

## **Ferromagnétisme et Nano-électronique en passant par l’ Holographie : Exploration des Systèmes de Mémoire.**

Le besoin croissant de stockage de données, parallèlement au développement des technologies, rend l’étude des mémoires particulièrement intéressante. Ce sujet pluridisciplinaire regardant du passé au futur explore notamment les avantages et limites des mémoires non volatiles et modifiables.

Les mémoires transforment l’information en états physiques pouvant être modifiés et mesurés. Elles reflètent une transition technologique, des premières méthodes de stockage aux solutions innovantes actuelles, illustrant l’évolution continue vers des dispositifs plus performants.

**Ce TIPE fait l'objet d'un travail de groupe.**

**Liste des membres du groupe :**

- CHAMPMARTIN Erwan

**Positionnement thématique (ÉTAPE 1) :**

- *PHYSIQUE (Physique de la Matière)*
- *PHYSIQUE (Physique Interdisciplinaire)*
- *PHYSIQUE (Physique Ondulatoire)*

**Mots-clés (ÉTAPE 1) :**

<b>Mots-clés (en français)</b>	<b>Mots-clés (en anglais)</b>
<i>Hystérésis</i>	<i>Hysteresis</i>
<i>Mémoire à tores ferromagnétiques</i>	<i>Magnetic core memory</i>
<i>Memristor</i>	<i>Memristor</i>
<i>Densité de stockage</i>	<i>Storage density</i>
<i>Robustesse</i>	<i>Robustness</i>

### **Bibliographie commentée**

Face à l’essor de l’informatique entre les années 1930 et 1950, les cartes perforées émergèrent comme une solution novatrice pour le stockage de données. Bien que de nos jours elles puissent être considérées comme des mémoires primitives en raison de leur faible capacité (quelques dizaines de caractères par carte) et de leur fort encombrement spatial (10 × 8 cm par carte), elles sont néanmoins à la base du traitement automatisé de l’information. Incapables de

répondre aux besoins croissants de rapidité et de quantité de stockage, qui ont évolué au fil des générations, elles ont été peu à peu remplacées par des systèmes de stockage adaptés à leur époque.

Ainsi, dans les années 1950, grâce à l'évolution des connaissances dans le domaine du ferromagnétisme [1, 2, 3], notamment grâce aux travaux de Weiss et Heisenberg, les mémoires à tores magnétiques ont émergé [4]. Ces mémoires non volatiles et modifiables ont été utilisées pendant une vingtaine d'années et reposaient sur le principe suivant : des anneaux en ferrite (ou « tores ») étaient disposés dans une matrice de fils conducteurs, organisés en lignes et colonnes, permettant de sélectionner chaque tore individuellement. Chaque anneau, doté de propriétés ferromagnétiques, pouvait être magnétisé dans deux directions opposées, représentant ainsi les états binaires 0 et 1 [4]. Ce phénomène était rendu possible grâce à l'hystérésis magnétique, une propriété des matériaux ferromagnétiques leur permettant de conserver leur orientation magnétique après l'application d'un champ magnétique externe [3].

Deux opérations principales régissaient le fonctionnement de la mémoire : l'écriture et la lecture. Pour écrire les données, un courant électrique était envoyé à travers les fils croisant la position du tore à modifier, créant ainsi un champ magnétique qui orientait le moment du tore dans le sens souhaité [1, 2, 3]. Lors de la lecture, on procédait à une magnétisation du tore dans un sens donné. Si le sens initial était différent, le retournement brusque des domaines de Weiss induisait une impulsion électrique dans le fil de lecture. Cette méthode, bien que destructive, permettait de déterminer l'état initial du tore [4]. Bien que ces opérations semblent élémentaires, elles reposaient en réalité sur un système d'adressage complexe mettant en jeu l'utilisation de semi-conducteurs [5] pour alimenter les tores désirés et sur un système de lecture fondé sur des amplificateurs opérationnels [6].

À mesure que les besoins en densité et en vitesse de stockage ont augmenté, les technologies optiques ont aussi été utilisées. De nos jours, les mémoires holographiques, bien qu'encore en développement, se distinguent par leur capacité à stocker des données en trois dimensions, en utilisant des faisceaux laser pour écrire et lire des informations [7]. Ces mémoires fonctionnent en exploitant les interférences lumineuses [8] pour enregistrer des motifs fabriqués par un modulateur spatial de lumière dans des matériaux photosensibles. Contrairement aux mémoires magnétiques, où les données sont organisées en matrices bidimensionnelles, les mémoires holographiques permettent de superposer plusieurs couches d'informations dans un même volume, augmentant considérablement la densité de stockage.

La recherche actuelle sur le stockage de données est également marquée par le développement du memristor. Décrit pour la première fois en 1971 par Leon Chua, il est considéré comme le quatrième composant fondamental en électronique. Son fonctionnement réside dans l'utilisation de matériaux semi-conducteurs qui rendent possible la migration de lacunes d'oxygène. Grâce à cela, un champ électrique est capable de modifier la distribution de charge du matériau modifiant par la même occasion la résistance globale [9]. En outre, ce champ électrique peut être généré par l'application d'un courant à travers le composant. Ce processus peut être inversé par l'utilisation d'un courant opposé. Par cette méthode, il est donc possible de créer

deux états binaires correspondant aux valeurs résistives du matériau avant et après la modification. L'organisation des memristors en matrice, puis en couches successives, permet finalement de constituer une mémoire.

## Problématique retenue

Comment les principes physiques fondamentaux des mémoires à tores magnétiques, des mémoires holographiques et des memristors — notamment l'utilisation des matériaux ferromagnétiques, des phénomènes d'interférences lumineuses et de la résistance — contribuent-ils à optimiser la densité de stockage, la vitesse d'écriture et la résistance aux facteurs externes ?

## Objectifs du TIPE du candidat

Choisir le matériau ferromagnétique qui sera utilisé pour concevoir une mémoire à tore.

Réaliser une campagne de mesures et la confronter aux modèles théoriques.

Comparer la mémoire obtenue aux memristors.

Optimisation des mémoires : densité de stockage et robustesse.

## Références bibliographiques (ÉTAPE 1)

- [1] ARNAUD COURTI : Électricité et magnétisme : <https://physique.merici.ca/electricite/Arnaud-em.pdf> 14/03/2024
- [2] ETIENNE DU TRÉMOLET DE LACHEISSERIE ET AL. : Magnétisme I - Fondements : EDP Sciences, 2000, ISBN 2.86883.463.9
- [3] ETIENNE DU TRÉMOLET DE LACHEISSERIE ET AL. : Magnétisme II - Matériaux et applications : EDP Sciences, 2000, ISBN 2.86883.464.7
- [4] STUART F. DANIELS : Theory and design techniques for magnetic-core memories - Volume I : <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19670003661/downloads/19670003661.pdf> 15/01/2025
- [5] CHRISTIAN NGO, HÉLÈNE NGO : Physique des semi-conducteurs (4e édition) : Dunod, Paris, 2012, ISBN 978-2-10-058343-0
- [6] MICHEL GIRARD : Amplificateurs opérationnels 2 : Ediscience international, 1989, ISBN 2-84074-051-6
- [7] ROBERT J. COLLIER : Optical holography : Academic Press Inc, 1977 ISBN 0121810526
- [8] RÉMI CARMINATI, CLAUDE BOCCARA : Optique : [https://www.institut-langevin.espci.fr/IMG/pdf/optique\\_2015.pdf](https://www.institut-langevin.espci.fr/IMG/pdf/optique_2015.pdf) 20/01/25

**[9]** VALERI MLADENOV : Advanced Memristor Modeling : *MDPI*, 2019, ISBN 978-3-03897-103-0