



HAL
open science

La science participative sur les traces du foxing aux Archives nationales

Malalanirina Sylvia Rakotonirainy, Patricia Coste, Michel Thibault

► **To cite this version:**

Malalanirina Sylvia Rakotonirainy, Patricia Coste, Michel Thibault. La science participative sur les traces du foxing aux Archives nationales. *La Gazette des Archives*, 2019, Les Archives nationales, une refondation pour le XXI^e siècle, 2019-2 (254), pp.309-319. <10.3406/gazar.2019.5879>. <hal-03851225>

HAL Id: hal-03851225

<https://hal.science/hal-03851225v1>

Submitted on 14 Nov 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

La science participative sur les traces du *foxing* aux Archives nationales

Malalanirina Sylvia RAKOTONIRAINY

Patricia COSTE

Michel THIBAUT

Dans les fonds d'archives, les documents sont soumis à de multiples agressions (luminosité, humidité, insectes, moisissures), mais la présence de moisissures est l'un des problèmes les plus récurrents et constitue une menace importante. En effet, ces micro-organismes peuvent détériorer, dégrader, voire détruire tous les matériaux constitutifs des documents, qui, du fait de leur nature organique, sont des substrats idéaux pour leur croissance. Si on connaît les facteurs de développement des contaminants fongiques et que l'on peut empêcher leur apparition et leur prolifération par des mesures préventives, il n'en est pas de même pour un phénomène particulier que l'on nomme « *foxing* » ou « piquêre rousse ».

Description du phénomène

Le *foxing* est un phénomène fréquent dont le mécanisme de formation fait débat au sein de la communauté scientifique du patrimoine culturel.

Les facteurs favorables au développement du *foxing* ont été évalués. Certains auteurs soulignent le rôle potentiel des métaux présents à l'état de traces dans le papier (Fe, Cu) et suggèrent une origine chimique du phénomène. Cependant, l'importance de facteurs physico-chimiques (humidité, pH, température, lumière et présence de nutriments) tend à montrer une origine biologique. Deux types de *foxing* sont généralement décrits par les chercheurs.

▪ Type 1 : taches irrégulières, d'une couleur jaunâtre à rousse et qui migrent d'une page à une autre, suspectées d'être d'origine biologique, car l'observation microscopique de ces taches montre souvent la présence d'éléments fongiques. Pour simplifier, nous appellerons ce type : *foxing* biologique.

▪ Type 2 : taches de forme ronde et régulière, de couleur brun foncé, n'apparaissant qu'au recto d'un feuillet et ne migrant pas d'une page à une autre. Ce type de taches serait causé par la corrosion de particules métalliques.

Depuis quelques années, le pôle Biodétérioration et Environnement du centre de recherche sur la conservation (CRC) s'intéresse de près au *foxing* biologique pour comprendre le rôle des moisissures dans le phénomène.

Les taches du *foxing* biologique sont souvent fluorescentes lorsqu'elles sont excitées par un rayonnement UV (365 nm). Il peut également y avoir de la fluorescence dans les zones où l'altération n'est pas encore visible à la lumière naturelle, correspondant probablement à des taches en formation.

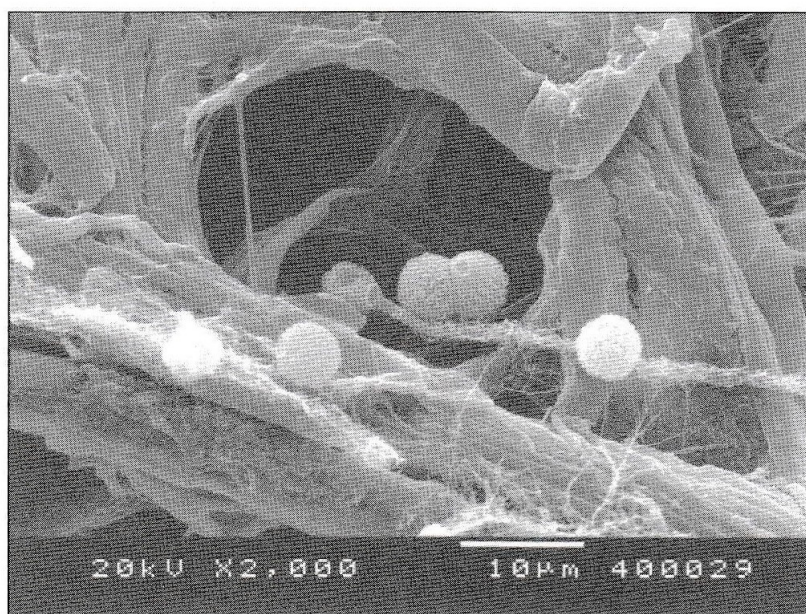


Taches de *foxing* observées sous lumière visible (à gauche) et sous illumination UV © CRC

Au microscope, on observe la présence de moisissures non seulement à l'intérieur des taches colorées, mais également dans les zones fluorescentes non colorées, ce qui signifie que les souches sont installées avant que la coloration ne soit visible à l'œil. Mais sont-elles responsables du *foxing* ou sont-elles juste des opportunistes qui profitent d'un environnement favorable à leur développement ? Pendant longtemps, les espèces n'étaient pas formellement identifiées. Cette méconnaissance est principalement due à la difficulté d'obtenir, en conditions de laboratoire et avec des protocoles standards, des croissances fongiques à partir de papiers « foxés ». Néanmoins, grâce à des techniques de biologie moléculaire, le CRC a pu identifier, par les analyses d'ADN, un certain nombre d'espèces, dont plusieurs peuvent cohabiter dans

une même tache¹. Il n'y a pas une espèce en particulier qui soit commune à toutes les taches. Elles sont diverses et variées. Ces espèces ne sont pas inconnues et sont les mêmes que celles que l'on retrouve dans l'environnement. Plusieurs d'entre elles, cependant, attirent l'attention des chercheurs du CRC, du fait de leur faible exigence en eau (souches xérophiles) et par leur capacité à produire des pigments jaunes à rouges dans certaines conditions. On peut supposer qu'elles puissent être potentiellement responsables du *foxing*. Avant d'émettre des hypothèses sur leur rôle, il est important de mieux les caractériser.

Par ailleurs, une analyse par ATPmétrie² a permis de constater la présence d'éléments viables à l'intérieur des taches³. On suppose donc que les espèces identifiées sont vivantes et de ce fait continuent de se nourrir des éléments dans le papier.



Éléments fongiques observés
au microscope électronique
dans une tache de *foxing*
© CRC

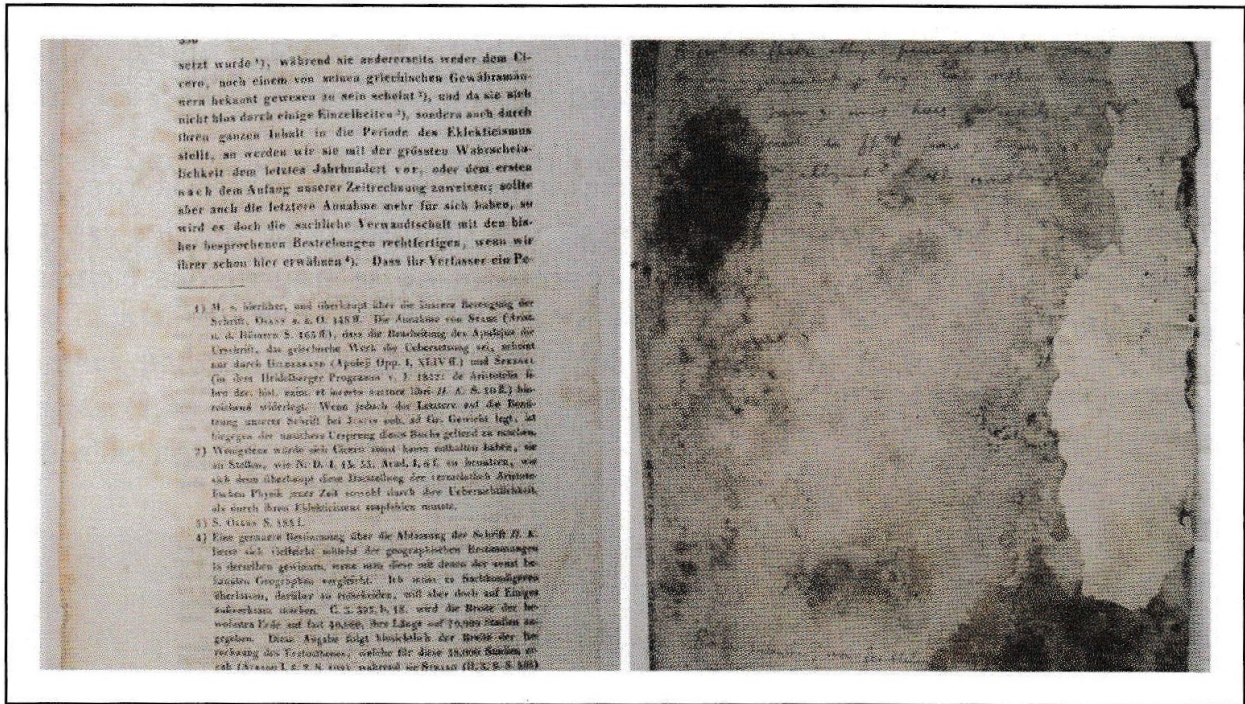
Pourquoi restent-elles alors cantonnées dans les taches et ne se développent-elles pas comme un contaminant fongique habituel ? On constate que les deux types de détériorations biologiques ne surviennent jamais ensemble sur un même document.

¹ RAKOTONIRAINY (Malalanirina), BOUDIH (Sarah) et DELAFORGE (Marcel), « Caractérisation des micro-organismes dans les taches de *foxing* des papiers : nouvelles approches analytiques », *Support/Tracé*, n° 11, 2011, p. 116-122.

² ATPmétrie : dosage de l'Adénosine Triphosphate (ATP) par une réaction de bioluminescence, l'ATP étant un indicateur de viabilité des cellules.

³ RAKOTONIRAINY (Malalanirina), « Évaluation de la viabilité des contaminants fongiques sur les documents par ATPmétrie », *Support/Tracé*, n° 16, 2016, p. 138-145.

Avant d'émettre des hypothèses sur le rôle de ces espèces dans le phénomène, il est important d'avoir plus d'informations sur les populations présentes (identité, physiologie, métabolisme) ainsi que sur les caractéristiques et l'état de dégradation des papiers, car il est évident que, outre les paramètres climatiques, la présence de ces moisissures est fortement liée au substrat.



Documents contaminés par les moisissures (à gauche) et détériorés par le foxing © CRC

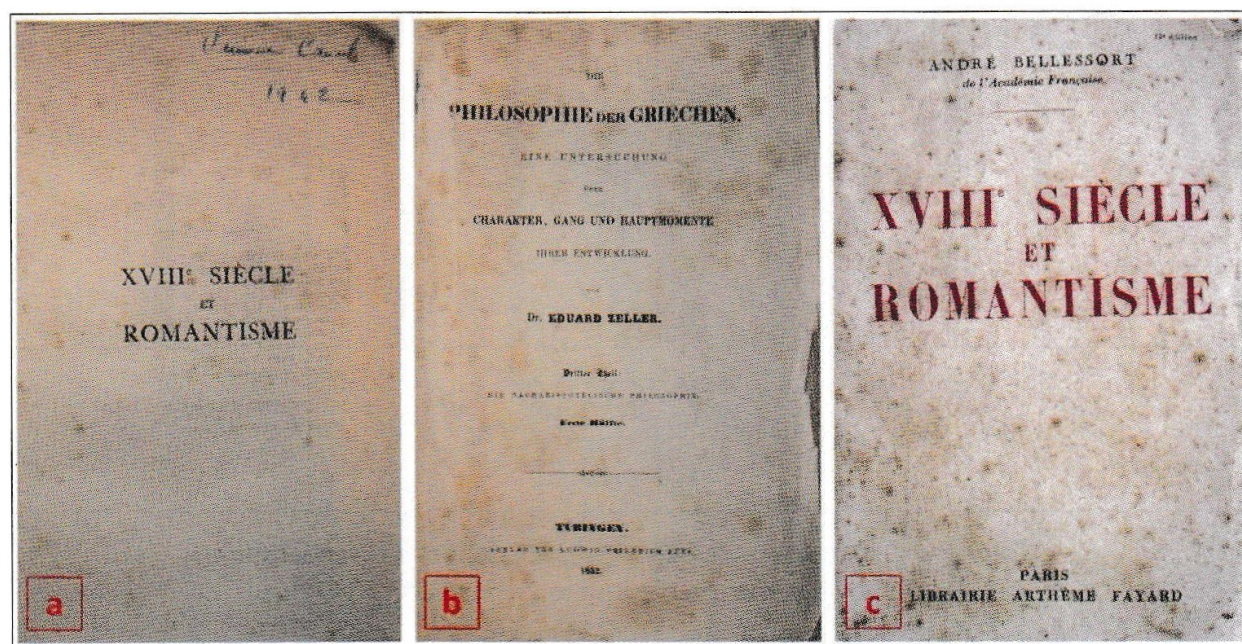
La prévalence du foxing

Le foxing pose un sérieux problème pour la conservation, car les taches sont inesthétiques et, à long terme, peuvent gêner la lisibilité du document et affaiblir la résistance du papier. Ces taches sont irréversibles et aucune méthode de restauration n'existe. Mais quelle est la prévalence de ce phénomène dans les fonds ?

Nous avons alors eu l'idée de faire de la science participative en sollicitant les lecteurs des Archives nationales pour réaliser une enquête sur le foxing. Ils ont été invités à répondre à un questionnaire, disponible pendant deux semaines en octobre 2018 dans les salles de lecture de Pierrefitte-sur-Seine et de Paris.

Il a été proposé aux lecteurs de relever un certain nombre d'informations sur une fiche, avec une série de questions simples dont les réponses sont « oui » ou « non » ou à cocher dans une liste de choix. Après avoir mentionné la cote et la date des documents, il est ainsi demandé de préciser les points suivants : la nature des documents – papier, parchemin ou photographie ; la forme – dossier/liasse, registre, cahier ou carte/plan ; l'état général des documents – bon, moyen ou mauvais.

Nous avons fait de telle sorte que l'exercice ne prenne qu'une ou deux minutes par article consulté. La fiche est illustrée par des exemples de *foxing* suivant son degré de gravité et aussi des images de contamination fongique, à ne pas confondre avec le *foxing*. Aucun diplôme ni connaissance scientifique ni biologique n'étaient nécessaires, les réponses découlaient d'une simple observation visuelle.



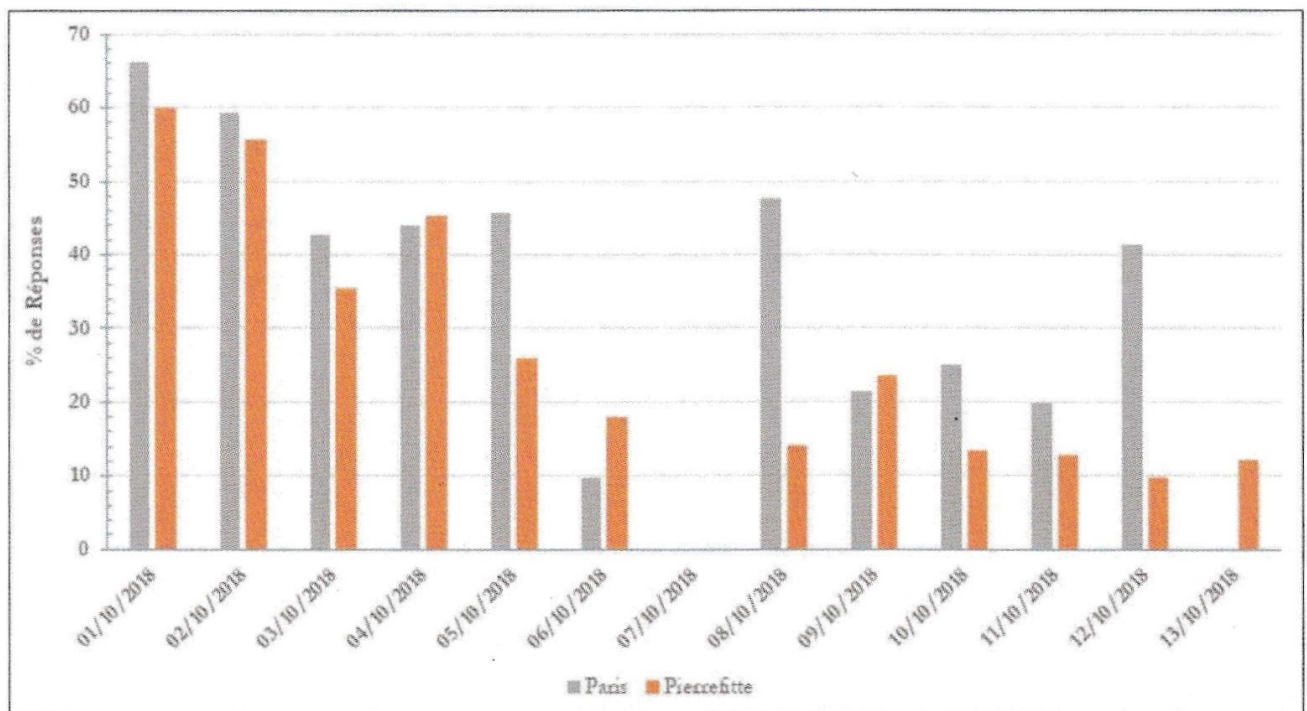
Les degrés de *foxing* : a) faible, b) moyen et c) fort © CRC

Au cours des deux semaines de l'enquête, 2 072 articles ont été communiqués dans la salle de lecture de Paris – où se trouvent conservées, rappelons-le, les archives publiques du Moyen Âge et de l'Ancien Régime et les archives des notaires parisiens – à 287 lecteurs différents au cours de 514 séances de travail, et 1 993 articles à Pierrefitte-sur-Seine – où se trouvent conservés les autres fonds – à 402 lecteurs différents au cours de 627 séances de travail.

Si le volume des communications a, au cours de ces deux semaines, été comparable sur les deux sites, la nature et les dates différentes des documents, ainsi que les habitudes des lecteurs – 40 % d'entre eux sont venus au moins

deux fois au cours de la période considérée à Paris alors qu'ils ne sont que 30 % dans ce cas à Pierrefitte ; chaque lecteur a consulté en moyenne sept articles à Paris et seulement cinq articles à Pierrefitte-sur-Seine – expliquent que le taux de réponse diffère d'un site à l'autre.

Sur les deux sites, le taux de réponses, élevé le premier jour (66 % à Paris et 60 % à Pierrefitte-sur-Seine), a diminué sensiblement au courant de la semaine jusqu'à atteindre un seuil assez bas au bout de six jours (10 % à Paris et 18 % à Pierrefitte-sur-Seine). Durant la deuxième semaine, s'il y avait plus de réponses à Paris, le niveau de réponse est resté bas à Pierrefitte-sur-Seine.



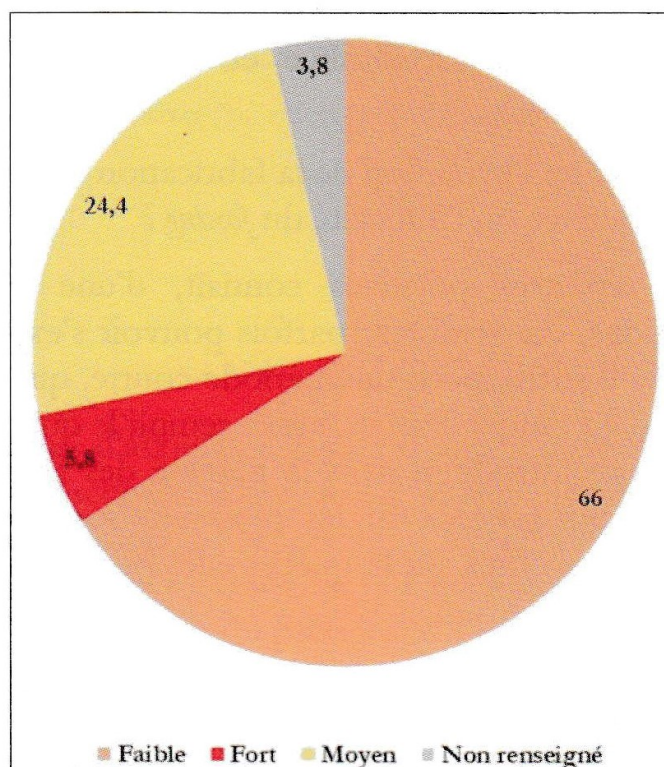
Réponses sur les deux sites des Archives nationales pendant les deux semaines d'enquête (%) © CRC

L'anonymat des réponses, nécessaire pour éviter tout questionnement sur l'utilisation de données nominatives, ne permet pas d'évaluer le nombre de répondants différents. Nous savons simplement, par le témoignage du personnel des salles de lecture, que certains lecteurs ont refusé par principe de répondre, que d'autres ont au contraire regretté de n'être pas sollicités plus fréquemment pour ce type d'enquête, que beaucoup enfin se sont lassés au bout de quelques jours.

Sur les deux semaines, on obtient ainsi en moyenne 37 % de réponses à Paris et 28 % à Pierrefitte-sur-Seine, soit respectivement 764 et 561 réponses. La majorité des réponses (89,5 %) concerne des liasses, une minorité, des registres.

1 155 réponses, soit 89,5 %, portent sur des documents dont la date est fournie ou aisément datables grâce à leur cote. Le nombre de réponses est égal ou supérieur à dix par décennies de façon ininterrompue de 1651 à 1980 ; il est égal ou supérieur à quarante par décennie pour la période de 1771 à 1830, et même supérieur à quatre-vingts pour les deux dernières décennies du XVIII^e siècle, et supérieur à trente par décennie de 1931 à 1970, avec un pic de quarante et une réponses pour les années 1940.

Le minutier central des notaires de Paris représente à lui seul, les deux sites confondus, un peu plus du tiers des réponses datées (400 exactement) et plus de la moitié des réponses pour la période antérieure à 1771. Le nombre de réponses – une quinzaine par décennie – se maintient en valeur absolue jusqu'en 1860 mais, du seul fait de l'augmentation du nombre de réponses portant sur d'autres fonds, cesse de représenter la majorité des réponses. Logiquement, compte tenu des délais de collecte des minutes de notaire, la réponse la plus récente porte sur une liasse de l'année 1924.



Degré du foxing et répartition (%) © CRC

Parmi ces documents observés, 31,5 % présentent des taches de foxing dans les fonds de Paris et 27,6 % dans ceux de Pierrefitte-sur-Seine. Il y a donc 30 % environ des articles dont l'un des feuillets au moins est foxé sur l'ensemble des deux sites. Ils sont pour la plupart en bon état général (67,7 %).

Nous avons établi trois degrés de *foxing* suivant la quantité de taches sur le papier : fort, moyen et faible. Les résultats montrent que 66 % des documents foxés le sont faiblement et très peu (5,8 %) présentent des taches importantes.

Les techniques de fabrication du papier, longtemps immuables, connaissent à la fin du XVIII^e siècle une évolution majeure : l'adoption de la pile hollandaise, en remplacement des piles à maillets, permet de supprimer l'étape du « pourrissage », responsable d'un jaunissement de la fibre, et, grâce à des cylindres roulants équipés de lames de métal, de défibrer et de raffiner la pâte en même temps. Cette innovation, qui divise le temps de fabrication par trois, donne une pâte plus fine et plus homogène mais aux qualités mécaniques amoindries.

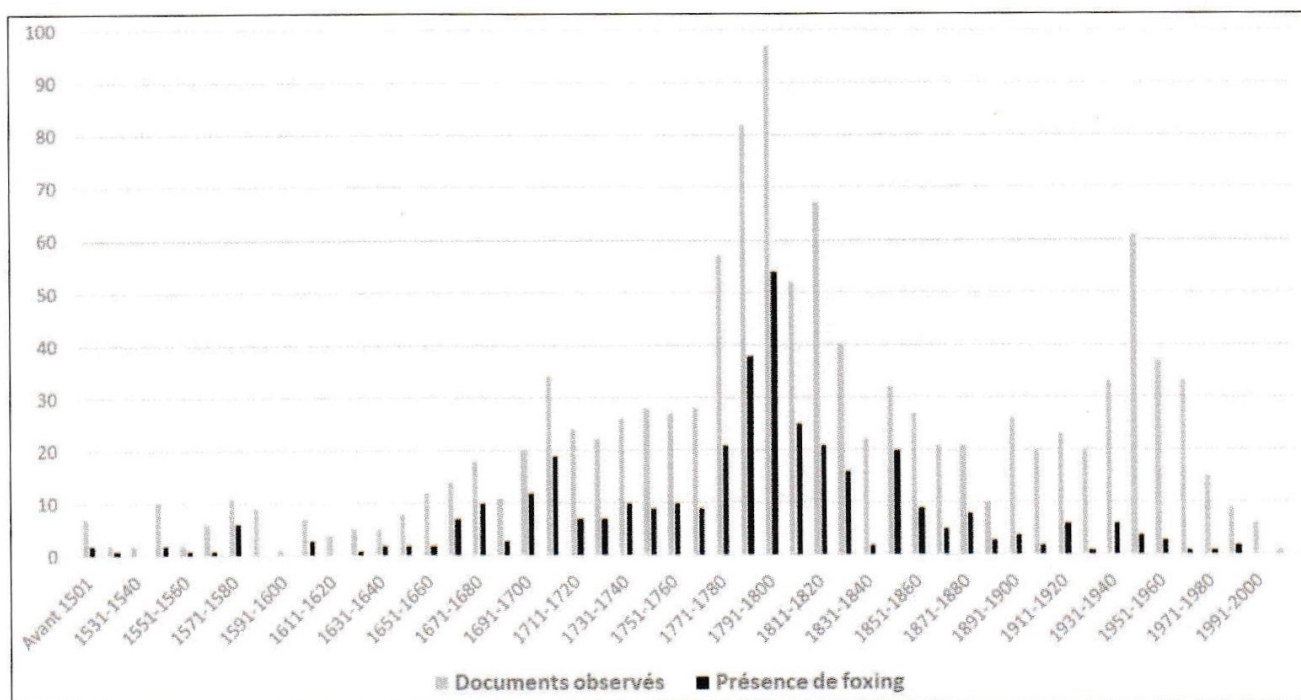
La fabrication du papier en continu, mise au point en 1798, puis l'utilisation au milieu du XIX^e siècle de pâte obtenue à partir de fibres de bois entraînent de nouveaux changements dans les caractéristiques du papier : la pâte dite « mécanique » présente un aspect jaunâtre et contient, outre les fibres de cellulose, de l'hémicellulose et de la lignine ; le recours à des procédés chimiques permet ensuite de les éliminer et d'incorporer dans la pâte des agents de blanchiment.

Peut-il y avoir un lien entre l'évolution de la fabrication du papier, ici rappelée à grands traits, et la fréquence ou l'intensité du *foxing* ?

La proportion de réponses positives connaît, d'une décennie à l'autre, d'importantes variations, qui semblent parfois pouvoir s'expliquer par l'inégale qualité des réponses : il suffit, pour une période courte, qu'une part élevée des réponses provienne d'un unique lecteur, ayant rempli le questionnaire avec plus ou moins de soin, pour introduire dans la fiabilité des résultats un biais qu'il convient de ne pas sous-estimer. Si les réponses sont anonymes, on n'en observe pas moins que les cotes sur lesquelles elles portent forment parfois des suites remarquables.

Une analyse des réponses par demi-siècle permet d'éviter cet écueil. On constate alors, sur deux siècles, de 1651 à 1850, une constance remarquable dans les résultats : le nombre de réponses positives est respectivement de 45,3 % (1651-1700), 38,8 % (1701-1750), 45,4 % (1751-1800) et 39,4 % (1801-1850). Avant 1651, le nombre de réponses positives est plus faible (27,6 % pour la période 1551-1650), mais le nombre réduit de réponses doit conduire à interpréter ces résultats avec prudence. Après 1850, la proportion de réponses positives baisse de façon significative, pour s'effondrer franchement après 1890.

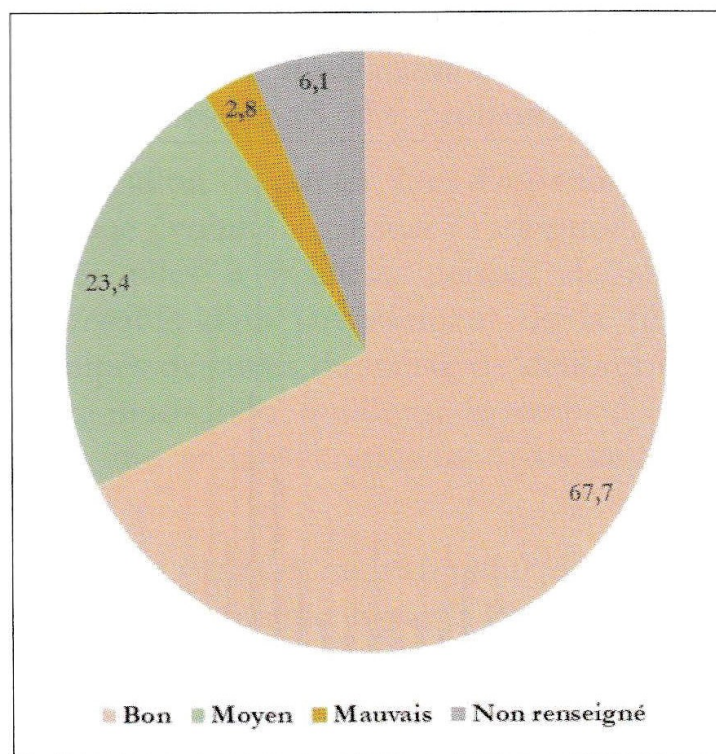
Fait remarquable, pour le minutier central, on ne relève aucune réponse positive après 1860.



Répartition du foxing (%) selon la date des documents © CRC

Conclusion

Cette enquête a permis d'avoir une rapide évaluation de la fréquence du foxing dans les fonds des Archives nationales. Un tiers des articles papier semble atteint par ce phénomène ; cependant, le degré de détérioration est relativement faible, ce qui est rassurant. Une grande partie des documents atteints date du XVIII^e siècle ou du premier XIX^e siècle, ce qui laisse penser que la composition du papier est un facteur important. L'état général des documents n'influence pas l'apparition du foxing, contrairement à ce qu'on observe avec les contaminations fongiques classiques où plus le papier est dégradé, plus la contamination se développe rapidement, car l'affaiblissement de la cellulose la rend plus hydrophile et facilite le fonctionnement métabolique du mycélium, qui doit y puiser les éléments nutritifs dont il a besoin.



État général des documents foxés et répartition (%) © CRC

Ces résultats nous incitent à continuer cette étude sur la caractérisation du *foxing* pour essayer de mieux comprendre la formation du phénomène. En effet, si les éléments fongiques vivants sont observés à l'intérieur des taches et uniquement à ces endroits, leur présence limitée aux taches est un mystère. Pourquoi les moisissures ne sortent-elles pas des taches pour produire des aspects visuels d'une contamination fongique tels que nous avons l'habitude de les voir : duveteux, filamenteux, poudreux, colorés ? Dans le *foxing*, la coloration migre de page en page, en s'affaiblissant de plus en plus quand on s'éloigne d'un point d'origine, et les observations au microscope au laboratoire montrent que les éléments fongiques migrent également et disparaissent au fur et à mesure.

Autant de documents ne pouvaient être observés aussi rapidement sans le concours de plusieurs personnes. La participation des lecteurs a été indispensable pour mener à bien cette enquête ; beaucoup ont joué le jeu et essayé de remplir soigneusement les fiches. Un contrôle en aval a été réalisé sur des documents pris au hasard pour déterminer la réalité des informations recueillies et il s'est avéré que si les lecteurs ont parfois confondu le papier avec le parchemin (une dizaine de cas), les appréciations sont relativement justes d'une manière générale. Malgré le faible nombre de fiches remplies par rapport à celui des documents communiqués et la baisse sensible de fiches au fur et à

mesure des jours, cette expérience participative fut positive. La mobilisation des agents des salles de lecture a été une étape cruciale car, sans leur motivation, il n'aurait pas été possible de distribuer les fiches aux lecteurs et de les inciter à participer. Ce genre d'expérience est une manière de les impliquer en tant qu'acteurs clés de la conservation du patrimoine.

Les sciences participatives connaissent un essor marqué depuis plusieurs années, en incluant dans les programmes de recherche des acteurs qui ne sont pas du monde académique. Par cette enquête, nous confirmons cet intérêt citoyen qui a permis la collecte de données importantes, qui vont être exploitées pour la suite des recherches menées au CRC.

Remerciements

Cette enquête n'aurait pu avoir lieu sans la participation active du personnel des deux salles de lecture de Paris et de Pierrefitte-sur-Seine et le soutien amical de Sylvie Nicolas et Caroline Piketty, responsables des départements de l'accueil des publics de l'un et l'autre sites, ainsi que de l'ensemble de leurs collaborateurs. Que tous soient ici remerciés.

Malalanirina Sylvia RAKOTONIRAINY
Microbiologiste
Centre de recherche sur la conservation (CRC)
malalanirina.rakotonirainy@mnhn.fr

Patricia COSTE
Responsable du service de conservation préventive
Archives nationales
patricia.coste@culture.gouv.fr

Michel THIBAUT
Responsable du département de la conservation
Archives nationales
michel.thibault@culture.gouv.fr