentation de la précision des contours de l'image.

L'analyse de l'encodage de l'image, tel qu'il est perçu aujourd'hui, nous amène donc à proposer une démarche à trois niveaux visant à produire une image « purifiée », pouvant se prêter à une reconstitution tridimensionnelle. L'idéal, pour une première démarche serait de partir d'une image numérique fine dont le « pixel » serait de 100 µm², prise avec une source garantissant la meilleure réflectance de l'image (pour les roussissures élémentaires). L'image obtenue pour le visage ferait environ 0,8 Go et donc pourrait être traitée aisément sur PC, en 3 étapes :

- Première étape :

Les roussissures étant alignées sur les crêtes des fibres, éliminer les bruits qui ne leur sont pas corrélés¹⁵,

ainsi que les tâches faisant plus de 10, 20, 30, etc... pixels. Choisir l'optimum.

Homogénéiser les fils de trame, verticalement puis horizontalement.

Si le motif chevron reste toujours apparent, appliquer, préalablement à son filtrage, la technique « d'étalement de l'information » mise au point à l'IOTA.

- Deuxième étape :

Filtrage des chevrons résiduels par la transformée de Fourier¹⁶. Lorsque celle-ci montre une structure périodique suffisamment régulière, elle permet, en la retranchant de l'image totale, d'en assurer l'effacement quasi complet.

- Troisième étape :

Il restera à vaincre encore l'hétérogénéité à grande échelle de l'étoffe. Nous avons évoqué l'hétérogénéité des fils, mais, à notre avis, il y en a une encore plus grande, c'est celle des lais verticaux que nous avons évoqués au début. En effet, il est aisé de remarquer, un peu partout, ces lais centimétriques, verticaux, larges d'un demi-motif de chevron, qui structurent fortement l'image. Or ces lais, homogènes selon la chaîne, et très hétérogènes dans le sens de la trame, nuisent fortement à la qualité de l'image et à la restitution de son relief (fig. 11). Pour épurer cette dernière, il faudrait « homogénéiser » ces lais. Une technique simple consisterait en



Fig : 11. Homogénéité verticale des lais

un premier temps à analyser les écarts entre chaque lai-centimétrique, puis à en faire une moyenne qui serait ensuite appliquée à tous. Ainsi, chaque lai ayant un contenu « chevron » identique, la toile deviendra un support d'image homogène.

Le résultat de la première démarche n'étant pas garanti, il conviendrait d'effectuer, en parallèle, une deuxième démarche à partir d'une image analogique de grande définition, susceptible de contenir, bien sûr, la trame élémentaire de l'image (c'est-à-dire les roussissures). Il conviendrait alors d'en faire une analyse fine, comme celle faite par Pellicori¹⁷, des tâches de roussissure sur les fibres. En particulier déterminer leurs contrastes, surfaces et densités spatiales, afin de régler le pas du micro-densitomètre, décider s'il y a lieu de « binariser » la lecture, et éviter, de toutes façons, d'avoir à manipuler des images de trop grande taille. On pourrait alors effectuer les 3 étapes en sens contraire :

- Première étape :

Ici, nous commencerions par « homogénéiser » la toile pour que le contenu chevrons soit le même dans tous les lais. Pour cela, après le scanning vertical de chaque lai-centimétrique, on procèdera à l'analyse des écarts entre lais, et à l'application de la moyenne trouvée à tous. Ainsi, chaque lai devrait avoir maintenant un contenu chevron identique, ce qui conférerait au tissu chevron une homogénéité intrinsèque.

- Deuxième étape :

On effectue ici la transformée de Fourier de l'image. Dans le domaine spectral, les chevrons seront alors transformés en points, qu'il suffira d'éliminer.

- Troisième étape :

La toile étant débarrassée de son hétérogénéité macroscopique, on cherchera alors à filtrer les effets « mailles » puis les effets « fibres » qui sont les deux motifs restants, parasitant les roussissures élémentaires formant l'image.

L'image ayant été débarrassée des parasites liés à son support devrait théoriquement offrir plus de netteté et de détails :

- au plan de la netteté, elle pourra être « photographiée » informatiquement, contournée (programmes « sharpen »), inversée (négatif), mise en relief, etc..., avec certainement un meilleur rendu que la célèbre image en relief du STURP (voir planche couleur fig. 12).

- les nouveaux « pixels » de l'image sont, bien sûr, devenus moins nombreux que sur l'image initiale car bon nombre, superposés aux bruits, auront été éliminés. Toutefois, ceux restants, que nous espérons nombreux vu la blancheur apparente de l'image, étant très petits, permettront d'observer des détails très fins qui n'avaient pu être précisés auparavant, comme par

exemple les lettres des pièces de monnaie, du fameux « TIBEPIOY CAICAPOC », avec sa faute d'orthographe, qui ne sont pas des lettres écrites sur le Linceul, comme celles que tente de déchiffrer l'IOTA, mais « photographiées » par le mécanisme de formation de l'image.

L'autre intérêt de cette analyse de l'encodage de l'image sera de poser les bases scientifiques pour l'établissement d'un processus de formation de l'image. Ce sujet sera exposé dans une autre communication. ■

Références

- J. Heller: *Enquête sur le Saint Suaire de Turin*, chez Sand (1985)
- A. Marion et A-L Courage : *Nouvelles découvertes sur le Suaire de Turin*, chez Albin Michel (1997)

Notes

- 1) exactement , en coudées juives du 1er siècle : 8 x 2.
- 2) traces, sur le drap plié, de l'incendie de Chambéry en 1532, durant les troubles de la réforme ; 465 ans avant celui de Turin, heureusement anodin pour le Linceul, mais survenant aussi en pleine période d'hostilité envers la personne du Christ.
- 3) Le jeu de lumière sur les reliefs et interstices de cette trame la fait apparaître sous forme de « grains de chapelet » marrons responsables ici de la vision en chevrons. En effet, selon G. Vial, c'est un tissu à « endroit dessous » pour lequel la face que nous voyons est à dominante « chaîne » lisse et claire (80% de la surface). Rappelons que le chevron a toujours été caractéristique du vêtement masculin.
- 4) Nous appellerons « image » la reproduction d'apparence optique d'un corps humain sur le Linceul. Nous la différencions des « empreintes » qui sont des tâches laissées sur le tissu par les blessures du Corps visiblement flagellé et crucifié.
- 5) Pour S. Pellicori, l'augmentation du contraste de l'image observée en s'éloignant est dû à la diminution du cône visuel, et donc de la lumière rétrodiffusée perçue, l'œil devenant ainsi plus sensible à la réflectance pure de l'image.
- 6) Probabilité pour quelqu'un d'avoir l'idée de faire un négatif avant l'invention de la photo x Probabilité de pouvoir la réaliser sans moyen de contrôle visuel x Probabilité pour un artiste de réaliser une oeuvre informe et laide pour qu'elle n'apparaisse réaliste et belle que 6 siècles plus tard, etc... De fait aucun de ces cas ne s'est présenté !
- 7) Selon Gabriel Vial, expert au CIETA, la torsion en Z du fil que l'on voit est inhabituelle, car le lin a une torsion naturelle au séchage en S. Cette torsion se retrouve après filage, sauf cas particuliers de filage à 2 fuseaux. Selon R. Pfister, Y. Yadin, et G. Crowford, de tels fils ont été notés à Palmyre et dans le désert de Judée.

8) Alors que pour un film photographique classique ce sont les grains eux-mêmes de bromure d'argent, dont la taille est micrométrique et dont le contraste varie de 0 à 100% en fonction de la quantité de lumière reçue, qui jouent ce rôle.

9) Le deuxième facteur de stabilité de l'image est la constitution chimique du « pixel » élémentaire. C'est une oxydation-acide de la cellulose comme celle produite par un rayonnement thermique ou simplement par le vieillissement. Elle assure le contraste, le plus stable qui soit de l'image, particulièrement à l'épreuve du feu, comme l'incendie de Chambéry en 1532.

Rappelons que malgré les mauvais traitements (par l'eau et le feu, les manipulations lors des ostensions, les onctions et encensements liturgiques vraisemblables, et même le traitement de l'huile bouillante signalé par le chevalier Lanley), le drap a conservé la souplesse et la solidité d'une étoffe jeune, qualités qui avaient émerveillé l'équipe du STURP qui a eu l'insigne privilège de l'avoir à disposition pendant 120 heures.

10) Rappelons que ces fibres, souvent apellées « fibrilles » à cause de leur petitesse, mesurent 10 à 20 µm de diamètre, et qu'elles semblent être torsadées en deux écheveaux d'une cinquantaine de fibres chacun pour constituer un fil élémentaire. Par ailleurs, on voit que ces fils varient beaucoup en diamètre (150 à 600 µm).

11) Ce sergé 3 lie 1 possède une face à dominante chaîne : c'est « l'endroit dessous ». C'est celle qui assure la plus grande « planéité » de l'image.

12) *Nouvelles découvertes sur le Suaire de Turin* par André Marion et Anne-Laure Courage, Albin Michel, 1997.

13) poussières des voyages, gras des mains, des respirations et des sueurs, cendres et fumées des cierges et des encensements, huiles, incendies, et autres avatars non contés par l'histoire. Un investigateur de la police scientifique pourrait-il en décrire les étapes !

14) au sens photographique.

15) se souvenir ici de la torsion en Z des fibres.

16) T.F. bidimensionnelle qui repère les structures périodiques régulières du plan.

17) c'est-à-dire examiner les fibres au « macroscopie », voire même au microscope, ce qui impliquerait un accès direct à la Relique.

Commentaire
d'Alan Adler

Je confirme que les chevrons apparaissent surtout en lumière rasante, par un jeu d'ombres et de lumières. Sous le microscope, on ne les remarque plus. Tous les fils sont également colorés et font l'image. Ce sont les photographes qui, par l'éclairage, font ressortir l'aspect chevronné du drap.

Question

Il semble que l'on pourrait par des méthodes optiques, éliminer dans le plan de Fourier les fréquences spatiales correspondant aux chevrons ou aux lais.

Réponse de Marcel Alonso

Des filtres optiques ont été utilisés, sans succès, par l'IOTA. Mais peut-être proposez-vous des méthodes optiques plus puis-

santes que la méthode numérique utilisée par l'IOTA pour filtrer le bruit créé par les chevrons. La question est posée à l'Institut d'Optique qui va présenter la communication suivante. Reste qu'il est essentiel de disposer de photos réalisées en éclairage normal du tissu pour minimiser l'effet « chevron ».

Considerations on the image digital encoding and proposals for relevant research

The macroscopic properties of the crucified man's image discovered by photographers and the microscopic properties discovered by scientists enable us to imagine a mode of encoding which would explain, amongst other things, the image's remarkable stability when subjected to fire and water, and other less known aggressions over 20 centuries.

Furthermore, by reading this encoding and by processing it, computer technology should mean that the cloth's numerous irregularities are no longer a hindrance, and it should be possible to generate an even more beautiful image, a more faithful representation of its Object than that obtained by the photographic procedures used to date.

A proposal will be made to consider the properties of the frontal and dorsal images, as well as to attempt to characterise the source. This will be followed by proposals for relevant research.