



# **Arqueomagnetismo em Portugal**

## **Interdisciplinariedade entre Ciências Humanas e Ciências da Terra**

Maria João Ângelo | CEAACP/FCT - Universidade de Coimbra

A investigação, *Arqueomagnetismo em Portugal: Estudo das variações do campo geomagnético em direcção e em intensidade durante o período romano (século I a.C. – Século V d.C.) Aplicações em Arqueologia*<sup>1</sup>, tem como objectivo contribuir para a construção das curvas de referência da variação secular (CVS) do campo magnético terrestre (CMT) durante o período romano e desenvolver o método de datação arqueomagnética em Portugal.

Actualmente, diversas equipas de investigadores a nível mundial dedicam-se a esta disciplina das Ciências da Terra, com o intuito de contribuir com novos dados que permitam para uma determinada região do planeta uma melhor definição do comportamento do campo geomagnético a escalas temporais milenares e centenárias. Na Península Ibérica, os dados arqueomagnéticos publicados foram obtidos principalmente em Espanha (Molina-Cardin *et al.*, 2018), com raros dados adquiridos em Portugal, apesar do seu enorme potencial arqueológico.

O projecto pretende adquirir novos pontos de referência para a CVS, contribuindo para uma descrição mais pormenorizada da evolução do CMT em Portugal durante o período romano, assentando, numa fase inicial, numa importante rede de colaborações ligadas ao Património Cultural, permitido a amostragem arqueomagnética, a análise de cerâmica de produção local/regional e de fornos *in situ* (produção de cerâmica e de cal), com cronologia precisa.<sup>2</sup>

No presente texto, abordaremos a definição do Arqueomagnetismo, as metodologias de amostragem e algumas aplicações desta disciplina na Arqueologia.

<sup>1</sup> Bolsa de doutoramento financiada pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (BD/123572/2016), com início a 01 de Setembro de 2017. Orientado por: Maria da Conceição Lopes, Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, Centro de Estudos em Arqueologia, Artes e Ciências do Património (CEAACP); Agnès Genevey, Université et Marie Curie, Laboratoire d'Archeologie Moléculaire et Structurale (LAMS), UMR CNRS 8220; Pedro Silva, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Instituto Dom Luiz (IDL); Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL).

<sup>2</sup> Ana Arruda (PMMO), Ana Braga, Ana Duarte (PQRO; PPCA), António Valera (PMAG), António Sá Coixão (PRU), Cézer Santos (PQRO), Carlos Tavares da Silva (PCHI, PABU, PPI), Clementino Amaro

(PGA), Cristina Gonçalves (PGA), Cristina Silva (PL), Elena Mórán, (PMMO), Elisa de Sousa (PMMO), Eurico Sepúlveda (PMOA), Guilherme Cardoso (PMOA), Inês Vaz Pinto (PTOU), Joaquina Soares (PCHI, PABU, PPI), Jorge Raposo (PQRO; PPCAL), José Ruivo (PCON), Lúcia Miguel (PMAG), Miguel Correia (PPCA), Miguel Rodrigues (PMAG), Pedro Pereira (PRU), Ricardo Costeira da Silva (PMNMC), Rafael Alfenim (PCU), Rui Mataloto (PCAL; PRDM, PLAC, PGEN), Rui Monge (PCMO, PCAR), Severino Rodrigues (PMOA), Susana Correia (PCU), Tony Silvino (PRU); Vanessa Dias (PQRO; PPCA), Virgílio Correia (PCON). Instituições: Direcção Regional de Cultura do Alentejo | Direcção Regional de Cultura do Algarve | Câmara Municipal do Seixal | Câmara Municipal de Alcochete | Câmara Municipal de Lagos | Câmara Municipal de Benavente | Museu Monográfico de Conimbriga | Museu de Arqueologia e Etnografia do Distrito de Setúbal | PROMAN, S.A.

## Arqueomagnetismo: definição

Método de datação que requer a construção prévia de curvas de referência regionais que descrevam as variações na direção e/ou intensidade do CMT nos últimos milénios. Essas variações podem ser recuperadas através da análise laboratorial das propriedades magnéticas de artefactos arqueológicos de argila cozida bem datados que registaram, durante seu último aquecimento/arrefecimento, as características do CMT predominante na época. Estruturas *in situ* (fornos de produção, fornos domésticos e lareiras) permitem recuperar a antiga direção do CMT e, em certos casos, a sua intensidade. Para artefactos *ex situ*, como as cerâmicas, as informações da direção não podem ser recuperadas, mas a intensidade pode ser obtida.

A partir da década de 30 do século XX, os princípios básicos do arqueomagnetismo começam a ser estabelecidos por Emile Thellier (1938) e, em 1959, Emile e Odette Thellier (Institute de Phisique du Globe, Paris) (Figura 1) desenvolveram um método experimental para recuperar a intensidade do CMT antigo. A partir deste método experimental e posteriores melhorias, diversos protocolos experimentais foram melhorados, dando origem a diversos estudos na Europa, permitindo a definição de curvas de referência para diversas regiões – Península Ibérica, maioritariamente centrada em Espanha, (Núñez, 2004; Gómez-Paccard *et al.* 2006a, 2008, 2012; Molina-Cardin *et al.*, 2018); França (Bucur, 1994, Chauvin *et al.*, 2000; Le Goff *et al.*, 2002; Gallet *et al.*, 2009; Hervé *et al.*, 2013a, 2013b; Genevey *et al.*, 2002, 2009, 2013, 2016); Itália (Tema *et al.* 2006, 2013), Alemanha (Schnepp; Lanos 2005), Reino Unido (Zananiri *et al.*, 2007), Bulgária (Kovacheva *et al.*, 2014).



Figura 1 – Emile e Odette Thellier (Créditos : archeomag\_jpgp)

## Objecto de estudo e metodologia de amostragem

Para a construção das curvas de referência da variação secular do CMT em direcção (Inclinação [I]; Declinação [D]) e em intensidade (F), para uma região (raio de 500-600 Km), o Arqueomagnetismo assenta essencialmente em dois objectos de estudo:

1. Estruturas de combustão *in situ*, bem datadas;
2. Cerâmicas, bem datadas.

Nos estudos arqueomagnéticos, o objecto, as suas características, a datação, o rigor metodológico da amostragem são fundamentos primordiais para a construção das curvas de referência (Tabelas 1 e 2; Figuras 2, 3 e 4).

## Aplicações na Arqueologia

O Arqueomagnetismo, tal como outros métodos de datação (C14, dendrocronologia, termoluminescência...), também tem os seus desafios experimentais inerentes à determinação de resultados fiáveis, tendo em consideração as diversas condicionantes inerentes à investigação (preservação dos

minerais ferromagnéticos existentes nas argilas, temperaturas a que foram submetidos, condições deposicionais, protocolo experimental utilizado). Sempre que é possível recuperar os valores antigos do CMT, a disciplina pode ser aplicada em:

- Datação de uma estrutura de combustão (com base em CVS de referência para a região);
- Comparação das cronologias de um conjunto de estruturas de combustão quanto ao último funcionamento (antes da construção de CVS);
- Verificação de homogeneidade cronológica e/ou de residualidade em conjuntos de cerâmicas;
- Verificação se determinado recipiente teve uma utilidade de confecção, apesar da sua tipologia indicar outra funcionalidade;
- Confirmação de áreas de combustão;
- Estimativa de temperaturas e o número de componentes de aquecimento de cerâmicas e estruturas de combustão;
- Avaliação se uma estrutura/área de combustão está *in situ*.



**Arqueomagnetismo-objeto de estudo e metodologia de amostragem**  
**Variação secular do CMT em direcção**

**Estruturas de combustão *in situ* (último funcionamento)**

Objecto de estudo	Determinação do CMT em direcção	Tipologia de amostras	N.º de amostras	Técnica de amostragem ( <i>in situ</i> )	Observações
<p>1.Estruturas de combustão:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fornos de produção;</li> <li>- Fornos domésticos;</li> <li>- Lareiras;</li> <li>- Áreas de incêndio e/ou combustão;</li> </ul>	<p>- Inclinação [I];</p> <p>- Declinação [D], registados durante o último aquecimento / arrefecimento das estruturas.</p> <p>Datação: Para a construção da curva é fundamental conhecer a cronologia do final de funcionamento da estrutura.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cerâmica;</li> <li>- Argila cozida;</li> <li>- Solo queimado;</li> <li>- Rocha;</li> <li>- Seixos com sinais de rubefacção;</li> </ul>	15-20	<p>A técnica depende da natureza do trabalho arqueológico (investigação ou preventivo) e da tipologia das estruturas:</p> <p>1. <b>Perfuração</b>, de carotes cilíndricos (protocolo experimental: IDL, FCUL). As amostras são recolhidas por perfuração de carotes cilíndricos, com uma carotadora mecânica, de broca diamantada, refrigerada através de um sistema de circulação de água. Para a determinação dos ângulos de declinação e inclinação, as amostras são rigorosamente orientadas <i>in situ</i>, através de uma bússola magnética e de um inclinómetro, posteriormente removidas e numeradas. Em laboratório, são cortadas e padronizadas (2,5 x 2,25 cm) e posteriormente analisadas através dos métodos de campos alternos (IDL; IPG, Paris) e/ou desmagnetizações térmicas (IPG, Paris), de forma a desmagnetizar a magnetização remanescente natural de cada amostra e obter uma direcção magnética característica em dois ângulos - inclinação e declinação. O cálculo da distribuição média das direcções obtidas numa estrutura é realizado pela estatística de Fisher (1953), com projecção em diagrama de Zijderveld, com parâmetros de precisão (K) e grau de confiança de 95% (α95) (<b>Figura 2</b>).</p> <p>2. <b>Chapeau de plâtre</b>, em blocos de gesso (protocolo experimental: IPG, Paris). As amostras recolhidas através desta técnica permitem a orientação <i>in situ</i> do norte magnético, norte geográfico (solar) e remoção das amostras de forma muito rigorosa. Após uma avaliação de toda a estrutura de combustão, as amostras (de argila cozida, cerâmica de construção, rocha) são seleccionadas, devendo existir, sempre que possível, uma cobertura integral da estrutura, privilegiando-se as áreas de maior combustão - base, em detrimento das paredes. À remoção cautelosa das amostras com recurso a espátulas, segue-se a protecção da base com bandas de gesso, permitindo uma maior preservação. Em laboratório, os blocos são cortados e as amostras são padronizada em moldes de 12 x 12cm, sendo posteriormente submetidas às medições no inductómetro de rotação rápida, desenvolvido por Maxime Le Goff (1967), no Observatoire de Chambon-La-Fôret, Orleães, IPG, Paris (<b>Figura 3</b>).</p>	<p>De cada amostra individual, uma direcção é obtida. A média de todas as direcções individuais permite derivar uma direcção que é característica da direcção do campo magnético predominante no momento em que a estrutura foi aquecida / arrefecida pela última vez. Número mínimo de 8 amostras (direcções) por estrutura.</p> <p>O erro da direcção média não deve exceder 5°, caso contrário os dados são descartados, não sendo suficientemente precisos para serem considerados como ponto de referência.</p> <p>Arqueologia preventiva: salientamos a importância de amostrar estruturas de combustão que possam ser detectadas no âmbito de escavações preventivas. Dessa forma, as estruturas serão preservadas para o arqueomagnetismo e objeto de análises futuras.</p>

Tabela 1 - Arqueomagnetismo: objecto de estudo e metodologia de amostragem; Variação secular do CMT em direcção. Estruturas de combustão *in situ* (último funcionamento).





Figura 2 - Protocolo experimental para análises de direcção\_técnica de perfuração (Laboratório de Paleomagnetismo do Instituto Dom Luiz, Faculdade de Ciência, Universidade de Lisboa) (Créditos: a) b) Clementino Amaro; c) f) autora: a) Amostragem do Forno 1 da Garrocheira (Benavente), fim de laboração, entre finais do séc. II/1.<sup>a</sup> met. do séc. III d.C. (Amaro; Gonçalves, 2017) (Créditos: Clementino Amaro); b) Orientação das amostras com bússola e inclinómetro (Créditos: Clementino Amaro); c) Pormenor da amostragem do forno 2 da Garrocheira (Benavente), com cobertura de toda a estrutura e privilegiando-se a base; d) Magnetómetro rotativo (Spinner magnetometer)\_JR6 da Agico: medição da magnetização remanescente das amostras (IPG, Paris); e) AF Demag- D-2000 T: desmagnetizações das amostras por campos alternos (AF) (IPG, Paris); f) Magnétómetro criogénico (SQUIDS: Superconducting Quantum Interference Devices): instrumento de máxima precisão para a desmagnetizações por campos alternos (AF) aplicado em amostras de baixa magnetização (IPG, Paris).







Figura 3 (página anterior) - Protocolo experimental para análises de direcção\_técnica Chapeau de plâtre (Thellier, 1981) (técnica desenvolvida e usada pelo Laboratoire de Paléomagnétisme, Institut de Physique du Globe de Paris; Laboratoire d'Archeologie Moléculaire et Structurale [LAMS], Université Pierre et Marie Curie, Paris) | Etapas de amostragem de um forno doméstico em argila cozida em Moissy-Cramayel (Seine-et-Marne, Île-de-France [77]), para datação, realizadas no âmbito de Arqueologia Preventiva (INRAP) (Créditos de fotografias a) - h) G. Hartmann; i) l) autora): a) Exemplo de um do forno doméstico medieval de Moissy-Cramayel selecionado para amostragem; b) Escavação de grandes blocos de argila cozida (6 a 10 blocos, de 24 x 12 cm); c) Cada bloco é revestido por bandas de gesso para permitir maior coesão; d) Em cada bloco, são colocados 1 ou 2 “chapéus” de gesso (de Paris, de composição fina para moldar), nivelados com placas de acrílico e bolas de nível, permitindo o molde de uma superfície perfeitamente horizontal para a orientação e identificação; e) Orientação das amostras: a) Norte magnético, utilizando uma bússola ou declinador (mais preciso), para a gravação do alinhamento da orientação com recurso a um utensílio não magnético; f) Exemplo de orientação do norte magnético com declinador; g) Orientação das amostras: Orientação solar, utilizando um orientador solar, marca-se o alinhamento da orientação com recurso a um utensílio não magnético; h) Exemplo de um bloco (2 amostras), devidamente orientadas pelo Norte magnético e orientação solar ; i) Amostragem da grelha em argila cozida do forno romano do Lumiar (Lisboa), datado arqueologicamente de Época Alto-Imperial (informação Cristina Silva) (Amostragem realizada por Pedro Silva; Maria Ângelo); j) Em laboratório, as amostras são cortadas e padronizadas em moldes de 12 x 12 cm (Observatoire de Saint-Maur, IPG, Paris); l) Análises em curso no inductómetro de rotação rápida (Observatoire de Chambon-La-Fôret, IPG, Paris).



**Arqueomagnetismo-objeto de estudo**  
**Variação secular do CMT em intensidade**  
**(Protocolo experimental -TRIAXE - do Laboratoire de Paléomagnétisme, IPG Paris; Laboratoire d'Archeologie Moléculaire et Structurale [LAMS], Université Pierre et Marie Curie, Paris)**  
**Cerâmica *in situ* ou *ex situ***

Objecto de estudo	Determinação do CMT em intensidade	Tipologia de amostras	Datação	N.º de amostras	Técnica de amostragem	Observações
<p>Cerâmica de origem local ou regional</p> <p>Vários contextos possíveis:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Locais de produção de cerâmica (de pequenas oficinas a grandes complexos de produção), o contexto ideal para esse tipo de estudo</li> <li>- Locais de ocupação com duração relativamente curta;</li> <li>- Cerâmica encontrada em um contexto de ocupação, mas cuja tipo-morfologia permita garantir uma grande homogeneidade temporal aos grupos.</li> </ul>	<p>Intensidade registada:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Quando a cerâmica é produzida no forno;</li> <li>· Durante a última utilização do forno, no caso de cerâmica pertencente à própria estrutura;</li> <li>· Durante um segundo reaquecimento (por exemplo, durante um incêndio);</li> </ul>	<p>-Cerâmica utilizada para servir, preparar e armazenar;</p> <p>-Cerâmica de construção;</p> <p>Particularidades:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pasta: bem cozida;</li> <li>- Cozedura: em atmosfera oxidante ou oxidante-redutora. As cerâmicas com cozedura redutora apresentam alterações mineralógicas no decurso do protocolo experimental;</li> <li>- A cerâmica de confecção é evitada, tendo em consideração os sucessivos reaquecimentos, devido à sua utilização ao lume, tornando o sinal magnético mais complexo;</li> <li>- Dimensões mínimas de cada fragmento: 5x5 cm, tendo em consideração as inúmeras análises a realizar;</li> </ul>	<p>Os fragmentos/ conjuntos deverão ser provenientes de cerâmicas e contextos estratigráficos bem datados (50 anos entre o <i>terminus post quem</i> e o <i>terminus ante quem</i> (máximo 100 anos), para recuperar com precisão as variações de intensidade geomagnética.</p> <p>Os fragmentos/conjunto deverão ser homogêneos em termos crono-tipológicos, da mesma unidade estratigráfica e/ ou sector.</p>	15-20 Fragmentos de recipientes distintos	Manual	<p>As medidas de intensidade realizam-se no magnetómetro TRIAXE desenvolvido pelo Laboratoire de Paleomagnétisme do IPG, Paris (Le Goff, Gallet, 2004). O protocolo deriva do método de Thellier; Thellier (1959) e consiste na substituição da magnetização remanescente natural adquirida no momento do arrefecimento do objecto em estudo, por uma nova magnetização termoremanescente adquirida em laboratório num campo aplicado.</p> <p>Recuperar a intensidade do antigo campo magnético é uma investigação bastante desafiadora, uma vez que a mineralogia magnética da cerâmica nem sempre é favorável a esse estudo (<b>Figura 3</b>).</p> <p>A estabilidade térmica da mineralogia magnética é a primeira verificação, através de análises de susceptibilidade.</p> <p>Em seguida, os resultados de intensidade são avaliados através de um conjunto de critérios de qualidade (por exemplo, Genevey et al. 2009):</p> <p>Ao nível da amostra/espécime: verificação da qualidade da determinação da intensidade;</p> <p>Ao nível do fragmento: 2 a 4 amostras/espécimes são analisadas e os valores de intensidade devem concordar em 5%.</p> <p>Ao nível do grupo: Três fragmentos de recipientes distintos devem ser analisados com êxito e o erro em torno da média deve ser menor que 10% e 5µT.</p>

Tabela 2 - Arqueomagnetismo: objecto de estudo; Variação secular do CMT em intensidade. Cerâmica *in situ* ou *ex situ*.





Figura 3 - Protocolo experimental para análises de intensidade (Laboratoire de Paléomagnétisme, Institut de Physique du Globe de Paris; Laboratoire d'Archeologie Moléculaire et Structurale [LAMS], Université Pierre et Marie Curie, Paris): a) Exemplo de amostra de cerâmica para análises de susceptibilidade magnética; b) c) Preparação de espécimes (1 x 1 cm) de um fragmento de cerâmica proveniente do sítio arqueológico do Caladinho (PCAL 01); d) Grupos cronológicos provenientes da olaria da Quinta do Rouxinol (PQRO 01 a 06); e) Magnetómetro Triaxe 3: análises de intensidade.



## Referências bibliográficas

BUCUR, I. (1994), "The direction of the terrestrial magnetic field in France during the last 21 centuries", *Phys. Earth Planet. Inter.*, 87, 95-109;

CHAUVIN, A.; GARCIA, Y; LANOS, P.; LAUBENHEIMER, F. (2000), "Paleointensity of the geomagnetic field recovered on archaeomagnetic sites from France ", *Phys. Earth Planet. Int.*, 120, 111-136.

GALLET, Yves; GENEVEY, Agnès; LE GOFF, Maxime; WARMÉ, Nicolas; GRAN-AYMERICH, Jean; LEFÈVRE, Annie (2009), "On the use of archeology in geomagnetism, and vice-versa: recent developments in archeomagnetism", in C.R. Physique 10, *Science Direct*, pp. 630-648.

GENEVEY, Agnès, GALLET Y., (2002) "Intensity of the geomagnetic field in western Europe over the past 2000 years: New data from ancient French pottery". *Journal of Geophysical Research*, 107 (B11), 2285. doi:10.1029/2001JB000701.

GENEVEY, Agnès, GALLET Y., ROSEN J., LE GOFF, M. (2009), "Evidence for rapid geomagnetic field intensity variations in Western Europe over the past 800 years from new French archeointensity data". *Earth and Planetary Science Letters*, 284 (1-2), p. 132-143.

GENEVEY, Agnès, GALLET Y., THÉBAULT E., JESSET S., LE GOFF, M., (2013) "Geomagnetic field intensity variations in Western Europe over the past 1100 years". *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 14 (8), p. 2858-2872.

GENEVEY, Agnès; GALLET, Yves; JESSET, Sébastien; THÉBAULT, Erwan; BOUILLON, Jérôme; LEFÈVRE, Annie; LE GOFF, Maxime (2016), "New archeointensity data from French Early Medieval pottery production (6th-10th century AD). Tracing 1500 years of geomagnetic field intensity variations in Western Europe", *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 257, 205-219.

GÓMEZ-PACCARD, M; Chauvin, A; Lanos, P.; McIntosh, G., Osete, M.L. Catanzariti, G., Ruiz-Martinez, V.C.; Nunez, J. I. (2006), "First archeomagnetic

secular variation curve for the Iberian Peninsula: Comparison with other data from Western Europe and with global geomagnetic field models", *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 7.

GÓMEZ-PACCARD, M; Chauvin, A; Lanos, P.; Thiriot, J. (2008), « New archeointensity data from Spain and the geomagnetic dipole moment in western Europe over the past 2000 years", *J. Geophys. Res.*, 113, B09103.

GÓMEZ-PACCARD, M., CHAUVIN, A., LANOS, P., DUFRESNE, P., KOVACHEVA, M., HILL, M. J., BEAMUD E., BLAIN S., BOUVIER A., GUIBERT, P., (2012) "Improving our knowledge of rapid geomagnetic field intensity changes observed in Europe between 200 and 1400 AD". *Earth and Planetary Science Letters*, 355-356, p. 131-143.

HERVÉ, G., CHAUVIN, A., LANOS, P., (2013a). Geomagnetic field variations in Western Europe from 1500BC to 200AD. Part II: New intensity secular variation curve. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 218, p. 51-65.

HERVÉ, G., CHAUVIN, A., LANOS, P., (2013b) Geomagnetic field variations in Western Europe from 1500BC to 200AD. Part I: Directional secular variation curve. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 218, p. 1-13.

KOVACHEVA, M., KOSTADINOVA-AVRAMOVA M., JORDANOVA N., LANOS P., BOYADZHIEV Y. (2014). "Extended and revised archaeomagnetic database and secular variation curves from Bulgaria for the last eight millennia". *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 236, p. 79-94.

LE GOFF, M., GALLET, Y., GENEVEY, A., WARMÉ, N., (2002), "On archeomagnetic secular variation curves and archeomagnetic dating". *Phys. earth. planet. inter.*, vol. 134, p. 203-211.

LE GOFF, Maxime Le; GALLET, Yves (2004), "A new three-axis vibrating sample magnetometer for continuous high-temperature magnetization measurements: applications to paleo- and archeointensity determinations", *Earth and Planetary Science Letters*, 229, p. 31-43.

MOLINA-CARDÍN et al. (2018), "Update Iberian Archeomagnetic Catalogue: new full vector paleosecular variation curve for the last three millennia", *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 19.

SCHNEPP E., LANOS P. (2005). Archaeomagnetic secular variation in Germany during the past 2500 years. *Geophysical Journal International*, 163(2), p. 479-490.

TEMA E., HEDLEY I., LANOS P. (2006). Archaeomagnetism in Italy: a compilation of data including new results and a preliminar Italian secular variation curve. *Geophysical Journal International*, 167(3), p. 1160-1171.

TEMA, E., MORALES J., GOGUITCHAICHVI, A., CAMPS, P., (2013). New archaeointensity data from Italy and geomagnetic field intensity variation in the Italian Peninsula. *Geophysical Journal International*, 193(2), p. 603-614.

THELLIER, E. (1938), *Sur l'aimantation des terres cuites et ses applications Géophysiques*, Thèse de doctorat, Paris.

THELLIER, E. ; THELLIER, O. (1959), "Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique", *Ann. Geophys.* 15, 285 - 376.

THELLIER, E. (1981), "Sur la direction du champ magnétique terrestre en France durant les deux derniers millénaires", *Phys. Earth Planet. Inter.*, 24, 89-132.

ZANANIRI, I., BATT, C.M.; LANOS, P.; TARLING, D.H.; LINFORD, P. (2007), "Archaeomagnetic secular variation in the UK during the past 4000 years and its application to archaeomagnetic dating", *Phys. Earth Planet. Inter.*, 160, 97-107.