

# Projet d'Initiation MAIN, année 2022

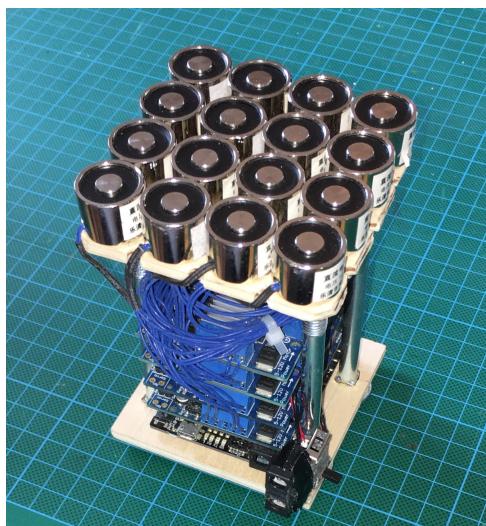
## Contrôle Magnétique d'Interfaces Liquides

Pierre Carles

Polytech Sorbonne / Laboratoire FAST

pierre.carles@sorbonne-universite.fr

*Dans le contexte de la recherche sur la dynamique des fluides à surface libre, nous avons développé une série d'outils de contrôle d'interface basés sur le principe de la lévitation magnétique. L'objet du présent projet est de développer un outil de calcul numérique permettant de prédire les effets de ces dispositifs.*



Si l'on considère un récipient immobile rempli d'eau en équilibre statique, alors en chaque point du liquide les forces de pression internes et la force de gravité se compensent. C'est l'*équilibre hydrostatique* naturel que l'on observe dans n'importe quel récipient rempli d'eau et qui impose en particulier que la surface de l'eau (*l'interface*) reste plane et perpendiculaire à la gravité.

On nomme *paramagnétique* un milieu qui ne produit pas de champ magnétique par lui-même mais qui peut s'aimanter sous l'action d'un champ imposé depuis l'extérieur. Par exemple, une barre de fer est un milieu paramagnétique. Dans un tel milieu, une force magnétique apparaît lorsque le champ magnétique imposé de l'extérieur n'est pas homogène. Cette force se combine à la gravité pour donner une *gravité effective*, qui est à la base des applications de *lévitation magnétique*.

Dans la situation d'*équilibre hydrostatique* d'un *liquide paramagnétique*, c'est cette *gravité effective* qui remplace la gravité : en tout point du liquide, les forces de pression et la *gravité effective* se compensent. Or, la *gravité effective* n'est pas forcément constante ni verticale : elle dépend de la forme du champ magnétique imposé au système. De ce fait, la surface du liquide magnétique, bien que toujours en équilibre statique, n'est plus forcément plane: on a créé des déformations d'interface sans pour autant forcer un mouvement du fluide, ce qui est normalement impossible. Une telle situation est présentée sur la figure ci-dessous, qui est bien une image fixe: les « bosses » et les « creux » que l'on voit sur l'image restent figés et immobiles tant que le champ magnétique est maintenu.



Dans ce projet, on propose aux élèves de concevoir un ou des codes numériques permettant de prédire la forme de l'interface hydrostatique, connaissant les propriétés physiques du fluide et les conditions imposées au champ magnétique dans l'expérience. La programmation des codes pourra se faire en C++ ou en utilisant un méta-langage tel que *Mathematica* ou *Matlab*.

- Dans un premier temps, le problème sera posé selon une géométrie simple et en supposant que l'on connaît le champ magnétique en tout point  $H(x, y, z)$ . Le code de calcul devra alors estimer  $\eta(x, y)$ , hauteur de l'interface en fonction de la position dans le plan horizontal. L'équation gouvernant  $\eta(x, y)$  s'obtient facilement en écrivant les conditions d'équilibre statique des forces s'exerçant de chaque côté de l'interface. Trouver  $\eta(x, y)$  revient alors à résoudre numériquement cette équation, qui est une équation aux dérivées partielles non linéaire d'ordre 2 en  $x$  et en  $y$ .
- Dans un second temps et selon l'avancement du projet, on pourra étendre le calcul afin de déterminer la forme du champs magnétique  $H(x, y, z)$  connaissant la nature des éléments magnétiques placés dans l'expérience. Ainsi, on disposera d'un outil qui permettra, en « plaçant » virtuellement des éléments magnétiques connus dans l'expérience, de prédire la forme que prendra l'interface liquide.

Dès que seront réalisées les premières estimations de la forme de l'interface sous des conditions géométriques simples, il sera possible de réaliser des mesures directement sur l'expérience pour les confronter aux prédictions numériques du code et valider celui-ci.