



Physics and arts / Physique et arts

Foreword



This thematic issue entitled “Physics and Arts” follows, almost 10 years later, an earlier volume of the *Comptes rendus Physique* on the theme of the relationship between “Physics and cultural heritage” [1]. This earlier issue emphasized the importance of particle accelerators and dating methods for the development of research in art history and archaeology, in particular for the understanding of the nature of the materials of which our cultural heritage is composed, and for the improvement of their conditions of preservation, in order to ensure their transmission to future generations. There is a strong scientific interest for this field, and it has continued to grow over the past decade. The aim of this new collection of articles is to demonstrate new advances in the field by focusing more on contributions applied to the arts and to artistic creation: the development of new characterization techniques, the study of the structure of materials, and the physics of color.

It is not the question here, therefore, of covering all the fields pertaining to the relationships between physics and the arts. It has often been noted that new understanding of natural phenomena of the universe – space, time and quanta – has influenced and at times revolutionized artistic creation in what is a complex relationship that cannot be considered either merely coincidental or a simple case of cause and effect. For example, the beginning of the twentieth century simultaneously saw the transformation of physics, which had become quantum-based and relativistic, and painting, with the Cubist movement, the aim of which shifted sharply away from the ambition of the imitation of nature, well defined since Greek antiquity, in order to attain new representations of the world, a world decomposed and reassembled according to several different viewpoints.

We propose here to give an outline, by means of a few concrete examples, of what physics contributes to our knowledge of the arts of the past, through its capacity to study natural phenomena, its concepts and approach, and in a dialogue and exchange between disciplines. Work in this field is thus increasingly directed towards cross-disciplinary research projects, co-constructed with researchers in the humanities and social sciences: the physicist is no longer only required because of his hyper-specialization in this or that technique, but he is called to participate in more comprehensive and integrated studies. These studies, which begin with the artworks in the condition in which they have reached us, that is to say as they have been altered with time, go as far as proposing digital restitutions of these works of art, which implies an understanding of the mechanisms of degradation involved, and the development of physical models allowing the restitution of the original appearance of the works.

Ancient works of art are complex materials that pose analytical challenges, and are, once studied, potential sources of inspiration for the development of new materials, in what could be called archeo-mimetism, or paleo-inspiration [2–5]: just as nature has been able, over the course of several billion years, to evolve and select biological systems that have been continuously optimized, artists and craftsmen have been able, over the past millennia, to invent or trigger an extraordinary variety of physical and chemical strategies in order to have at their disposal innovative materials with properties more or less in line with their requirements [6]. The microstructure of crystalline and amorphous materials, their mesoscopic organization, and their resistance to physical stresses and deformations are the fundamental properties of paint that a Master will employ in the physical making of a painting.

Physics helps to meet several challenges in these studies: first and foremost, in order to ensure the preservation of the works that constitute our heritage and to be able to apply its methods in such a context, the characterizations undertaken must be non-invasive. This is obvious in the instance of a site of the importance of the Chauvet Cave (Vallon Pont-d’Arc, Ardèche, France), in which a thousand paintings and engravings have been perfectly preserved, in some cases, for more than 35 000 years. In the Chauvet Cave, conservation issues limit the onsite presence, and also sometimes require that access to the paintings is at a distance. Such cases, which occur for example in the painted tombs in Egypt or when studying valuable works in museums such as a Maya codex or a painting by Nicolas Poussin, have led to the development of mobile instruments, transportable on site, and employing more or less the entire spectrum of electromagnetic radiation (X-rays,

visible light, infra-red, etc.), or other types of highly penetrating particles, such as muons that offer new opportunities for the prospection of large sites.

The science of heritage materials that results and reveals the arts of the past must therefore be able to explain the properties of heterogeneous materials, endowed with different chemical natures, varied grain sizes, and structural organization, that go from glass to crystal, not forgetting soft matter. Scientific approaches must therefore take into account the many significant and useful scales in order to understand artistic skill and craftsmanship: the markers for the techniques and the gestures employed during the creation of a work of art can indeed be revealed as much by the coming together of different materials as by their individual microstructures and structures. This approach is now facilitated by the existence of “probes” of different sizes that offer the possibility of a complete reading of a work: at the millimeter scale, as well as that of a micrometer or even nanometer. This latter scale requires the use of very large infrastructures, such as synchrotron radiation facilities, and, for the measurement to be carried out, the taking of samples – often very small, but significant for the work in question.

Whatever the scale, new problems will arise whenever we attempt to cross-reference all the acquired data, always more numerous, thanks in particular to the speed and improvement in detectors that collect an ever-increasing number of signals. There is clearly a pressing need for the implementation of statistical processing. These analyses make it possible to determine ever more precisely the nature of the materials and mixtures present in a decoration on porcelain, or the polychromy of a monument. Nevertheless, the understanding of the esthetic choices made by artists and the virtual restitution of works ‘as they were’, passe by a detailed understanding of the origin of color: if it has become possible in some instances to calculate the color of a pure substance from first principles [7], it is still very difficult to model the optical properties of materials – both intrinsic (propagation of light in the material) and extrinsic (diffusion by the different constituents) – without using empirical models. Many challenges, therefore, still remain.

In conclusion to this foreword, we would like to warmly thank the authors for their contributions to this issue of the *Comptes rendus Physique* (Academy of Sciences, Paris), and the editorial board as well as the reviewers for their assistance.

Avant-propos

Ce numéro thématique «Physique et arts» fait suite, presque dix ans plus tard, à un précédent volume des *Comptes rendus Physique* sur le thème des relations entre «Physique et patrimoine» [1]. Il mettait alors en avant l'importance des accélérateurs de particules et des méthodes de datation pour le développement des recherches en histoire de l'art et en archéologie, et tout particulièrement pour la connaissance de la nature des matériaux qui constituent le patrimoine culturel et pour l'amélioration des conditions de leur conservation afin de s'assurer de leur transmission aux générations futures. L'intérêt scientifique pour ce domaine est fort et n'a cessé de se développer au cours de ces dix dernières années : ce nouveau recueil d'articles vise à montrer de nouvelles avancées, en nous focalisant davantage sur des contributions qui se consacrent au domaine des arts et de la création artistique, à la mise au point de nouvelles techniques de caractérisation, à l'étude de la structure des matériaux et à la physique de la couleur.

Il ne s'agit donc pas ici de couvrir tous les champs liés aux relations entre la physique et les arts. On souligne souvent que les nouvelles compréhensions des phénomènes naturels de l'univers, de l'espace, du temps et des quantas ont influencé et parfois bouleversé la création artistique, dans un rapport complexe que l'on ne peut considérer comme étant, ni une simple coïncidence, ni de cause à effet. Par exemple, le début du XX^e siècle a vu simultanément les transformations de la physique, devenue quantique et relativiste, et de la peinture, avec le mouvement cubiste, dont le but s'éloigna fortement des motivations d'imitation sensible de la nature bien définies depuis l'antiquité grecque pour aboutir à de nouvelles représentations du monde décomposées et réassemblées selon plusieurs points de vue.

Nous proposons d'esquisser ici, à travers quelques cas concrets, une image de ce que la physique apporte à la connaissance des arts d'autrefois, par son regard sur les phénomènes naturels, ses concepts et ses approches, et dans un dialogue croisé entre disciplines. Les travaux dans ce domaine se développent ainsi de plus en plus vers des projets de recherche interdisciplinaires, coconstruits avec des chercheurs de sciences humaines et sociales : le physicien n'est plus seulement sollicité pour son hyperspécialisation dans telle ou telle technique, mais il est appelé à participer à des études plus globales et intégrées. Elles commencent sur les objets d'art tels qu'ils nous parviennent, c'est-à-dire tels qu'ils ont été modifiés au cours du temps, et se poursuivent jusqu'à des propositions de restitution virtuelle qui impliquent la compréhension des mécanismes de dégradation et la mise au point de modélisations permettant de retrouver l'apparence originelle des œuvres.

Les œuvres d'art anciennes sont constituées de matériaux complexes posant des défis analytiques tout en étant, après étude, des sources d'inspiration potentielles pour l'élaboration de nouveaux matériaux, dans ce l'on pourrait appeler une démarche d'archéo-mimétisme ou une paléo-inspiration [2–5] : tout comme la nature a su faire évoluer et sélectionner des systèmes biologiques continuellement optimisés au cours de plusieurs milliards d'années, les artistes et artisans ont pu, durant ces derniers millénaires, inventer ou stimuler une extraordinaire variété de stratégies physiques et chimiques pour disposer de matériaux innovants et dotés de propriétés répondant plus ou moins parfaitement à leurs attentes [6]. La microstructure des matériaux cristallins et amorphes, leur organisation mésoscopique ainsi que leur résistance aux contraintes physiques et aux déformations sont des propriétés fondamentales d'une matière picturale qu'un Maître emploie lors de la réalisation d'un tableau.

La physique aide à relever plusieurs défis lors de ces études : tout d'abord, afin de garantir la préservation des œuvres patrimoniales et donc de pouvoir appliquer ses méthodes dans un tel contexte, les caractérisations doivent être non invasives. Une évidence dans le cas d'un site aussi important que la grotte Chauvet (Vallon Pont-d'Arc, Ardèche), qui protège un millier de peintures et de gravures parfaitement préservées depuis, pour certaines d'entre elles, plus de 35 000 ans. Une difficulté aussi lorsque les enjeux de conservation limitent le temps de présence sur site et imposent parfois un accès très distant aux peintures. De tels cas, qui se produisent par exemple dans des tombes peintes en Égypte ou lors d'étude d'œuvres précieuses dans les musées comme un codex Maya ou une peinture de Nicolas Poussin, ont conduit au développement d'instruments mobiles, transportables sur site, utilisant plus ou moins tout le spectre des rayonnements électromagnétiques (rayons X, lumière visible, infrarouge, etc.) ou d'autres types de particules très pénétrantes, comme les muons, qui offrent des possibilités nouvelles de prospection sur des sites de grand volume.

La science des matériaux du patrimoine qui en découle et qui révèle les arts d'autrefois doit donc pouvoir expliquer les propriétés de matériaux hétérogènes, dotés de différentes natures chimiques, de granulométries variées, et d'états structuraux qui vont du verre au cristal, sans oublier la matière molle. Les approches scientifiques doivent donc considérer les multiples échelles significatives et utiles pour appréhender les savoir-faire artistiques : les marqueurs des techniques et des gestes réalisés lors de la création d'une œuvre peuvent en effet être révélés aussi bien par l'assemblage de différents matériaux que par leurs microstructures et structures. Cette approche est aujourd'hui facilitée par la mise à disposition pour la recherche de « sondes » de tailles différentes, qui offrent la possibilité d'une lecture complète d'une œuvre à l'échelle du millimètre, tout aussi bien qu'à celle du micromètre, voire du nanomètre. Cette dernière échelle nécessite l'emploi de grands instruments, comme les installations de rayonnement synchrotron, et, pour que la mesure puisse se faire, la sélection de prélèvements souvent très petits, mais significatifs de l'œuvre elle-même.

Quelles que soient les échelles considérées, de nouveaux problèmes se posent lorsque l'on cherche à croiser l'ensemble des données acquises, toujours plus nombreuses grâce notamment à des détecteurs rapides et améliorés qui collectent de plus en plus de signaux. Un important besoin de mise en œuvre de traitements statistiques apparaît. Ces analyses permettent de déterminer de plus en plus précisément la nature des matériaux et des mélanges en présence dans un décor sur une porcelaine ou une polychromie sur un monument. Malgré tout, la compréhension des choix esthétiques effectués par les artistes et la restitution virtuelle des œuvres telles qu'elles ont été passent par la compréhension fine de l'origine de la couleur : s'il est devenu possible, dans certains cas, de calculer la couleur d'une substance pure à partir des premiers principes [7], il est encore très difficile de modéliser les propriétés optiques à la fois intrinsèques (propagation de la lumière dans le matériau) et extrinsèques (diffusion par les différents constituants) des matériaux sans utiliser des modèles empiriques. De nombreux challenges s'ouvrent donc toujours devant la communauté.

En conclusion de cet avant-propos, nous tenons à remercier chaleureusement les auteurs pour leurs contributions à ce numéro des *Comptes rendus Physique* (Académie des sciences, Paris), le bureau éditorial et les rapporteurs pour leur assistance.

Pauline Martinetto*

E-mail address: pauline.martinetto@neel.cnrs.fr

Philippe Walter*

E-mail address: philippe.walter@upmc.fr

Available online 22 November 2018

References

- [1] J. Castaing, M. Menu, Foreword, *C. R. Physique* 10 (2009) 587–589.
- [2] C. Dejoie, P. Martinetto, E. Dooryhée, P. Strobel, S. Blanc, P. Bordat, R. Brown, F. Porcher, M. Sanchez del Rio, M. Anne, Indigo@silicalite: a new organic-inorganic hybrid pigment, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2 (8) (2010) 2308–2316.
- [3] C. Dejoie, E. Dooryhée, P. Martinetto, S. Blanc, P. Bordat, R. Brown, F. Porcher, M. Sanchez del Rio, P. Strobel, M. Anne, E. Van Elslande, P. Walter, Revisiting Maya Blue and designing hybrid pigments by archaeomimetism, arXiv:1007.0818v1 [cond-mat.mtrl-sci], 2010.
- [4] C. Dejoie, P. Sciau, W. Li, L. Noé, A. Mehta, K. Chen, H. Luo, M. Kunz, N. Tamura, Z. Liu, Learning from the past: Rare ϵ -Fe₂O₃ in the ancient black-glazed Jian (Tenmoku) wares, *Sci. Rep.* 4 (2014) 4941.
- [5] L. Bertrand, C. Gervais, A. Masic, L. Robbiola, Paleo-inspired systems: durability, sustainability, and remarkable properties, *Angew. Chem., Int. Ed.* 57 (2018) 7288–7295.
- [6] P. Walter, L. de Viguerie, Materials science challenges in paintings, *Nat. Mater.* 17 (2018) 106–109.
- [7] J.M. Tomczak, L.V. Pourovskii, L. Vaugier, A. Georges, S. Biermann, Rare-earth vs. heavy metal pigments and their colors from first principles, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 110 (2013) 904–907.

* Corresponding author.