

La Métrologie du Tissu de Turin

Stéphane MOTTIN

Membre du Gerrat (Groupe d'Études et de Recherche Rhône-Alpes du Linceul de Turin)

Inauguré en 1898 par N. Noguier de Malijay et Secondo Pia, la problématique relative à la mesure sur le tissu « Linceul de Turin », reste encore d'actualité. La physico-chimie du tissu est un axe de recherche qui connaît une croissance renouvelée du fait de la controverse de la datation par la mesure des teneurs des isotopes de carbone². La controverse de sa datation par cette méthode^{1,2} souligne la nécessité d'une réflexion sur l'opération de mesure sur ce tissu et sur des tissus de lin ancien « comparables ». Ceci est particulièrement vrai pour les mesures optiques par des techniques photographiques classiques ou par fluorescence et donc pour les traitements d'image associées ; pour les mesures physico-chimiques des traces liées à l'anatomopathologie du corps qui y est imprimé ; pour les mesures physico-chimiques des fibres, et pour les procédés de conservation scientifique du tissu et de cette empreinte. Outre les « décalques de sang », l'empreinte d'un cadavre non lavé présente des caractéristiques plus ou moins quantifiées: loi des distances tissu-corps (encore appelé tridimensionnalité) dont une conséquence est l'effet de « négatif », isotropie, superficialité, chromaticité, pas de distorsion par effet de presse, précision des contours, « pointillisme », contraste augmenté des images par fluorescence...

Malgré les nombreuses tentatives de reproduction de cette empreinte, aucune n'a pu reproduire l'ensemble des caractéristiques connues. Ces traces de contraste correspondent aussi bien à une surface cutanée meurtrie ou non, à des cheveux, à des poils de barbe, à des lèvres. Les études de 1978 du STURP ont abouti à ce que l'image serait essentiellement formée par une oxydation/déshydratation superficielle des fibres pour les deux faces³. Une des conséquences de cette oxydation est une relative décoloration par rapport aux autres fibres situées loin du corps. L'empreinte est intimement dépendante de la matière du tissu. L'appréciation de la matière du tissu de Turin est quasiment sans controverse : il est composé essentiellement de lin, les traces de coton décelées par le Pr. Raes en 1973⁴ n'ayant pas été confirmées lors des prélèvements de 1988⁵ (communication personnelle de G. Vial). Malgré la faible présence d'autres traces de fibres anciennes ou modernes⁶, cette homogénéité de la matière première du tissu de Turin est une chance pour la sindonologie expérimentale.

La métrologie sur un tissu de lin ancien

Bien qu'il y ait homogénéité de l'origine de la matière première du tissu de Turin, on est confronté à la variabilité de ce type de matériau d'origine biologique, aux différents procédés de traitements et aux effets du temps.

BREF APERÇU DES TECHNIQUES LINIÈRES

La plante comporte une tige unique d'environ 1 mètre de hauteur avec 80-100 feuilles sessiles. Avant la mécanisation, les tiges étaient arrachées en les tirant par la racine manuellement juste après floraison. Après la récolte,

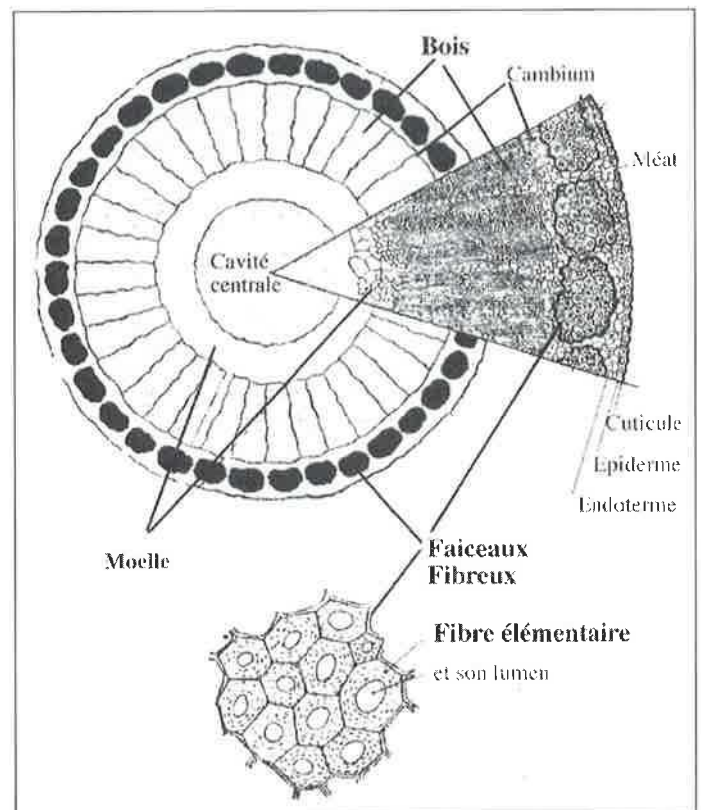


Fig. 1 : Coupe d'une tige de lin

les tiges sont classées selon leur dimension puis passées par un peigne pour les effeuiller et les égrener. Mises en botte elles sont mises à sécher au soleil. Puis survient l'opération de rouissage, c'est-à-dire de passer des tiges de 1-3mm de diamètre aux fibres par décomposition des ciments. Cette opération était réalisée dans de l'eau stagnante pendant une dizaine de jours. Moins de 50% des ciments doivent disparaître sinon les fibres sont altérées. Chaque tige donne de 30 à 40 faisceaux fibreux. Chaque faisceau comporte 10 à 40 fibres élémentaires, ces nombres étant très variables.

Les autres opérations, par ordre, le teillage, la filature, le tissage, sont des opérations mécaniques ne modifiant pas la matière première en elle-même sauf la filature au mouillé (eau, salive ou solution chimique). La finition comporte essentiellement le blanchiment et le dépôt d'un apprêt. Avant les techniques modernes du début du XIX^{ème}, le blanchiment était achevé par des procédés artisanaux comme des expositions au soleil et à la rosée ou des lessivages dans des solutions de cendre de bois ou dans des solutions particulières comme du petit lait. L'effet de blanchiment du soleil et de la rosée est connu depuis longtemps, mais non clairement analysé scientifiquement. L'apprêt final d'embellissement du tissu est effectué en l'amidonnant.

Ce bref aperçu des techniques linières montre que les opérations de rouissage, de blanchiment et de finition donnent un caractère aléatoire de plus pour ce type de matière première d'origine végétale.

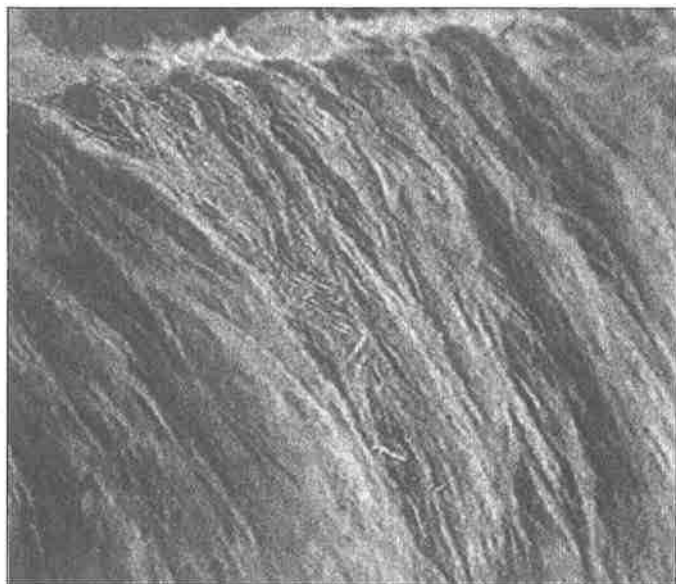


Fig. 2 : Photographie montrant des tiges de lin « broyées » au début des premières opérations de teillage

Tissothèque

Pour estimer les variabilités des caractéristiques des fibres de lin utilisées pour le tissage, une tissothèque de référence s'avère nécessaire. Les décisions sur une population de tissu ou sur un seul tissu reposent sur l'analyse statistique de la significativité des mesures entre différents

échantillons. Pour savoir si un tissu a subi un traitement inhabituel il faut définir certains critères qui permettent de décider que ce tissu sort du panel «normal».

La métrologie sur du matériel issu d'organisme vivant nécessite souvent une population témoin. Ainsi on commence par obtenir une population homogène comme les souris ou les rats en biologie animale. Pour obtenir cette population idéale de tissu de lin « ancien » il serait nécessaire de contrôler la fabrication d'un standard (même plante, même procédés, méthodes standardisées de vieillissement). Pour cette démarche, il n'a pas été possible de trouver en France, deuxième producteur mondial de lin, de matière première dont le rouissage soit suivant le mode traditionnel. Seul le rouissage à terre est pratiqué, modifiant non seulement la chromaticité mais aussi de nombreux caractères physico-chimiques (présence de lignine). Il faut donc s'orienter vers une production non industrielle donc moins standardisée.

Pour l'élaboration d'une tissothèque de lin ancien, le premier critère choisi est de ne sélectionner que des matériaux ne présentant que du lin sans présence de laine ni d'autres fibres. Cependant la difficulté à laquelle on est acculé est de taille : souvent seules les étoffes présentant des décorations intéressantes, le plus souvent en laine, ont été conservées dans les collections, du fait que des étoffes unies ne présentent aucun intérêt artistique. Malgré ces difficultés, une banque de tissu de 8 fragments a permis de commencer les mesures.

Quelles mesures?

ASPECT ATOMIQUE : FLUORESCENCE X

Des quantités de Calcium ($200 \pm 50 \mu\text{g}/\text{cm}^2$), de Strontium ($2.5 \pm 1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) ont été mesurées sur le tissu de Turin³. Ces teneurs ont été interprétées comme issues d'échange ionique lors du rouissage à eau. Il est clairement établi que le rouissage introduit des processus d'échange ionique. Outre la cellulose, les fibres de lin contiennent des polymères chargés négativement comme les pectines ou des protéines qui sont neutralisées par des cations. En général l'ion majoritaire est le calcium. Les teneurs en fer mesurées par cette technique sont indépendantes de l'empreinte.

Les mesures par spectrométrie de masse entre les fibres avec ou sans empreinte n'ont donné aucune différence significative³.

TENEUR ISOTOPES DE CARBONE

La démarche de réaliser des déterminations quantitatives sur la matière première du tissu de Turin et de les confronter à celles réalisées sur une collection de tissu «comparables» est un des points importants de l'article publié par Damon et coll.¹. Leur tissothèque, limitée à trois échantillons a permis néanmoins de

montrer que la reproductibilité de la mesure de ces teneurs était bonne sur ce genre de matériaux. Bien que peu adapté aux petits échantillons et lorsque les observations ne proviennent pas d'une loi multinomiale, le test du Chi² est le seul test qui ait été utilisé comme test d'homogénéité. Avec ce critère, l'hétérogénéité inter-laboratoire est significativement établie pour les échantillons prélevés sur le tissu de Turin¹. Cette observation, réalisée sur un échantillonnage critiquable, nécessite des mesures complémentaires sur d'autres endroits du tissu non pour dater directement mais pour vérifier si cette teneur dépend de la distance avec les points de contact avec le corps. Dans le cas d'une corrélation démontrée, la controverse de la datation serait définitivement close et cette découverte serait décisive pour la détermination des phénomènes générateurs de l'empreinte.

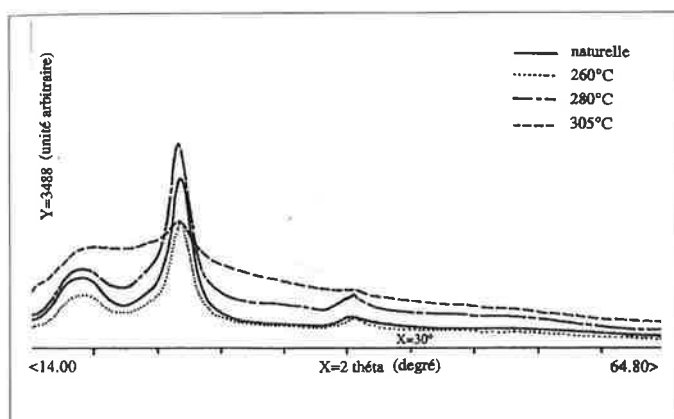


Fig. 3 : Diffraction X de la cellulose pure en fonction de la température [Avat F., 1993 ; thèse Ecoles des Mines de Saint-Etienne]. Ces expériences montrent clairement un changement physique de la cellulose à partir de 300°C

ASPECT MACROMOLÉCULAIRE

La résistance chimique et physique du lin et son caractère très froissable viennent de la structure hautement cristalline de la cellulose des fibres élémentaires du lin. Les fibres élémentaires sont composées à 98 % de cellulose. Mais la présence de ciment non fibreux avec ces fibres élémentaires donne une composition chimique des fils assez complexe.

A ma connaissance, le caractère cristallin des fibres du tissu de Turin n'a fait l'objet d'aucune étude.

La méthode de diffraction X (10-40 keV) est une méthode classique de mesure non destructive qui donne accès à des paramètres moléculaires d'état cristallin.

Deux types de mesure peuvent être réalisés :

- mesure de l'intensité diffractée en fonction de l'angle d'incidence pour un endroit donné,
- mesure de l'intensité diffractée à un angle d'incidence en fonction de la longueur.

La surface peut être sondée sur quelques couches mo-

léculaires ou sur une colonne de 0.1mm donc bien adaptée à l'étude de la superficialité de l'empreinte.

Bien que cette méthode ne soit pas classiquement utilisée pour des tissus, les essais préliminaires sur des échantillons de la tissothèque de lin semblent concluants.

Tissu n°	Taille (cm*cm)	armure	origine	observations
1	7*19	toile	copte (av. VIII)	trous
2	2*18	toile	copte (IV-VIII)	
3	4.5*7	toile	copte (VIII)	bande rouge
4	2*5	toile	Egypte pharaonique	qq fibres teintées en vert fil très fin
5	1.5*3	toile	châle Reine Clothilde veuve de Clovis II († 680-681)	très très blanc et de qualité surprenante
6a	2*2.5	toile	linceul Merit (-XVI) Egypte	fragile
6b	0.5*4	toile	linceul Kha (-XVI) Egypte	fragile
8	200*300	toile	drap Granjon (XIX) Forez, France	auréoles de rouille : rapiécé

Tab. 1, Embryon d'une tissothèque scientifique de tissus de pur lin anciens

ASPECT FIBRE ÉLÉMENTAIRE ET TISSU MORPHOLOGIE

Classiquement, les fibres élémentaires de lin présentent⁷

-des longueurs de 2 à 90 mm avec une dispersion non symétrique de type logarithmonormal. La plus forte fréquence est d'environ 12 mm. La proportion des fibres élémentaires de moins de 12 mm est de l'ordre de 20%.

-un diamètre de 8 à 25 micromètres avec une moyenne de 18 micromètres.

Les fibres élémentaires du tissu de Turin présentent un aspect comparable aux autres fibres élémentaires.

Une différence entre les fibres des zones avec et sans empreinte est bien établie au microscope à contraste de phase³ : les fibres où l'empreinte existe présentent une érosion de surface donnant un aspect glacé. La mesure par diffraction X de zone présentant une empreinte devrait aussi apporter des renseignements sur ce point.

La variabilité des mesures ponctuelles^{3, 8, 5, 4} des diamètres des fils de trame et de chaîne du tissu de Turin est importante. Les fils de trame semblent plus gros que les fils de chaîne. Cet aléatoire des diamètres de fibre doit être considéré en particulier par rapport à l'empreinte du fait de la superficialité et de l'effet des distances Tissu-corps. Le titre des fibres n'a fait l'objet que de mesure ponctuelle et semble aussi très variable. Pour les fils de chaîne les mesures vont de 160 dtex (16g/km de fil) à

500 dtex. Les fils de trame présentent significativement un titre plus élevé de 500 à 730 dtex.

Le tissu étant un sergé 3 lie 1, cela entraîne le fait que les deux faces du tissu ne sont pas symétriques: il y a une face à dominante chaîne et une face à dominante trame. L'empreinte est présente sur la face chaîne. Les phénomènes générateurs de l'empreinte ont touché trois fois plus les fils de chaîne que les fils de trame.

Certains fils que j'appelle de type N n'ont pas subi les mêmes effets générateurs de l'empreinte en particulier celle qui passe sur l'oeil gauche, la moustache et la barbe et qui apparaît blanche sur les négatifs. Une telle différence avec les fibres voisines est une question toujours ouverte. Quels sont les éléments spécifiques qui introduisent une telle différence? La microphotographie de ce fil alliée à des prélèvements devrait apporter des réponses concluantes sur la formation de l'empreinte.

MESURE OPTIQUE DU TISSU

Les mesures de réflectance présentent des décalages de plus de 50% pour diverses zones de l'empreinte. La forme du spectre de réflectance des zones de l'empreinte est assez comparable à celle des zones brûlées en 1532. Les mesures spectroscopiques et d'imagerie de fluorescence montrent que les zones où l'empreinte existe, ne

présentent pas de fluorescence mesurable. L'émission de fluorescence dans le visible sous excitation UV est atténuée sans explication satisfaisante.

Conclusion

L'empreinte est la résultante d'interactions entre un corps et le tissu. De manière exhaustive les observations réalisées sur le tissu de Turin ne laissent plus que trois modalités pour la génération de l'empreinte :

(1) effets physico-chimiques directs ou catalytiques de substances issues de processus cadavériques ;

(2) effets de rayonnements directifs dont la nature reste à préciser ;

(3) effets encore inconnus actuellement dont on peut néanmoins rechercher certaines conséquences mesurables.

Depuis les publications des années quatre-vingt des expériences de 1978, il est considéré que l'empreinte résulte d'une modification chimique du lin. L'empreinte peut être aussi une conséquence d'une modification essentiellement physique des fibres de lin. Les études par diffraction X et l'analyse des fils de type N préciseront la nature de ces modifications. ■

Remerciements à G. Vial et à R. Fillit.

Bibliographie

- 1) Damon, P. E.; Donahue, D. J.; Gore, B. H.; Hatheway, A. L.; Jull, A. J. T.; Linick, T. W.; Sercel, P. J.; Toolin, L. J.; Bronk, C. R.; Hall, E. T.; Hedges, R. E. M.; Housley, R.; Law, I. A.; Perry, C.; Bonani, G.; Trumbore, S.; Woelfli, W.; Ambers, J. C.; Bowman, S. G. E.; Leese, M. N. et Tite, M. S.; Radiocarbon dating of the shroud of Turin; *Nature*; 1989, 337, 611-615.
- 2) L'identification scientifique de l'homme du Linceul Jésus de Nazareth; Paris; François-Xavier Guilbert; 1995, *Actes du Symposium de Rome 1993* - CIELT.

- 3) Schwalbe, L. A. et Rogers, R. N.; Physics and chemistry of the shroud of Turin; *Anal.Chim.Acta*, 1982, 135, 3-49.
- 4) Raes, G.; The textile study of 1973-1974; *Shroud spectrum international*; 1991, 38/39, 3-6.
- 5) Vial, G.; Le Linceul de Turin-Etude Technique; *Bulletin du CIETA*; 1989, 67, 11-24.
- 6) Heller, J. H.; *Enquête sur le Saint Suaire de Turin*; Sand; 1985.
- 7) Lourd, J.; *Le lin et l'industrie linière*, «Que-sais-je?»; Paris; PUF; 1964, N° 1108.
- 8) Riggi, G.; *Rapporto Sindone* (1978/1987); Milano; 3M Edizioni; 1988.

Problematic of metrology on the Shroud of Turin. UV fluorescence of ancient cloths

Inaugurated in 1898 by N. Noguier de Malijay and Secondo Pia, the measurement problem (PRM) of the cloth known as the « Turin Shroud » is still topical today. This is particularly true for: (1) the study of how the marks were generated, (2) image processing, (3) the anatomopathological analysis of the body imprinted, (4) the physico-chemical aspect of the cloth, (5) the examination of the fibre and textile structure, (6) physico-chemical dating of the cloth, (7) implementation of storage procedures.

The PRM of this textile, which lies within the field of numerous disciplines, places physicists face to face with social sciences, history and epistemology. The dating problem (PRD) is more complex than the PRM. The controversy which emerged following carbon 14 dating is a good demonstration of the need for scientific work of a pluri-disciplinarian character, which should be metrologically rigorous and statistically validated.

If a dead body is responsible for the imprint, the problems of his identification (PRIE), of his murderers' identification (PRIM) of his buriers' identification (PRIM) must be defined. We will only approach the PRD, PRIC, PRIM and PRIE once they have been linked to the PRM. The PRM of this cloth, which is the purpose of this communication, will be approached from a metrological angle.

In order to achieve a better insight into the past phenomena affecting the cloth as well as into its properties, the experiments carried out on various linen cloths will be presented and discussed.

In conclusion, all the experimental measurements conducted on this cloth, regardless of the discipline, must be carried out in accordance with the rules of metrology, the science of measurements, which to this day, brings out the heterogeneous, unusual and unique characters of this object.