

Journées de Peyresq 2002

THOMAS DURT¹, JACQUES ROBERT²

Le présent volume des annales contient les contributions des orateurs invités à participer, du 2 au 7 septembre 2002, au colloque sur l'Electromagnétisme organisé par la Fondation de Broglie à Peyresq (Alpes de Haute-Provence). Peyresq est un nid d'aigles médiéval, situé à 100 kms de Nice, à une altitude de 1528 mètres. Le village fut fondé au treizième siècle. Au cours du dix neuvième siècle il regroupait encore une cinquantaine de foyers, et, comme beaucoup d'autres villages de la région il fut quasiment déserté après la seconde guerre mondiale. Pendant les années cinquante, Peyresq fut progressivement restauré par des étudiants d'universités belges, principalement issus de l'Université Libre de Bruxelles, sous la tutelle de Toine et Mady Smets. Leur objectif était de créer un Foyer d'Humanisme, un centre humaniste et cosmopolite pour les rencontres culturelles, artistiques, et scientifiques. Nous tenons à remercier la Fondation de Broglie, le foyer d'Humanisme, et la Fondation Peyresq, Mady Smets en particulier, dont le soutien sans faille a permis l'organisation du colloque dans un cadre exceptionnel.

Le titre de ce Colloque aurait pu être tout aussi bien Electromagnétismes. Nous nous référons à l'introduction de "Electricité et Optique", ouvrage écrit avant l'avènement de la relativité, où H. Poincaré écrit à propos du Traité : "Maxwell ne donne pas une explication mécanique de l'électricité et du magnétisme, il se borne à démontrer que cette explication est possible". Plus loin il précise "Si donc un phénomène

¹Vrije Universiteit Brussel, postdoctoral fellow of the Fond voor Wetenschappelijke Onderzoek (FWO Vlaanderen), supported by the IAUP programme of the Belgian government, and the grant V-18, and by a FWO mobility grant during the organisation of the symposium.

²Laboratoire de Physique des Lasers, URA 75038 du CNRS, Université Paris Nord, 99, Av. J. B. Clément 93430 Villetaneuse, France

comporte une explication mécanique complète, il en comportera une infinité d'autres qui rendront également bien compte de toutes les particularités révélées par l'expérience".

Néanmoins certaines de ces explications sont difficiles à mettre en oeuvre, à comprendre et exigent une représentation du monde très complexe. D'autres semblent plus aisées plus élégantes, voire attrayantes. C'est ainsi que la majorité des chercheurs a abandonné l'éther au profit du vide de la relativité. Mais tout ceci se passait au début du XXème siècle. Depuis, un siècle s'est écoulé, et certaines certitudes ont laissé place au doute et à la critique.

Que reste-t-il de vivant et de fructueux dans ces interrogations pour nous, qui allons bientôt célébrer les 100 ans des relativités d'Einstein et Poincaré? L'Electromagnétisme est il un splendide monument du passé dont l'essentiel se trouve dans quelques ouvrages de référence ou reste-t-il toujours en construction, et alors dans quelles directions?

Nous avons choisi en organisant ce colloque de privilégier ceux qui cherchent encore, mais avec un siècle de recul, ce qui a bien pu échapper aux chercheurs du XIXème siècle, voire du XXIème. Le présent volume reflète leurs quêtes multiples et variées, mais aussi, au delà des disparités, il permet de brosser un tableau de la physique actuelle articulé autour de tensions fondamentales : celles de l'absolu et du relatif, du discret et du continu, et pour finir, du tout et du rien.

Absolu et relatif : la théorie de Maxwell ne se contente pas d'unifier deux classes de phénomènes considérés pendant longtemps comme dis-joints, électricité et magnétisme, elle prédit que la lumière elle même est de nature électro-magnétique, et introduit une constante physique fondamentale c . Elle brise aussi comme chacun sait une symétrie jusque là incontournable, le principe de relativité Galiléen, qui trouve un cadre de formulation idéal dans l'espace-temps absolu de Newton. Les physiciens n'avaient pas attendu Maxwell pour confronter la lumière au principe de relativité Galiléen : Fresnel, Fizeau, Foucault, Airy et autres, la crème de la physique du dix neuvième s'était déjà attelée au problème suivant : comment mettre en évidence l'existence d'un référentiel absolu, l'éther, hypothétique support de la propagation des ondes lumineuses? La petite histoire de ces efforts remarquables, souvent négligée au profit des pionniers de la relativité restreinte, Lorentz, Poincaré et Einstein, est fort bien contée dans l'article inaugural de ce volume [1].

Tant la relativité Galiléenne que la relativité restreinte privilégient

une classe d'observateurs (dont l'existence même est tout aussi hypothétique que celle de l'éther) : celle des référentiels inertiels, en mouvement relatif uniforme. Si on s'en contente, alors la physique relativiste est un achèvement réussi. Malheureusement (ou heureusement), la réalité est autre : que se passe-t-il par exemple dans le cas du mouvement relatif circulaire ? (LE paradigme de la représentation du cosmos, sphères armillaires oblige, jusqu'aux révolutions Coperniciennes et Newtoniennes). Deux articles, l'un théorique [2], l'autre expérimental [3], nous permettent de creuser cette question, non sans bousculer au passage quelques idées reçues.

Un autre article, encore plus dérangeant [4], explore une piste longtemps décriée au nom de l'orthodoxie Einsteinienne, mais jamais éteinte : celle d'un éther absolu ET relatif, qui correspond aussi à la vision du grand sceptique qu'était Poincaré. De plus, elle permet de répondre AUTREMENT aux objections fort pertinentes de Mach sur le caractère absolu des référentiels inertiels (relatifs entre eux mais pas par rapport au reste de l'univers). On y apprend aussi que la sacro-sainte approche de Maxwell n'est pas l'unique alternative et qu'en son temps Weber a proposé une autre théorie de l'électro-magnétisme qu'il serait bon d'exhumer de temps à autre.

Il serait vain de retracer la physique du siècle écoulé sans mentionner la relativité générale, qui entend, entre autres, combler les lacunes de la relativité restreinte déjà mentionnées.

Il est de notoriété publique qu'Einstein, lors de son élaboration de la relativité générale, était fort préoccupé par la critique Machienne, et que sa théorie n'y répond que modestement. Entre autres, la relativité générale réintroduit en catimini un "éther relatif", via la métrique locale d'espace-temps. La lumière, qui jouait un rôle essentiel en relativité restreinte, par exemple comme outil indispensable à la synchronisation des horloges (mais était aussi intimement liée à la structure Minkoskienne de l'espace-temps en tant que vitesse limite infranchissable et constante universelle) semble avoir "pris du plomb dans l'aile" ces dernières années. On ne se contente plus de murmurer, dans le milieu des cosmologistes que la vitesse de la lumière pourrait bien n'être la vitesse limite infranchissable qu'en première approximation, on prend comme hypothèse de travail que le couplage métrique-lumière pourrait bien être, comme on dit, non-minimal [5]. Cet affaiblissement du dogme de la lumière toute puissante se comprend bien au vu des apports du siècle passé pendant lequel l'étoile de l'électro-magnétisme a quelque peu pâli : celui-ci ne

reflèterait somme toute qu’une symétrie de jauge parmi d’autres, une interaction relativement bien comprise et “étiquetée” (renormalisable, invariante relativiste etc). L’histoire pourrait s’arrêter là, mais il subsiste encore de nombreuses zones de pénombre et de tensions paradoxales.

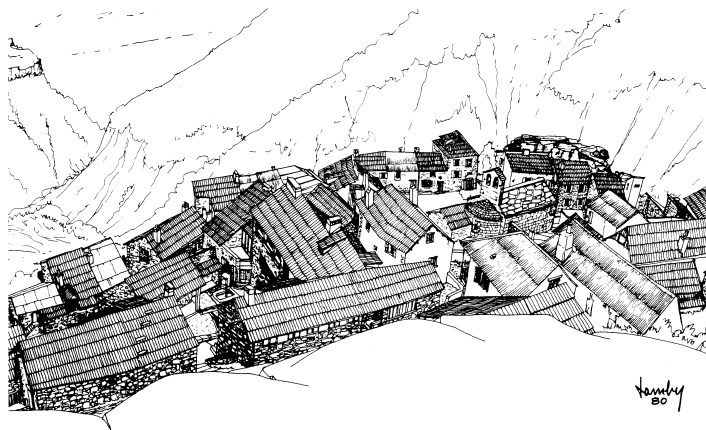
La tension continu-discret, ou onde-particule n’en est pas la moindre. En ce qui concerne la nature de la lumière, cette tension dialectique a connu des solutions tranchées, relativement éphémères, au cours de l’histoire : interprétation corpusculaire avec Newton, ondulatoire avec Huygens, Fresnel et Maxwell, puis, à nouveau, corpusculaire avec l’interprétation d’Einstein de l’effet photo-électrique. Il aura fallu les largeurs de vue d’un historien de la trempe de de Broglie pour trancher : la nature de la lumière, comme d’ailleurs des autres phénomènes physiques (tant matériels qu’ondulatoires), est duale. De cette dualité naîtra la mécanique quantique, qui sous sa forme relativiste (équation de Dirac, théorie quantique des champs) connaîtra, toujours dans le cadre de l’électro-magnétisme, ses succès expérimentaux les plus éclatants (effet Lamb, moment magnétique anomal de l’électron, effet Casimir...). La théorie quantique est une théorie qui fonctionne, et qui fonctionne même fort bien. On n’a pas fini d’étudier la mine de symétries que constitue l’équation de Dirac, un bijou pour les physiciens mais aussi pour les géomètres et les amateurs Platoniciens de mesure et d’harmonie [6]. Toute médaille ayant son revers, il faut noter que la théorie quantique fonctionne peut être trop bien. En effet, elle prédit des effets contraires au bon sens : non-localité, énergie du vide et autres. De plus, de même que la relativité générale n’apporte qu’une réponse partielle au problème de la relativité de l’accélération, par le biais du principe d’équivalence, la mécanique quantique relativiste reste désespérément restreinte. Ici encore, il y a lieu de se poser des questions fondamentales, quitte à déroger à l’orthodoxie : qu’en est il du statut de l’accélération en théorie quantique des champs, en particulier en électrodynamique quantique. Quid de la synchronisation [7], et des effets du vide quantique (un nouvel éther ?) accéléré [8].

On peut même s’arrêter l’espace d’un instant et se demander ce que tout cela veut dire. Tout est-il si évident dans la théorie de Maxwell ? Ne peut on aller plus loin, tout en restant dans le cadre des théories de champ classiques [9] ? Par ailleurs, est il possible de concilier déterminisme (caché) et théorie quantique des champs ? Dans la plus pure tradition de de Broglie-Bohm et Bell, la réponse est oui, le prix à payer étant l’introduction de la non-localité [10] et le retour de l’éther de Poincaré. Ce

numéro des annales se continue, ultime hommage à de Broglie, par une description de développements récents de la théorie de la fusion de de Broglie qui éclairent sous un jour nouveau la dualité électro-magnétique, et ouvrent on l'espère de nouvelles perspectives sur la route ardue de la grande unification [11]. Il est difficile pour un théoricien de ne pas sombrer dans la schizophrénie tant la coexistence "pacifique" entre ces principes antagonistes, ces théories disparates, ces semi-réponses, semble fragile, mais après tout n'est ce pas le lot de l'esprit logique, qui est, comme chacun sait, essentiellement veule, cauteleux, mesquin et raisonneur ?

Il nous reste heureusement la nature, c'est à dire l'expérience et l'expérimentation de faits concrets. Aujourd'hui on traque les propriétés ultimes de la lumière (ou du vide de lumière) dans les zones largement inexplorées du microscopique au nanoscopique (propriétés laser de microsphères de verre dopées Erbium [12], dérivation de la force de Casimir, effets de champ proche [13], là où, on l'espère, la physique de demain s'élabore aujourd'hui.

En ces temps d'obscurité qui plongent le septentrion dans les noirs abyssales des fêtes de fin d'année, tandis que nos villes se parent de lumière pour célébrer le retour de l'astre diurne, c'est donc sur une note d'espoir que nous commençons cet an nouveau, afin que, peut être, on finisse par y voir clair, dans tout ça !



Peyresq symposium 2002

The present issue of the *Annales de la fondation de Broglie* contains the proceedings of the symposium held in Peyresq (Alpes de Haute-Provence, France) between the 2nd and 7th of september 2002 around the theme “Electromagnetism”. Peyresq is a medieval provencal village, situated 100 km away from Nice at an altitude of 1528 m. The village was founded in the early XIII century. At the beginning of the XVII century there were around 50 houses and by 1851 the village counted 208 inhabitants distributed among 53 families. Like many other villages of Haute-Provence, it was almost completely deserted after Second World War. During the 1950’s the village was progressively entirely rebuilt in its original spirit and style by students of Belgian universities, mainly the Université Libre de Bruxelles, under the guidance of Mady and Toine Smets. The aim was to create a ”Foyer d’ Humanisme”, an international humanistic centre for cultural, artistic and scientific pursuits.

The Workshop was financed by the Fondation de Broglie, the Fondation Peyresq, Foyer d’ Humanisme, the Fondation Nicolas Claude Fabri de Peyresq. We would like to thank all these institutions for their help. We would also like to extend our warm appreciation to Madame Mady Smets, who is the guardian angel of Peyresq, and without whom none of this work could have seen the light of the day.

The title of this Symposium could as well have been Electromagnetisms. H. Poincaré wrote in the introduction of “Electricité et Optique”, a work that was completed before the development of relativity theory: “Maxwell (in his treaty) does not provide a mechanical explanation of electricity and magnetism, he merely shows that such an explanation is possible”; further he precises: “If a phenomenon possesses a complete mechanical explanation, then an infinity of other explanations will also exist that afford us to render account of all experimental evidences.”

Nevertheless, some of these explanations are extremely complex and sophisticated. Other ones seem to be simpler and more attractive. This explains why the assumption of the existence of the aether was massively abandoned in the favour of the relativistic vacuum. But this happened nearly one century ago. Since then, a century of new developments occured, and several certainties were replaced by doubts and criticisms.

Now that relativity theory is nearly one century old, and it is worth looking back at the road that was followed since then, and to ask the question, what did happen? Is electro-magnetism a finished theory, a prestigious but dusty piece of history condemned to remain confined in specialized reference books? Or is it still a controversial and open subject, that motivates new research and creativity? If yes, in which directions?

This symposium aims at rendering account of the actual state of research on the foundations of electro-magnetism and at giving an idea of the discoveries realised along several routes that were unexplored 100 years ago.

Henceforth, this issue reflects various attempts, but also, beyond the differences, it allows us to sketch a picture of contemporary physics that is structured around fundamental oppositions: absolute and relative, discrete and continuous, and finally all and nothing.

Absolute and relative: Maxwell's theory does not only unify electricity and magnetism, two sets of phenomena that were for a long period considered to be independent, it also predicts that light itself is of electro-magnetic nature, and introduces a fundamental constant: c . Moreover, it breaks as is well known a symmetry that was considered as absolutely true, the Galilean relativity principle, that found an ideal framework when formulated in the absolute space-time of Newton. Physicists did not wait until Maxwell in order to test experimentally the Galilean relativity principle with light: Fresnel, Fizeau, Foucault, Airy and others, the "fine fleur" of XIX century's physicists attempted to solve the following problem: how is it possible to reveal experimentally the existence of an absolute frame, the ether, hypothetical support for the propagation of luminous waves? The little story of these remarkable developments, often neglected in comparison to the role devoted to the pioneers of special relativity, Lorentz, Einstein and Poincaré, is very well told in the first paper of this issue [1].

In Galilean and special relativity as well, a class of observers is privileged: the class of inertial observers (the existence of which is not less hypothetical than for the ether), moving relatively to each other at constant velocity. If we do not look further, then special relativity is a successful achievement. Unfortunately (or fortunately), reality is other: what does happen for instance when the relative movement is circular? (this is THE paradigm for the representation of cosmos since Ptolemy until Copernican and Newtonian revolutions). Two papers, one theo-

retical paper [2] and one experimental paper [3], allow us to investigate this question in depth, sometimes surprisingly.

Another paper, even more disturbing [4], explores a possibility that was often claimed to be contrary to Einsteinian orthodoxy: the existence of an ether absolute AND relative, that corresponds to Poincaré's deeply skeptical views. More, it provides a DIFFERENT way of answering Machian criticisms about the absolute character of inertial referentials (they are relative between them but not relatively to the rest of the universe). We learn also an alternative to Maxwell's theory that was proposed by Weber and that still contains appealing features today.

We may not omit to mention general relativity in this picture, a theory which aimed, among others, at solving the forementioned problems of special relativity.

It is well known that Einstein, when he matured general relativity, was puzzled and concerned by Machian criticisms, and that his theory does not fully answer these criticisms. For instance, general relativity reintroduces implicitly a "relative ether", through the local space-time metrics. Light, that played an essential role in special relativity, for instance in the synchronisation procedure of distant clocks, but was also intimately connected to the Minkoskian structure of space-time where it played the role of a universal maximal velocity, seems to have acquired a new role in recent cosmological developments. It is no longer an heresy to assume that the speed of light varies (and differs from the maximal admissible velocity!), in the case of what is technically called non-minimal coupling. One can understand this weakening of the role played by light if we realize that according to the new developments of theoretical physics electro-magnetism reflects after all a gauge symmetry among other gauge symmetries, an interaction that is well understood and "classified" (renormalisable, relativistic and so on). The story could well end up here, but many shadows and paradoxes remain.

The opposition continuous-discrete or wave-particle is one of them. For what concerns the nature of light, this dialectical opposition knew extreme solutions, for relatively short periods of time, throughout history: corpuscular interpretation of Newton, ondulatory with Huygens, Fresnel and Maxwell, thereafter, corpuscular again with the Einsteinian interpretation of the photo-electric effect. The large views of an historian like de Broglie were necessary in order to solve the paradox: the nature of light, and of all physical phenomena, is dual. Quantum mechanics which will be derived from this duality, found, in its relativistic develop-

ments (Dirac equation, quantum field theory) the most spectacular and accurate experimental confirmations, still in the framework of electromagnetism (Lamb effect, anomalous electronic spin, Casimir effect). the quantum theory works very well! The richness of Dirac's equation seems to be infinite, not only for physicists but also for geometricians and all the Platonician believers of measure and harmony [6]. The drawback is that maybe quantum mechanics works too well. Indeed, it predicts counterintuitive effects such as non-locality, energy of the vacuum and so on. Moreover, it does not succeed better than general relativity (which provides a partial answer through the equivalence principle) in solving the question of the relative character of acceleration. It was actually impossible to provide a satisfactory synthesis of general relativity and quantum mechanics until now. This motivates a study of the properties of accelerated quantum systems, mostly in quantum electro-dynamics: what do we learn from synchronisation [7], and Casimir like effects in accelerated systems [8]?

We can even have a break for a while and ask ourselves what all this could well mean. Is everything so clear and obvious in Maxwell's theory and in classical field theories? [9]. Beside, is it possible to reconcile determinism and quantum field theory? Following de Broglie-Bohm and Bell's views, the answer is yes, but the price to pay is intrinsic non-locality, and a come back to Poincaré's ether [10]. This issue of the annales also contains an ultimate tribute to de Broglie [11], which contains recent developments of the theory of fusion of de Broglie that shed a new light on the electro-magnetic duality and, hopefully, open new perspectives on the hard way to grand unification. It is difficult for a theoretician not to fall into schizophrenia, considering how the "peaceful" coexistence between these heterogeneous theories, these opposed principles, seems to be weak and fragile. But, after all, is this not the fate of the logical mind which is as everybody knows poor and sterile, not to say more.

Luckily so, nature is there, waiting, and offering to us the pragmatic possibility to experiment, and to test facts. Today, ultimate properties of light (or of the vacuum of light) are experimentally investigated in the largely unexplored micro or nano-scopic domains (properties of microspheres [12], estimation of Casimir's effect [13], in a place where hopefully tomorrow's physics is presently built.

In these dark times, which correspond in France to the paganist celebrations of the winter solstice, while our cities drape into light in order

to celebrate the come back of the sun, we wish to begin this new year with a wish, and hope that, maybe, we finally understand something in all this!

Liste des articles

- [1] J. Reignier: De l'éther de Fresnel à la relativité restreinte, p. 21.
- [2] Y. Piereaux: The "fine structure" of special relativity and the Thomas precession, p. 57.
- [3] A. Kelly: Unipolar experiments, p. 119.
- [4] A. Assis: The principle of physical proportions, p. 149.
- [5] P. Teyssandier: Variation of the speed of light due to nonminimal coupling between electromagnetism and gravity, p. 173.
- [6] R. Boudet: On the potential of the Coulomb field and the gauge potentials. Dialogue with a standard physicist, p. 187.
- [7] M.T. Jaekel and S. Reynaud: Space-time localisation with electromagnetic fields, p. 201.
- [8] A. Lambrechts: Electromagnetic pulses from a cavity moving in vacuum: possible experiments, p. 227.
- [9] B. Coll: concepts for a theory of the electro-magnetic field, p. 247.
- [10] S. Colin: Beables for quantum electrodynamics, p. 273.
- [11] G. Lochak: "Photons électriques" et "photons magnétiques" dans la théorie du photon de De Broglie, p. 297.
- [12] P. Féron: Whispering Gallery Mode Lasers in Erbium doped fluoride glasses, p. 317.
- [13] C. Genet, F. Intraivaia, A. Lambrecht and S. Reynaud: Electromagnetic vacuum fluctuations, Casimir and Van der Waals forces, p. 331.