

Propulsion Magnéto hydro dynamique (MHD)

Introduction.	2
I- Origine physique du phénomène.	2
A)Origine du magnétisme.	2
1°)Définition:	2
2°)Aimants naturel et artificiel	2
3°)Actions réciproques de deux aimants	3
B) Le courant électrique.	4
C) Les forces de Laplace	4
D) La magnéto hydro dynamique.	5
Conclusion : Choix technologiques.	6
II -Etude et modélisation d'une tuyère MHD.	7
A) Réalisation de la tuyère.	7
B) Les conditions de la mesure.	9
1) choix expérimentaux.	9
2) Le type de mesure.	9
3) Le banc d'essai.	9
4) Les capteurs des grandeurs mesurées.	10
C) Mesure de quelques paramètres	10
1) Etude courant concentration ionique.	10
2) Caractéristique courant tension de la tuyère.	10
3) Mesure de la poussée en fonction de l'intensité du courant.	10
4) Mesure de la vitesse d'éjection en fonction du courant.	10
D) Modélisation.	16
1- Force de propulsion	16
a) Proposition de modélisation.	16
b) Résultats	17
2- La tuyère se comporte comme un moteur électrique.	17
3- Rendement	18
4- D'autres mesures possibles.	19
E) La réversibilité	19
F) Conclusion	20
III Réalisation du bateau	20
Conclusion	24
A) Comment améliorer le rendement ?	24
B) Technologies actuelles et futures.	24
C) Quelques généralités sur la MHD	24
Remerciements	26

LA MagnétoHydrodynamique

ou la recherche d'un moyen de propulsion sans pièces mobiles.

Introduction.

Habitant dans des communes proches de la mer, il nous a paru intéressant d'étudier un mode de propulsion de navires différent de ceux que nous connaissions jusqu'alors : la propulsion à hélice ou à turbine mécanique . Voguant sur le Web, nous avons entendu parler de la Magnéto Hydro Dynamique souvent reléguées à des sites soit trop peu sérieux (Ufologie, Dossiers secrets de la CIA) ou au contraire trop complexes pour être compris. Nous décidâmes donc d'entreprendre une étude du phénomène dans le cadre de ces Olympiades et à partir de cette étude d'essayer de faire « avancer » un objet flottant que l'on pourrait qualifier de navire.

I. Origine physique du phénomène.

Notre recherche commençant au début du cours de première , il nous a paru important d'étudier l'origine du phénomène même si, en cours d'année, nous devions l'aborder.

A. Origine du magnétisme.

Différentes expériences classiques ont été abordées permettant de comprendre l'origine du phénomène et d'essayer d'utiliser ces connaissances pour développer notre recherche.

1°)Définition:

Un aimant est un corps qui possède la propriété d'attirer certaines substances dites ferromagnétiques: le fer, le nickel, le cobalt et leurs alliages. L'aimantation est plus forte aux extrémités: ce sont les pôles Nord et Sud.

2°)Aimants naturel et artificiel:

L'aimant naturel est appelé magnétite, c'est un oxyde de fer: Fe_3O_4

Les premiers aimant artificiel furent en acier, ils sont obtenus par frottement sur un autre aimant ou à l'aide d'un courant électrique.

On fabrique des aimants permanents industriels : Les aimants permanents sont réalisés à partir de 4 familles avec par ordre d'apparition :

Les AlNiCo

Les ferrites durs (fin 1950)

Les Sm(CoFeCuZr) (fin 1970)

Les néodyme-fer-bore ou NdFeB (fin 1980)

Ils ont 2 types de fabrications : les aimants frittés et les aimants liés .

3°) Actions réciproques de deux aimants:

Une boussole est une aiguille aimantée légère montée sur un axe. Loin de tout autre aimant, elle s'oriente toujours dans le même direction: dans l'hémisphère nord, le Nord de l'aiguille est attiré par le pôle Nord géographique de la Terre.

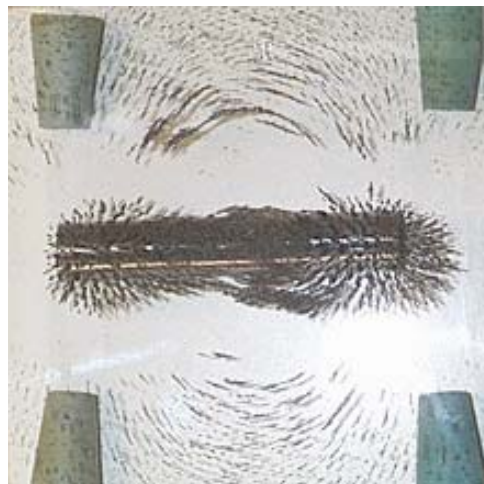
De deux aimants:

- deux pôles Nord se repoussent
- deux pôles Sud se repoussent
- un pôle Nord et un pôle Sud s'attirent

La force magnétique provient d'un champ magnétique produit par les aimants. Nous avons fait une expérience pour visualiser le champ magnétique produit par les aimants.(schéma d'expérience avec la limaille de fer).

Protocole : Nous posons une plaque de verre sur un aimant. Puis nous saupoudrons la plaque de limaille de fer.

Observation : on s'aperçoit que des lignes apparaissent.



Explication : ce sont les lignes de champs.

L'unité du champ magnétique est le tesla (T).

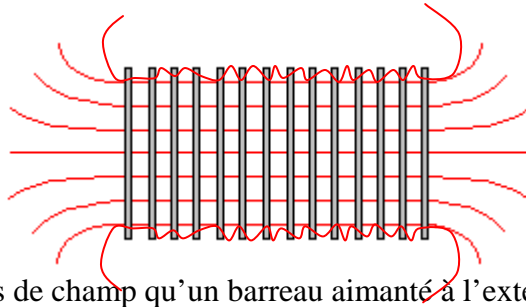
On le mesure avec un tesla mètre.

On utilise les Teslamètres du laboratoires où d'autres plus précis avec des sondes qui permettent de mesurer les champs dans des zones étroites comme notre tuyère.

Plus les lignes de champs sont concentrées, plus le champ sera intense. A l'extérieur de l'aimant, les lignes vont du pôle Nord vers le pôle Sud, et forment des boucles.

Le solénoïde est un fil de cuivre en spirale où l'on fait passer un courant électrique.

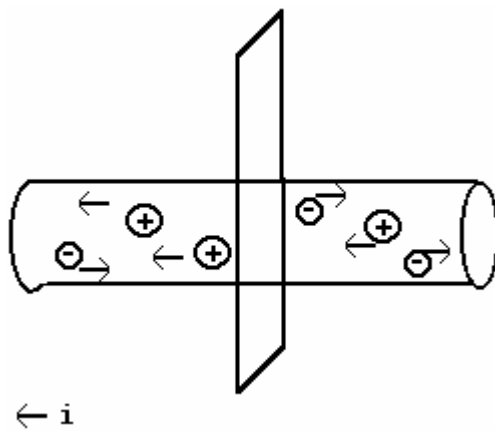
Il se comporte comme un aimant lorsqu'il est parcouru par ce courant.



et produit les mêmes lignes de champ qu'un barreau aimanté à l'extérieur

B. Le courant électrique.

Le courant électrique caractérise le déplacement de particules chargées à l'intérieur du milieu conducteur. Un courant électrique provoque un échauffement de la matière (effet joule), des processus électrochimiques (dans une solution ionique : oxydoréduction) , ainsi qu'un champs magnétique .

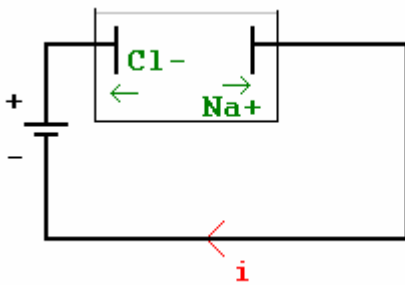


$i = \Delta Q / \Delta t$

Q = quantité de particules chargées

Le sens du courant va dans les potentiels décroissants.

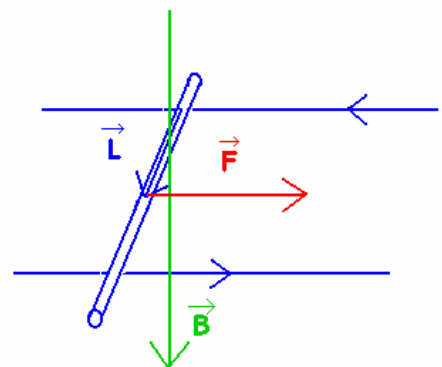
Schéma solution ionique



C. Les forces de Laplace

Une expérience simple réalisée sur le matériel du lycée (2 rails parallèles , une petite barre mobile et un aimant en U) nous a permis d'observer et de comprendre le phénomène.

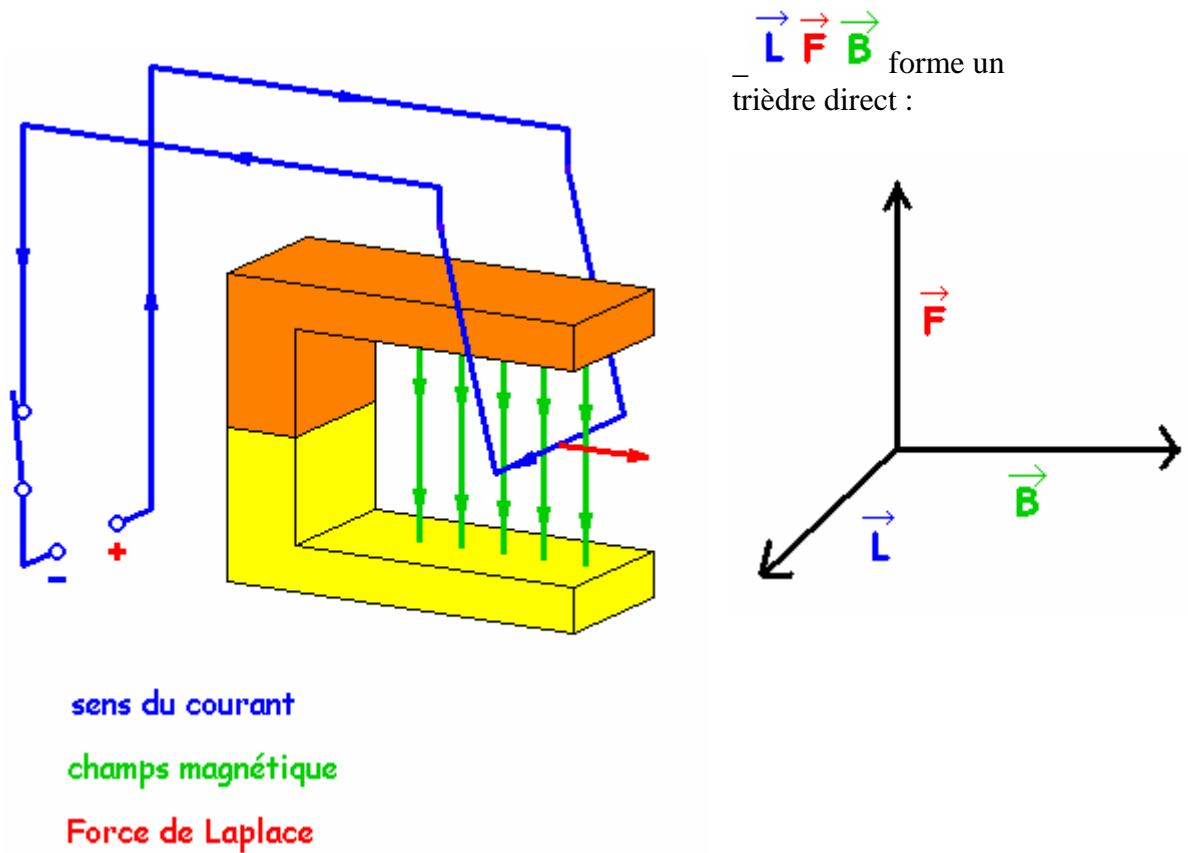
Schéma de la barre



- \vec{L} = courant
- \vec{F} = force de mise en mouvement
- \vec{B} = champs magnétique

Si l'on inverse le sens du vecteur \vec{B} , la force \vec{F} s'inverse aussi.

Il faut que les lignes de champs magnétique soit orthogonales au courant.



Rappel: Le module d'une force de Laplace F agissant sur un conducteur de longueur l parcouru par un courant I dans un champ magnétique uniforme B est donné par la formule : $F = I \cdot B \cdot l \cdot \sin(\langle I, B \rangle)$ (Newton)

l : La mesure du conducteur (Mètre)

I : L'intensité électrique circulant dans le conducteur (Ampère)

B : Le module du champ magnétique terrestre (Tesla)

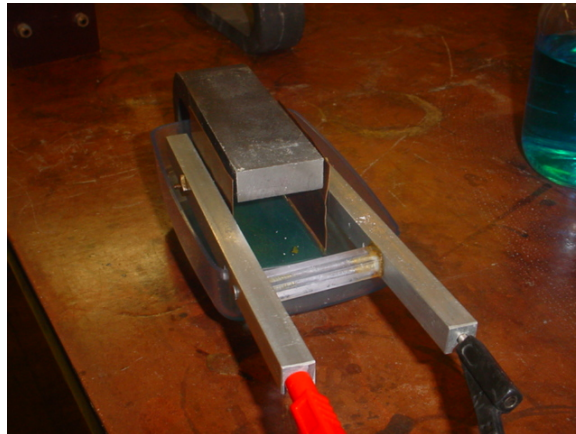
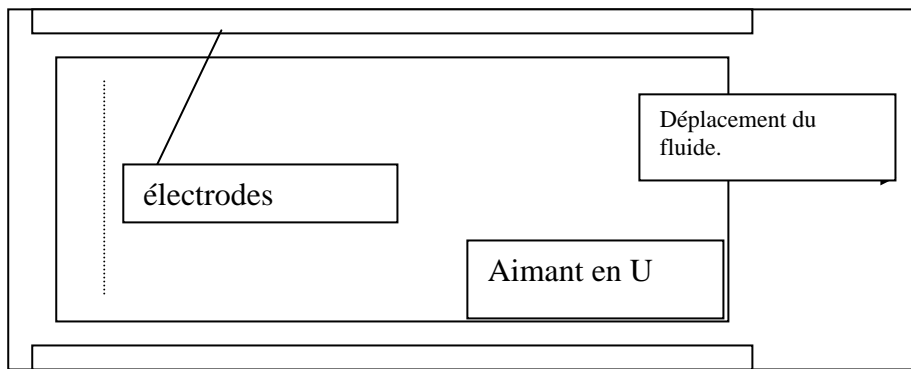
$\langle I, B \rangle$: L'angle que forment les vecteurs I et B (dans notre cas $\sin(I, B)$ est nul car les vecteurs sont orthogonaux) donc :

$$F = I \cdot B \cdot l$$

D) La magnéto hydro dynamique.

Appliquant ce raisonnement, nous avons décider de réaliser dans une cuve remplie de sulfate de cuivre (conducteur) une expérience permettant de mettre en mouvement des charges sur la même disposition que l'expérience ci-dessus.

Schéma de l'expérience vu de dessus.



Champ mesuré : B approximativement constant = 18mTesla

L'observation d'un mouvement du fluide montre que nos choix sont concluants mais ont posé plusieurs questions :

les ions , particules chargées responsables du courant entre les électrodes entraînent l'ensemble du fluide .

les particules chargées entrainées par le fluide mis en mouvement crée un courant donc un champ qui perturbe le champ d'origine.

Une mesure faite avec la sonde d'un teslamètre précis ne montre aucun changement décelable.

Conclusion : *Choix technologiques.*

Après diverses recherches (utilisation d'anciens aimants de « déviateur de particules » récupéré dans des matériel de laboratoire récupérés et stockés à l'IUT de Saint Briec) , nous avons choisis d'obtenir des champs magnétiques créés par des aimants permanents contenus dans des disques dur d'ordinateurs. Fabriqué en néodyme-fer-bore, ils sont utilisés dans les systèmes électromécaniques pour servir de source de champ permanent dans l'actionneur du bras de lecture.

Ils présentent plusieurs avantages : ils sont très petits et légers. De plus ils créent un champ magnétique dense (plus de 200mT entre 2 aimants séparés de 1 cm).

A titre de comparaison champs créé par un petit solénoïde de même taille : 10^{-4} Tesla et celui créé par un aimant en U : 18mT

Remarque : dans des conditions très particulières , on peut créer dans des nanospires (20 μ m)des champs magnétiques de 40 Teslas pendant 30ns.

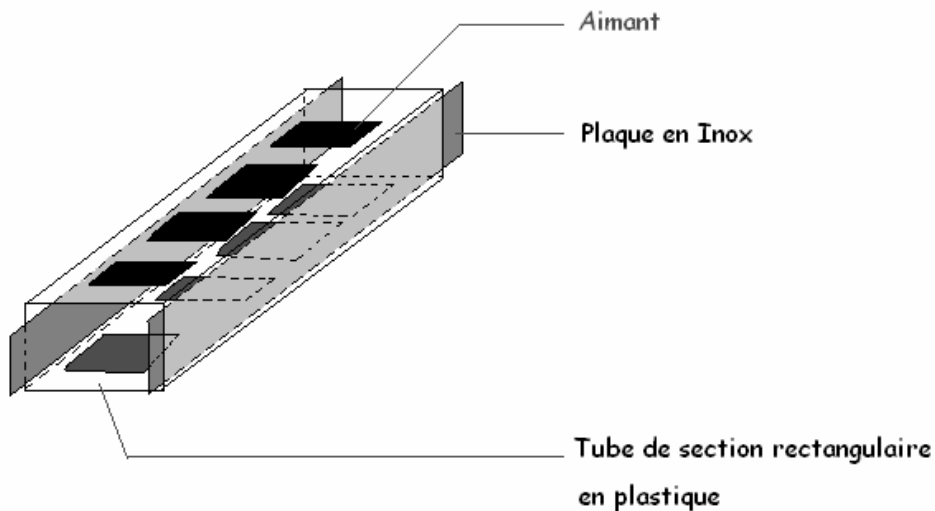
On peut aussi obtenir des champs créés par des aimants permanents de 4 Tesla par un assemblage particuliers

II - Etude et modélisation d'une tuyère MHD.

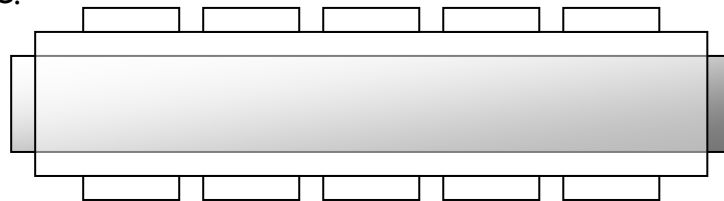
A) Réalisation de la tuyère.

Le but de la recherche est de fabriquer une embarcation propulsée par le principe de MagnétoHydroDynamique dit MHD. Ce principe de propulsion n'utilise aucune pièce mécanique mobile . Il s'appuie seulement sur des propriétés magnétiques et électriques.

La tuyère de base :



Notre premier souci fut de trouver des aimants de petites tailles et puissants. Nous avons donc retenu pour la conception de la tuyère les aimants de disque dur et nous en sommes procurés initialement sur de vieux postes entreposés au lycée.



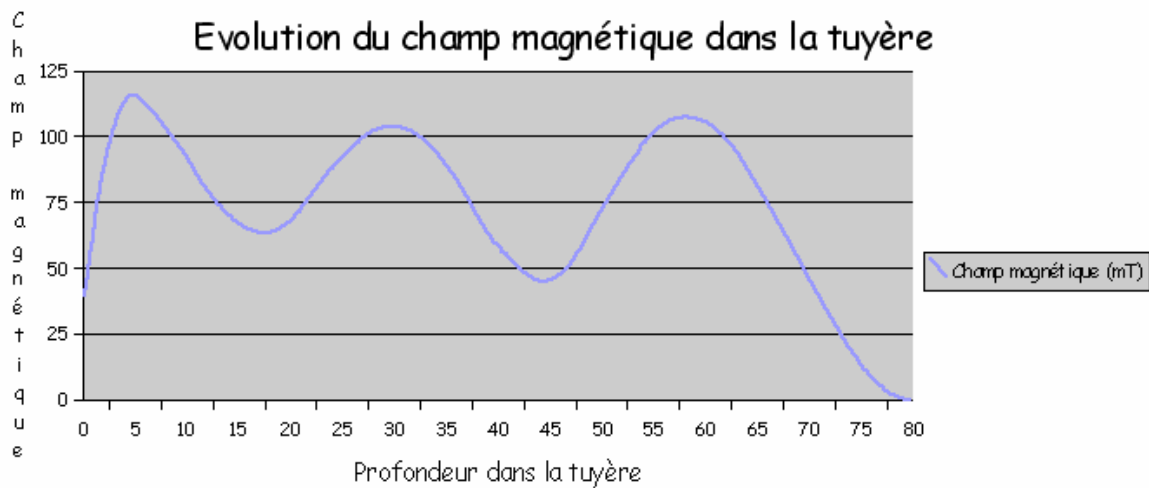
Le choix de la section rectangulaire permet de retrouver les conditions expérimentales de l'expérience précédente en assurant que les lignes de champ et le courant électrique soient perpendiculaires le long de l'axe d'écoulement du fluide..

Découpe de disques durs !

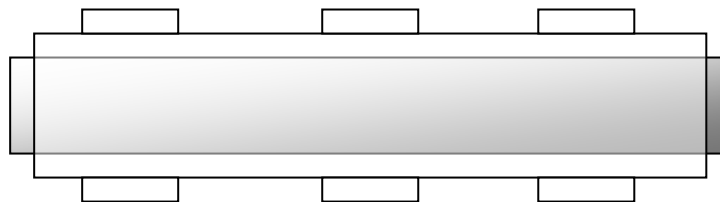


Premiers essais d'une tuyère à 2 éléments.



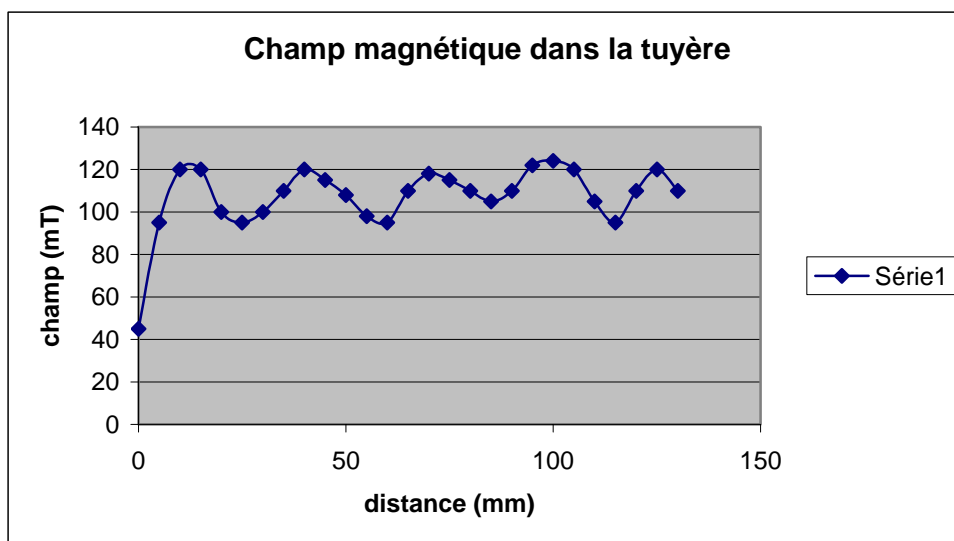


On peut observer ci-dessus la variation de l'intensité du champ magnétique à l'intérieur d'une tuyère de 8 cm de long à 3 éléments. On constate d'importantes variations au sein de la tuyère qui peuvent s'interpréter si on représente les lignes de champs par :



En densifiant les éléments dans la tuyère ; on obtient une meilleure homogénéisation du champ mais il apparaît des difficultés de maintiens des aimants entre eux tant leur force d'attraction est grande:

Tuyère 13cm 5 éléments.



La tuyère se comporte alors de la même façon que l'expérience décrite précédemment : le phénomène des forces de Laplace. Cette fois si les deux électrodes sont reliées non pas par une tige métallique mais par une solution

ionique de chlorure de sodium. La salinité choisie sera celle de l'eau de mer, 35g.L^{-1} pour faire avancer notre bateau.

Un second problème fut celui des réactions d'oxydoréduction observés . En utilisant des électrodes en Inox, on réduit considérablement le phénomène d'oxydoréduction mais on produit un dégagement de dichlore.

Un troisième problème fut la naissance d'oxydation à tout système liant les électrodes immergées dans l'eau salée : pinces , soudures

Les électrodes seront donc taillées dans une forme évitant ces ennuis observés. (voir conception du bateau)

La poussée sera obtenue par la réaction à l'action des forces de Laplace sur le fluide .

Le fluide est accéléré pendant son trajet dans la tuyère pour obtenir une vitesse supérieure à la sortie qu'à l'entrée. C'est le principe du réacteur.

B) Les conditions de la mesure.

1) choix expérimentaux.

Le bassin.

Notre étude étant basée sur la propulsion d'un navire, il fut important de réaliser un bassin. Celui-ci doit être suffisamment long pour permettre éventuellement de mesurer la vitesse limite du bateau et surtout pour obtenir des vitesses en amont et en aval qui ne soient pas perturbées par la tuyère elle-même. Nous décidâmes de fabriquer un bassin simple à partir d'un demi cylindre de PVC destinés à contenir 30-40 L d'eau salée destiné à supporter toutes nos expériences.

Chaque séance du mercredi après midi depuis la réalisation de la tuyère consistèrent donc à remplir le bassin d'eau salée , ce qui fut assez contraignant.

2) Le type de mesure.

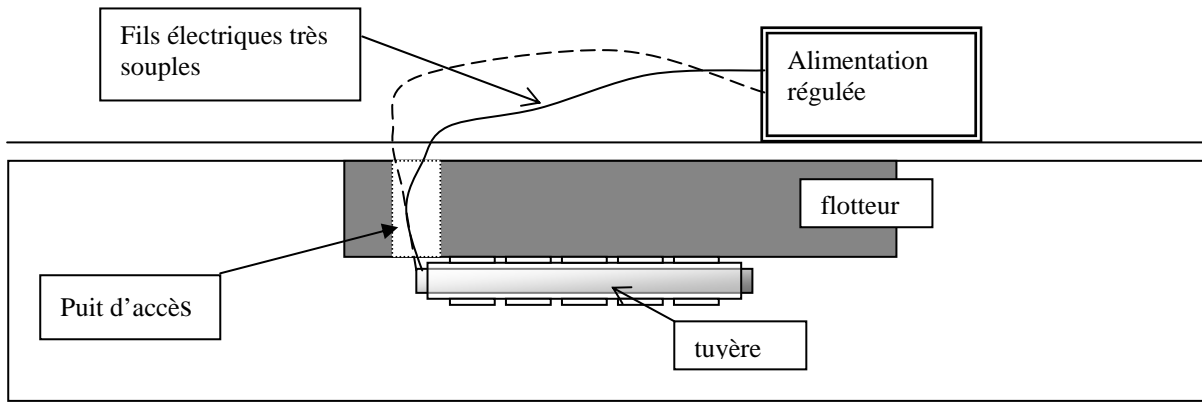
2 choix possibles s'imposèrent : une mesure statique de la poussée comme dans les banc d'essai de propulseurs de fusée ou de réacteur.

Une mesure dynamique prenant en compte la vitesse limite du bateau et ses forces de frottements ; difficilement réalisable dans le cadre initial de l'étude.

Le premier choix fut retenu.

3) Le banc d'essai.

Un flotteur sous lequel est fixé la tuyère . Celle-ci est reliée à une alimentation régulée permettant de choisir le courant passant entre les électrodes. Il a fallut trouver des fils suffisamment fins pour ne pas influencer les mouvements du bateau mais suffisamment épais pour supporter un courant de 1 à 2 ampères. Les fils utilisés pour le marquage des mobiles à coussin d'air furent déclarés aptes après quelques tests, tant que le courant ne circule pas trop longtemps.



4) Les capteurs des grandeurs mesurées.

Comment mesurer une force.

Divers dynamomètres furent testés sans succès, les forces étant trop faibles. Notre choix s'est basé sur l'utilisation d'une balance de précision permettant de mesurer des variations de poussée suffisantes selon le montage suivant :

Comment mesurer la vitesse d'éjection du fluide.

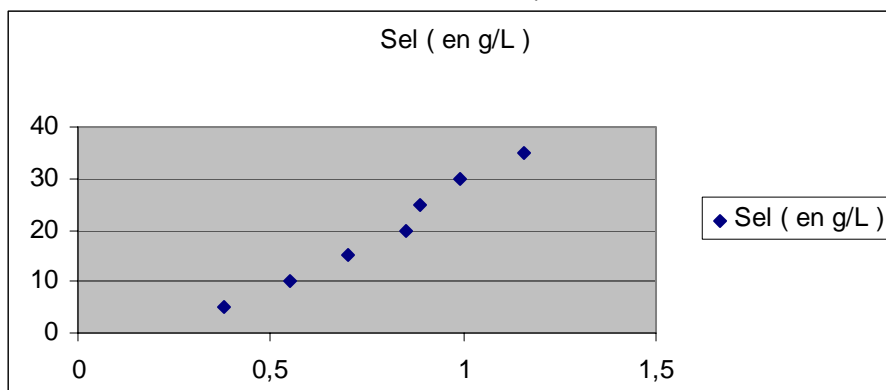
Après quelques essais et différentes recherches (de l'hélice d'un loch de bateau à la vélocimétrie laser), nous nous sommes penchés sur un procédé relativement simple mais qui donne semble-t-il des résultats efficaces pourvu que les vitesses ne soient pas trop élevées.

La goutte d'encre. Une observation intéressante nous a permis d'observer que l'encre d'un stylo diffuse peu dans l'eau salée.

C) Mesure de quelques paramètres

NB : Les résultats sont obtenus avec la tuyère ayant cinq fois trois aimant superposé (dimension tuyère : 13 x 2,7 x 1,7 en cm)

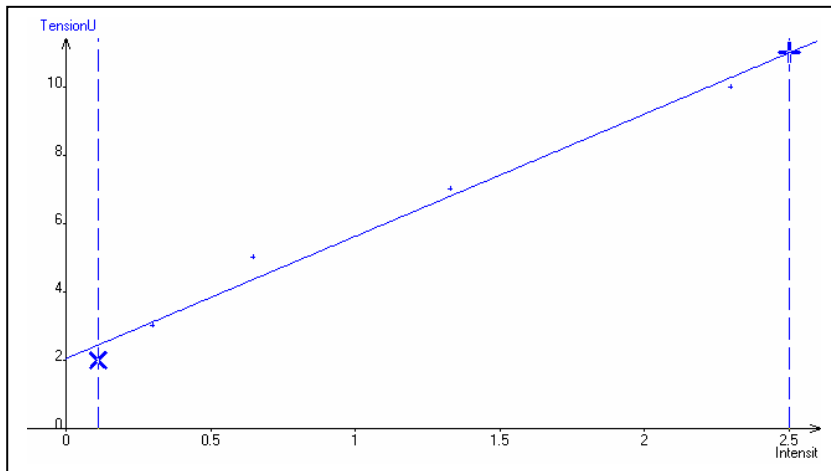
1) Etude courant-concentration ionique.



Notre tuyère se conduit « comme un conductimètre » : sa résistance dépend linéairement de la concentration en sel

Remarque : pour l'eau de mer dont la conductivité correspond à peu près à 35mg/L de NaCl,

2) Caractéristique courant-tension de la tuyère.



On trouve avec les outils de modélisation de Regressi une expression du type $U=E+rI$ avec $E=2,05V$ et $r=3,57\Omega$:

$$\begin{aligned}
 \text{Tension } U &= A * \text{Intensit} + B \\
 \text{Ecart relatif Tension } U &= 4.8 \% \\
 \text{Ecart quad. Tension } U &= 423.1 \cdot 10^{-3} \\
 \text{Coeff. corrélation} &= 0.99467 \\
 A &= 3.57 \pm 1.00 \\
 B &= 2.05 \pm 1.50
 \end{aligned}$$

La tuyère se comporte donc comme un électromoteur récepteur avec une force électromotrice E et une résistance interne r (cf moteur électrique , électrolyseur)

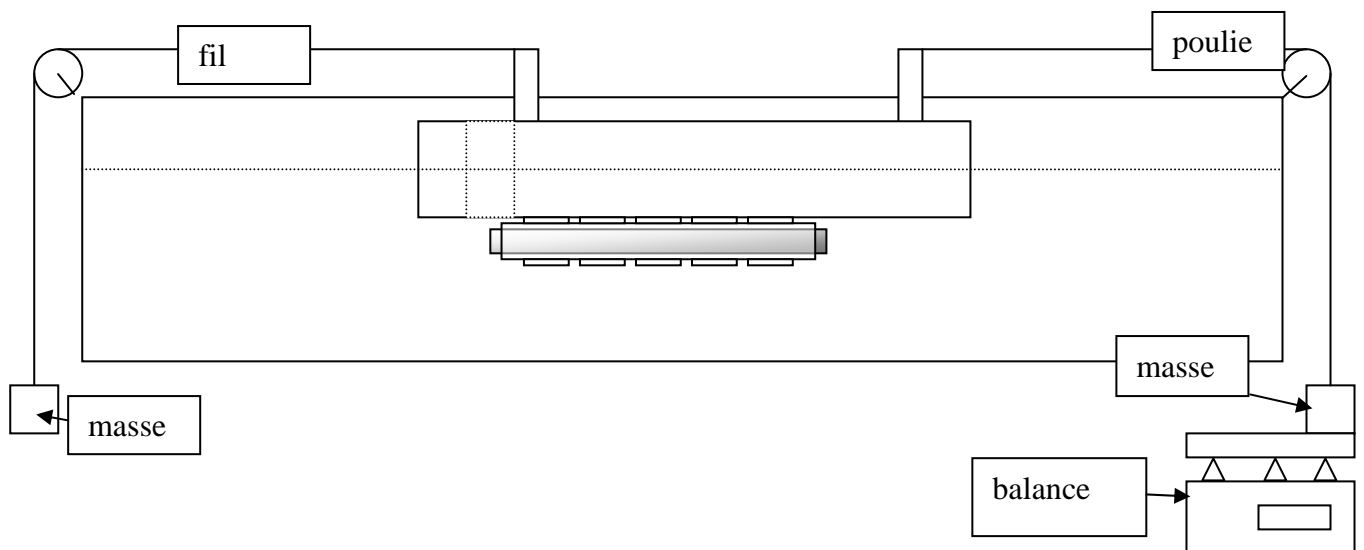
3) Mesure de la poussée en fonction de l'intensité du courant.

L'expérience la plus dure car il a fallu trouver un moyen de mesurer des forces très faibles. La poussée n'étant que de quelques centièmes de newton. L'utilisation d'un dynamomètre est exclue mais le principe que l'on va utiliser est basé sur le même type de fonctionnement. A l'aide d'une balance précise à 10^{-4} g on peut déterminer des variations de poids très précises.

Schéma de principe du montage.

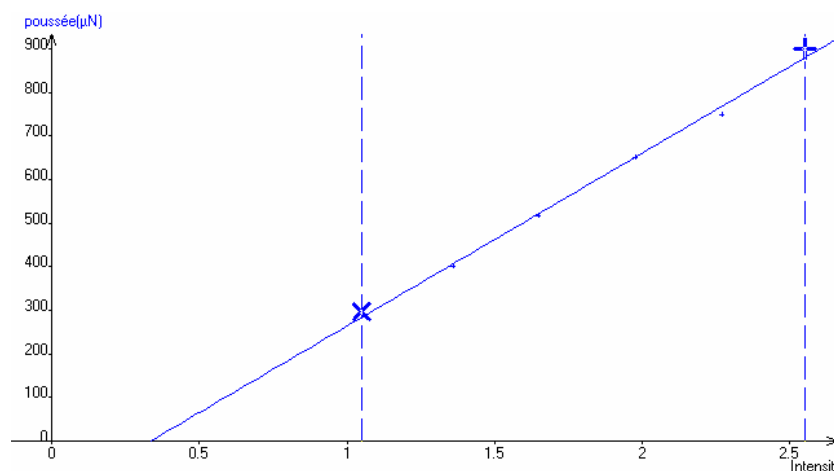
L'étude est statique et on mesure la poussée lorsque le nouvel équilibre est atteint.

$$\boxed{\sum \vec{F}_{\{\text{flotteur+tuyère}\}} = \vec{0}}$$



Tension (V)	Intensité	Mi (g)	Mf (g)	Différence des masses	Poussée (N) (g=10m.S ²)
10	1,05	4,913	4,8833	0,0297	0,000297
12	1,36	4,91	4,87	0,04	0,0004
14	1,65	4,9117	4,86	0,0517	0,000517
16	1,98	4,913	4,848	0,065	0,00065
18	2,27	4,913	4,838	0,075	0,00075
20	2,55	4,91	4,82	0,09	0,0009

On obtient



avec Regressi le modèle suivant : $F=0,4 \cdot 10^{-3} I$

$$\text{poussée(Intensité)}=a \cdot \text{Intensité}+b$$

Ecart relatif poussée(Intensité)= 2.1 %
 Ecart quad. poussée=15.91 μN
 Coeff. corrélation=0.99799
 $a=397 \pm 69 \mu\text{N}$
 $b=-133.00 \pm 130.00 \mu\text{N}$

soit une poussée proportionnelle à l'intensité du courant

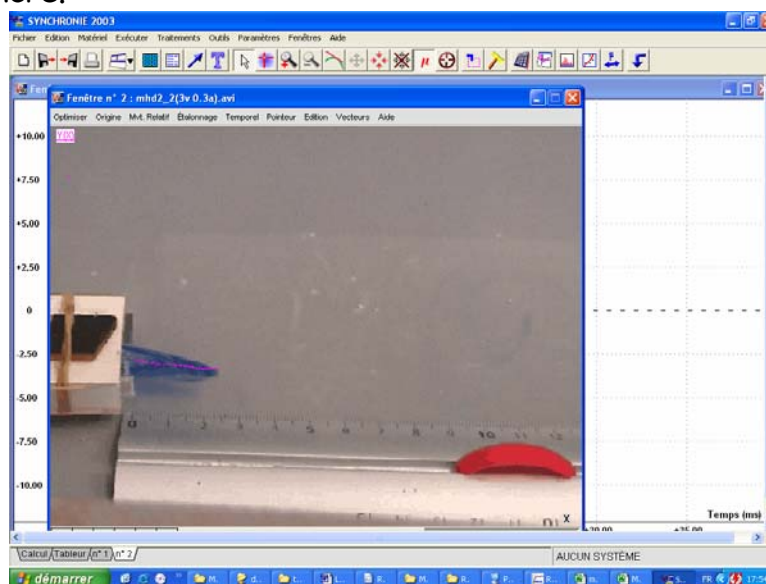
le fait que la droite ne passe pas par 0 peut s'expliquer par l'existence d'une force de rappel approximativement constante due à la présence du fil électrique.

4) Mesure de la vitesse d'éjection en fonction du courant.

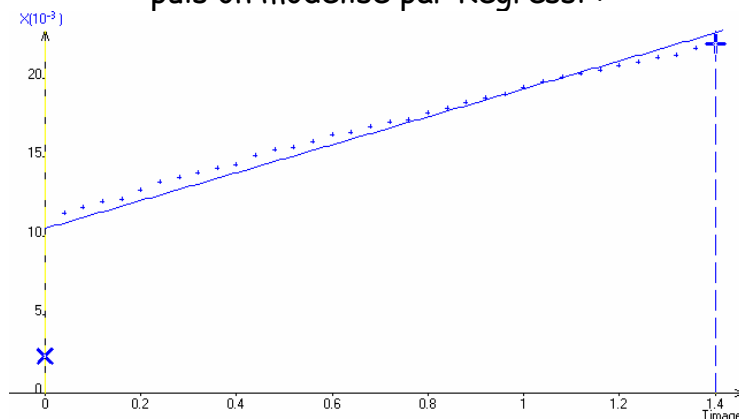
Principe de la mesure

Cette expérience a pour but de démontrer la relation qui existe entre le courant (I) et la vitesse (v). Le principe est simple : il faut faire varier l'intensité dans le circuit (l'expérience est réalisée avec une concentration $[c]$ en chlorure de sodium fixée) en démarrant avec une basse intensité jusqu'à arriver a une grande intensité. A chaque intensité nouvelle on mesure la vitesse d'éjection à la sortie de la tuyère.

On ne peut pas distinguer les fluides mis en mouvement du fait de la couleur incolore de la solution. Pour y remédier on a utilisé de l'encre de stylo dont la dispersion dans l'eau était assez lente. Placé a l'entrée de la tuyère il est désormais facile de voir l'éjection des fluides mis en mouvement. A l'aide d'un caméscope, on filme chaque session de l'expérience. A l'aide d'une acquisition de la vidéo sur ordinateur on peut traiter ces dernières avec un logiciel (Synchronie) pour déterminer la vitesse. On constate ci-dessous la faible diffusion de l'encre (aux faibles vitesses). On peut distinguer aussi le profil des vitesses par la forme du front de l'encre.

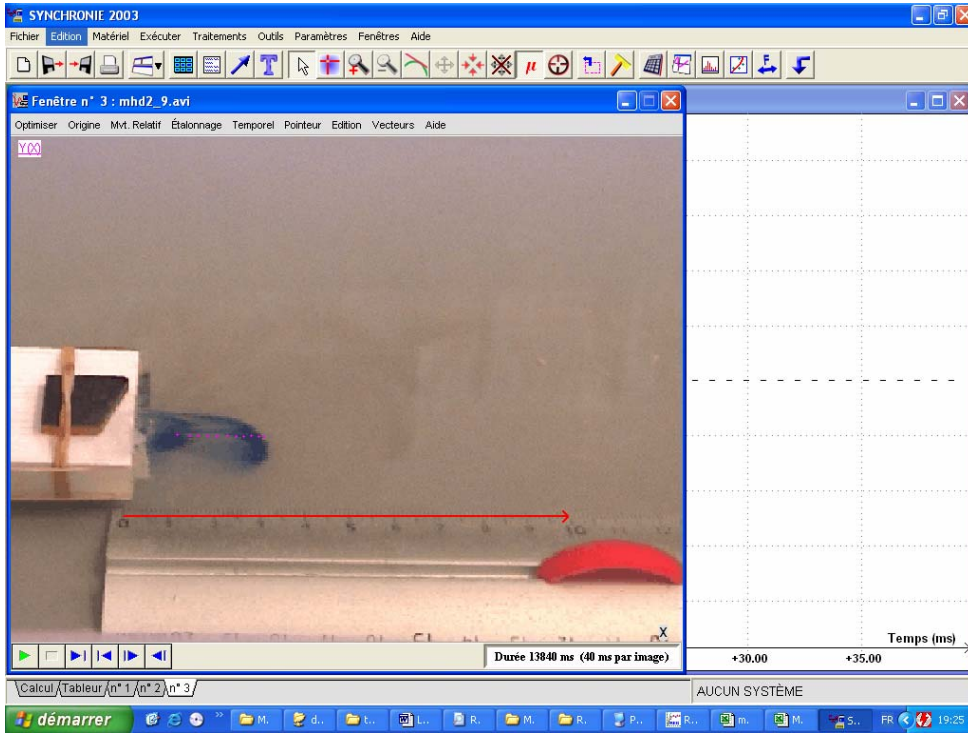


puis on modélise par Regressi :



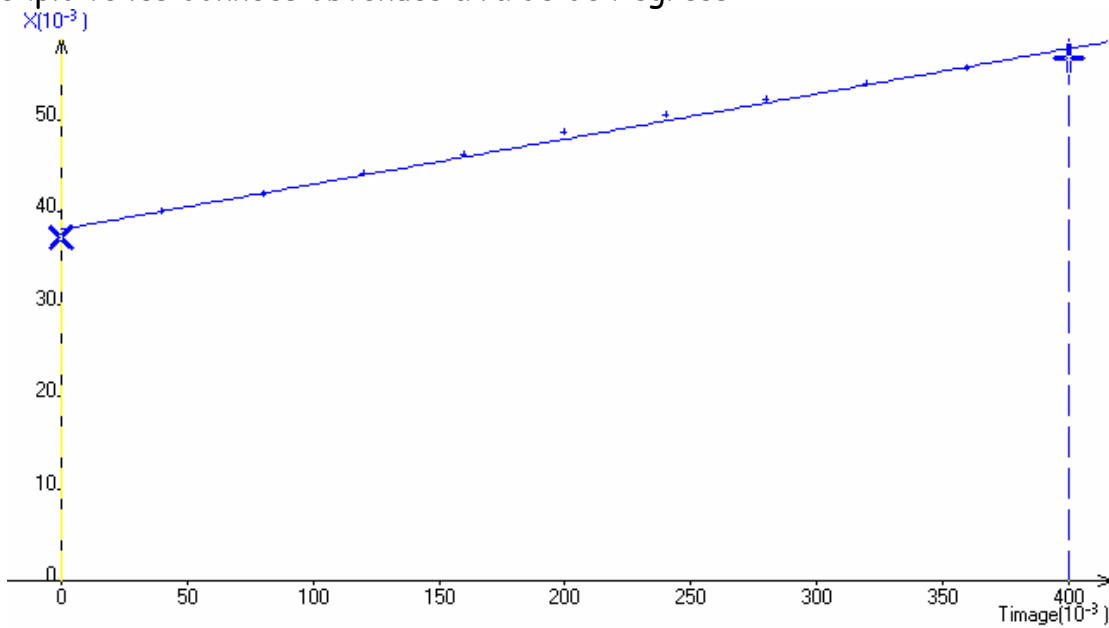
On constate que pour des faibles intensités, la vitesse d'éjection du fluide est relativement constante : (ici $I = 0,2 \text{ A}$; origine quelconque)

Pour 7V et 1,33A nous obtenons les données suivantes :



On peut repérer par le pointeur l'avance du front de l'encre à la sortie de la tuyère. (origine quelconque).

On exploite les données obtenues à l'aide de Regressi :

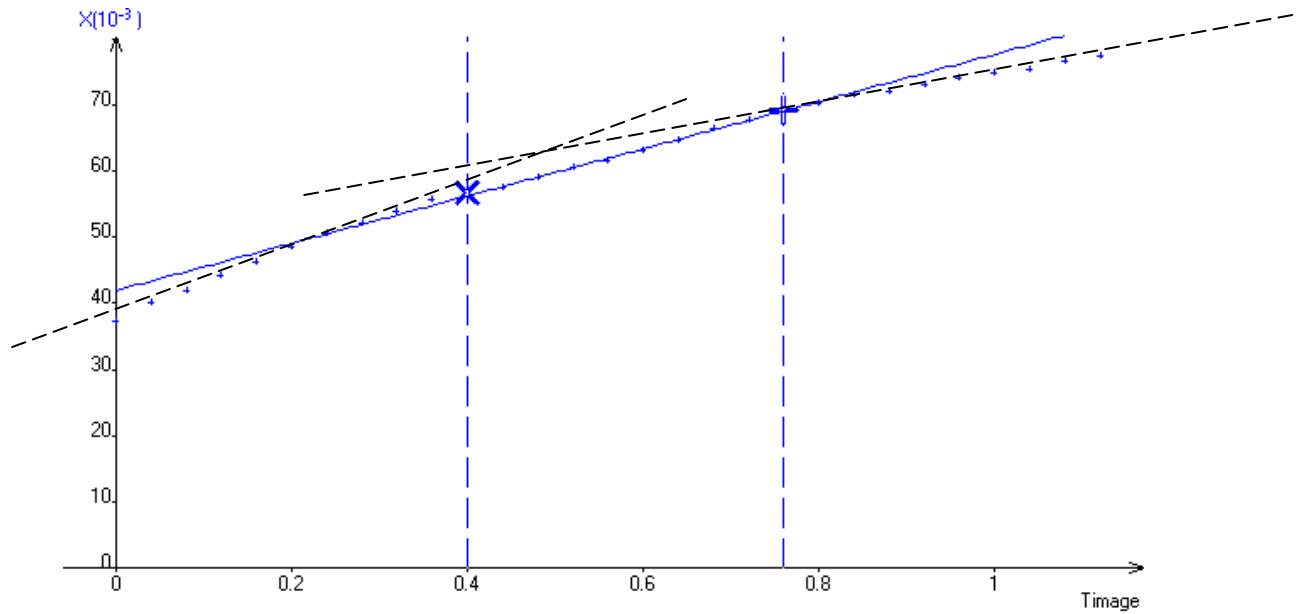


$$X(T_{image}) = a \cdot T_{image} + b$$

*Ecart relatif $X(T_{image}) = 1.1 \%$
 Ecart quad. $X = 563.7 \cdot 10^{-6}$
 Coeff. corrélation = 0.99663
 $a = 48.0 \pm 9.1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$
 $b = 38.2 \pm 2.1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$*

Remarques : la vitesse est prise à la sortie de la tuyère :

En prolongeant la mesure , on obtient dans ce cas :

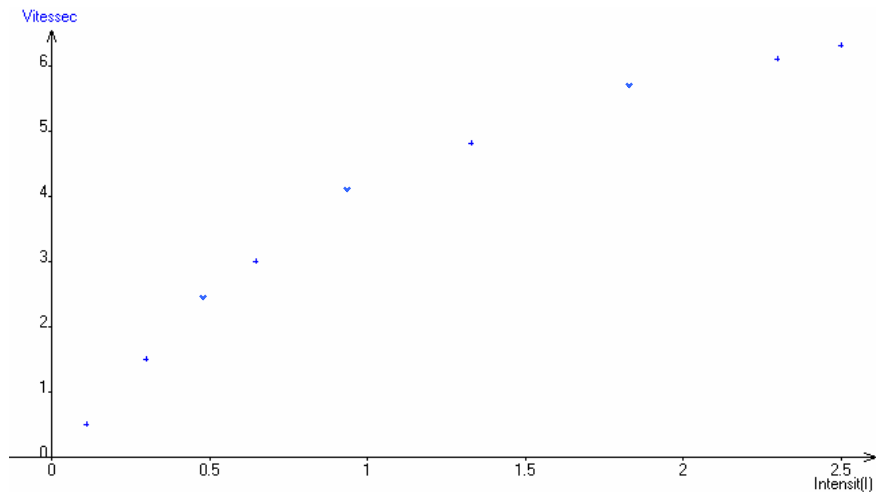


On constate que la vitesse diminue : à 2 cm de la sortie de la tuyère : la vitesse tombe à 2,1 cm/s pour 4,8 cm/s à l'entrée.

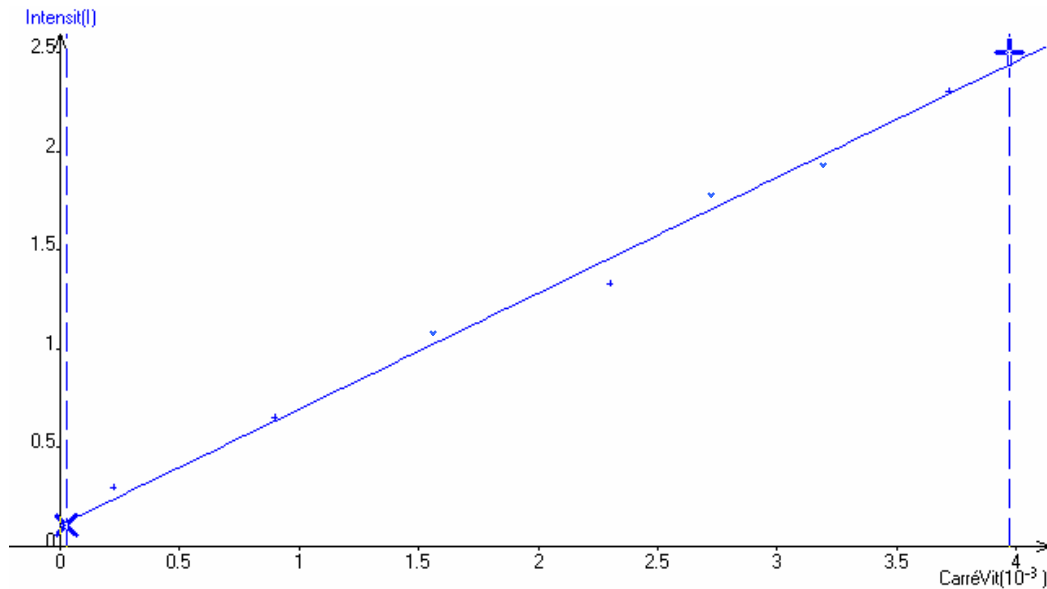
Extrait des résultats après plusieurs séries de mesures :

Intensité (I)	Vitesse cm/s
0,11	0,5
0,3	1,5
0,65	3
1,33	4,8
2,3	6,1
2,5	6,3

Ce qui donne la courbe suivante :



En élevant la vitesse au carré : on obtient



On trouve la modélisation suivante sous Regressi

$$\text{Intensit}(\text{CarréVit}) = a * \text{CarréVit} + b$$

Ecart relatif Intensit(CarréVit)= 4.2 %
 Ecart quad. Intensit=78.87 10⁻³ I
 Coeff. corrélation=0.99761
 a=587 ±11
 b=0.08097

On trouve que $I \cong 587 v^2$ pour v en m/s

D) Modélisation.

1- Force de propulsion

a) Proposition de modélisation.

La tuyère se comporte comme un réacteur d'avion. Le fluide entrant à vitesse nulle est accéléré pour obtenir la vitesse v .

On considère alors une masse de fluide entrant à la vitesse v_1 nulle et la même masse de fluide sortant à la vitesse v_2 en régime stationnaire .



En faisant un bilan d'énergie cinétique pendant une durée Δt appliqué à l'ensemble du fluide contenu dans la tuyère, on écrit que $\frac{\Delta E_c}{\Delta t} = P$ ou P est la puissance de la force de Laplace supposée constante.

Or $\frac{\Delta E_c}{\Delta t} = \frac{1}{2} \frac{m}{\Delta t} \times v_2^2 - \frac{1}{2} \frac{m}{\Delta t} \times 0 = Dm \left(\frac{v_2^2}{2} \right)$ car $v_1=0$ dans les conditions de l'expérience

et en appelant Dm le débit massique, on a :

$$Dm = \frac{m}{\Delta t} = \mu \times \frac{V}{\Delta t} = \mu \times \frac{l}{\Delta t} \times S = \mu \times v_2 \times S \text{ car le fluide est incompressible}$$

Si F est la résultante des forces extérieures qui s'exercent sur le fluide, alors $P = F \times V = F \times v_2$

Donc $F = \mu \times v_2 \times S \times \frac{v_2}{2} = \frac{1}{2} \mu \times S \times v_2^2$

La section de la tuyère fait $2,7 \times 1,7 \text{ cm}$ soit $4,59 \text{ cm}^2$

La densité de l'eau salée (approximative) $\mu = 1000 \text{ kg/m}^3$

Soit $F = 0,23 \text{ v}^2$ où v est la vitesse d'éjection de l'eau.

On constate aussi que la poussée est proportionnelle à S , section de la tuyère.

b) Résultats

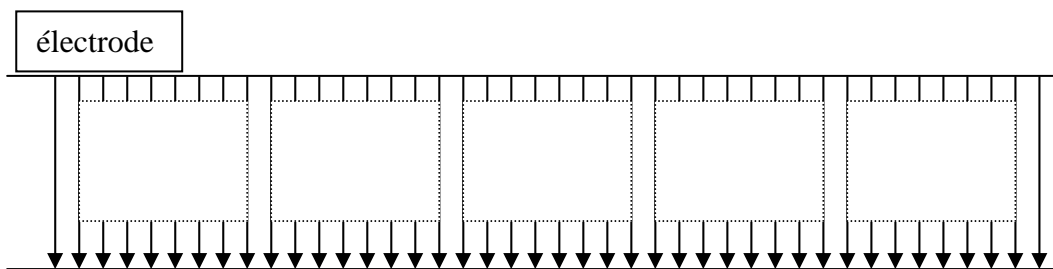
$F = 0,4 \times 10^{-3} \text{ I}$

$I = 587 \text{ v}^2$

Soit $F = 0,4 \times 10^{-3} \times 587 \text{ v}^2 = 0,235 \text{ v}^2$

On retrouve bien le résultat précédent : la tuyère se comporte comme un réacteur hydrodynamique : la poussée que la tuyère exerce sur le fluide est la même que la poussée exercée par le fluide sur la tuyère donc sur le bateau (3^{ème} loi de Newton).

2- La tuyère se comporte comme un moteur électrique .



On représente les lignes de courants comme étant autant de petits fils parcourus par un courant j soumis à l'action de Laplace. $J = I/S$ ou S est la surface de l'électrode. $J = I / 23 \text{ cm}^2$

$F = \sum f_{\text{Laplace}} = B \times l \times I$ où $l = 2,7 \text{ cm}$ (écartement de l'électrode dans le cas de figure étudié) soit $F = B \times 0,027 \times I$

Si on considère le champ constant et vaut en moyenne 100 mT , on peut écrire que : $F = 2,7 \times 10^{-3} \times I$ à comparer avec notre calcul de la force de poussée :

$$F=0,4 \cdot 10^{-3} I$$

On constate une différence notable entre les 2 expressions montrant que la conversion électromécanique n'est pas totale. On peut y faire quelques remarques : une partie de l'électrode n'est pas dans le champ magnétique efficace et on n'a pas tenu compte des « pertes de charges » dans la tuyère (couche limite ...). Cela montre aussi la complexité des paramètres à prendre en compte aggravée par la petitesse de notre maquette.

3- Rendement

Le rendement énergétique de notre tuyère s'effectue par le calcul suivant :

$$\eta = \frac{P_{\text{hydrodynamique}}}{P_{\text{reçu}}}$$

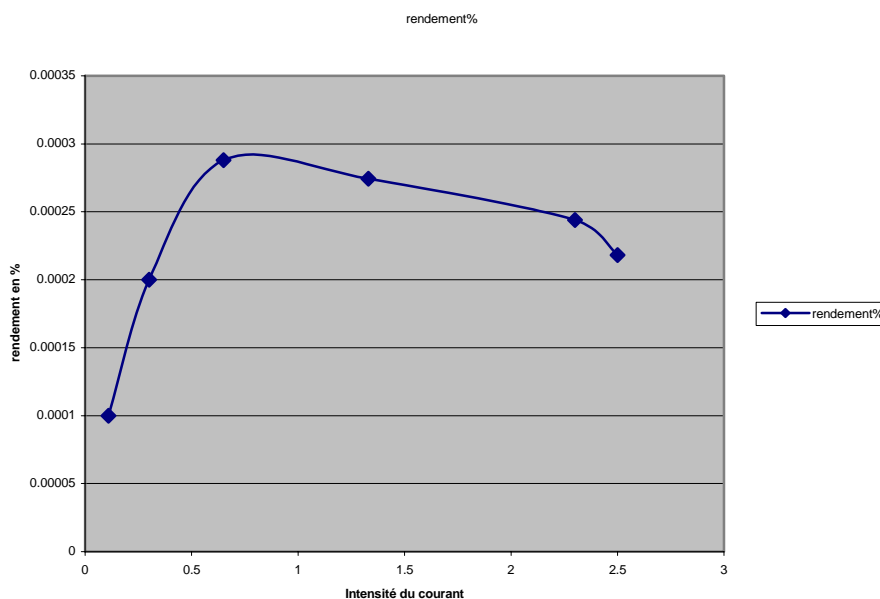
$P_{\text{reçu}} = U \times I$: puissance électrique fournie par le générateur.

Or $U = E + rI$ donc $P_{\text{reçu}} = EI + rI^2$

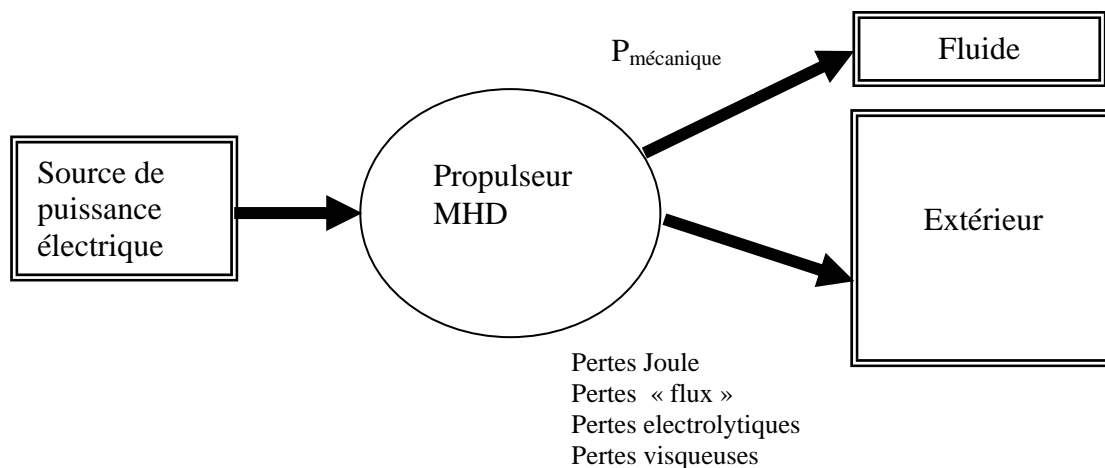
Et $P_{\text{hydrodynamique}} = 0,5 \times Dm \times V^2 = k \times I \times V$ où $k = 0,4 \times 10^{-3}$

$P_{\text{fournie}} = U \times I$	Intensité (I)	rendement%
0,22	0,11	0,0001
0,9	0,3	0,0002
3,25	0,65	0,000288
9,31	1,33	0,000274286
23	2,3	0,000244
27,5	2,5	0,000218182

On constate ici les valeurs très faibles de la puissance hydrodynamique donc des rendements nous engageant à changer les caractéristiques de la tuyère étudiée jusqu'ici. On constate néanmoins que le maximum du rendement est atteint entre 0.5v et 1V ce qui nous engage à utiliser une alimentation embarquée de 6V



On peut modéliser notre propulseur comme un convertisseur d'énergie .



On constate qu'une partie de l'énergie part dans l'électrolyse de la solution de NaCl . Des électrodes appropriées peuvent réduire le phénomène.

4- D'autres mesures possibles.

Afin de peaufiner le modèle de la tuyère, il conviendrait de réaliser certaines études :

Mesures de la vitesse d'éjection en fonction de la section d'ouverture.

(à intensité et à champ B constant)

On réalise cette expérience en faisant varier la section de la tuyère.

Mesure de la vitesse d'éjection en fonction de la longueur de la tuyère.

On réalise cette expérience en changeant la longueur de l'électrode et en ajoutant ou soustrayant des éléments :

Influence du champ magnétique.

On fait varier le champ en ajoutant ou soustrayant des aimants.

Ces expériences (en cours actuellement) font intervenir des paramètres évoqués plus haut qui dépassent le sujet de l'étude.

E- La réversibilité

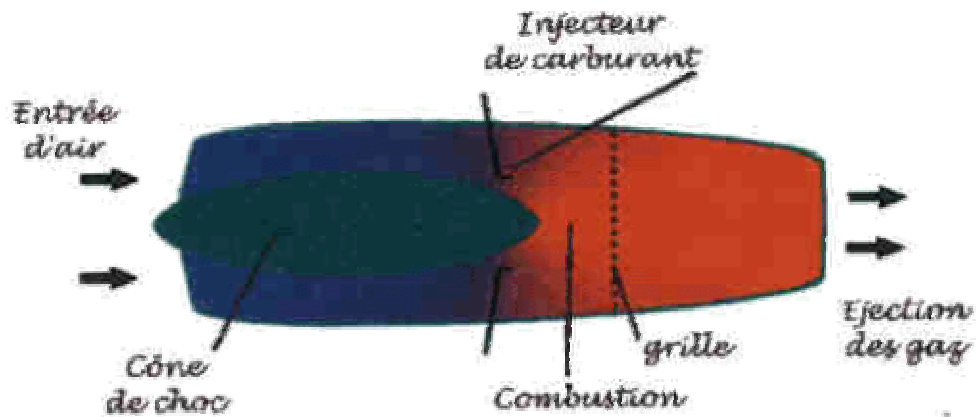
Par analogie avec un moteur électrique, on montre qualitativement que lorsqu'on pousse le flotteur à la main, on observe une différence de potentiel entre les bornes d'un voltmètre . Cette mesure, bien que réalisable est difficilement quantifiable car cela demande une tout autre installation .

Pourra-t-on voir un jour des centrales marée motrice à tuyère Magnéto-Hydro-Dynamique ?

F- CONCLUSION

Notre tuyère se comporte comme un réacteur d'avion éjectant un fluide sans pièces mobiles. Il se comporte comme un moteur électrique linéaire avec les caractéristiques ($f_{cem,r}$) auquel on associe des propriétés hydrodynamiques.

Le Statoréacteur (réacteur sans pièces mobiles)



Un moteur électrique linéaire.



III) Réalisation du bateau

L'observation du rendement maximum de la tuyère étant fait pour 6V, on se base sur 5 accus NiMh de 1,2 V chacun pour la source d'énergie.

Le choix

Pour construire le bateau, il fallait un matériau rigide, très peu dense, afin qu'il puisse flotter aisément avec la masse du système embarqué de 5 accumulateurs et de la tuyère.

Calcul de la poussée d'Archimède :

Masse totale (accumulateurs + tuyère = 300)

Il faut 51 grammes de styrodur minimum pour le bateau.

Masse actuelle : 58 grammes.

Dimensions du bateau :

Une plaque de styrodur a une hauteur de 1.8 cm.

Différentes dimensions possibles :

Largeur	Longueur totale	Hauteur
9	31	7,5
10	27,4	7,5
11	24,5	7,5
12	22	7,5

Pour construire le bateau, nous avons superposé différentes plaques de styrodur, afin de pouvoir le démonter. Cela nous permet non seulement de changer rapidement la longueur du champ magnétique en enlevant des aimants mais aussi de présenter facilement le système.

Les plaques sont fixées entre elles par quatre tiges filetées, dont l'extrémité est recouverte de PVC afin de limiter les frottements entre les tiges et le fil de guidage.

En effet, lorsque le bateau avance dans le bassin, il a tendance à dériver vers la droite ou la gauche, aussi nous avons placé deux fils de nylon entre les visse afin de maintenir une direction à peu près droite. Ces fils font office de fils de guidage.

Pour les aimants, nous avons creusé dans deux des plaques de styrodur des petites niches sur toute la longueur, de volume égal environ à 3 cm³, pour y loger les aimants groupés par 3 (nous appelons un groupe de trois aimants "un élément").

Ces aimants doivent en théorie être protégé de l'oxydation car les particules oxydées perdent leur aimantation. En pratique il y a toujours un peu d'eau qui s'infiltré ; toutefois, l'oxydation est très réduite.

Nous avons placé la tuyère entre ces deux plaques, celle-ci étant maintenue à gauche et à droite par deux morceaux de styrodur.

Les électrodes sont placées dans la tuyère qui les maintient, leur hauteur étant la même que celle de l'intérieur de la tuyère. Il nous a fallu parfois les rallonger (augmentation du champ électrique) et le problème fut de s'assurer qu'elles étaient bien en contact.

Pour limiter les frottements et les perturbations, l'avant et l'arrière du bateau ont été profilés.

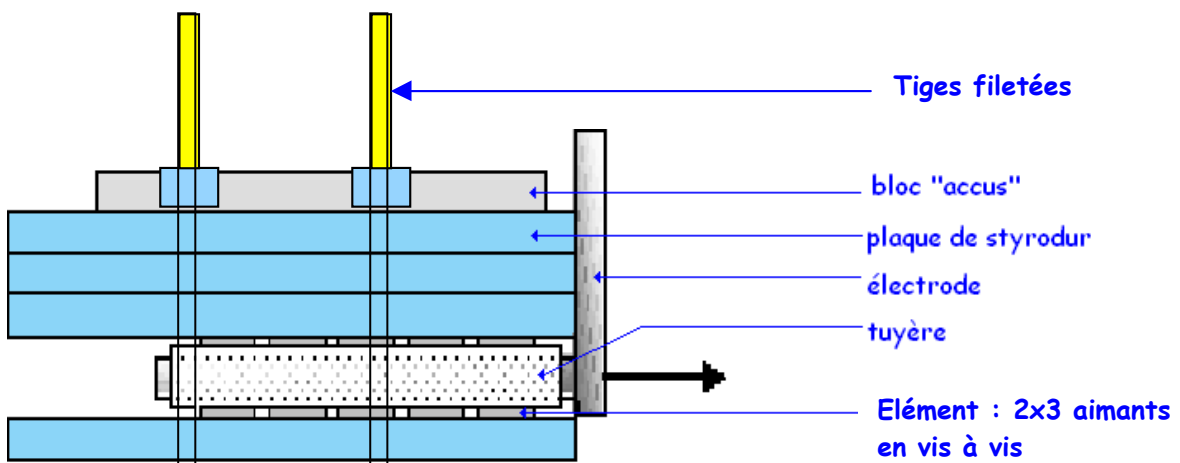
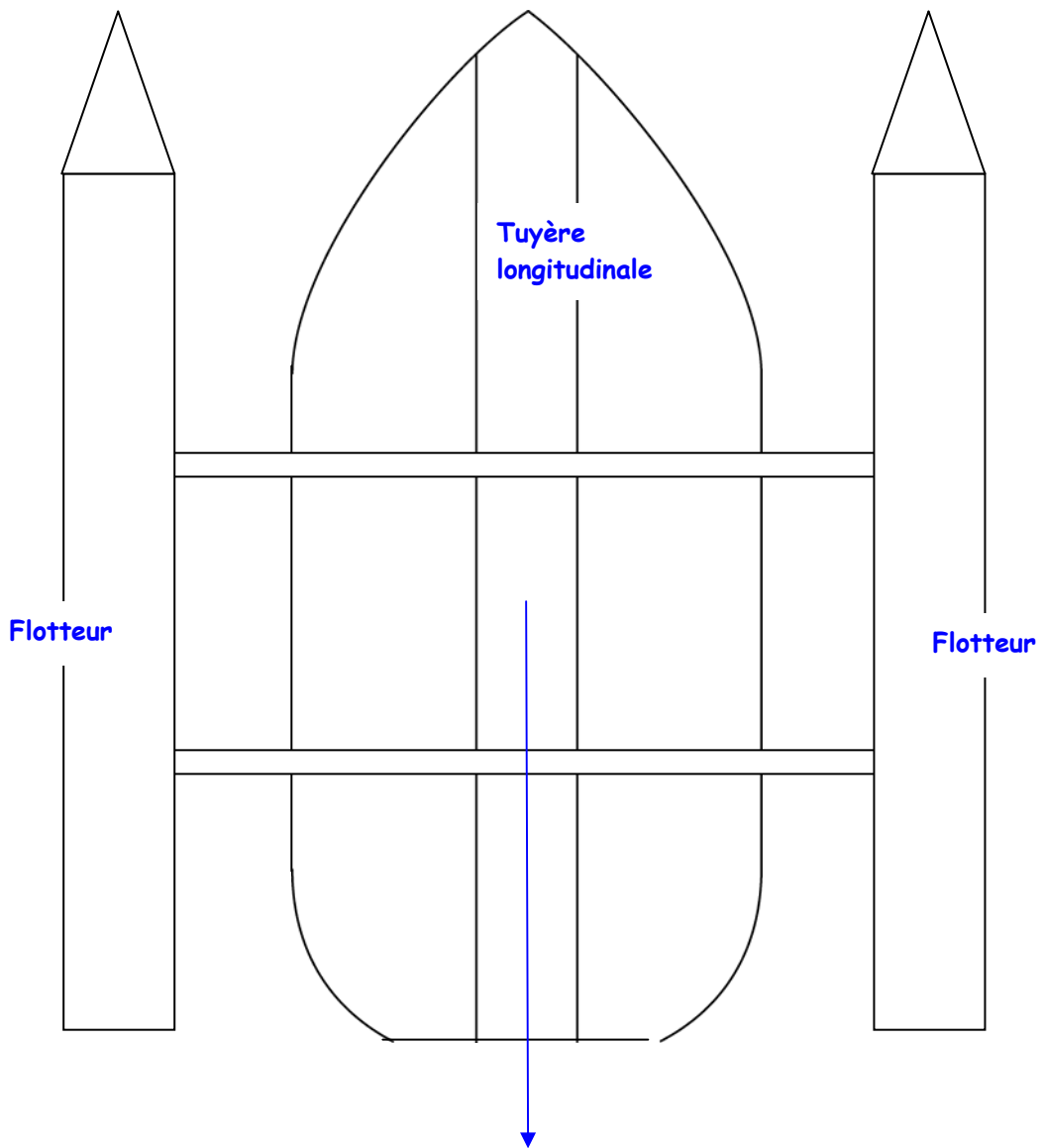
Les problèmes de stabilité

Le bateau n'est pas stable, car le centre de gravité est trop relevé par rapport au centre de poussée d'où l'importance de fabriquer des flotteurs latéraux comme un trimaran.

Ces flotteurs ont été taillés dans du styrodur, l'avant et l'arrière ont été profilés.

Ces flotteurs sont fixés eux aussi par des tiges filetées à la plaque supérieure du bateau.

La stabilité longitudinale est assurée par le positionnement du bloc « accu ». Sa masse assure l'immersion de la tuyère.



Remarque : on observe des turbulences à l'arrière du bateau qui peuvent être atténuée en profilant la poupe. Ce qui est à l'étude

Le bateau après une accélération initiale atteint rapidement sa vitesse limite puis semble ralentir : ce qui peut s'expliquer par le fait que la vitesse du fluide à l'entrée de la tuyère n'est pas nulle et diminue ainsi la poussée.

Conclusion

Cette étude nous a permis d'aborder 2 domaines passionnants de la physique : l'électromagnétisme et la mécanique du fluide.

Nous nous sommes rendu compte aussi des limitations des petits modèles pour décrire des phénomènes complexes. En effet, la faiblesse des champs utilisés et la petitesse de la tuyère augmentent l'influence d'autres paramètres : la « viscosité » de l'eau notamment que nous avons pu mettre en évidence.

A Comment améliorer le rendement ?

Diverses moyens hors de portée peuvent permettre d'augmenter le rendement : Augmenter l'intensité des champs utilisés (les bobines supra conductrices peuvent fournir des champs beaucoup plus intenses sur des volumes plus grand mais cela demande un refroidissement important pour l'instant) Augmenter la taille de la maquette et modifier la forme de la tuyère . Modifier la forme du bateau pour limiter les pertes hydrodynamiques

B Technologies actuelles et futures.

Peut-on envisager un bateau à propulsion MHD.

Il semble que la question soit toujours d'actualité ...

Les problèmes environnementaux qui ont conduit notre étude peuvent être résolus en utilisant la pile à combustible à hydrogène (Une pile du type de Nora peut fournir 30 kW). Il reste les problèmes d'électrolyse de l'eau et la faible conductivité de l'eau de mer qui limiterons toujours le rendement du procédé. L'avenir de ce type de propulsion est sans doute lié à l'apparition de supra conducteurs performants.

C Quelques généralités sur la MHD *

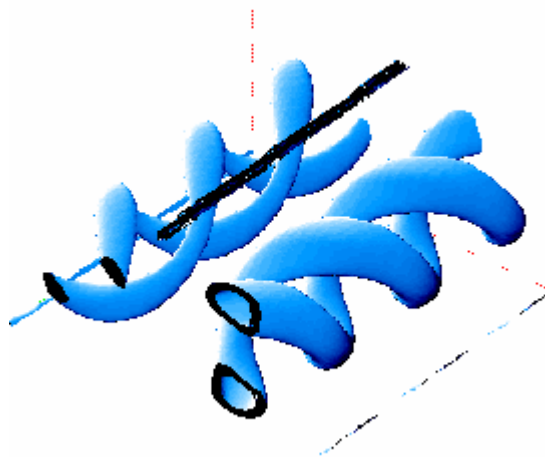
la MHD fait l'objet de recherches depuis des décennies dans des domaines bien plus vastes et encore plus passionnants que ceux que nous avons rencontrés.

Aujourd'hui, la MHD s'applique dans l'industrie nucléaire, où elle a été envisagée pour le pompage du sodium liquide dans les circuits secondaires de

refroidissement des surgénérateurs ; dans différents domaines de la métallurgie.

Dans les expériences sur la fusion thermonucléaire contrôlée, qui se poursuivent depuis des années, les difficultés rencontrées pour la stabilisation et le confinement du plasma relèvent aussi d'un problème de MHD particulièrement ardu.

Dans la nature, étoiles et planètes subissent de gigantesques phénomènes magnéto hydro dynamiques lorsque les plasmas chauds ou des métaux liquides (fluides conducteurs) rencontrent de puissants champs magnétiques : le champ magnétique terrestre et les champs magnétiques stellaires, la vitesse de rotation des étoiles, les éruptions et vents solaires, les magnétosphères les rayons cosmiques, relèvent aussi de la MHD.



Surface de champs magnétiques d'égale
Intensité dans une dynamo MHD de type « Ponomarenko »

- sources Internet.

Remerciements :

Nous tenons à remercier :

- *Les organisateurs des Olympiades de Physique qui nous permettent d'effectuer et de présenter cette étude.*
- *Mr Belvèze : Proviseur du Lycée Rabelais de Saint Brieuc qui nous a offert les structures de l'établissement dont il a la responsabilité.*
- *Mr Marcadé : professeur au lycée Rabelais et au lycée Renan de Saint Brieuc qui nous a encadré et encouragé dans cette démarche.*
- *L'IUT de Saint Brieuc pour son soutien scientifique plus particulièrement Tual Le Guillerm : professeur à l'IUT de Saint Brieuc.*
- *Les techniciens de laboratoires et agents du lycée pour leur aide précieuse en particulier Loïc pour l'aide à la réalisation du bassin.*