



Albert Fert

Élu membre le 30 novembre 2004 dans la section de Physique

Albert Fert, né en 1938, ancien élève de l'École normale supérieure, docteur ès sciences (1970), est professeur à l'université Paris 11 (Orsay). Il effectue ses recherches à l'Unité mixte de physique CNRS/Thales dont il a été l'un des fondateurs en 1995.

Œuvre scientifique

Albert Fert est physicien de la matière condensée. Ses travaux sont à l'origine de la spintronique, un nouveau type d'électronique qui exploite le spin de l'électron. Le point de départ de la spintronique a été la découverte du phénomène de "magnétorésistance géante" dans son équipe en 1988. Albert Fert a ensuite contribué à diverses étapes du développement de ce domaine de la physique. Depuis 2013, il a été un des principaux pionniers de la recherche sur le nouveau type de quasi-particules de spin appelés skyrmions. La spintronique a aujourd'hui de multiples applications. En particulier, la magnétorésistance géante a permis d'augmenter fortement la capacité du stockage d'information dans les disques durs.

En début de carrière, au Laboratoire de physique des solides d'Orsay, les recherches d'Albert Fert ont été consacrées à de nombreux problèmes de la physique des métaux et du magnétisme. Ses expériences ont ainsi établi l'influence du spin sur la conduction électrique dans les métaux ferromagnétiques, révélé les asymétries de la diffusion des électrons par des impuretés magnétiques, ou encore montré le caractère "triédrique" de l'anisotropie magnétique des verres de spin. Dans le domaine théorique, il a introduit le modèle décrivant la conduction polarisée de spin dans les métaux ferromagnétiques ou encore des modèles microscopiques pour l'effet Hall extraordinaire, l'effet Hall de spin et les interactions chirales entre spins dans les alliages magnétiques désordonnés ou aux interfaces de films magnétiques.

Au milieu des années 80, Albert Fert a été un des pionniers des études de nanostructures magnétiques. En 1988, dans une collaboration avec un laboratoire de Thomson CSF, il a découvert le phénomène de magnétorésistance géante (en anglais *Giant Magneto Resistance* ou GMR), découverte à partager avec le physicien allemand Peter Grünberg qui a obtenu presque simultanément et indépendamment des résultats identiques. L'effet GMR apparaît dans des multicouches magnétiques, empilements de couches métalliques ultra-minces alternativement magnétiques et non-magnétiques. Il se manifeste par une forte chute de la résistance électrique de la multicouche magnétique en présence d'un champ magnétique. Son origine est l'influence du spin sur la mobilité des électrons, une propriété qu'Albert Fert avait mise en évidence pendant sa thèse sous la direction d'Ian Campbell. La GMR a des applications importantes. Elle est aujourd'hui utilisée pour la lecture des disques durs des ordinateurs et a permis une augmentation considérable de l'information stockée sur un disque. La découverte de la GMR a donné le coup d'envoi du nouveau domaine de la physique appelé spintronique, une électronique basée sur le contrôle de courants de spin. Albert Fert et son équipe de l'Unité mixte CNRS/Thales ont eu de nombreuses contributions au développement de la spintronique, aussi bien sur le plan expérimental (jonctions tunnel magnétiques, expériences de commutation magnétique par injection de spins) que théorique (modèle Valet-Fert pour les courants de spin dans des hétérostructures magnétiques, concept d'accumulation de spin, modèles d'effet Hall de spin). Comme la GMR, la spintronique a aussi un fort potentiel d'applications et, dans des technologies comme celles des ordinateurs et téléphones, a commencé à prendre le relai de l'électronique classique.

En 2007, le prix Nobel de Physique a été décerné à Albert Fert et à Peter Grünberg.



Depuis 2007, Albert Fert s'est orienté vers des recherches sur des systèmes où interfèrent physique de la matière condensée et effets de topologie. Une collaboration avec de chercheurs de Grenoble a conduit à la démonstration de l'effet Edelstein (pour la conversion entre courants de spin et de charge) à des interfaces d'isolant topologique et interfaces Rashba. Depuis 2013, le groupe d'Albert Fert a été pionnier dans le développement de la recherche sur les quasi-particules de spin « topologiquement protégées » appelées skyrmions et prometteuses pour de nombreuses applications. L'étude de composés magnétiques bidimensionnels est aussi un autre axe de recherche démarré en 2020.

Mots clés : matière condensée, magnétisme, spintronique, nanotechnologies

Prix et distinctions

- *International Prize for New Materials* de la Société américaine de physique (1994)
- *Magnetism Prize* de l'*International Union for Pure and Applied Physics* (1994)
- Prix Jean Ricard de la Société française de physique (1994)
- *Hewlett-Packard Europhysics Prize* de la Société européenne de physique (1997)
- Médaille d'or du CNRS (2003)
- *Japan Prize* (2007)
- Prix Wolf (2007)
- Prix Nobel de Physique pour la découverte de la magnétorésistance géante (2007)
- Grand Officier de l'Ordre national du Mérite (2008)
- Prix Gay Lussac–Humboldt (2015)
- Grand-croix de l'Ordre national du Mérite (2015)
- *Doctor Honoris Causa* d'une douzaine d'universités

Publications les plus représentatives

- Fert A., Campbell I.A. (1968) Two current conduction in nickel. *Phys. Rev.Letters* 21, 1190.
- Fert A., Campbell I.A. (1971) Transport properties of ferromagnetic transition metals. *J. de Physique* 32, C1, 46.
- Fert A., Jaoul O. (1972) Left right assymetry in the scattering of electrons by magnetic impurities and Hall effect. *Phys. Rev.Letters* 28, 303.
- Friederich A., Fert A. (1974) Electron scattering by the electronic quadrupole moment of rare earth impurities. *Phys. Rev.Letters* 33, 1214.
- Fert A., Campbell I.A. (1976) Electric resistivity of ferromagnetic nickel and iron based alloys. *J. of Physics F*, vol. 6, 849.
- Jaoul O., Campbell I.A., Fert A. (1977) Spontaneous resistivity anisotropy in Ni alloys. *J. Mag. Mag. Mat.* 5, 23.
- Fert A., Levy P.M. (1980) Role of anisotropic exchange interactions in determining the properties of spin glasses. *Phys. Rev. Letters* 44, 1538.
- Fert A., Friederich A., Hamzic A. (1981) Hall effect in dilute magnetic alloys. *J. Mag. Mag. Mat.* 24, 231.
- Fert A., Arvanitis D., Hippert F. (1984) Triad anisotropy in spin glasses. *J. Appl. Phys.* 55, 1640.
- Baibich M.N., Fert A., Nguyen Van Dau F., Broto J.M., Pétroff F., Etienne P., Creuzet G., Friederich A. (1988) Giant magnetoresistance in Fe(001)/Cr(001) superlattices. *Phys. Rev. Letters* 61, 2472.



- Levy P.M., Zhang S., Fert A. (1990) Electrical conductivity of magnetic multilayered structures. *Phys. Rev. Letters* 65, 1643.
- Mosca D. H., Petroff F., Fert A., Schroeder P. A. (1991) Oscillatory interlayer coupling in Co/Cu magnetic multilayers. *J. Mag. Mag. Mat.* 94, 1.
- Valet T. and Fert A. (1993) Theory of the perpendicular magnetoresistance in magnetic multilayers. *Phys. Rev. B* 48, 7099.
- Vouille C., Barthélémy A., Fert A., Schroeder P.A., Hsu S. H., Reilly A., Loloee R. (1999) Microscopic mechanisms of the Giant Magnetoresistance. *Phys. Rev. B* 60, 6710.
- De Teresa J.M., Barthélémy A., Fert A., Contour J-P., Montaigne F., Seneor P. (1999) Role of the metal-oxide interface in determining the spin polarization of magnetic tunnel junctions. *Science* 286, 507.
- Grollier J., Cros V., Hanzic A., George J.-M., Jaffres H., Fert A., Faini G., Ben Youssef J., Le Gall H. (2001) Magnetization reversal by spin injection in Co/Cu/Co pillars. *Appl. Phys. Lett.* 78, 3663.
- Bowen M., Cros V., Petroff F., Fert A., Martinez Boubeta C., Cebollada A., Briones F. (2001) Large magnetoresistance in Fe/MgO/FeCo(001) epitaxial tunnel junctions on GaAs(001). *Appl. Phys. Lett.* 79, 1655.
- Fert A., Jaffrès H. (2001) Conditions for efficient spin injection from a ferromagnetic metal into a semiconductor. *Phys. Rev. B* 64, 184420.
- Grollier J., Boulenc P., Cros V., Hanzic A., Vaures A., Fert A., Faini G. (2003) Switching a spin-valve back and forth by current-induced domain wall motion. *Appl. Phys. Lett.* 83, 509.
- Barnas J., Fert A., Gmitra M., Weymann I., Dugaev V.K. (2005) From giant magnetoresistance to current-induced switching by spin transfer. *Phys. Rev. B* 72, 024426.
- Grollier J., Cros V., Fert A. (2006) Synchronization of spin-transfer oscillators driven by stimulated microwave currents. *Phys. Rev. B (Rapid Com.)* 73, 060409 [R].
- Hueso L.H., Pruneda J.M., Ferrari V., Burnell G., Valdés-Herrera J.P., Simons B.D., Littlewood P.B., Atacho E., Fert A., Mathur N.D. (2007) Transformation of spin information into large electrical signals using carbon nanotubes. *Nature* 445, 410.
- Gajek M., Bibes M., Fusil S., Bouzehouane K., Fontcuberta J., Barthélémy A., Fert A. (2007) Tunnel junctions with multiferroic barriers. *Nature Materials* 6, 296.
- Khvalkovskiy A.V., Zvezdin K.A., Gorbunov Y., Cros V., Grollier J., Fert A., Zvezdin A.K. (2009) High Domain Wall Velocities due to Spin Currents Perpendicular to the Plane. *Phys. Rev. Lett.* 102, 067206.
- Barraud C., Seneor P., Mattana R., Fusil S., Bouzehouane K., Deranlot C., Graciosi P., Hueso L., Bergenti, Dediu V., Petroff F., Fert A. (2010) Unravelling the role of the interface for spin injection into organic semiconductors. *Nature Physics* 6, 615.
- Fert A. and Levy P.M. (2011) Spin Hall Effect induced by resonant scattering on impurities in metals. *Phys. Rev. Lett.* 106, 157208.
- Dlubak B., Martin M.-B., Deranlot C., Servet B., Xavier S., Mattana R., Sprinkle M., Berger C., De Heer W.A., Petroff F., Anane A., Seneor P. and Fert A. (2012) "Highly efficient spin transport in epitaxial graphene on SiC", *Nature Physics*, vol. 8, no. 7, pp. 557–561.
- Thiaville A., Rohart S., Jué É., Cros V., Fert A. (2012) Dynamics of Dzyaloshinskii domain walls in ultrathin magnetic films. *EPL*, vol 100 number 5.
- Khvalkovskiy A.V., Cros V., Apalkov D., Nikitin V., Krounbi M., Zvezdin K.A., Anane A., Grollier J., Fert A. (2013) Matching domain wall configuration and spin-orbit torques for very efficient domain-wall motion. *Phys. Rev. B* 87, 020402 R.
- Fert A., Cros V., Sampaio J. (2013) Skyrmions on the track. *Nature Nanotechnology*, vol. 8, no. 7, pp. 557–561.
- Sampaio J., Cros V., Rohart S., Thiaville A. and Fert A. (2013) Nucleation, stability and current-induced motion of isolated magnetic skyrmions in nanostructures. *Nature Nanotechnology* 8, 839.
- Rojas-Sanchez J.C., Vila L., Desfonds G., Gambarelli S., Atané J.-P., De Teresa J.M., Magen C., Fert A. (2013) Spin-to-charge conversion using Rashba coupling at the interface between nonmagnetic materials. *Nature Communications* 4, 2944
- Levy P.M., Yang H. and Chshiev M., Fert A. (2013) Spin Hall effect induced by Bi impurities in Cu: Skew scattering and side-jump. *Phys. Rev. B* 88, 214432.



- Yang H., Thiaville A., Rohart S., Fert A., Chshiev M. (2015) Anatomy of Dzyaloshinskii-Moriya Interaction at Co/Pt Interfaces. *Physical Review Letters*. 115, 267210.
- Zhang S., Fert A. (2016) Conversion between spin and charge currents with topological insulators. *Physical Review B*. 94, 184423.
- Lesne E., Fu Y., Oyarzun S., Rojas-Sanchez J.-C., Vaz D.C., Naganuma H., Sicoli G., Attané J.-P., Jamet M., Jacquet E., George J.-M., Barthélémy A., Jaffrès H., Fert A., Bibes M., Vila L. (2016) Highly efficient and tunable spin-to-charge conversion through Rashba coupling at oxide interfaces. *Nature Materials*. 15, 1261-1266.
- Moreau-Luchaire C., Moutafis C., Reyren N., Sampaio J., Vaz C.a.F., Horne N.V., Bouzehouane K., Garcia K., Deranlot C., Warnicke P., Wohlhüter P., George J.-M., Weigand M., Raabe J., Cros V., Fert A. (2016) Additive interfacial chiral interaction in multilayers for stabilization of small individual skyrmions at room temperature. *Nature Nanotechnology*. 11, 444-448.
- Rojas-Sanchez J.-C., Oyarzun S., Fu Y., Marty A., Vergnaud C., Gambarelli S., Vila L., Jamet M., Ohtsubo Y., Taleb-Ibrahimi A., Le Fevre P., Bertran F., Reyren N., George J.-M., Fert A. (2016) Spin to Charge Conversion at Room Temperature by Spin Pumping into a New Type of Topological Insulator: α -Sn Films. *Physical Review Letters*. 116, 096602.
- Maccariello D., Legrand W., Reyren N., Garcia K., Bouzehouane K., Collin S., Cros V., Fert A. (2018) Electrical detection of single magnetic skyrmions in metallic multilayers at room temperature. *Nature Nanotechnology*. 13, 233.

Articles de revue

- Fert A. and Piraux L. (1999) Magnetic nanowires. Special Issue « Magnetism Beyond 2000 » of *J. Mag. Mag. Mat.*, vol. 200, 338-358.
- Fert A., George J.-M., Jaffrès H., Mattana R. (2007) Semiconductors between spin-polarized sources and drains. *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol 54, n°5 (Special Issue on Spintronics), 921.
- Chappert C., Fert A., Nguyen Van Dau F. (2007) The emergence of spintronics in data storage. *Nature Materials* 6, 813.
- Fert A. (2008) Nobel Lecture: Origin, development, and future of spintronics. *Rev. Mod. Phys.* 80, 1517.
- Ferrari A.-A., Bonaccorso F., Fal'ko V., Novoselov K.-S., Roche S., Boggild P., Borini S., Koppens F.H.L., Palermo V., Pugno N., Garrido J.-A., Sordan R., Bianco A., Ballerini L., Prato M., Lidorikis E., Kivioja J., Marinelli C., Ryhaenen T., Morpurgo A., Coleman J.-N., Nicolosi V., Colombo L., Fert A., Garcia-Hernandez M., Bachtold A., Schneider G.-F., Guinea F., Dekker C., Barbone M., Sun Z., Galiotis C., Grigorenko A.-N., Konstantatos G., Kis A., Katsnelson M., Vandersypen L., Loiseau A., Morandi V., Neumaier D., Treossi E., Pellegrini V., Polini, A. Tredicucci M., Williams G., Hong B.-H., Ahn J.-H., Kim J.-V., Zirath H., van Wees B.-J., van der Zant H., Occhipinti L., Di Matteo A., Kinloch I.A., Seyller T., Quesnel E., Feng X., Teo K., Rupesinghe N., Hakonen P., Neil S.R.T., Tannock Q., Loefwander T., Kinaret J. (2015) Science and technology roadmap for graphene, related two-dimensional crystals, and hybrid systems. *Nanoscale*. 7, 4598–4810.
- Soumyanarayanan A., Reyren N., Fert A., Panagopoulos C. (2016) Emergent phenomena induced by spin-orbit coupling at surfaces and interfaces. *Nature*. 539, 509-517.
- Fert A., Reyren N., Cros V. (2017) Magnetic skyrmions: advances in physics and potential applications. *Nature Reviews Materials*. 2, 17031.
- Fert A., Van Dau F. N. (2019) Spintronics, from giant magnetoresistance to magnetic skyrmions and topological insulators. *Comptes Rendus Physique*.

Principaux ouvrages et chapitres d'ouvrages

- Campbell I.A., Fert A. (1982) Transport properties of ferromagnets. *Ferromagnetic Materials* Vol. 3 (North Holland), 747.



INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

- Fert A. (1990) Magnetic and Transport Properties of Multilayers. *Metallic Multilayers, Materials Science Forum*, vols. 59-60 (*Trans. Tech. Publications, Zurich*) 439.
- Fert A., Barthélémy A. and Petroff F. (2006) Spin transport in magnetic multilayers and tunnel junctions in Nanomagnetism. *Contemporary Concepts of Condensed matter Science*, (*Elsevier*, edited by D.L. Mills and J.A.C. Bland) Vol 1, 153-225.
- Fert A. (2012) Historical overview: from electronic transport in magnetic materials to spintronics. *Handbook of spin transport and nanomagnetism* (*CRC Press*, edited by E.Y. Tsybal and I. Zutic) Part I.
- Anane A. et al. (2016) Spin Transport in Carbon Nanotubes and Graphene: Experiments and Theory. *Handbook of Spintronics* (*Springer, Dordrecht*, edited by Xu Y., Awschalom D., Nitta J.).

Le 13 janvier 2020