

TIPE 2025 : Modélisation d'hystérésis

Pacôme Daval

Maxime Brun

Paul Brunot

15 avril 2025

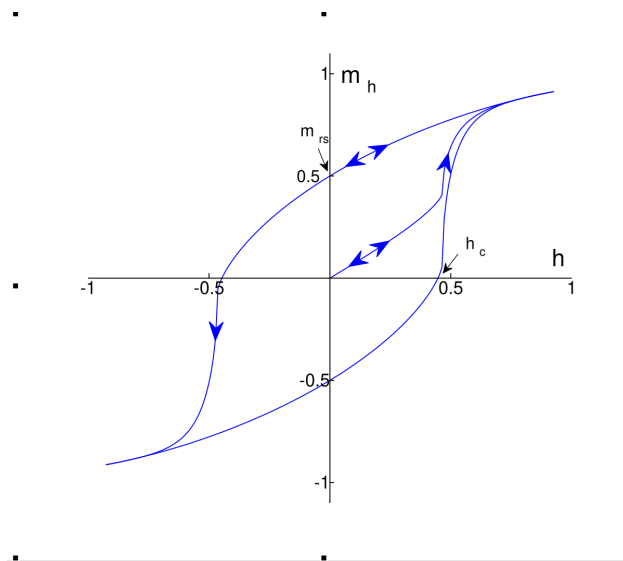


FIGURE 1 – Cycle d'hystérésis d'un matériau ferromagnétique.

Table des matières

1	Introduction	3
1.1	Définitions	3
1.2	Histoire	3
1.3	Utilisations	4
2	Modélisation	4
2.1	Modèle de Preisach	5
2.2	Modèle de Bouc-Wen	5
3	Expérience	5
3.1	Matériaux ferromagnétiques	5
4	Comparaison	6
5	Conclusion	6

1 Introduction

L'objectif initial de ce TIPE est d'un côté de modéliser le phénomène d'hystérésis en comparant les différents modèles préexistants et dans la mesure du possible comparer la modélisation avec les expériences faites.

1.1 Définitions

Avant tout, commençons par définir tous le vocabulaire qui va être utilisé en particulier ce qu'est un cycle d'hystérésis. Comme cela est défini dans le *Dictionnaire de l'Académie Française* :

Hystérésis : Phénomène qui s'observe dans les réactions élastiques ou magnétiques de certains corps et qui consiste en un retard de l'effet sur la cause. [1]

Ou globalement, l'évolution de l'état d'un système possède une dissymétrie en fonction de l'évolution d'une cause extérieure. Cette définition un peu barbare, de prime abord, mais au fond explique juste que l'état d'un système dépend directement de son état passé pour de mêmes conditions extérieures.

Ainsi ; nous pouvons définir ce qu'est un cycle d'hystérésis :

Cycle d'hystérésis : Lorsqu'on impose à la cause C des variations périodiques, l'hystérésis est responsable d'une forme particulière pour la courbe $E = f(C)$ appelée **cycle d'hystérésis**. Une valeur x peut donc avoir deux images y différentes.

Il est important de noter qu'un cycle d'hystérésis est la plupart du temps orienté pour connaître précisément son état.

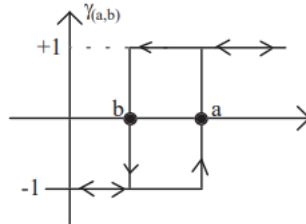


FIGURE 2 – Cycle d'hystérésis

1.2 Histoire

C'est au milieu du 19ème siècle qu'un certain nombre scientifiques ont commencé à remarquer que certaines machines possédant un noyau ferromagnétique présentaient des pertes d'énergie lors que cycles.

Mais c'est en 1881 que le physicien *Sir James Alfred Ewing* fut le premier à utiliser le terme d'hystérésis pour décrire le comportement de certains matériaux magnétiques au sein d'un champ magnétique.

Au cours du début du 20ème siècle, un grand nombre de découverte scientifiques sont faites autour du magnétisme en particulier l'influence assez importante de la température pour des matériaux ferromagnétiques. En particulier *Pierre Curie* qui met en évidence la présence d'une température à partir de laquelle un matériau ferromagnétique perd son magnétisme : la température de Curie.

C'est en 1935 que le physicien Allemand *Ferenc Preisach* propose une première modélisation de ce phénomène concernant les matériaux ferromagnétiques. Ce modèle est un des principaux

modèles existant de nos jours pour modéliser les hysteresis. Ce modèle sera abordé dans la suite de ce document, ainsi que ses caractéristiques et ses limites.

Le deuxième modèle fut quant à lui publié en 1969 par *Robert Bouc* ingénieur au CEA, puis amélioré par *Yi-Kwei Wen* en 1976. Ainsi, le modèle Bouc-Wen est aujourd'hui le modèle le plus adapté pour modéliser les cycles d'hystérésis mais aussi le plus modelable pour l'appliquer à un grand nombre de situations.

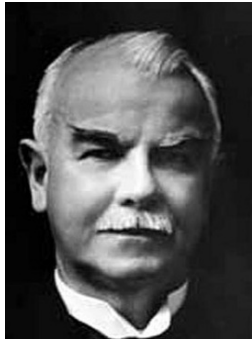


FIGURE 3 – Sir James Alfred Ewing



FIGURE 4 – Yi-Kwei Wen

1.3 Utilisations

Le phénomène d'hystérésis fut à l'origine théorisé pour les matériaux ferromagnétiques, mais il a, depuis, été adapté dans un grand nombre de domaines. On peut ainsi le retrouver dans la gestion thermique de bâtiments (chauffe eau), dans l'étude des matériaux élastiques, composites, dans la mécanique des sols et des séismes, dans la gestion du chômage...

2 Modélisation

Il existe aujourd'hui un certain nombre de modèles qui s'intéressent aux hystérésis. Cependant, il est possible de les regrouper en deux grandes catégories :

1. Ceux basés sur un opérateur (**operator based model**)

- Ils sont basés sur un opérateur non linéaire qui "garde mémoire" du passé pour déterminer l'état futur du système.
- C'est le cas du modèle de Preisach

2. Les modèles différentiels (**differential based model**)

- Ils sont basés sur des systèmes d'équations différentielles non-linéaires qui décrivent l'évolution du système en fonction du temps.
- C'est le cas du modèle de Bouc-Wen

2.1 Modèle de Preisach

2.2 Modèle de Bouc-Wen

3 Expérience

3.1 Matériaux ferromagnétiques

Au cours de nos recherches, nous avons remarqué que à la base le phénomène d'hystérésis fut découvert avec les comportements des matériaux ferromagnétiques. Ainsi, nous avons décidé de commencer par une expériences montrant ce phénomène.

Pour nous guider dans ces expériences, nous avons décidé de nous baser sur différentes présentations et article parlant de cela. [2] [3]

Ainsi, nous avons réalisé ce circuit dans un premier temps :

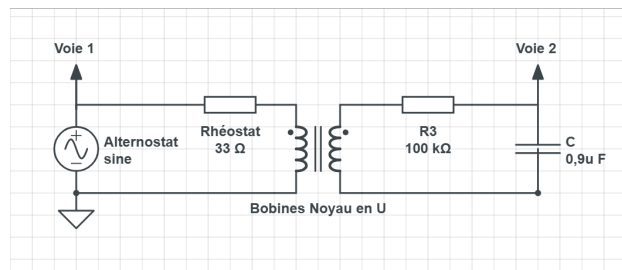


FIGURE 5 – 1er circuit de mesure

Cependant suite à quelques problèmes lors de premiers tests, le choix s'est porté sur l'utilisations d'un *push-pull* à la place de l'alternostat pour alimenter notre circuit. Le choix de remplacer le condensateur qui servait comme intégrateur par un ALi a aussi été fait pour plus de précision. Nous avons donc réalisé ce montage :

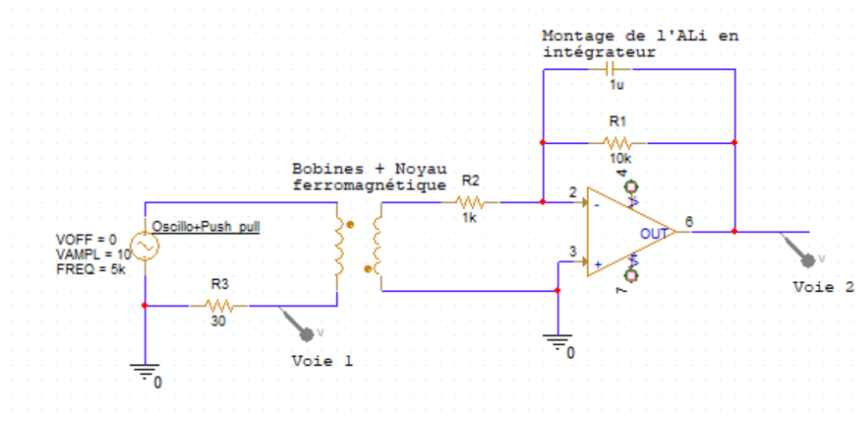


FIGURE 6 – 2ème circuit de mesure

4 Comparaison

5 Conclusion

Références

- [1] Académie française. hystérésis | Dictionnaire de l'Académie française | 9e édition.
<http://www.dictionnaire-academie.fr/article/A9H1425>.
- [2] Neimat Nahouli. Étude et réalisation d'un hystérésis-graphe d'un système de mesure du cycle d'hystérésis. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01622088v1/file/2014.TH.Nahouli.Neimat.pdf>.
- [3] Prépas Physique. TP agrégation physique : L'hystérésis magnétique, October 2024.