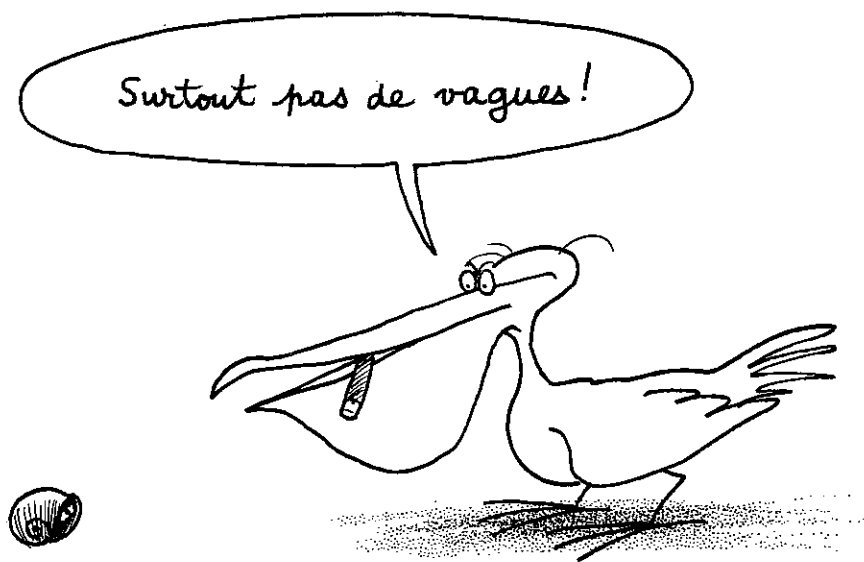


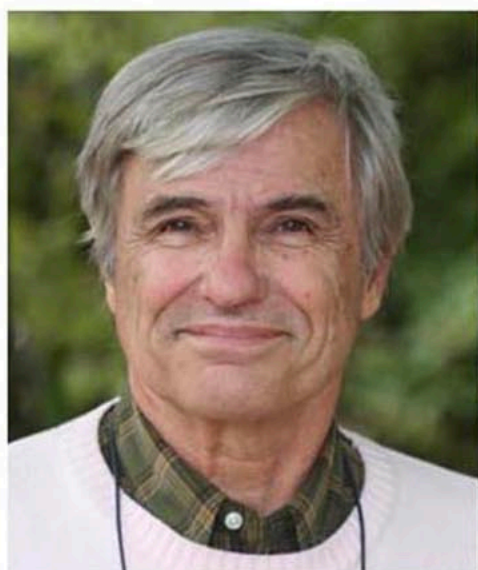
LE MUR ^{DU} SILENCE

par Jean-Pierre Petit



Savoir sans Frontières

Association à but non lucratif créée en 2005 et gérée par deux scientifiques français. But : diffuser des connaissances scientifiques en utilisant la bande dessinée à travers des pdf gratuitement téléchargeables. En 2020 : 565 traductions en 40 langues avaient ainsi été réalisées. avec plus de 500.000 téléchargements.



Jean-Pierre Petit



Gilles d'Agostini

L'association est totalement bénévole. L'argent des dons est intégralement reversé aux traducteurs.

Pour faire un don, utilisez le bouton Paypal sur la page d'accueil du site Internet

<http://www.savoir-sans-frontieres.com>



Coordonnées bancaires France → Relevé d'Identité Bancaire (RIB) :

Etablissement	Quichet	N° de Compte	Cle RIB
20041	01008	1822226V029	88

Domiciliation : La banque postale
Centre de Marseille
13900 Marseille CEDEX 20
France

For other countries → International Bank Account Number (IBAN) :

IBAN
FR 16 20041 01008 1822226V029 88

and → Bank Identifier Code (BIC) :

BIC
PSSTFRPPMAR

Les statuts de l'association (en français) sont accessibles sur son site. La comptabilité y est accessible en ligne, en temps réel. L'association ne prélève sur ces dons aucune somme, en dehors des frais de transfert bancaire, de manière que les sommes versées aux traducteurs soient nettes.

L'association ne salarie aucun de ses membres, qui sont tous des bénévoles. Ceux-ci assument eux-mêmes les frais de fonctionnement, en particulier de gestion du site, qui ne sont pas supportés par l'association.

Ainsi, vous pourrez être assurés, dans cette sorte « d'œuvre humanitaire culturelle » que quelle que soit la somme que vous donniez, elle sera *intégralement* consacrée à rétribuer les traducteurs.

Nous mettons en ligne en moyenne une dizaine de nouvelles traductions par mois.

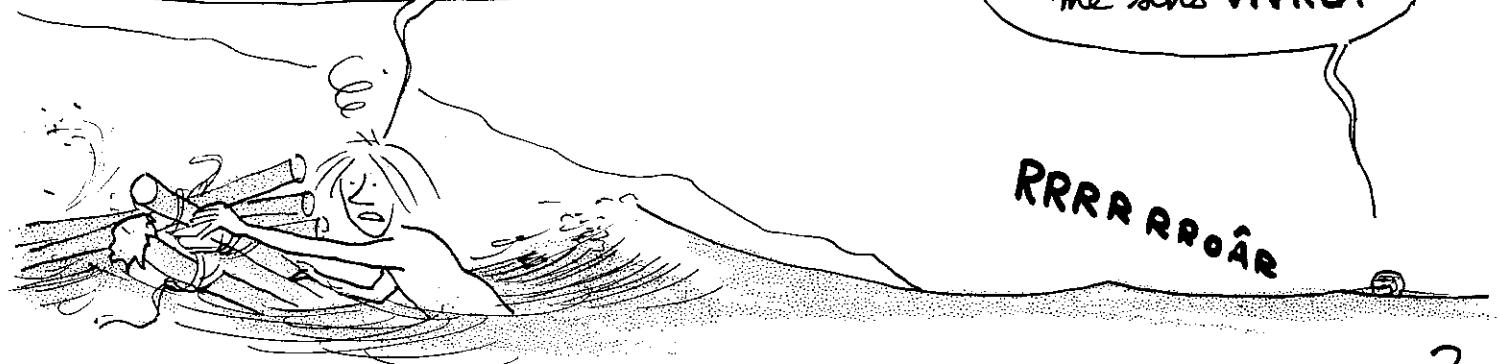
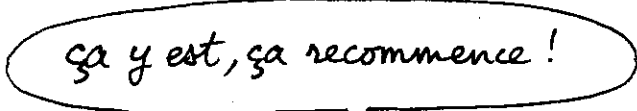
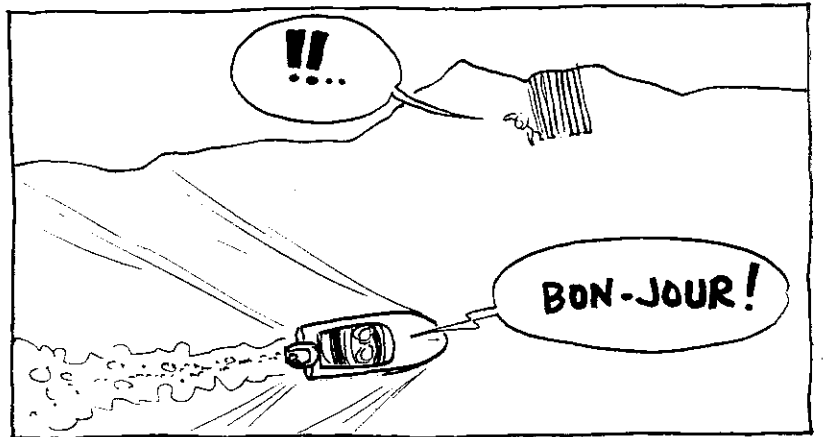
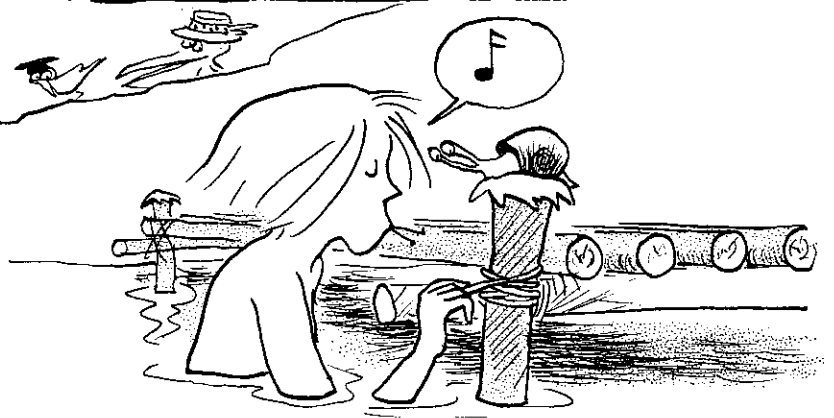
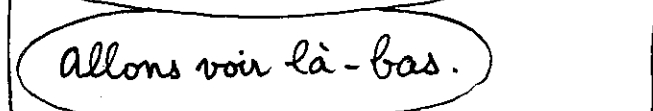
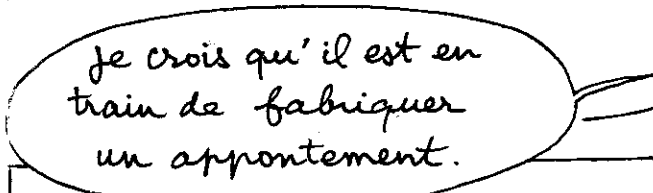
Je ne comprends pas.
Là où vous cherchez,
il n'y a ... rien ?

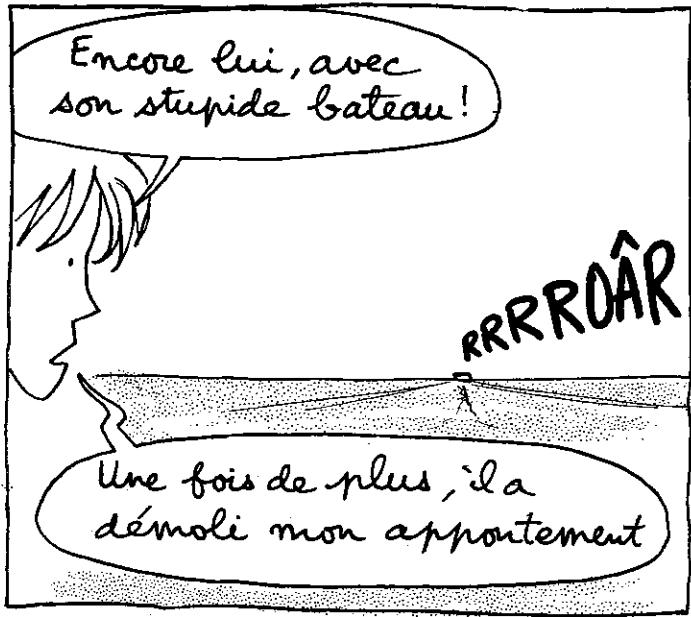


Oui, mais là au moins
il y a de la lumière !



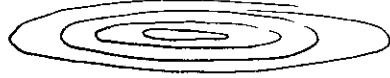
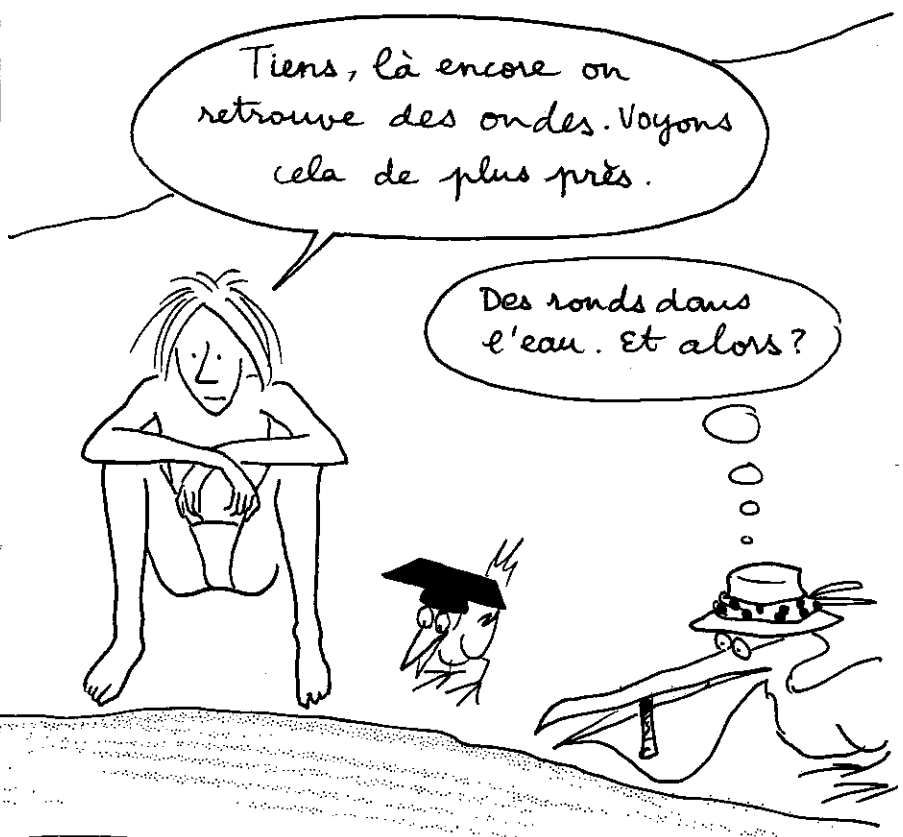
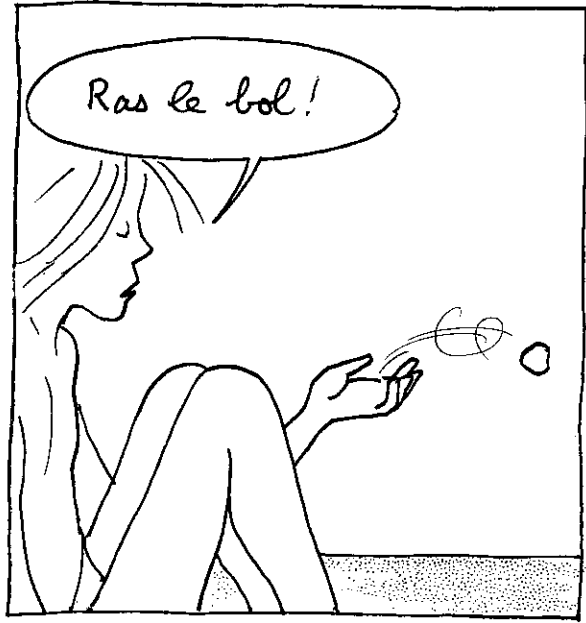
PROLOGUE





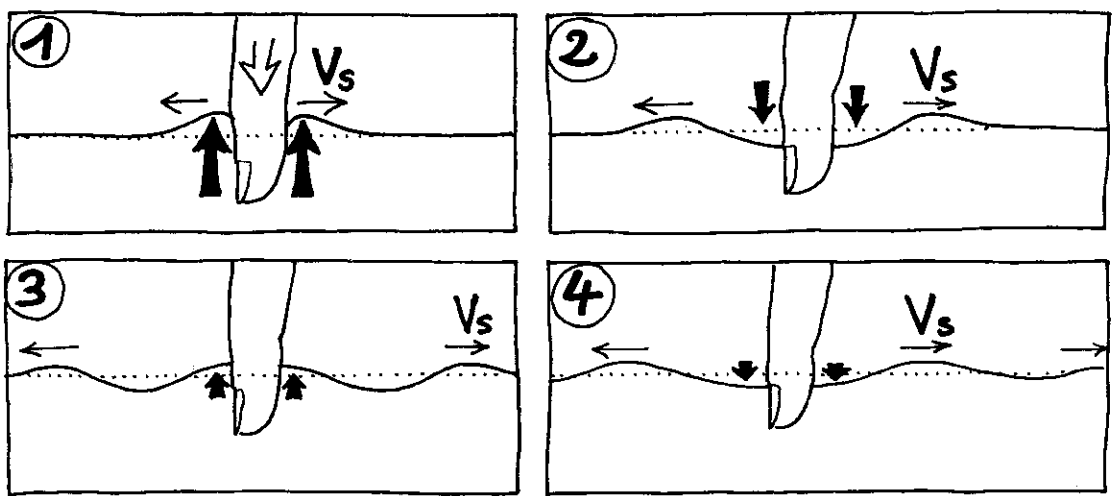
c'est peut-être la vague d'étrave. Mais le résultat est que tout est de nouveau par terre!

LES ONDES DE SURFACE

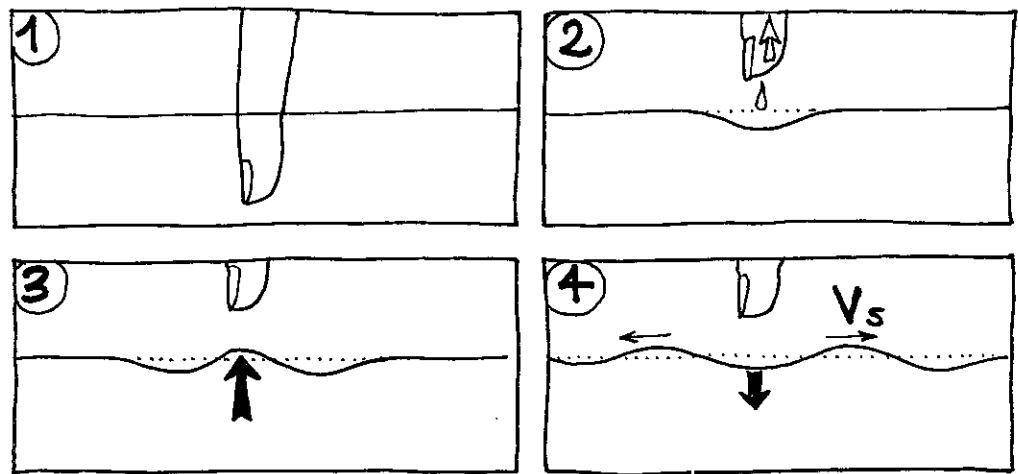




Quand j'enfonce mon doigt d'un coup, il se forme une surépaisseur, un bourellet, qui tend à être éliminé par un mécanisme oscillatoire, par des **ONDES DE SURFACE**, concentriques, allant en s'amortissant, et qui se propagent apparemment à une vitesse constante que j'appellerai V_s

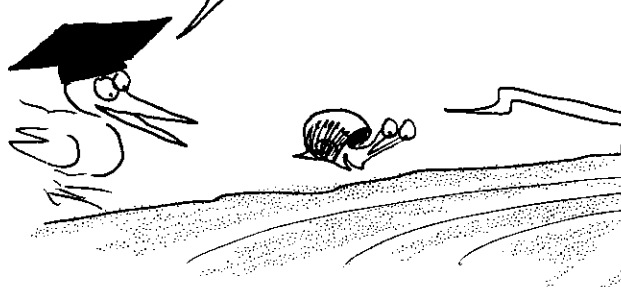


Un phénomène semblable se produit si, au lieu d'introduire le doigt dans l'eau, on l'enlève. Par ce mécanisme, le liquide tend à retrouver une **SURFACE LIBRE PLANE**.



c'est de la physique de salle de bains

Quand ces ondes se propagent, l'énergie se trouve répartie sur une surface croissante.



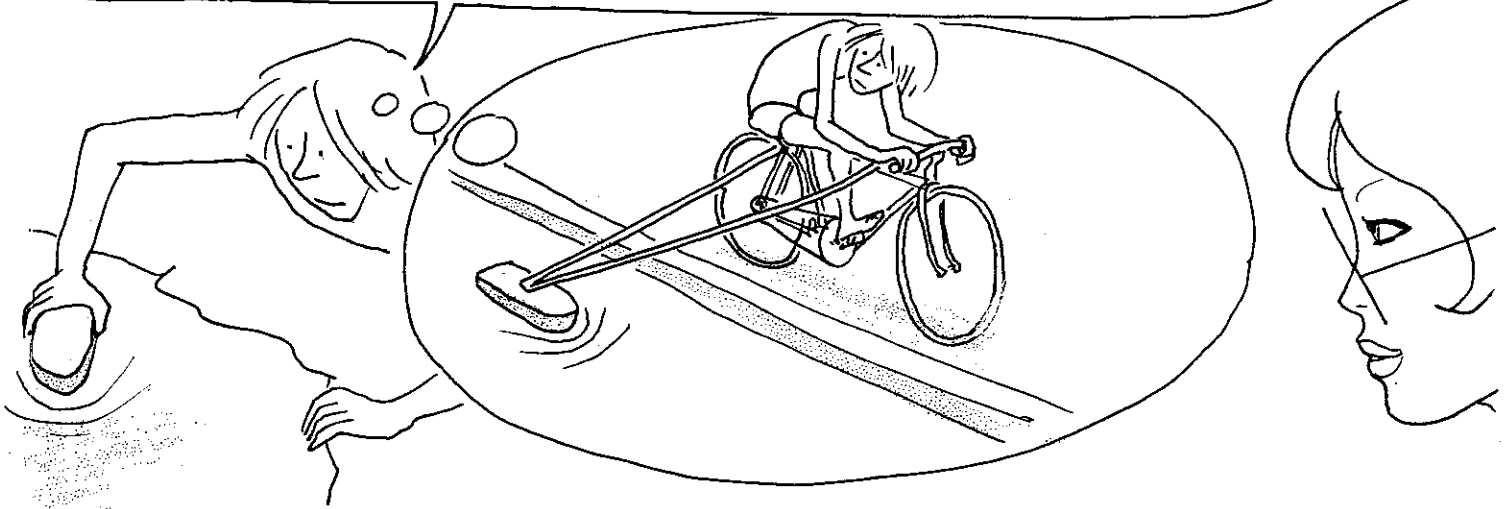
Et comme cette énergie se conserve, l'amplitude des ondes diminue progressivement.

Quand un objet se déplace dans l'eau, il émet ce type d'ondes qui permettent d'APLANIR LA SURFACE DE L'EAU.

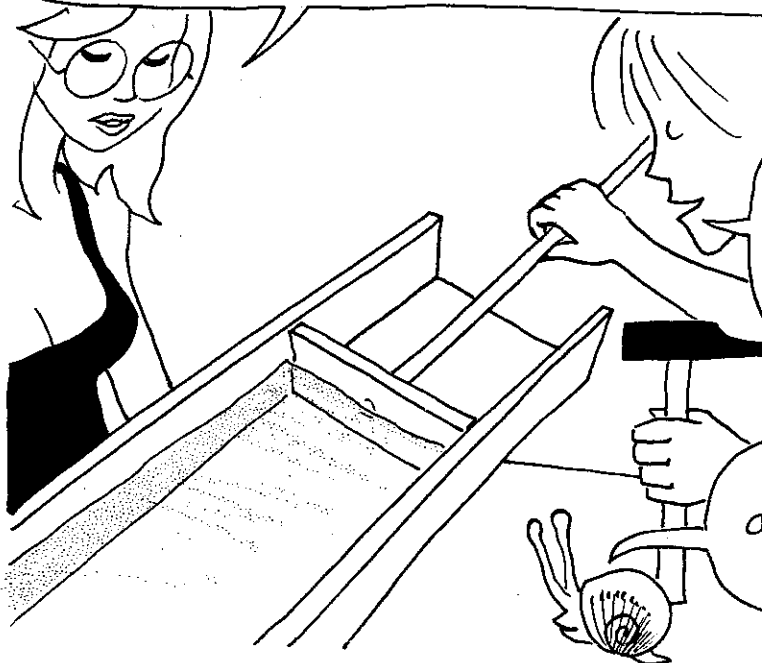


Ces ondes agissent sur le fluide. Elles commencent à écarter les molécules en amont, pour permettre au fluide de se préparer à accueillir l'objet.

Pour observer tout cela, ce serait mieux si je pouvais accompagner le fluide dans son mouvement.



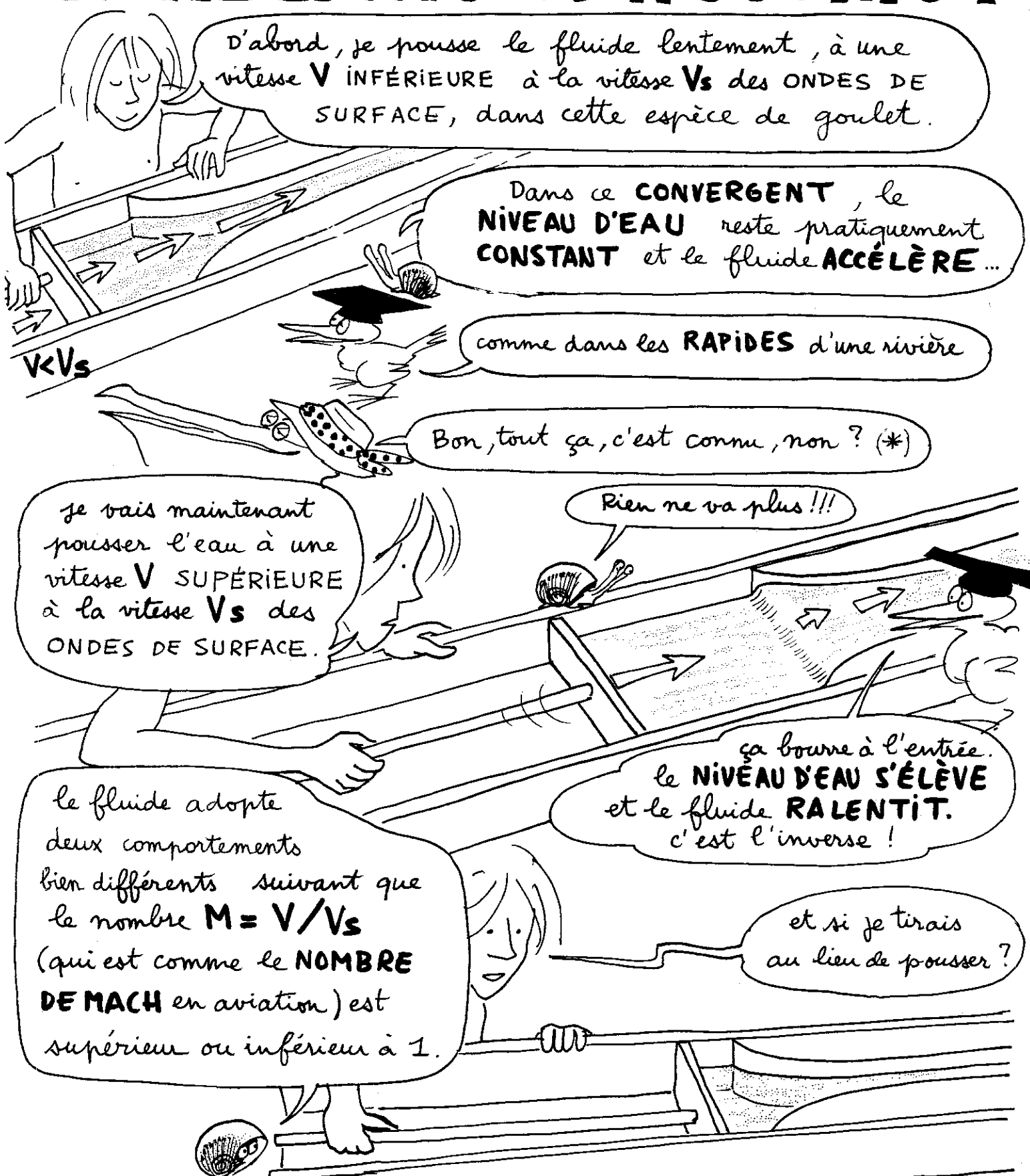
Un peu compliqué, ton système. Au lieu de déplacer l'objet, je te suggère de le garder fixe et de faire bouger le fluide.



Tu as raison. J'ai fait cette espèce de canal à eau, et ce tiroir va me permettre d'entraîner le fluide.

Au voisinage du tiroir, l'eau a la même vitesse V que celle que tu imposes au tiroir.

LA RELATION D'HUGONIOT



D'abord, je pousse le fluide lentement, à une vitesse V INFÉRIEURE à la vitesse V_s des ONDES DE SURFACE, dans cette espèce de goulet.

Dans ce **CONVERGENT**, le **NIVEAU D'EAU** reste pratiquement **CONSTANT** et le fluide **ACCÉLÈRE**...

comme dans les **RAPIDES** d'une rivière

Bon, tout ça, c'est connu, non ? (*)

Je vais maintenant pousser l'eau à une vitesse V SUPÉRIEURE à la vitesse V_s des ONDES DE SURFACE.

Rien ne va plus!!!

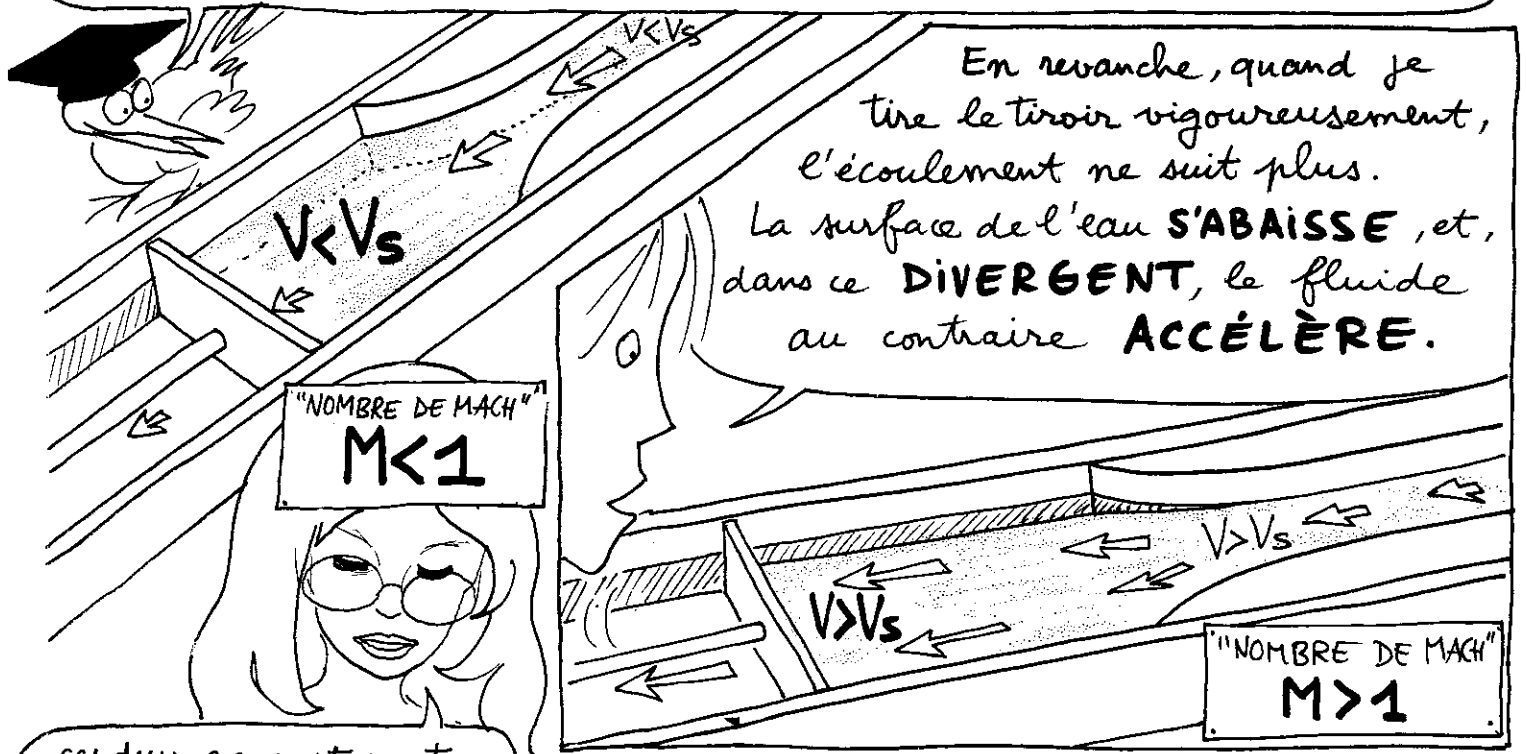
ça boume à l'entrée. le **NIVEAU D'EAU S'ÉLÈVE** et le fluide **RALENTIT**. c'est l'inverse !

le fluide adopte deux comportements bien différents suivant que le nombre $M = V/V_s$ (qui est comme le **NOMBRE DE MACH** en aviation) est supérieur ou inférieur à 1.

et si je tirais au lieu de pousser ?

(*) Voir **SI ON VOLAIT?** du même auteur

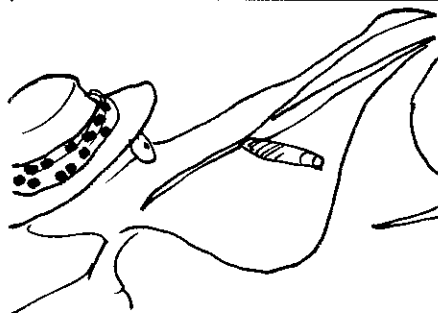
Quand tu tires doucement et que la vitesse du fluide V reste partout **INFÉRIEURE** à la vitesse V_s des ONDES DE SURFACE, l'eau **RALENTIT** dans ce **DIVERGENT** et la hauteur d'eau reste pratiquement constante.



En revanche, quand je tire le tiroir vigoureusement, l'écoulement ne suit plus. La surface de l'eau **S'ABAISSÉ**, et, dans ce **DIVERGENT**, le fluide au contraire **ACCÉLÈRE**.

ces deux comportements radicalement différents sont résumés dans le théorème du physicien français HUGONIOT:

<i>Hugoniot</i>	Vitesse V INFÉRIEURE à la vitesse V_s des ONDES DE SURFACE ("Mach" M inférieur à 1)	Vitesse V SUPÉRIEURE à la vitesse V_s des ONDES DE SURFACE "Mach" M supérieur à 1
Dans un CONVERGENT Le fluide : le niveau d'eau :	ACCÉLÈRE RESTE CONSTANT	RALENTIT MONTE
Dans un DIVERGENT Le fluide : le niveau d'eau :	RALENTIT RESTE CONSTANT	ACCÉLÈRE BAISSE



Voyons. Plus on va moins vite et moins la vitesse est plus grande... à moins que cela ne soit l'inverse ?...

HiHiHi...



Pffff!... j'en ai plein le dos de pousser et de tirer cette masse liquide.
Il me faut trouver une autre solution.

Ceci fera l'affaire. En inclinant plus ou moins cette planche à eau, on règle à volonté la vitesse V de l'écoulement

ça y est, il a déjà tout modifié!..

Mais non, le résultat est le même.

Revoilà un écoulement dans un **DIVERGENT**. Au dessous de la **VITESSE CRITIQUE V_s** , le fluide **RALENTIT** et le niveau de l'eau reste pratiquement **CONSTANT**.

Si le liquide arrive à une vitesse V **SUPÉRIEURE** à la vitesse V_s , la déviation s'accompagne d'une **BAISSE** du niveau de l'eau, qui **ACCÉLÈRE**.

Vitesse V -
INFÉRIEURE à
la vitesse V_s des
ONDES DE SURFACE.
"Nombre de Mach"
 $M < 1$

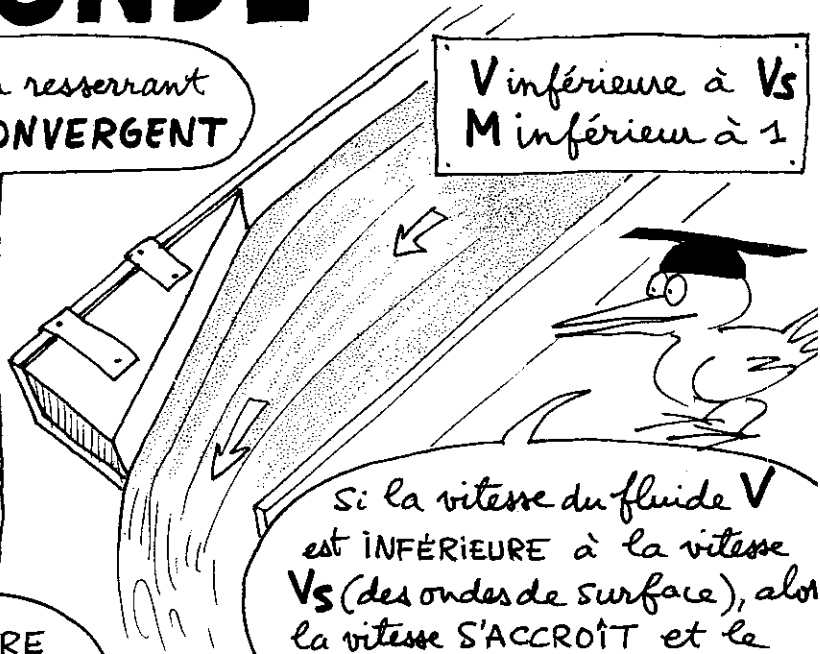
"NOMBRE DE MACH"
 $M > 1$

FRONTS D'ONDE

Bon, voyons maintenant, en resserrant l'écoulement dans un **CONVERGENT**

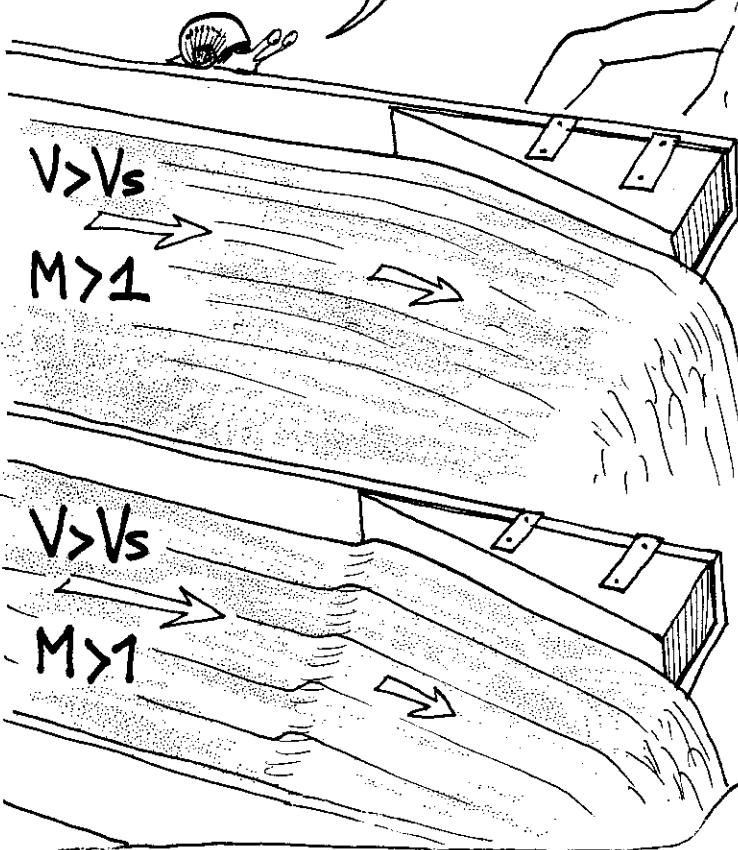


V inférieure à V_s
 M inférieur à 1



Si la vitesse du fluide V est **INFÉRIEURE** à la vitesse V_s (des ondes de surface), alors la vitesse **S'ACCROÎT** et le niveau reste **CONSTANT**

mais, si la vitesse V est **SUPÉRIEURE** à la vitesse V_s , le niveau d'eau **REMONTE** et le fluide **RALENTIT**.



$V > V_s$
 $M > 1$

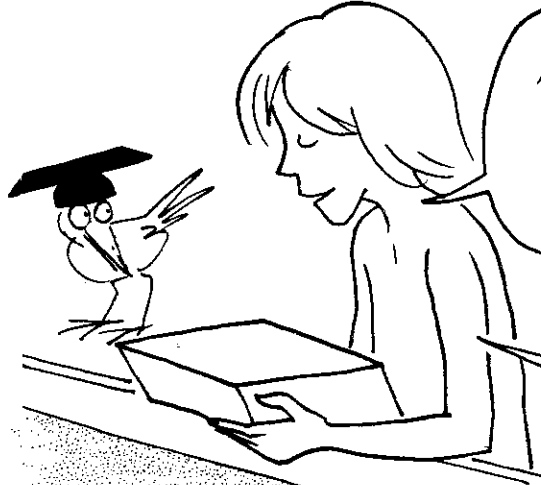
$V > V_s$
 $M > 1$

Accélère le fluide, Anselme, incline un peu plus la planche, pour voir ...



Les paramètres du fluide varient alors brutalement, à la traversée d'un **RESSAUT**, d'un **FRONT D'ONDE**. L'eau est **RALENTIE** et son niveau se trouve **RELEVÉ**.

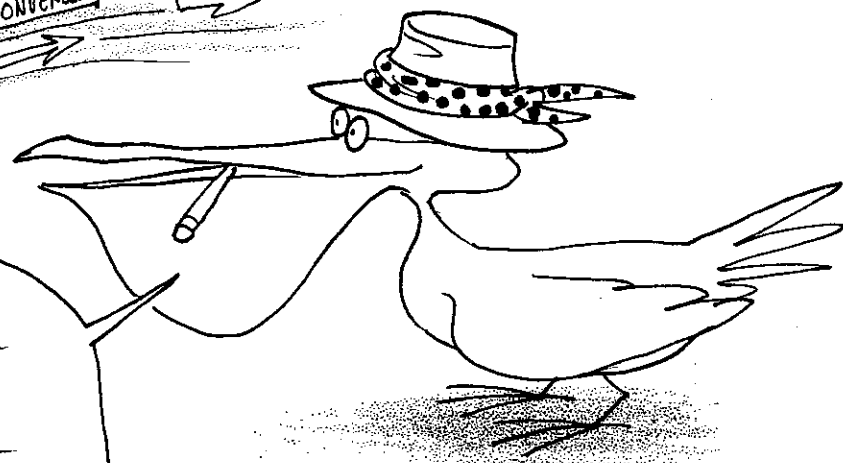
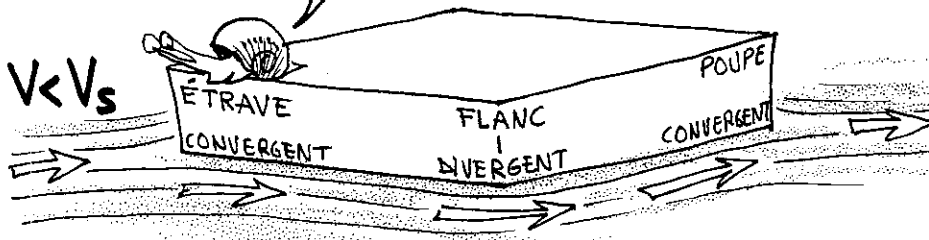
ÉCOULEMENT AUTOUR D'UN PROFIL



Maintenant que tout cela est au point, je vais enfin pouvoir étudier l'écoulement du fluide autour d'un **PROFIL**.
Commençons par un régime où la vitesse du fluide V est **INFÉRIEURE** à la vitesse V_s .

Je vais schématiser une coque de bateau par une succession de **TROIS** dièdres.

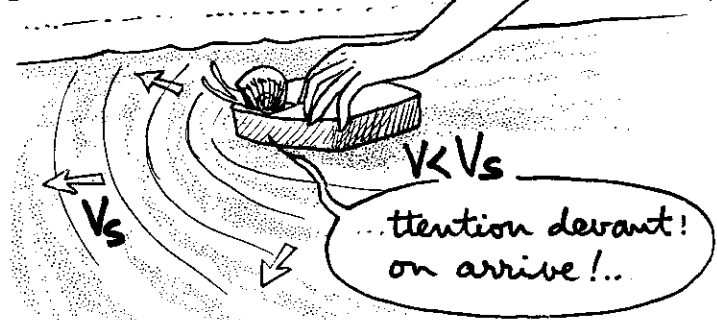
le fluide s'accélère à l'étrave qui constitue un **CONVERGENT**.



Hmm... effectivement !
La vitesse est **MAXIMALE** au niveau du second dièdre, du **FLANC**. Enfin le fluide **RALENTIT** progressivement jusqu'à la **POUPE**, en gardant sans cesse un **NIVEAU CONSTANT** jusqu'à ce qu'il retrouve sa vitesse amont.

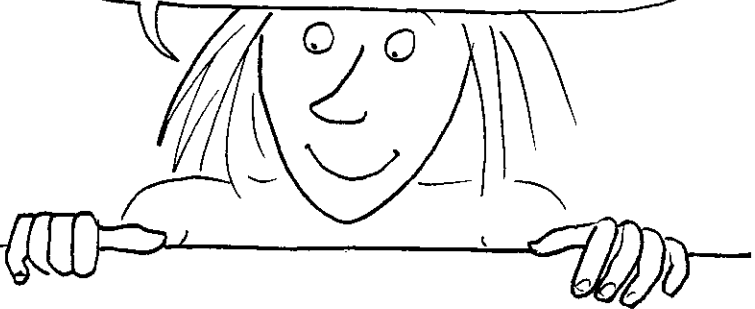


Les ONDES DE SURFACE, qui cheminent à la vitesse V_s peuvent remonter vers l'amont et transmettre de l'énergie au fluide. Ainsi "informé" de la venue d'un objet, le fluide a le temps de prendre ses dispositions pour se préparer à l'accueillir. Il commencera à s'écarter **AVANT** que l'objet ne soit sur lui

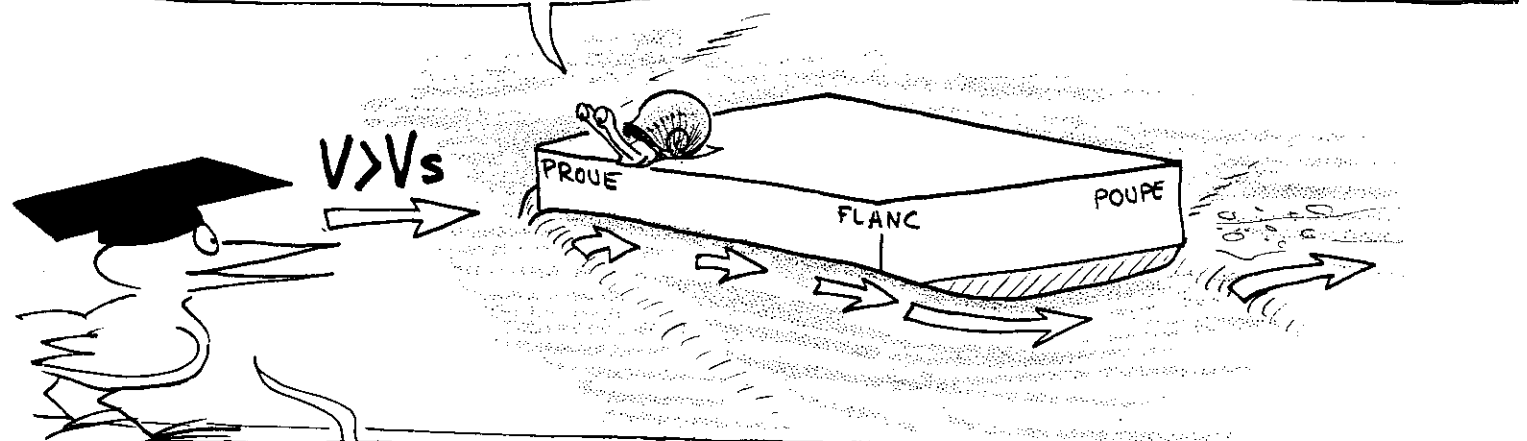


$V < V_s$
...tention devant!
on arrive!..

maintenant, inclinons la planche un peu plus pour que la vitesse V de l'eau soit supérieure à la vitesse V_s des ondes de surface.



grâce au théorème d'Hugoniot, on sait que le fluide est ralenti à l'étrave, accéléré sur le flanc et enfin ralenti de nouveau à la poupe.

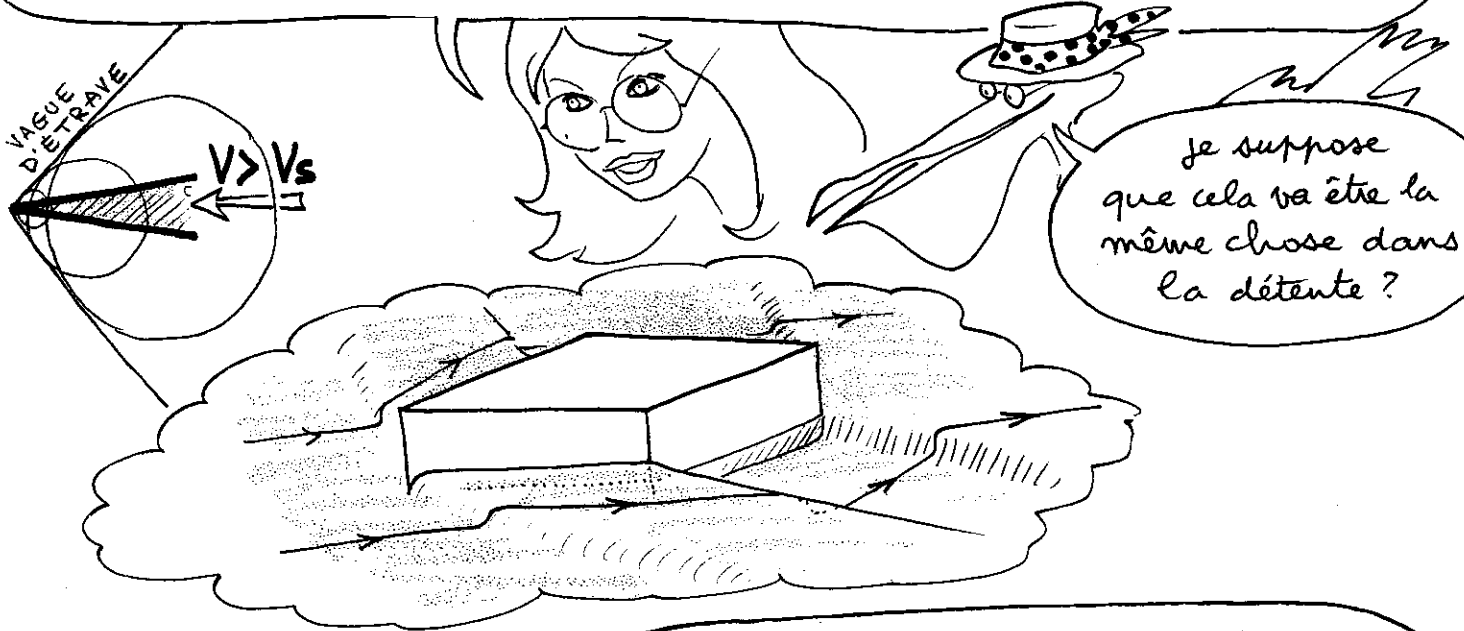


$V > V_s$

Au niveau de la PROUE l'eau est brusquement ralentie et elle monte au-dessus de la LIGNE DE FLOTTAISON. Au passage du second dièdre, cette eau est réaccélérée, et même SURACCÉLÉRÉE, c'est-à-dire portée à une vitesse SUPÉRIEURE à celle de l'écoulement "libre", général. En même temps, le niveau baisse au-dessous de la ligne de flottaison. À la hauteur de la POUPE, vitesse et niveau sont brutalement réajustés pour retrouver leurs valeurs amont.

LA VAGUE D'ÉTRAVE

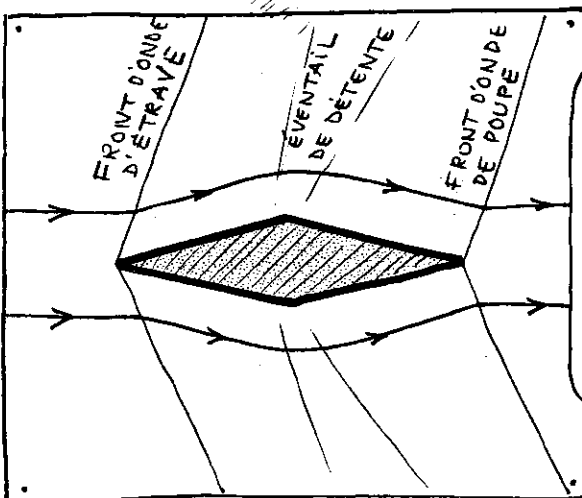
Dans ce régime où la vitesse V est supérieure à la vitesse V_s des ondes de surface, on trouve des **FRONTS D'ONDE**. L'étrave, par exemple, émet des ondes de surface qui, ne pouvant pas remonter vers l'amont, s'entassent les unes sur les autres en formant un bourrelet liquide, la **VAGUE D'ÉTRAVE**.



Non, il n'y a pas de "fronts de détente", de fronts de raréfaction. Cela se fait apparemment en douceur

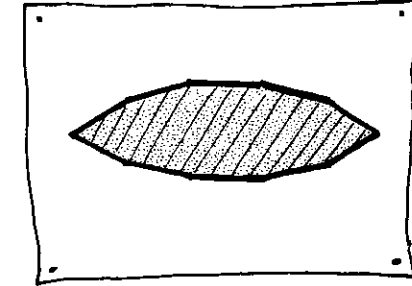
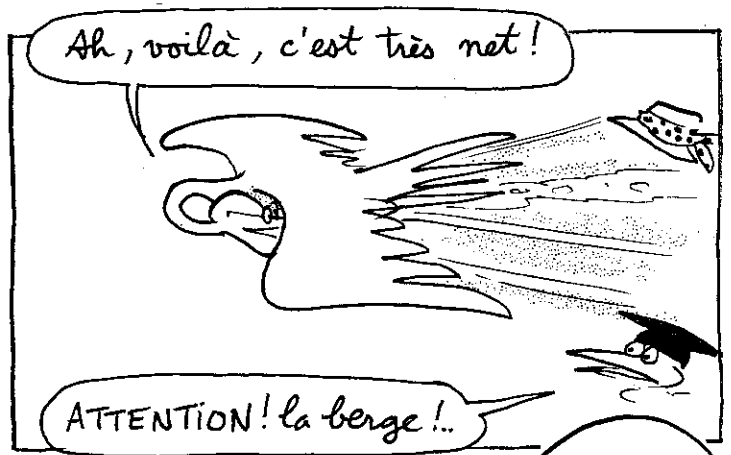
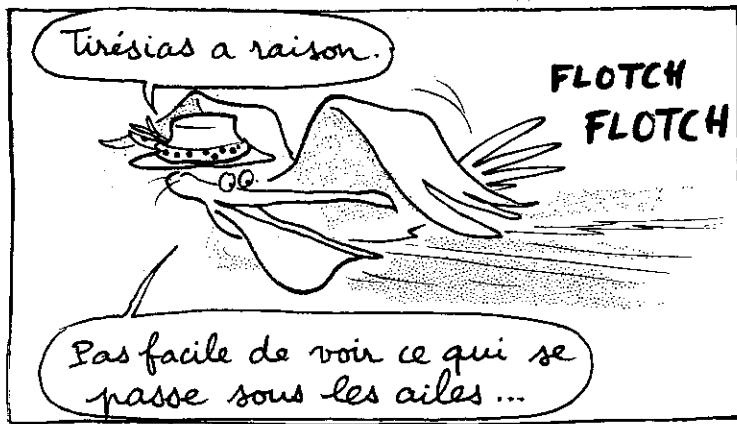


Et oui, Léon, les variations de vitesse et de niveau s'effectuent à l'étrave et à la poupe de façon brutale, à travers des **FRONTS D'ONDE**. En revanche, sur le flanc, la vitesse et le niveau varient continûment, à travers un **ÉVENTAIL DE DÉTENTE**.

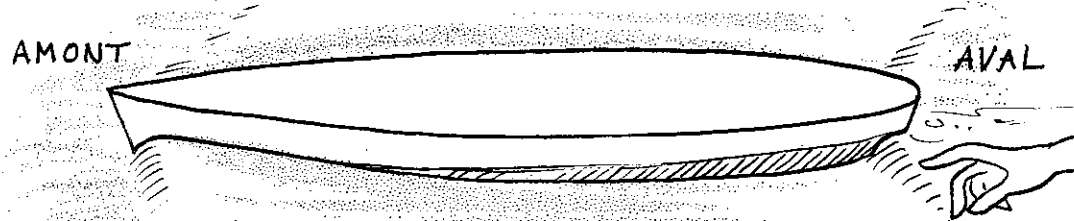


L'observation, Léon, l'observation!



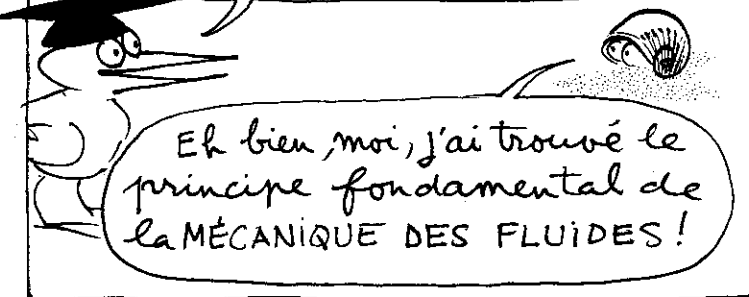


Dans une coque de navire, les flancs peuvent être assimilés à une succession d'un grand nombre de facettes.



Et la VAGUE DE POUPE assure un raccord avec le fluide AVAL, ce qui explique pourquoi les navires ne laissent pas derrière eux de sillon.

De même, la différence de vitesse résiduelle, due à l'entraînement de l'eau par la coque, par frottement, est annulée par la turbulence du SILLAGE



Ah, Tirésias, vous m'étonnez toujours. Et c'est QUOI?

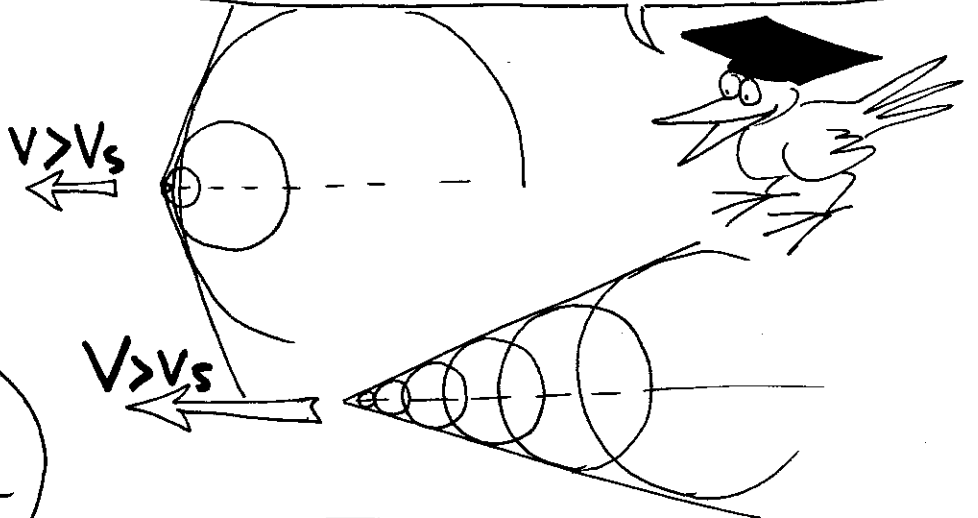


MESURE DE VITESSES

Pour comprendre tout ce qui se passe, ce qu'il faudrait c'est un moyen de mesurer la vitesse.

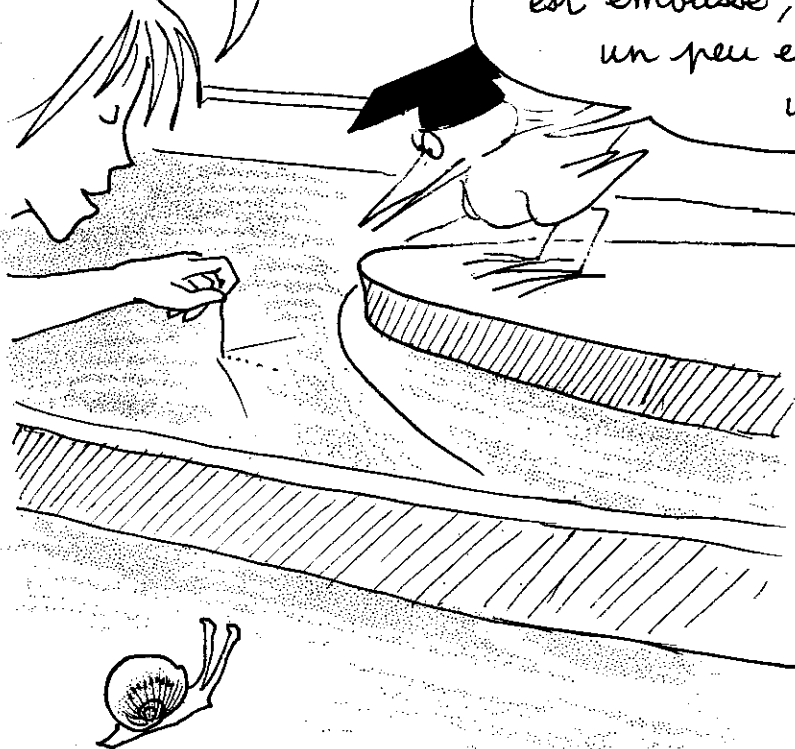


Si on place une fine aiguille dans un écoulement dont la vitesse V est supérieure à la vitesse V_s des ondes de surface, plus la vitesse sera grande, plus les fronts d'onde seront couchés sur la trajectoire.



Ma foi, Max, tu as raison. Cela peut permettre de mesurer la vitesse V (*)

Tu as vu, lorsque l'avant de l'objet est émoussé, le front d'onde s'établit un peu en avant, en formant une **ONDE DÉTACHÉE**

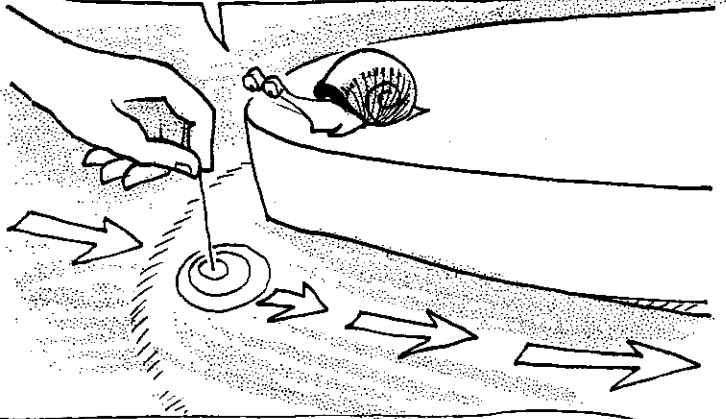


(*) Voir Annexe A

c'est normal. Dans cette région, proche de cette étrave émoussée, la vitesse V est tombée au-dessous de la vitesse V_s .

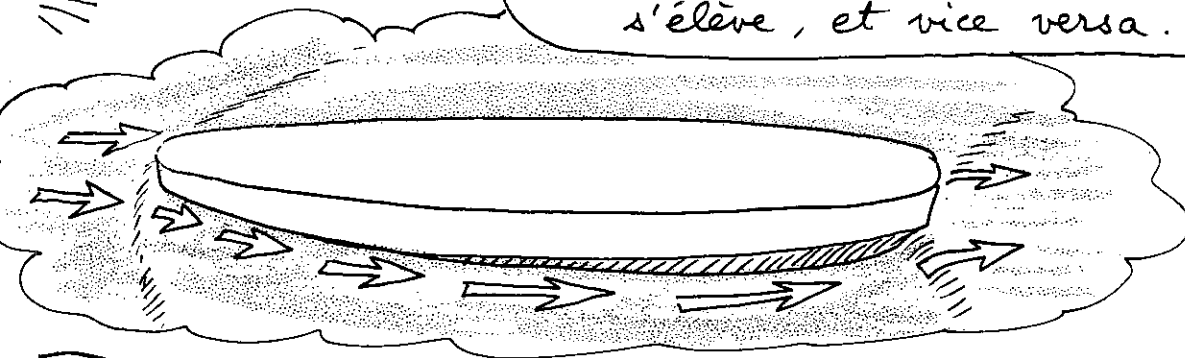


Dans ce cas, c'est comme si l'objet se fabriquait sur mesure, grâce à cette vague d'étrave, une zone où V est inférieure à V_s pour y naviguer plus à l'aise



Mais alors, comment l'eau s'évacue-t-elle à une vitesse aussi faible ?

Élémentaire, mon cher lion: là où le fluide est ralenti, le niveau de l'eau s'élève, et vice versa.



Tout cela commence à s'éclaircir un peu.

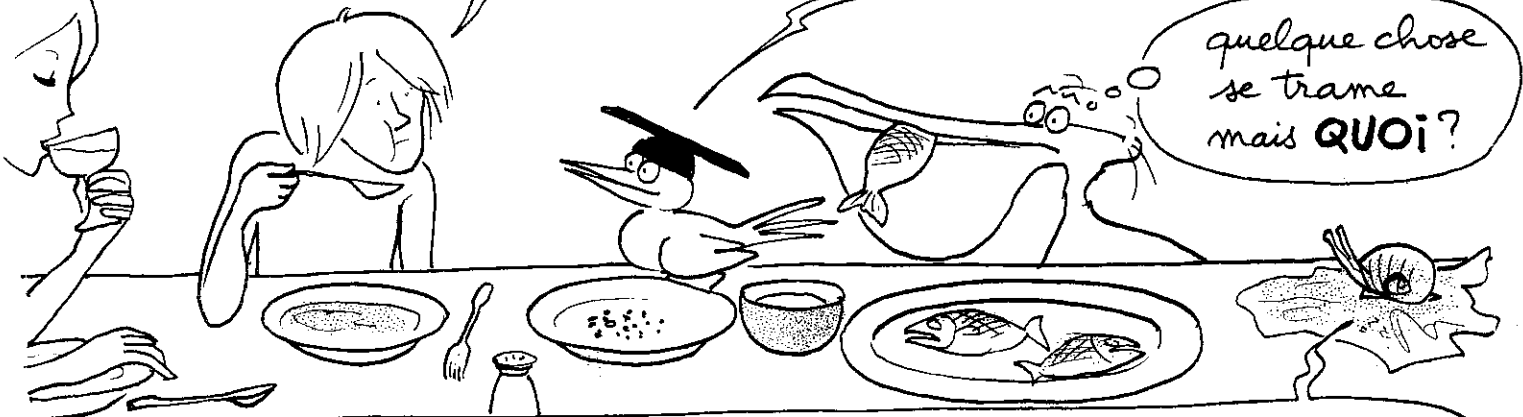
Allez, les savanturiers on dîne !



ça serait quand même pas mal si on arrivait à supprimer ces ondes

Elles consomment de l'énergie, ça c'est sûr !

quelque chose se trame mais **QUOI?**

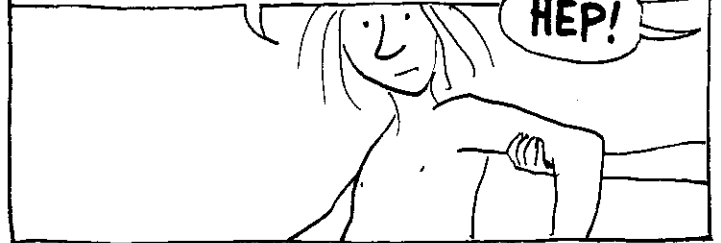


Oui, il y a de l'énergie là-dedans. La preuve est que le voisin, avec son bateau, arrive à démolir notre appartement.

Tant qu'on arrive à "prévenir" le fluide en amont, l'onde ne se forme pas...

Donc, même lorsqu'on va plus vite que les ONDES DE SURFACE, il faut pouvoir continuer d'agir sur le fluide en amont.

HEP!

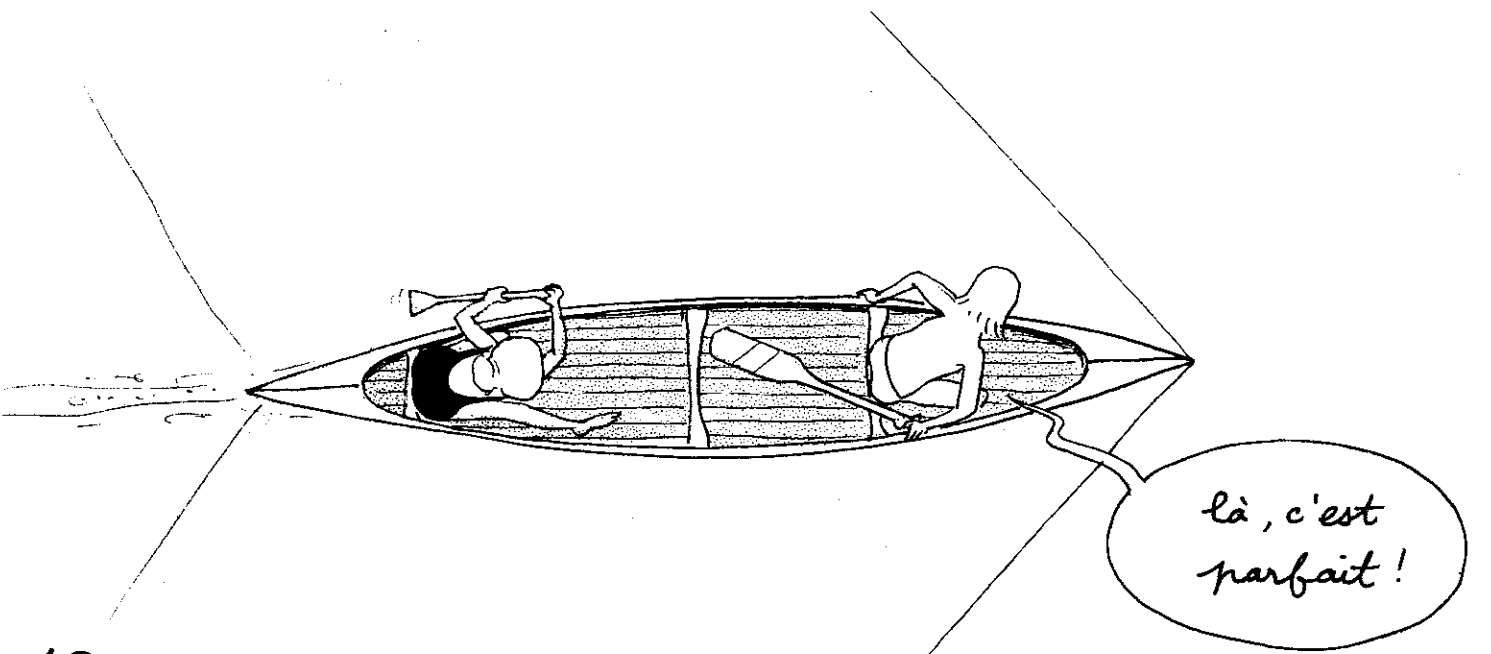
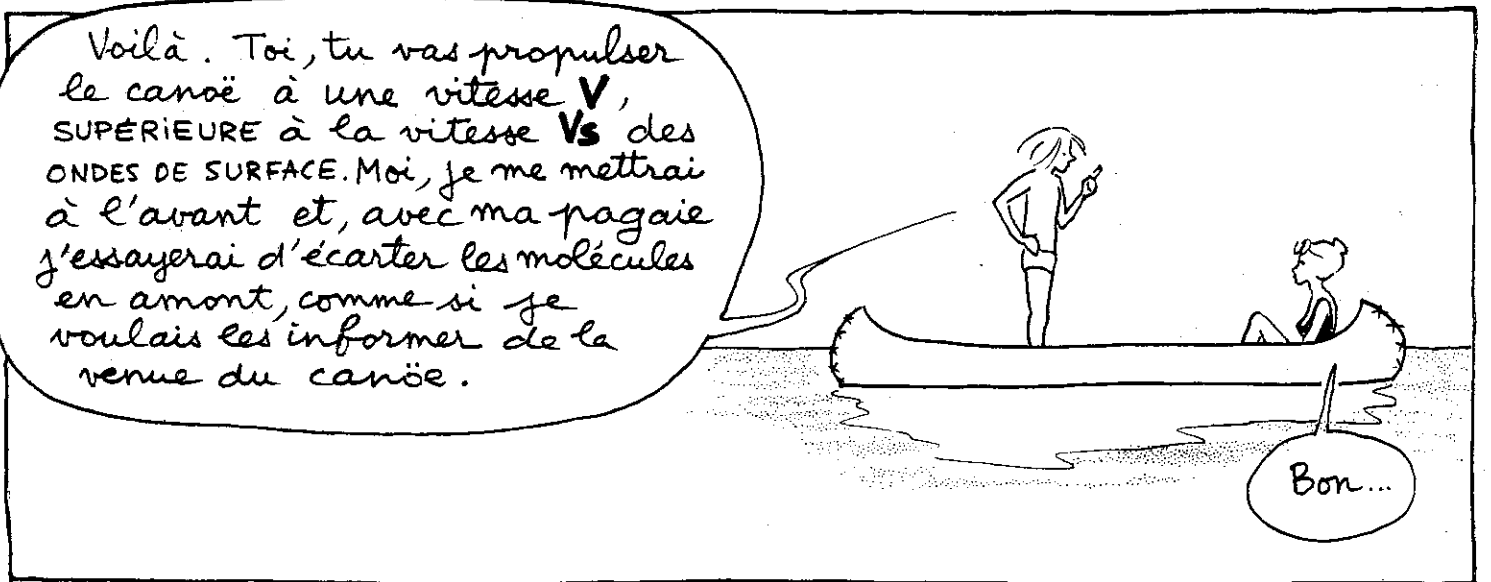
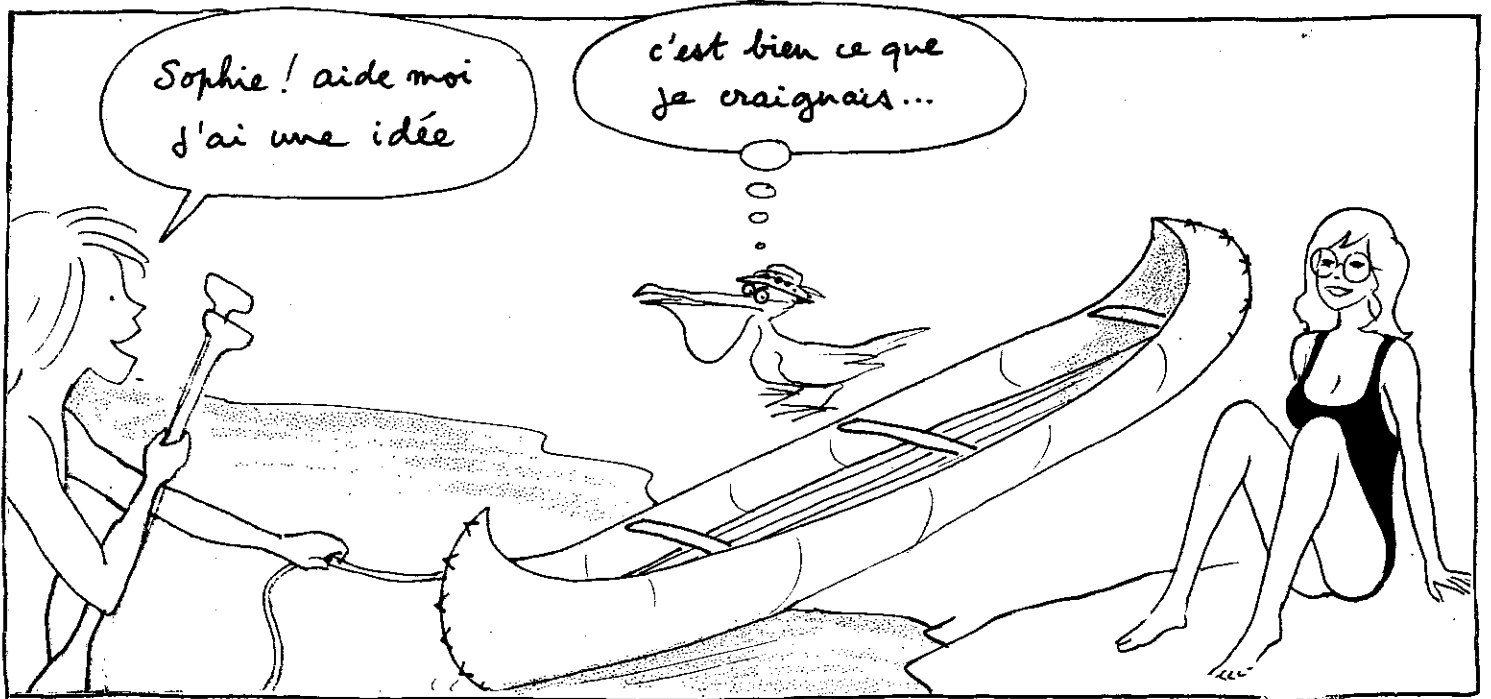


vaisselle...

Il doit y avoir une solution.

AH!..





On va voir ce qu'on va voir

J'appréhende

Hé!

c'est pas ça ...

qu'est-ce que vous fabriquez?

Rien, Anselme essayait d'informer des molécules

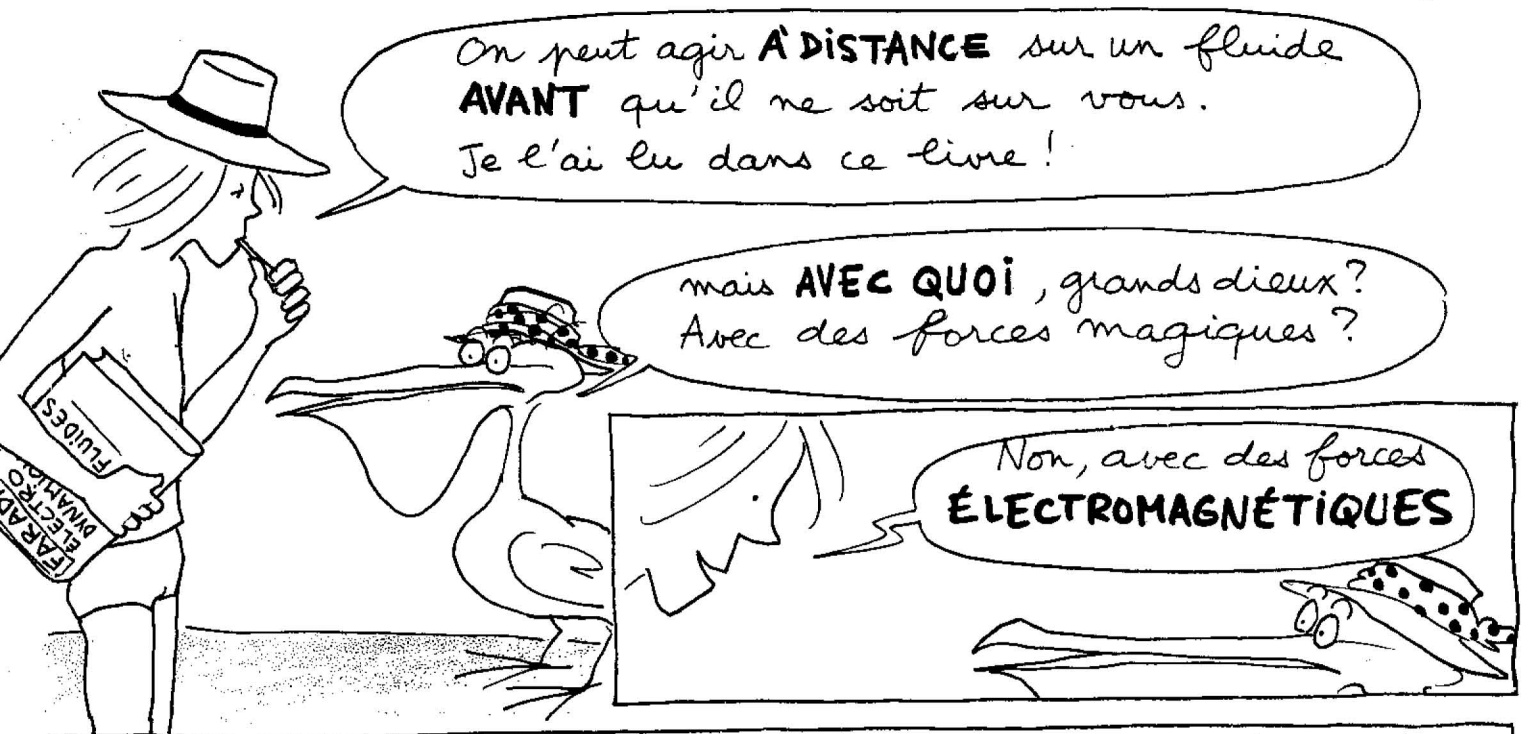
Là, je ne comprends plus ce que tu espères. Si tu veux "informer" le fluide, comme tu le dis, il va falloir que tu projettes, et que tu déplaces sur l'amont de nouveaux OBJETS MATÉRIELS qui, eux-mêmes, engendreront des vagues. C'est un cercle vicieux.

Attendez...
attendez...

Sophie dit que cela ne fait que repousser le problème.

Elle dit que naviguer sans faire de vague d'étrave est une impossibilité.

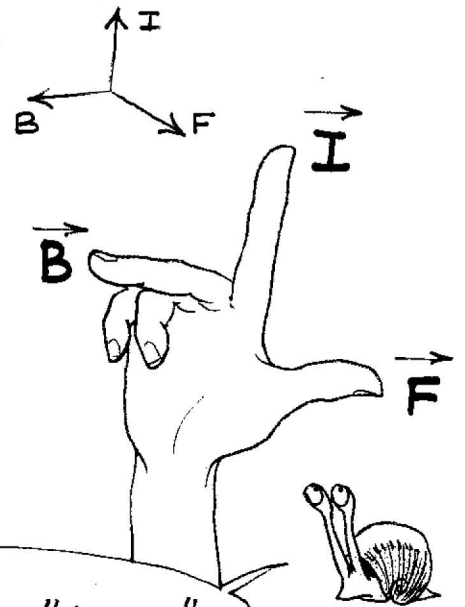
OÙ ANSELME DÉCOUVRE LA MAGNÉTOHYDRODYNAMIQUE



Si, dans un fluide on crée, d'une part, un CHAMP MAGNÉTIQUE \vec{B} , d'autre part un COURANT ÉLECTRIQUE \vec{I} qui lui est PERPENDICULAIRE, alors le fluide subit une **FORCE DE LAPLACE** d'intensité $\vec{I}B$ et dont la direction est donnée par la

RÈGLE DES TROIS DOIGTS:

Si on forme un trièdre avec le pouce, l'index et le médium; si l'intensité \vec{I} du courant qui traverse le matériau est dirigée suivant l'index, le champ magnétique \vec{B} suivant le médium, alors une force apparaîtra dans la direction donnée par le pouce



la Direction

la force "pouce"

Doux Jésus, qu'est-ce que c'est que ce montage ?

J'ai construit un **CONVERTISSEUR MAGNÉTOHYDRODYNAMIQUE** semblable à celui inventé en 1860 par le physicien anglais **FARADAY**

pourquoi **CONVERTISSEUR** ?

Parce qu'il convertit l'énergie électrique en **MOUVEMENT**, en **ÉNERGIE CINÉTIQUE**.

Les vecteurs champ magnétique \vec{B} et courant \vec{I} forment avec l'axe de ce canal un trièdre trirectangle.

Le bobinage crée le champ magnétique, et j'ai mis du sel dans l'eau pour la rendre plus conductrice de l'électricité. Avec ce rhéostat, je peux faire varier l'intensité du courant qui passe dans l'eau.

En jouant sur le courant \vec{I} et le champ magnétique \vec{B} , tu peux à volonté **ACCÉLÉRER** ou **RALENTIR** le fluide.

CRITÈRE D'INTERACTION

Il me semble que cette histoire part un peu dans tous les sens

Au début il était question de fluides et d'écoulements

Et maintenant, on mélange tout !

n'importe quoi !..

qu'est-ce qu'ils fabriquent aujourd'hui ?

moi, je ne comprends plus

Je cherche à changer les données habituelles de la mécanique des fluides en introduisant des paramètres supplémentaires : des **FORCES** qui agissent **DANS LA MASSE DU FLUIDE ET À DISTANCE**

je sens qu'on ne va pas s'ennuyer

Mais, qui te dit que ces forces auront une action suffisante ?

Anselme tient la forme, aujourd'hui

Il me semble que c'est une question d'**ÉNERGIE**

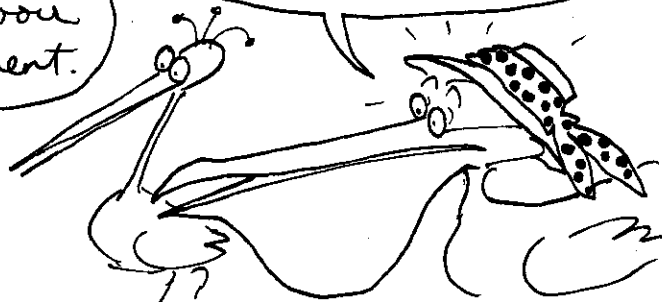
qu'est-ce que tu entends par là ?

Le fluide a une certaine **ÉNERGIE CINÉTIQUE**. Pour modifier la vitesse du fluide avec des forces de Laplace, il faudra dépenser une énergie du même ordre de grandeur

J'irai même plus loin. Logiquement, si cette énergie transmise par les FORCES DE LAPLACE est SUPÉRIEURE à l'énergie cinétique du fluide, on devrait pouvoir **CONTRÔLER** complètement l'écoulement.



QUOI!?!
Max, vous racontez n'importe quoi!

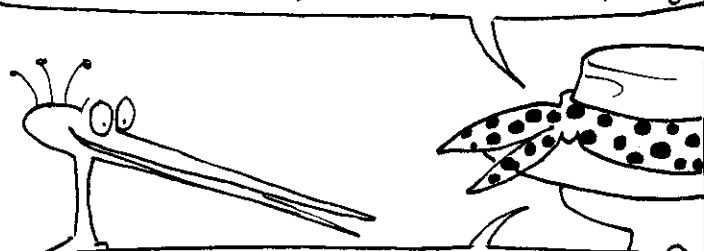


Dites, cher ami, il s'en passe des choses chez vous, aujourd'hui.



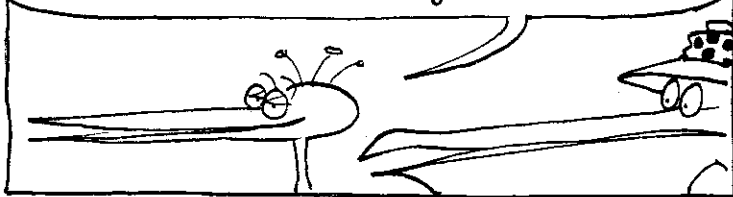
Ah, ne m'en parlez pas! Vous connaissez Lanturlu. Si on ne le surveille pas un peu, il fait n'importe quoi!

Si au moins Sophie était là!
Mais il semble qu'elle soit à la plage

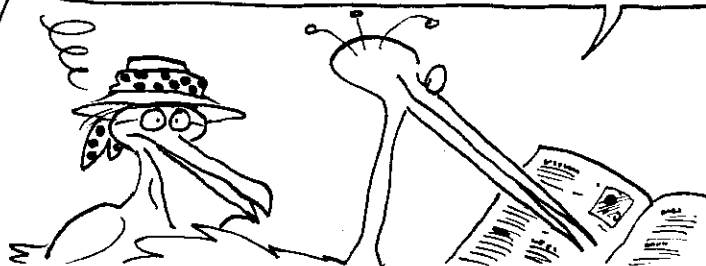


cette MAGNÉTOHYDRODYNAMIQUE ne me dit rien qui vaille.

Bah, vos craintes me paraissent vaines. C'est de la basse tension. Ils ne vont pas vous retourner l'espace-temps avec 40 volts et 10.000 gauss, enfin!..

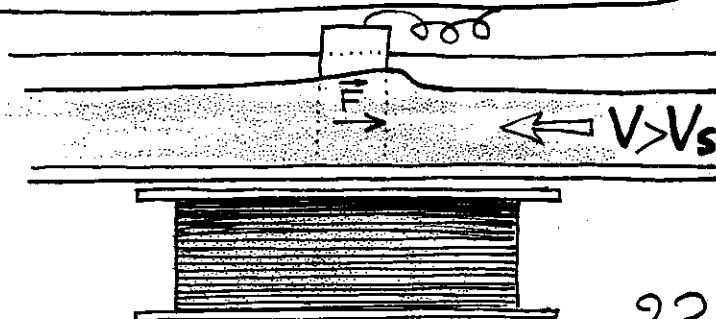
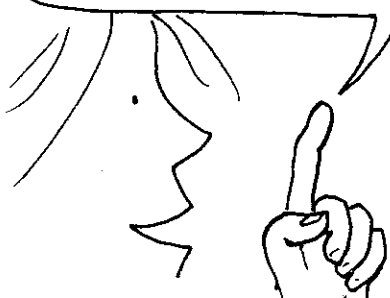


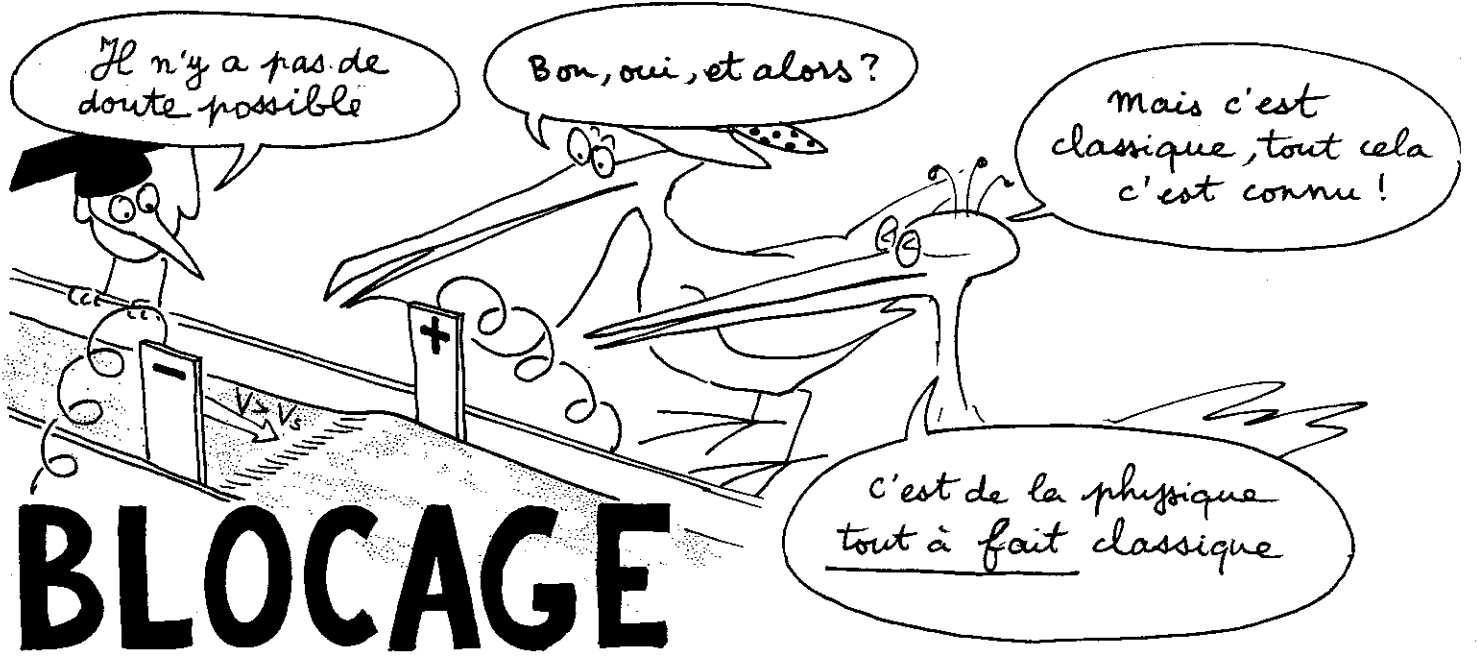
Tsss... tsss... MAGNÉTOHYDRODYNAMIQUE, en abrégé **MHD**, se trouve même... dans le dictionnaire!



Eh, regardez!

En utilisant le système comme un **RALENTISSEUR**, et en dépensant suffisamment d'énergie, j'arrive à créer un **FRONT D'ONDE** stationnaire sans autre obstacle que ces FORCES DE LAPLACE **IB**

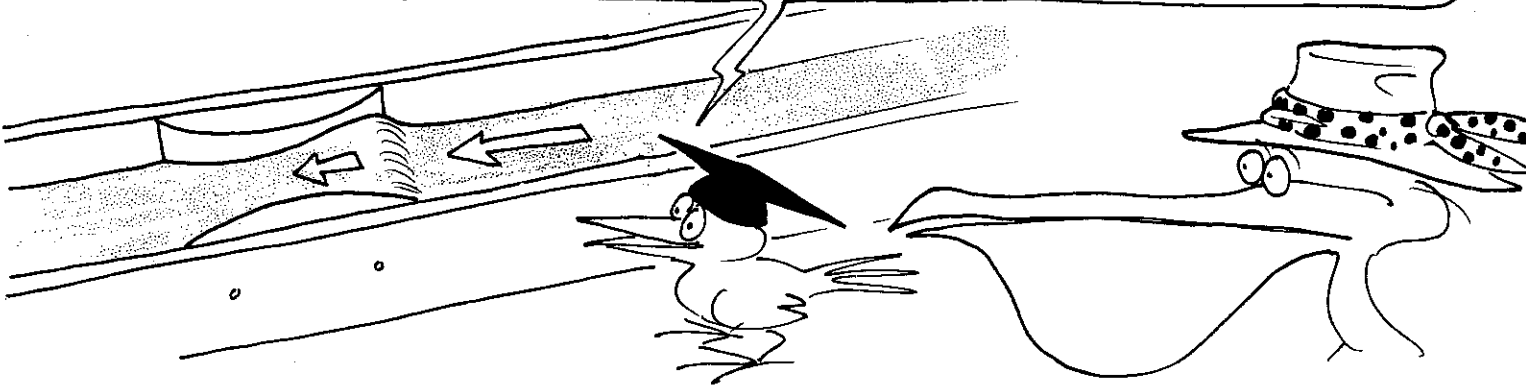




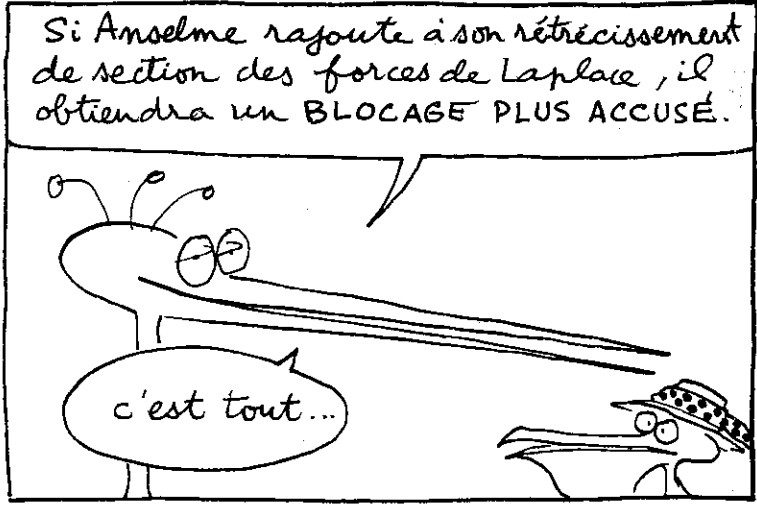
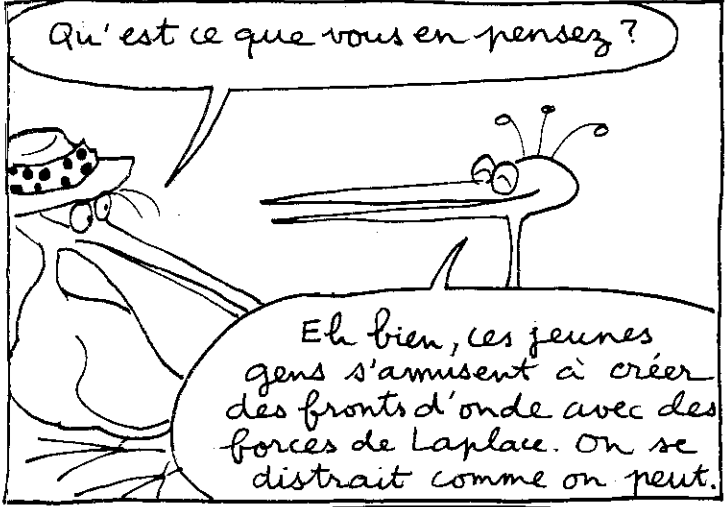
BLOCCAGE



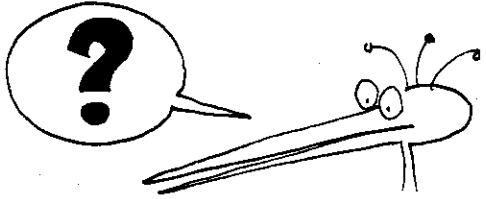
Mais, si on crée un rétrécissement assez marqué, ces fronts migrent vers l'amont en une onde frontale qui se stabilise à l'entrée du canal. Bien que le fluide puisse toujours s'écouler, on appelle ce phénomène un **BLOCCAGE**.



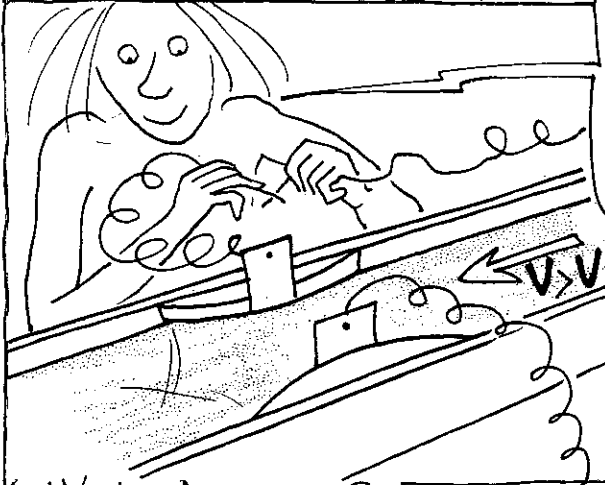
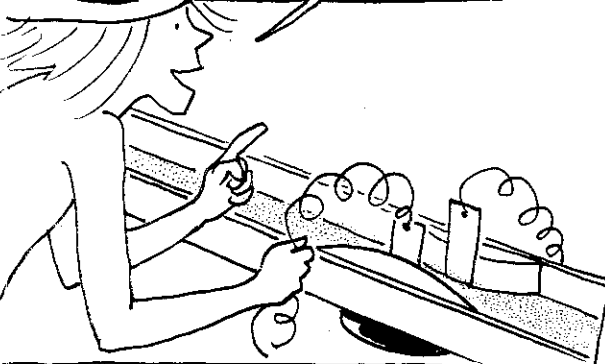
Maintenant, est-ce que vous vous rendez compte que je réalise le **MÊME BLOCAGE** que celui qui est créé par un **RÉTRÉCISSEMENT DE SECTION**.



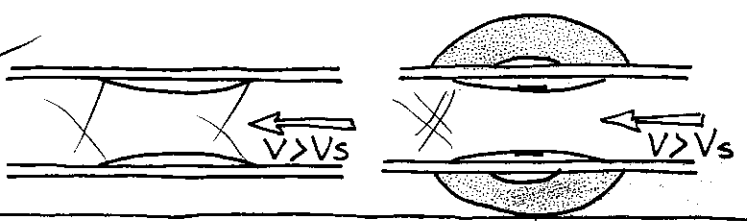
Je suis bien d'accord. Mais si **J'INVERSE LA FORCE DE LAPLACE**



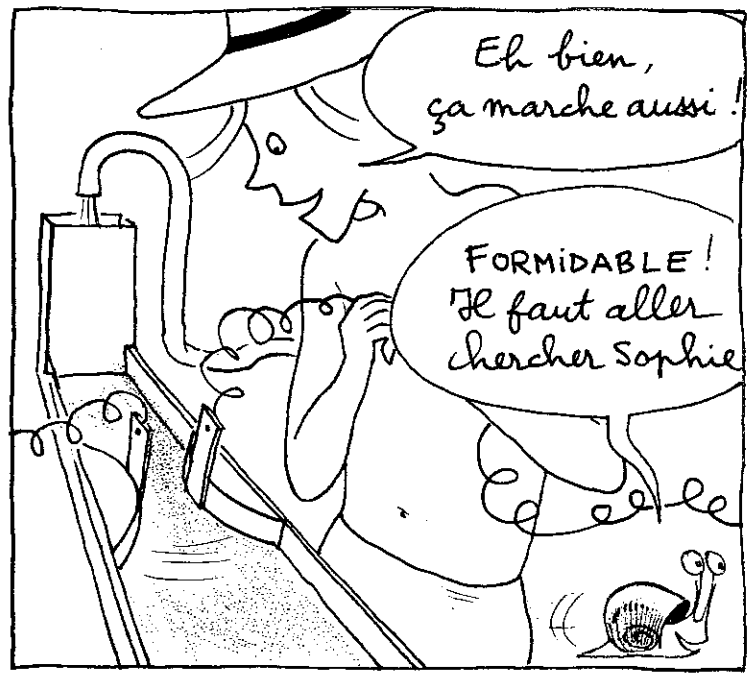
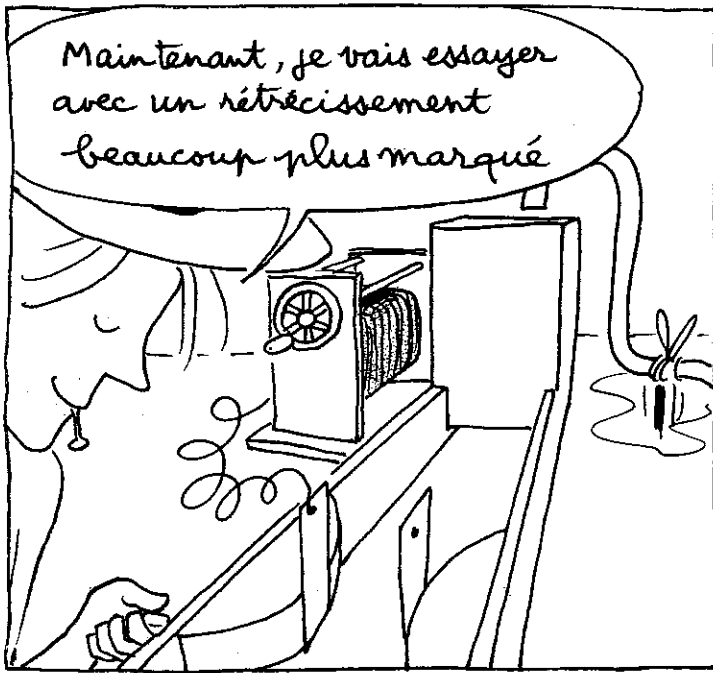
DÉBLOCAGE



Je commence par un rétrécissement peu accusé. Pour **INVERSE LA FORCE**, je peux soit **INVERSE LE CHAMP MAGNÉTIQUE B** soit **INVERSE LE COURANT I**. Et voilà! Si le produit **$I \cdot B$** est assez élevé (*) cette force de Laplace **ACCÉLÉRATRICE** fait **DISPARAITRE LES FRONTS D'ONDE AMONT!**



(*) Voir Annexe B



la vague frontale se trouve **ANNILÉE**

BLOPAGE

DÉBLOCAGE dû aux forces de Laplace accélératrices

FRONT D'ONDE

$V > V_s$

DÉPRESSION

$V > V_s$

En augmentant les FORCES DE LAPLACE, Anselme arrive même à **SUCER** l'eau, au point d'**ABAISSE**R LE NIVEAU EN AMONT et de créer une **DÉPRESSION**

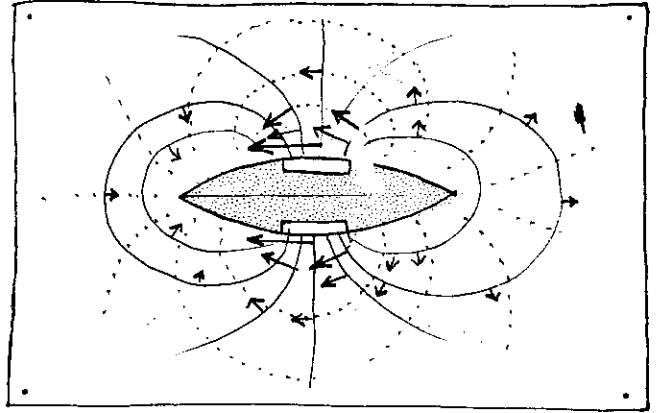




ANNIHILATION DE LA VAGUE D'ÉTRAVE



En appliquant la
RÈGLE DES TROIS DOIGTS,
voici le CHAMP DE FORCE
auquel le fluide
va être soumis.



Nom d'un vecteur!

Par tous les diables de la physique
Anselme a annihilé la
VAGUE D'ÉTRAVE!

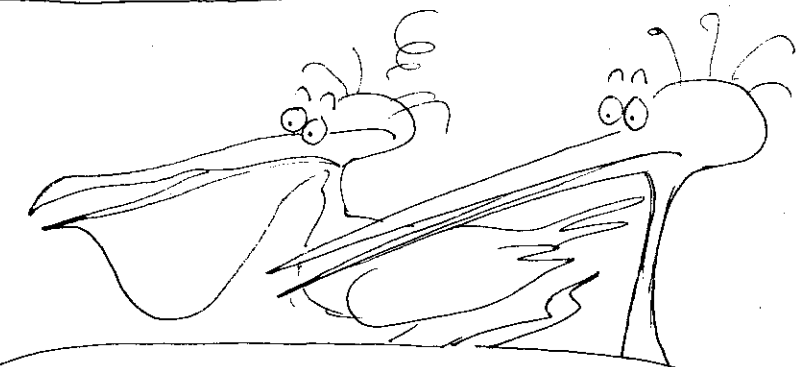
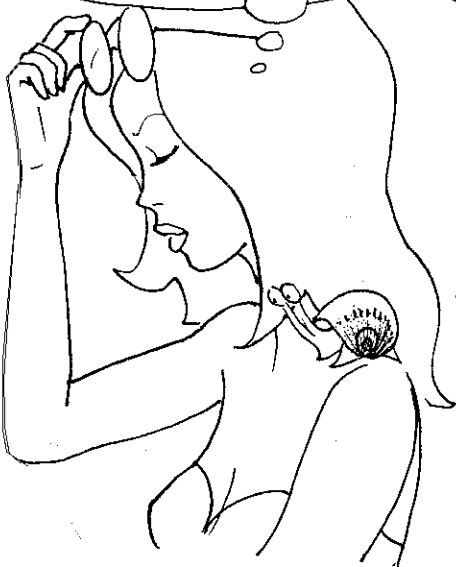


QUOI?

$V > V_s$

qu'est-ce qu'il
me fabrique,
celui-là?..

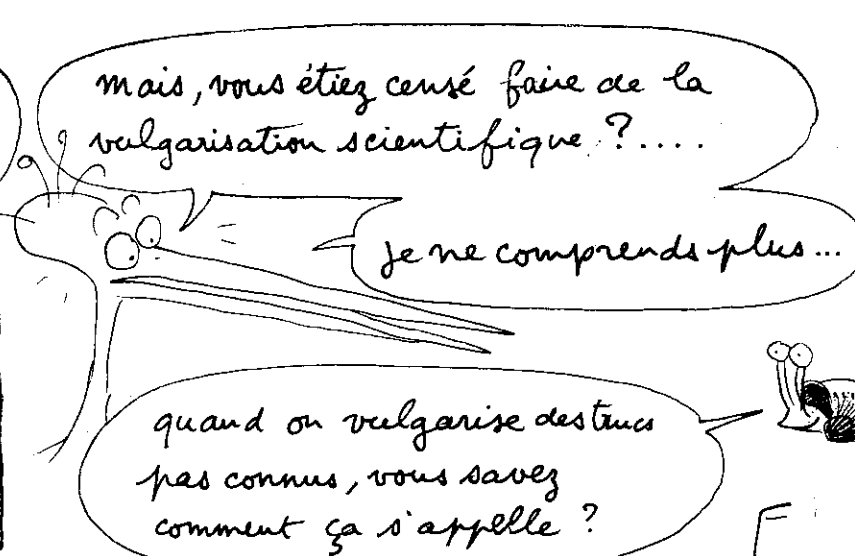
je vous ferai remarquer que, s'il supprime
la vague d'étrave, par contre, la vague
de poupe subsiste...



mais, c'est connu ça, non?



mais non, ça n'est pas connu!
Et je me demande bien où il
est allé chercher cela?

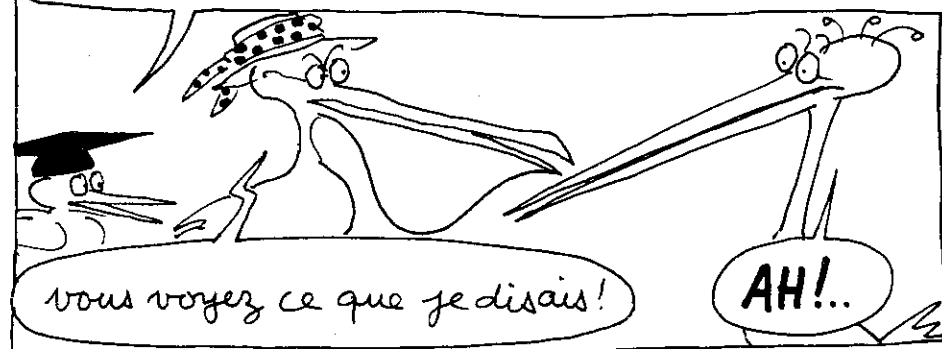


mais, vous étiez censé faire de la
vulgarisation scientifique?.....

je ne comprends plus...

quand on vulgarise des trucs
pas connus, vous savez
comment ça s'appelle?

ça s'appelle de la **RECHERCHE SCIENTIFIQUE**



vous voyez ce que je disais!

AH!...

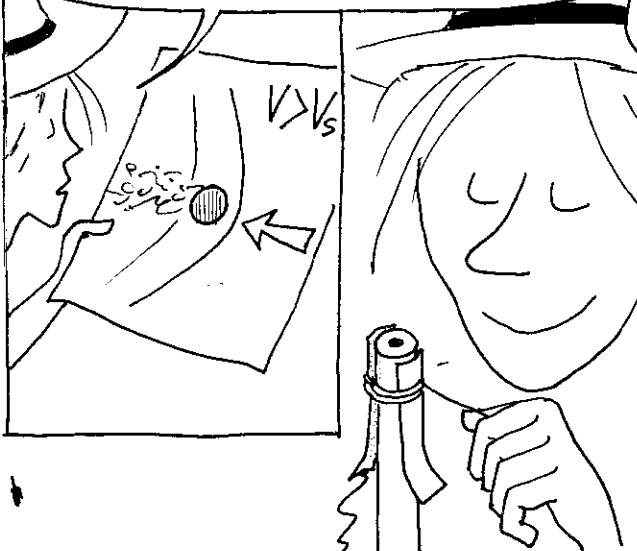


voilà, devant un objet
plus ramassé, l'onde frontale
est **DÉTACHÉE**

COMMENT CONSTRUIRE VOTRE ACCÉLÉRATEUR MHD

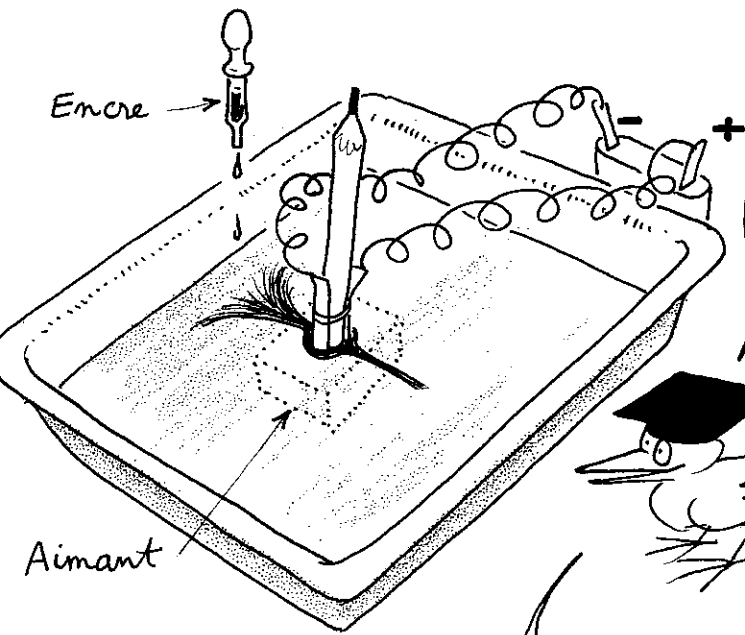
À la limite l'objet peut être
un simple cylindre.

Je n'ai qu'à fixer deux
électrodes en cuivre sur
un crayon (*)

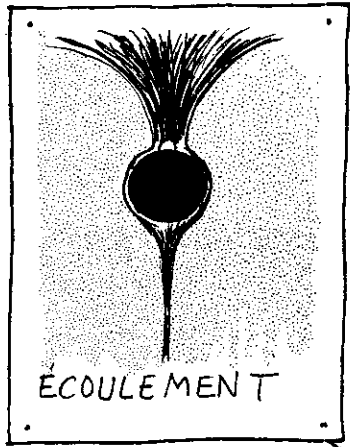
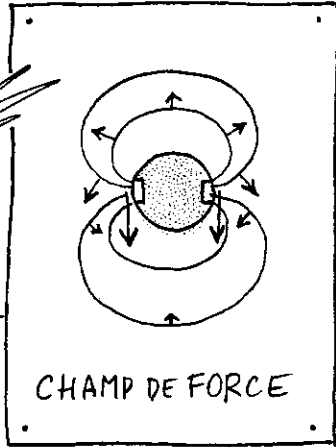


Avec une cuvette remplie d'eau
salée et un aimant, on peut
mettre en évidence le pompage
dû aux forces de Laplace.

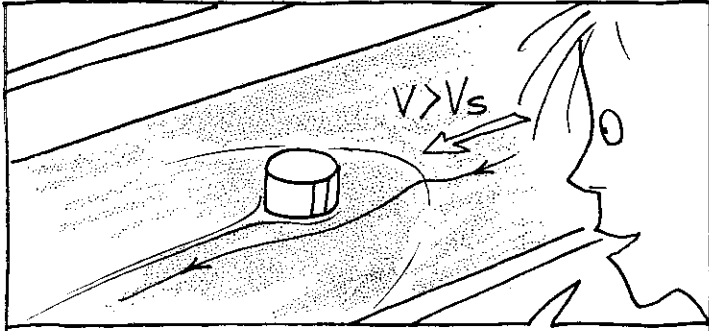
(*) Montage imaginé en 1976 par Maurice VITON.



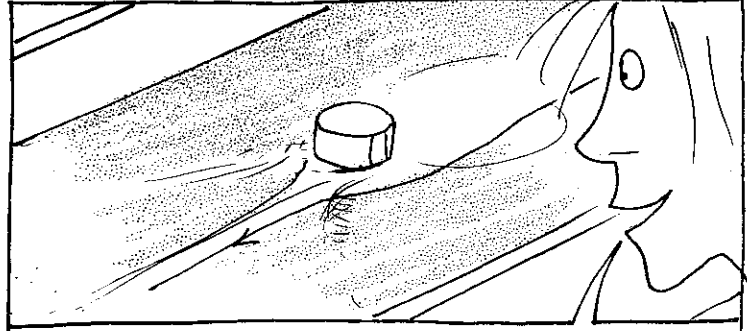
L'aimant, sous cette cuvette, crée un champ magnétique **B** vertical. On peut visualiser le **POMPAGE** avec de l'encre



avec un petit aimant permanent et une pile de poche, on peut mettre en évidence le pompage. Mais pour agir suffisamment sur le fluide au point de modifier la structure des fronts d'onde, il faut des forces de Laplace dix fois plus intenses.



Je mets cette maquette dans mon canal d'essai, et j'augmente la force. Primo le sillage est non turbulent; l'onde frontale se déforme.



J'augmente encore. L'onde frontale disparaît, remplacée par une dépression de la surface liquide.

Bon, passons aux applications!

Alors, qu'en penses-tu?

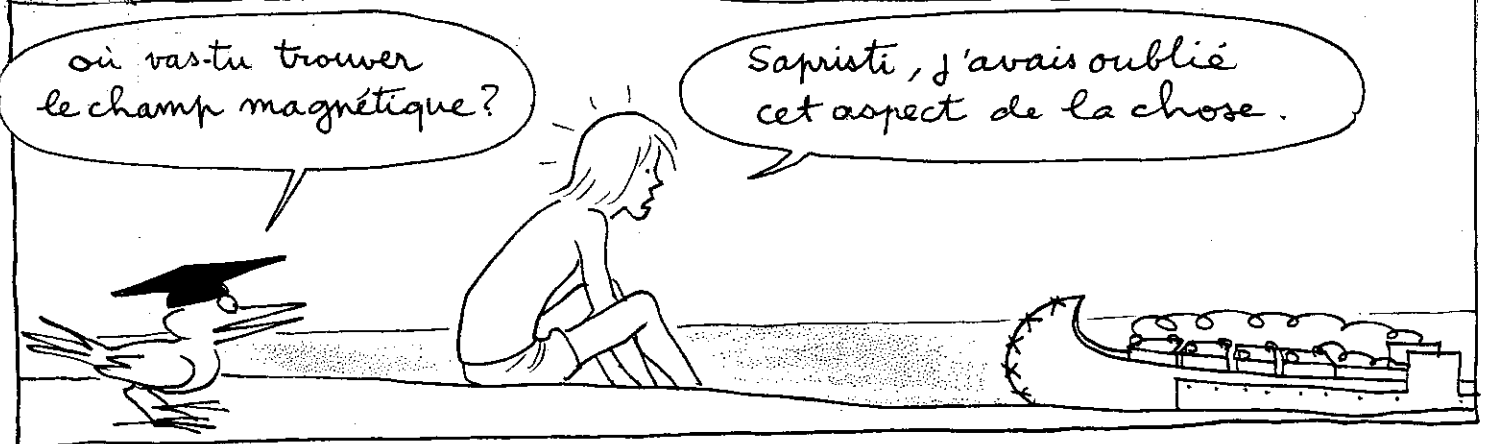
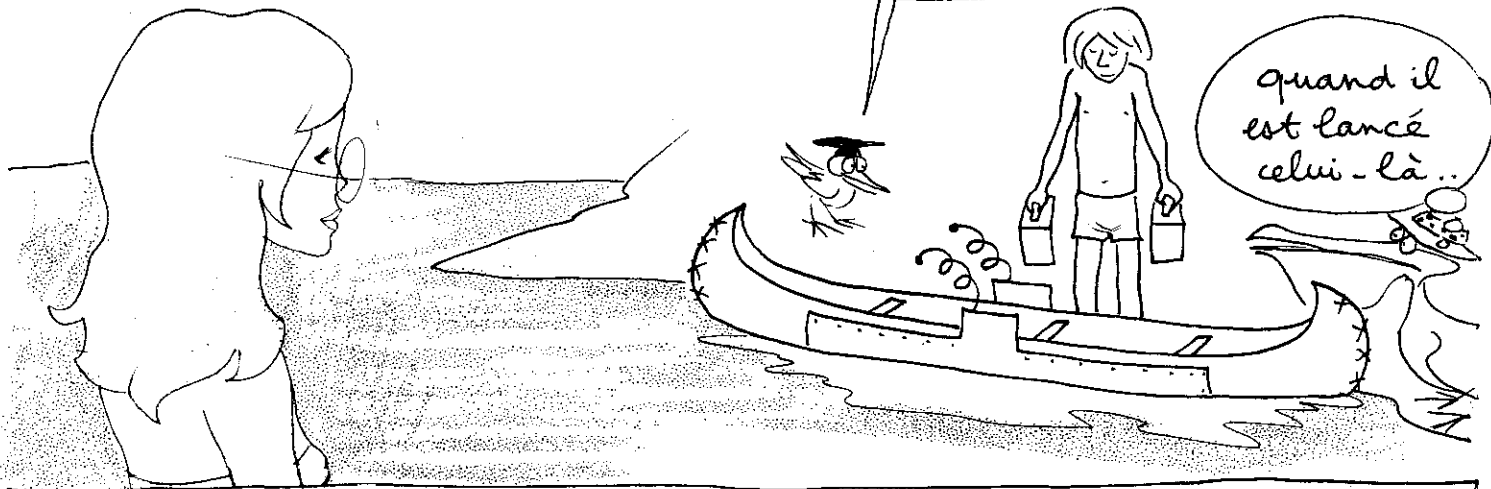
Anselme attends-moi!



Les Forces de Laplace AGISSENT À DISTANCE. Il semble qu'Anselme ait trouvé comment "INFORMER" le fluide en amont.

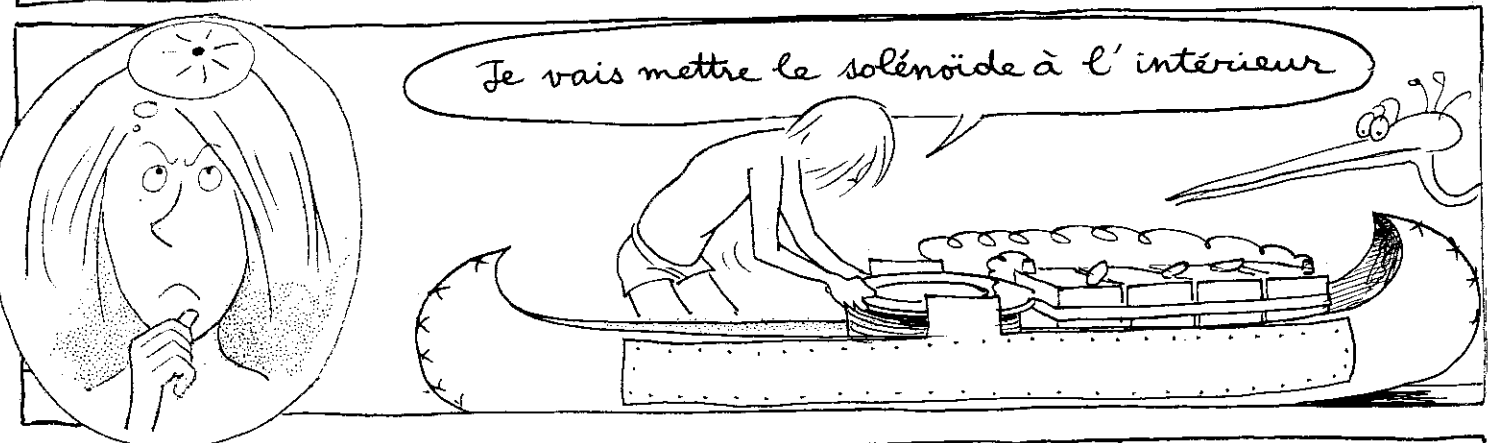
Ca y est ! Anselme est déjà en train d'équiper le canoë

quand il est lancé celui-là..

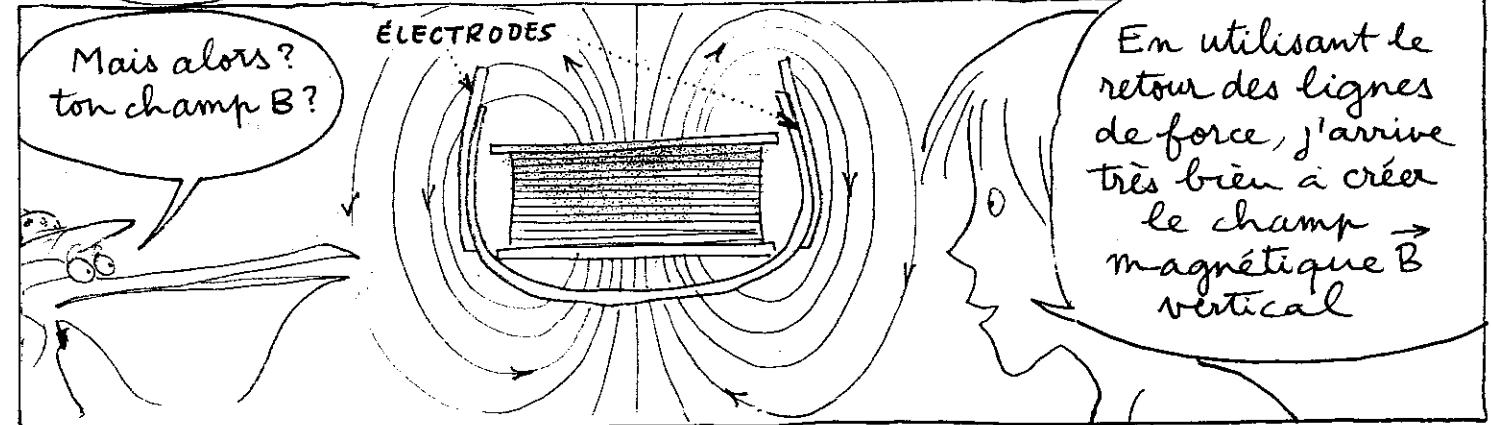


où vas-tu trouver le champ magnétique?

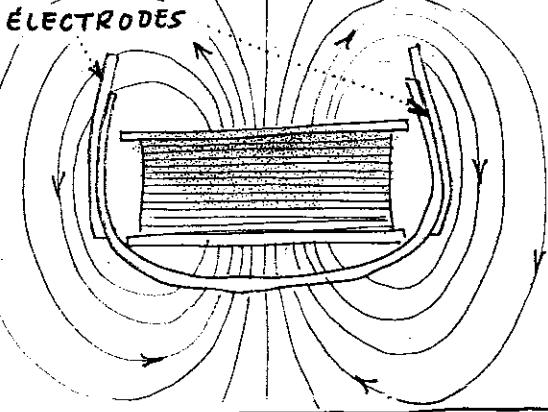
Sapristi, j'avais oublié cet aspect de la chose.



Je vais mettre le solénoïde à l'intérieur



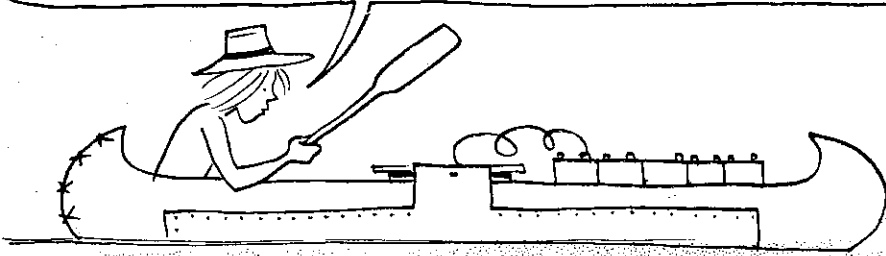
Mais alors? ton champ B?



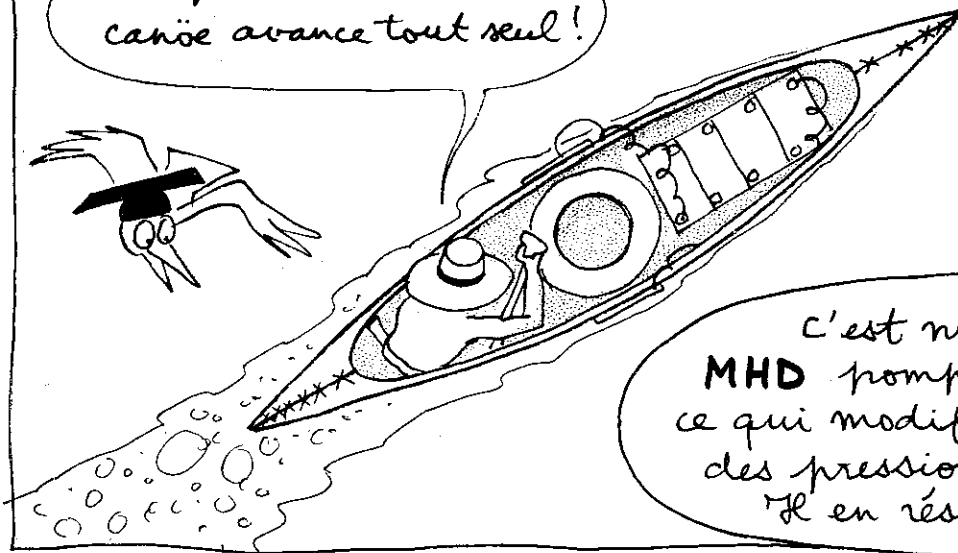
En utilisant le retour des lignes de force, j'arrive très bien à créer le champ magnétique B vertical

LA PROPULSION MHD

Bon, j'ai mis en marche mon annihilateur de vague d'étrave. Je ne me reste plus qu'à pagayer pour amener mon canoë à une vitesse V supérieure à la vitesse V_s des ondes de surface.



ma parole ! mais mon canoë avance tout seul !



C'est normal : le système MHD pompe l'eau vers l'arrière, ce qui modifie la répartition des pressions sur la coque. Il en résulte une **POUSSÉE**.



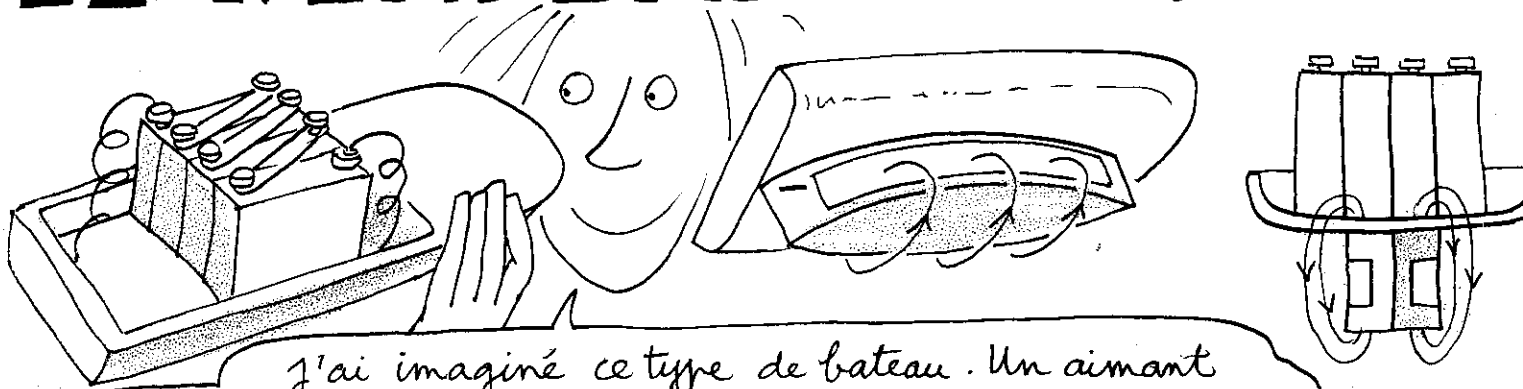
ça fuit leur truc, dis donc.

meunon, c'est l'électrolyse de l'eau.

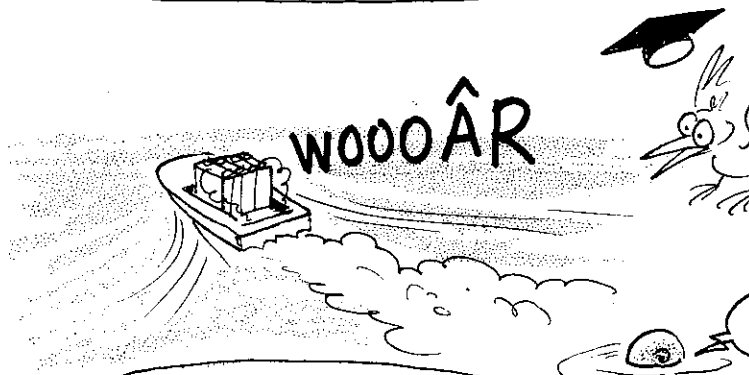


Fouchtre ! mes batteries sont déjà vides. Ce solénoïde me consomme une énergie d'enfer. Je vais construire un petit modèle avec de simples aimants permanents.

LE RENDEMENT MHD

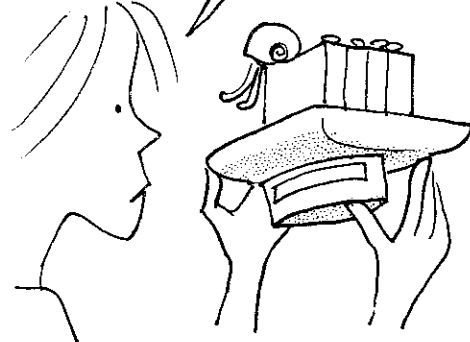


Et ça consomme la puissance d'un fer à repasser (*)



Il fonce comme le vent!

Que se passe-t-il?



Ton champ magnétique est trop faible - Le rendement de ton propulseur est insignifiant.



(*) Voir Annexe C

Que veux-tu dire?

Les pales de cette hélice ont une certaine incidence

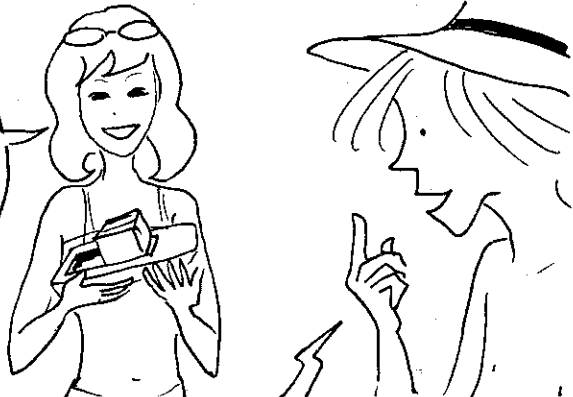
Que dirais-tu d'un propulseur dont les pales d'hélice seraient calées à une fraction de degré?

Il serait inefficace. Une partie infime de la puissance servirait à la propulsion. Mais l'essentiel serait dissipé sous forme de chaleur, du fait des frottements.

Eh bien, c'est ce qui se produit avec ton **PROPULSEUR MHD**. Imagine que le courant **I** représente le nombre de tours et le champ **B** le pas des pales.

Ton pas est trop faible! Et tu chauffes surtout l'eau.

Avec tes aimants permanents, tout ce que tu peux espérer, c'est un rendement infime de quelques millièmes (*). Dans l'eau de mer, pour qu'un propulseur MHD commence à être intéressant, il faudrait un champ magnétique deux cent cinquante fois plus fort. Au moins 20 à 25 teslas.



Mais, nous savons faire des champs aussi intenses, non?

Supposons qu'on ait ces vingt cinq teslas. Plus le bateau serait grand et plus grande serait la distance entre les électrodes. Si celle-ci était de dix mètres, le générateur devrait débiter sous 70.000 volts

Votre **HYDRODYNE** il faudrait l'appeler la **GYMNOTE** (**)

Bref, tout cela ne tient pas debout, hein?

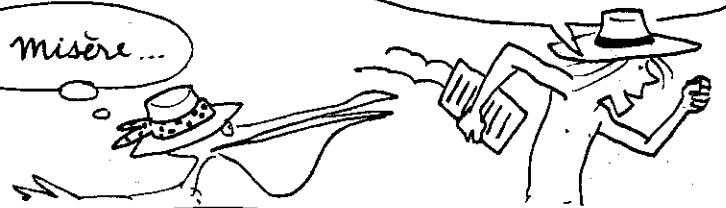
(*) Voir Annexe C

(**) La GYMNOTE est un X @ capable d'infliger des décharges de 300 volts

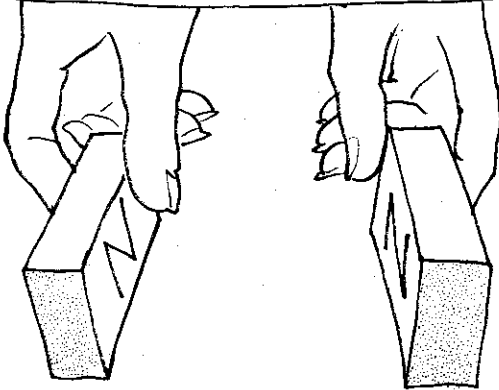
L'ACCÉLÉRATEUR PARIÉTAL

Sophie, j'ai trouvé comment opérer en basse tension

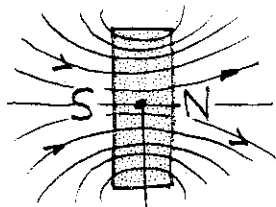
Misère...



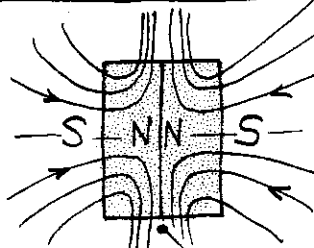
Regarde d'abord ces deux aimants



Je les colle "nez à nez" en opposant leurs champs, à l'aide de colle super-rapide.



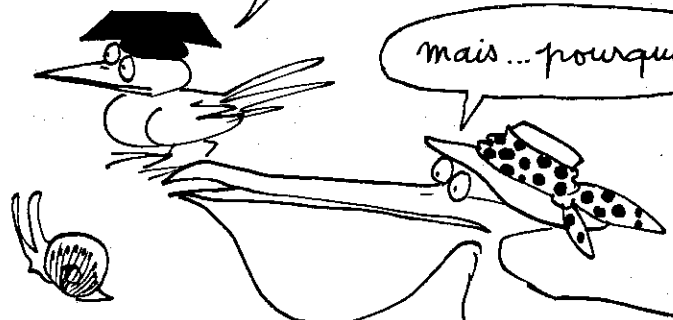
1000 GAUSS



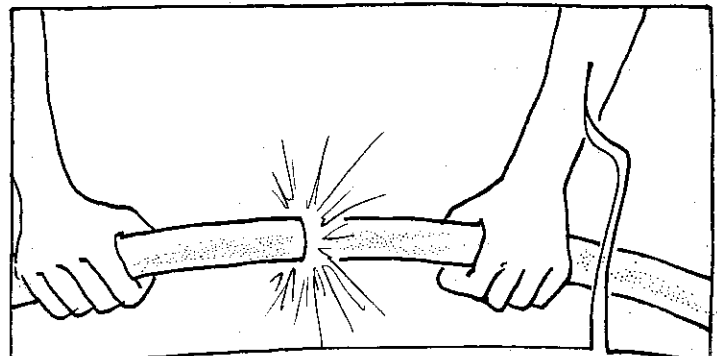
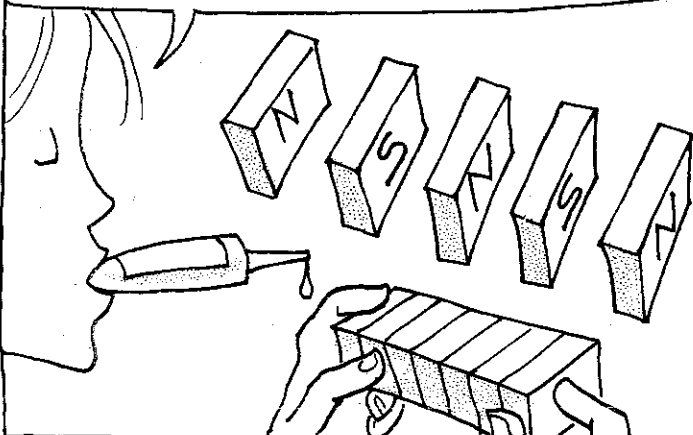
2000 GAUSS

Oui, c'est amusant. Concentré dans le plan de jonction, le champ y est pratiquement doublé

Un barreau aimanté est comme une sorte de tube qui crache son champ magnétique.

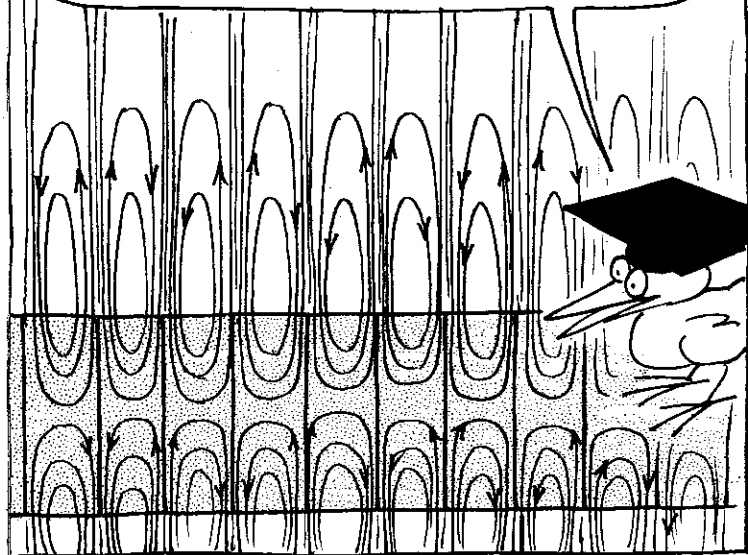


Là, j'ai collé tout un lot d'aimants tête bêche. Faces nord contre faces nord, faces sud contre faces sud.

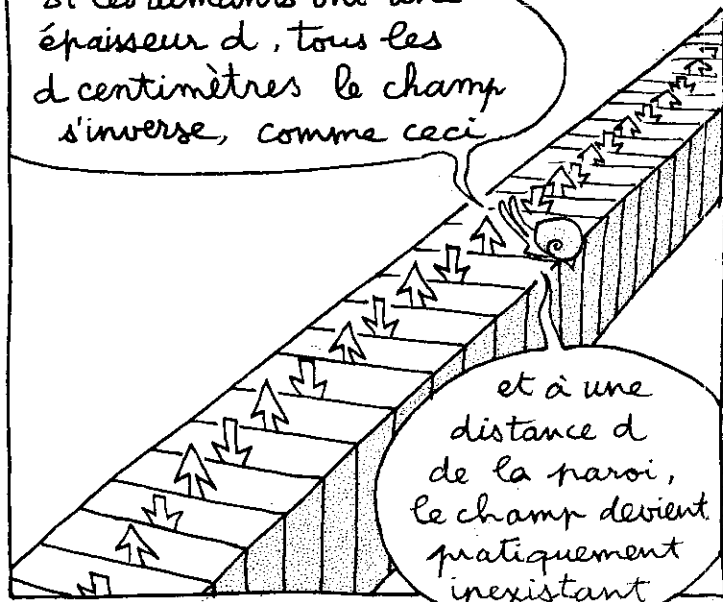


Si on met deux tuyaux face à face en maintenant le débit, l'eau jaillit violemment dans la zone de cisaillement.

Voilà l'allure des lignes de champ **B**

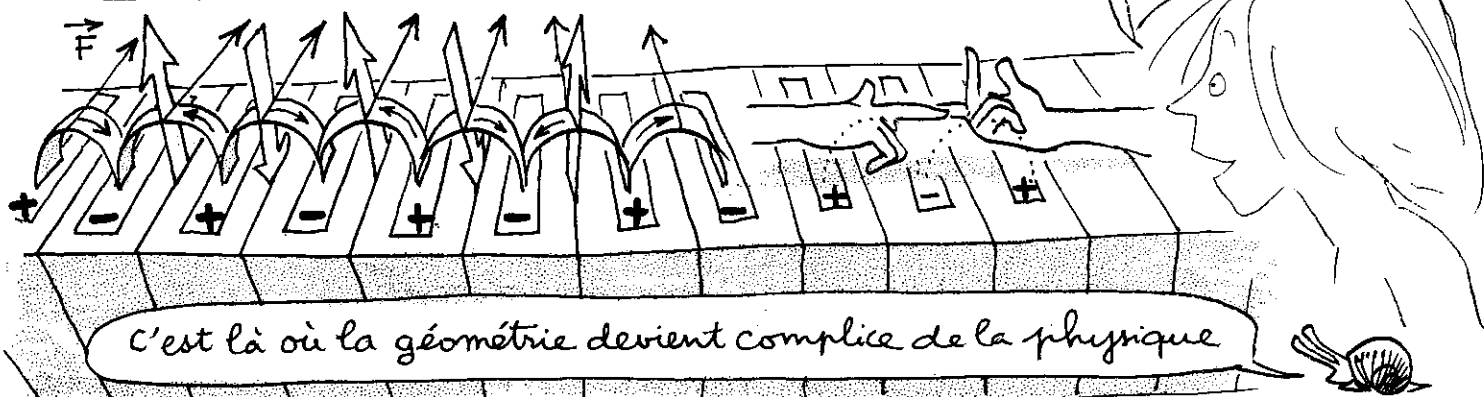


Si les aimants ont une épaisseur d , tous les d centimètres le champ s'inverse, comme ceci



et à une distance d de la paroi, le champ devient pratiquement inexistant

Maintenant, regardez, j'ai ajouté des électrodes, comme ceci, avec des polarités alternées. Si maintenant j'applique la **RÈGLE DES TROIS DOIGTS**, je vois que je crée au voisinage de la paroi, jusqu'à la distance d , un **CHAMP DE FORCES TOUTES PARALLÈLES ET DE MÊME SENS**.

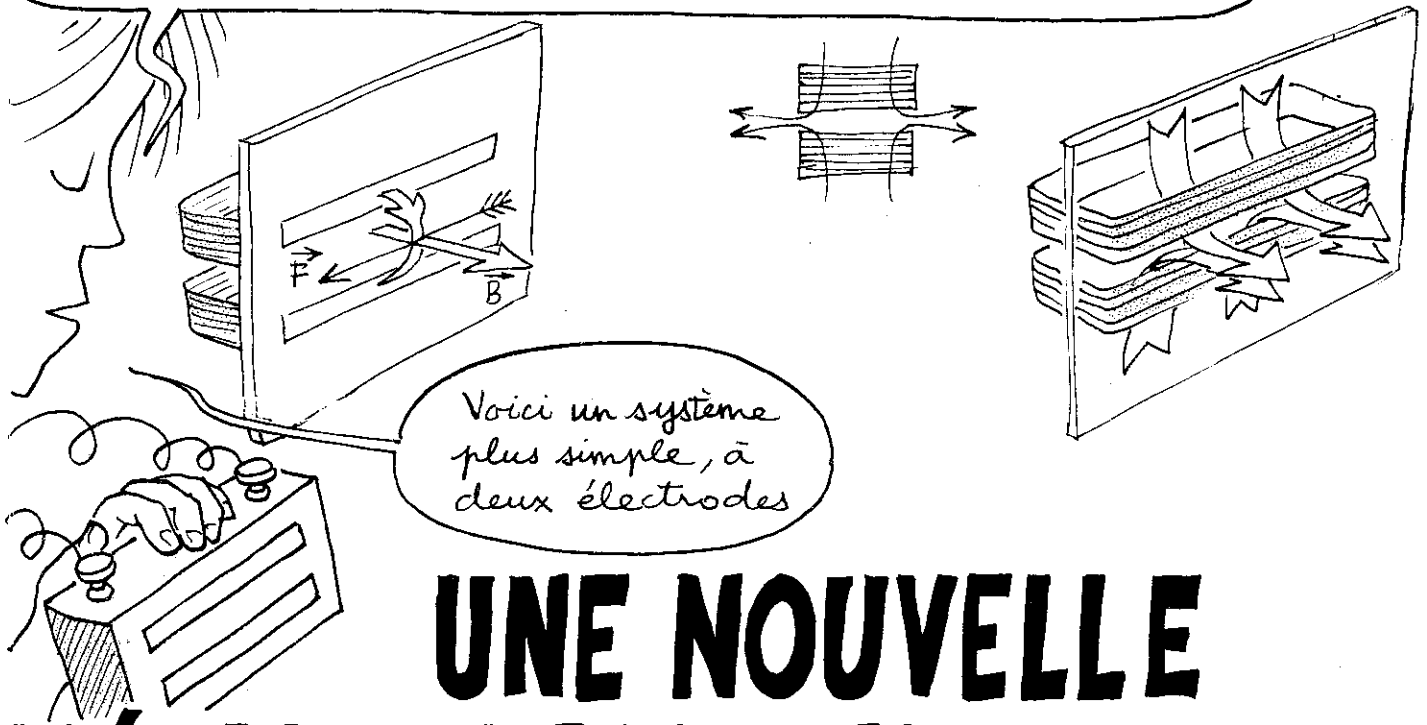


C'est là où la géométrie devient complice de la physique

Créer un champ magnétique demande de l'énergie. En agissant dans une couche de faible épaisseur, au voisinage de la paroi, tu limites considérablement le volume à magnétiser, donc l'énergie à mettre en jeu, qui lui est proportionnelle.



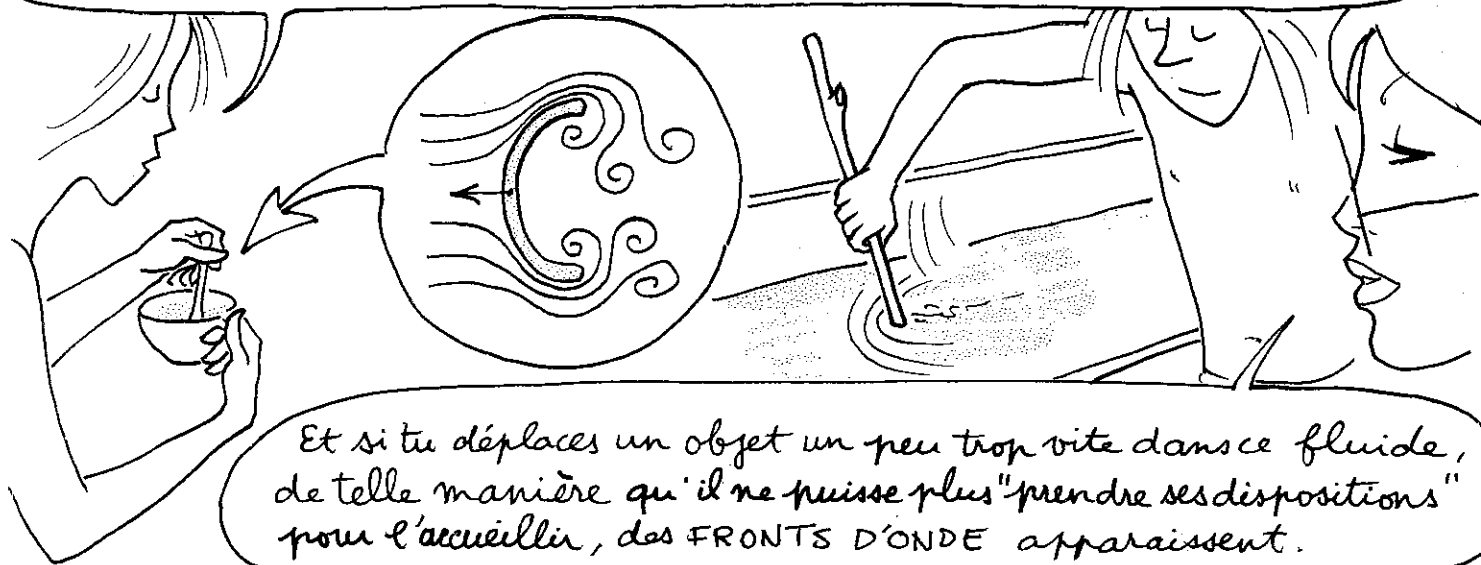
je peux aussi remplacer les aimants par des bobinages



Voici un système plus simple, à deux électrodes

UNE NOUVELLE MÉCANIQUE DES FLUIDES

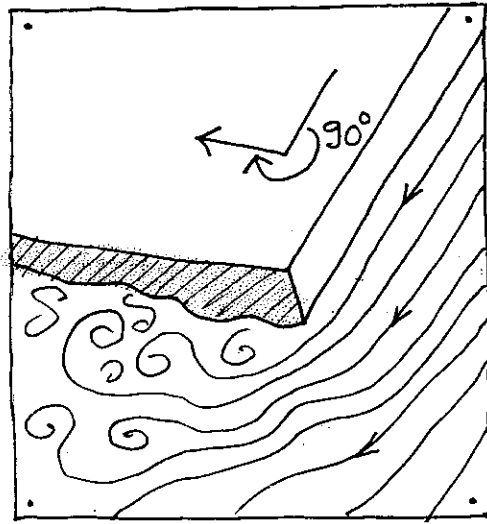
Dès qu'on incite un fluide à faire quelque chose qui lui déplaît, il réagit. Par exemple, quand il s'agit d'un contournement un peu trop abrupt, il "décolle".



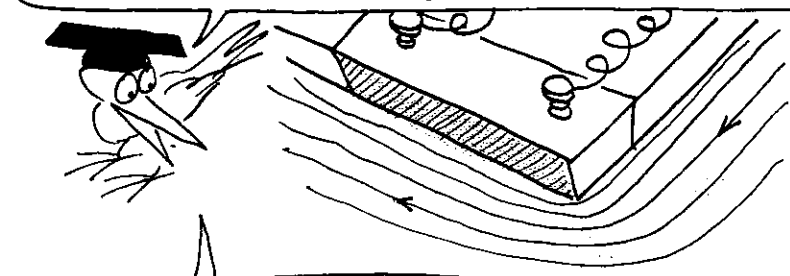
Et si tu déplaces un objet un peu trop vite dans ce fluide, de telle manière qu'il ne puisse plus "prendre ses dispositions" pour l'accueillir, des FRONTS D'ONDE apparaissent.



Et il en a été ainsi tant qu'on a laissé le fluide en faire à sa guise. Mais **LA MHD CHANGE RADICALEMENT TOUTES LES DONNÉES DU PROBLÈME.**

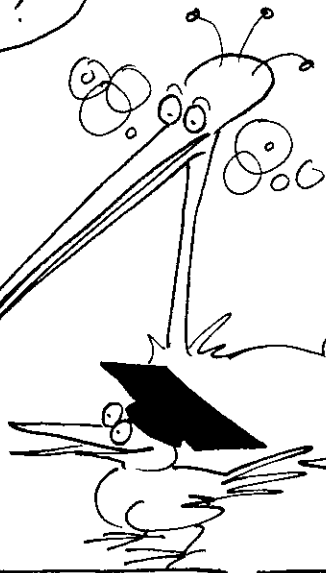
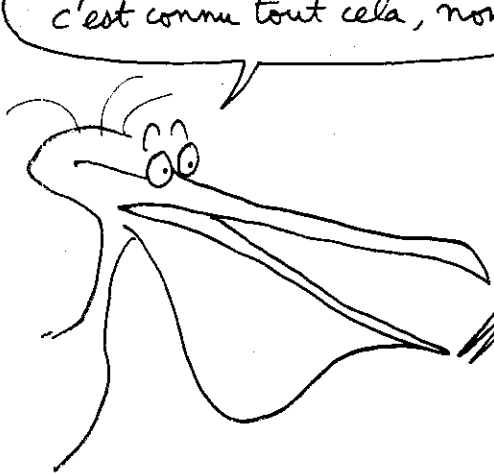


Tenez, par exemple : en mécanique des fluides classique, un angle trop fort provoque un **DÉCOLLEMENT**, générateur de **TURBULENCE**.



un petit coup de **MHD** et tout rentre dans l'ordre

mais, enfin... c'est insensé ! c'est connu tout cela, non ?

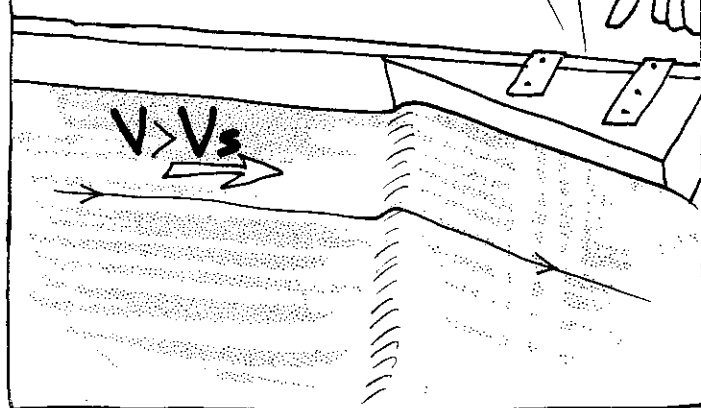


À tous les coups l'on gagne !



un vent de folie semble souffler sur cette histoire

Vous vous rappelez cette histoire de **FRONT D'ONDE** sur un dièdre ?



Crac ! disparu !



Vous voyez, il semble donc tout à fait possible de domestiquer un écoulement. Là où le fluide tend à ralentir, on le réaccélère, et là où il s'emballe, on le freine.

Rien là-dedans...

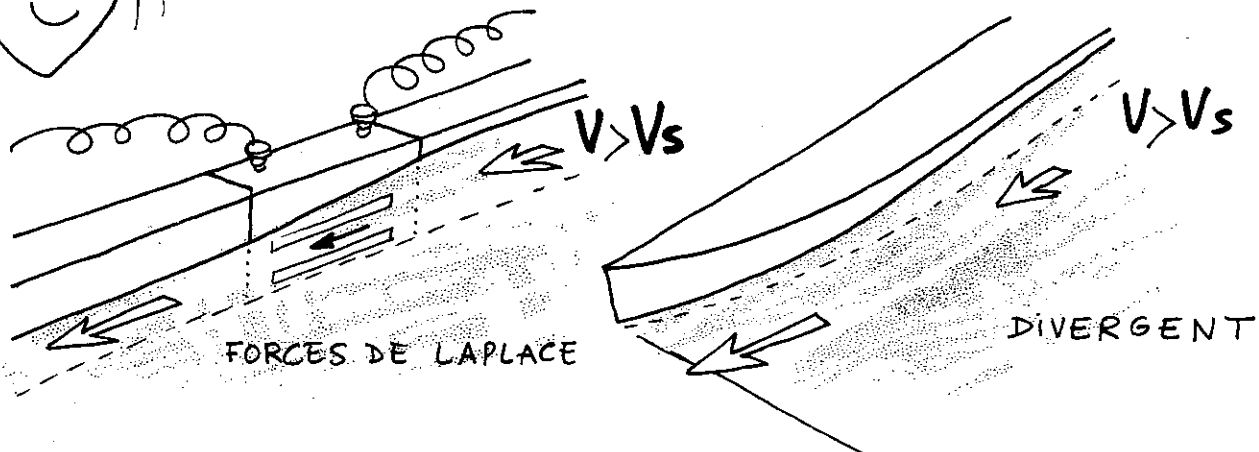
Gasp!...

ONDES DE COMPRESSION ONDES DE DÉTENTE

NAVIER &
STOKES
MÉCANIQUE
DES
FLUIDES

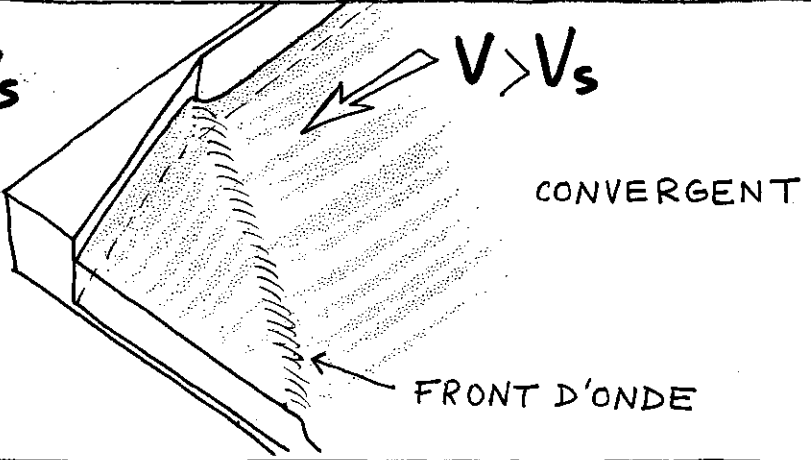
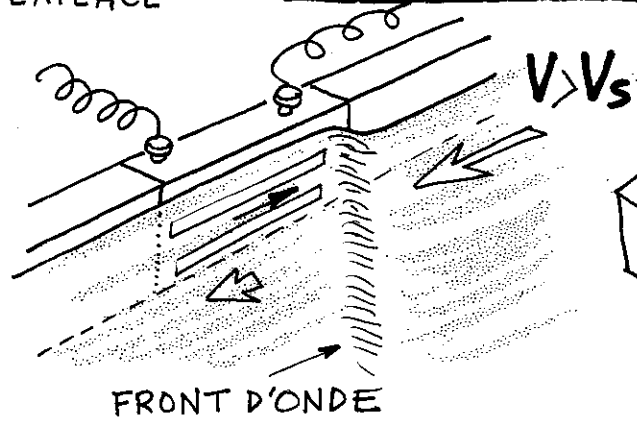
Mais si, Léon, tu vas comprendre. Tu es d'accord que les changements de direction dans une paroi créent, lorsque V est supérieure à V_s soit une COMPRESSION, soit une RARÉFACTION. Maintenant, regarde: Le système MAGNÉTOHYDRODYNAMIQUE CRÉE DES EFFETS ABSOLUMENT IDENTIQUES!

L'accélérateur MHD ou le divergent provoquent une baisse du niveau de l'eau dans le canal.



Le RALENTISSEUR MHD ou le CONVERGENT provoquent une REMONTÉE du niveau de l'eau dans le canal.

FORCE DE LAPLACE

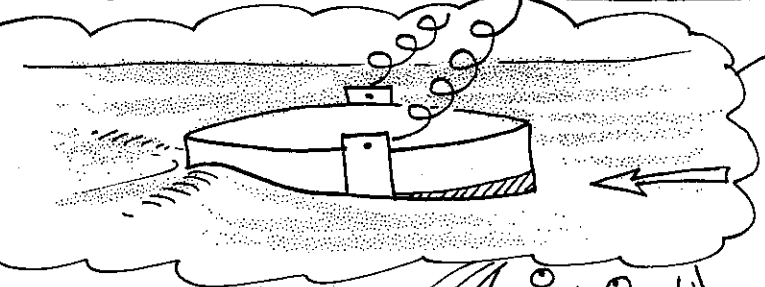


Ainsi pourra-t-on faire s'annihiler mutuellement des phénomènes de compression et de raréfaction d'origine "naturelle", dus aux parois, et d'origine "artificielle", dus aux forces de Laplace.



Pour **RÉGULARISER** l'écoulement autour de la coque, il faut atténuer au maximum les variations de hauteur d'eau. Là où un FRONT D'ONDE aura tendance à se former, j'accélérerai. Et, pour éviter une SURDÉTENTE UNE SURACCÉLÉRATION, en certains endroits, je ralentirai.

Ceci étant une application pure et simple de mon principe : **ON EST PRIÉ DE LAISSER LE FLUIDE DANS L'ÉTAT OÙ ON L'A TROUVÉ EN ENTRANT.**



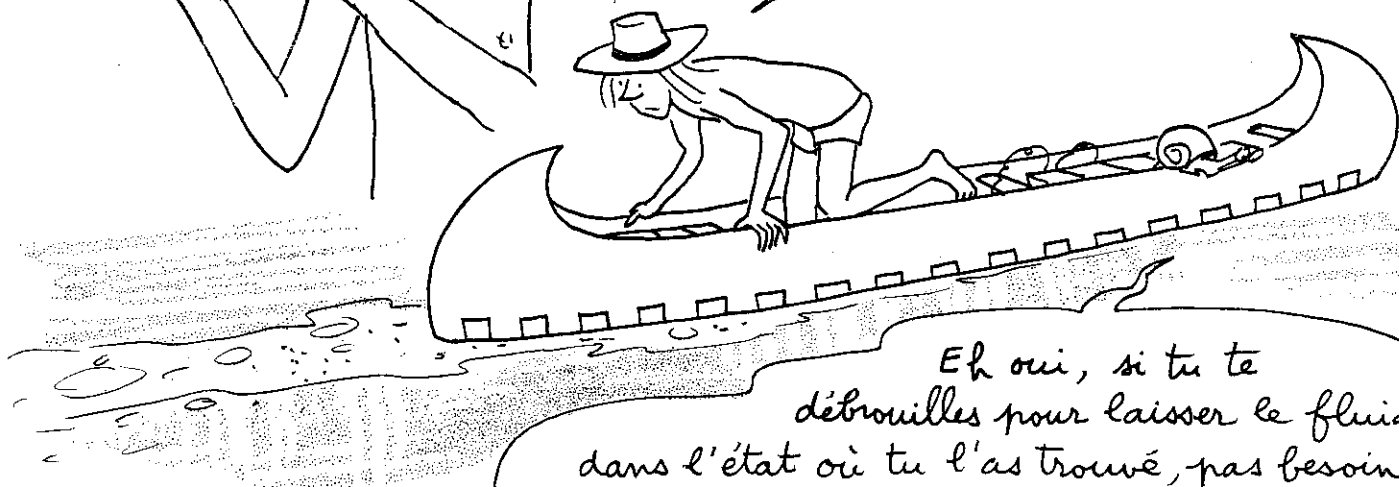
Dans l'expérience de la page 28 j'arrivais fort bien à annihiler la vague d'étrave. Par contre la vague de poupe subsistait. Elle était même renforcée.

L'onde de poupe avait sa raison d'être précisément parce que tu avais trop abaissé le niveau de l'eau, en accélérant.

Tu as raison. le maître mot doit être de garder une hauteur d'eau constante, au niveau de la ligne de flottaison. Pour cela, je mets tout un jeu d'électrodes, soit accélératrices, soit retardatrices.



C'est l'application du principe de Tirésias.



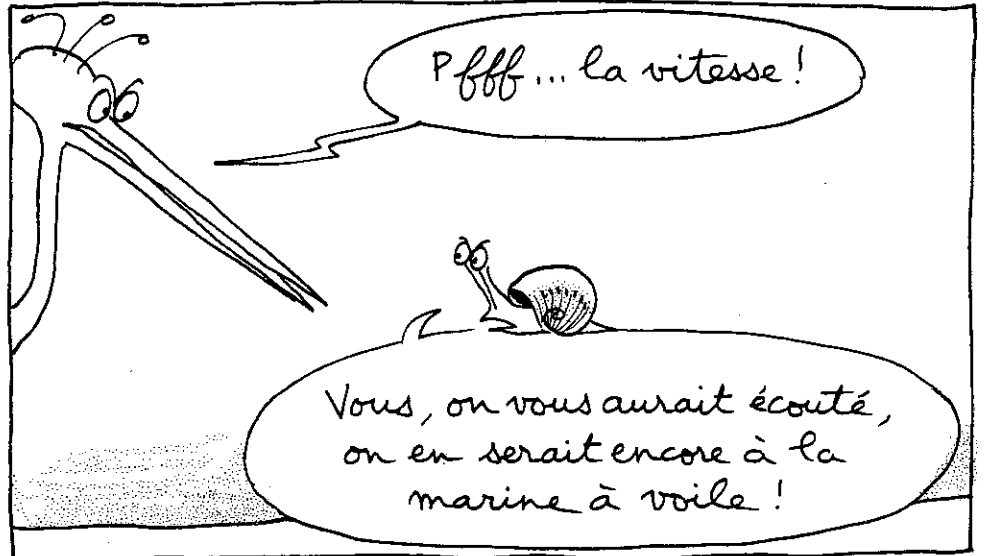
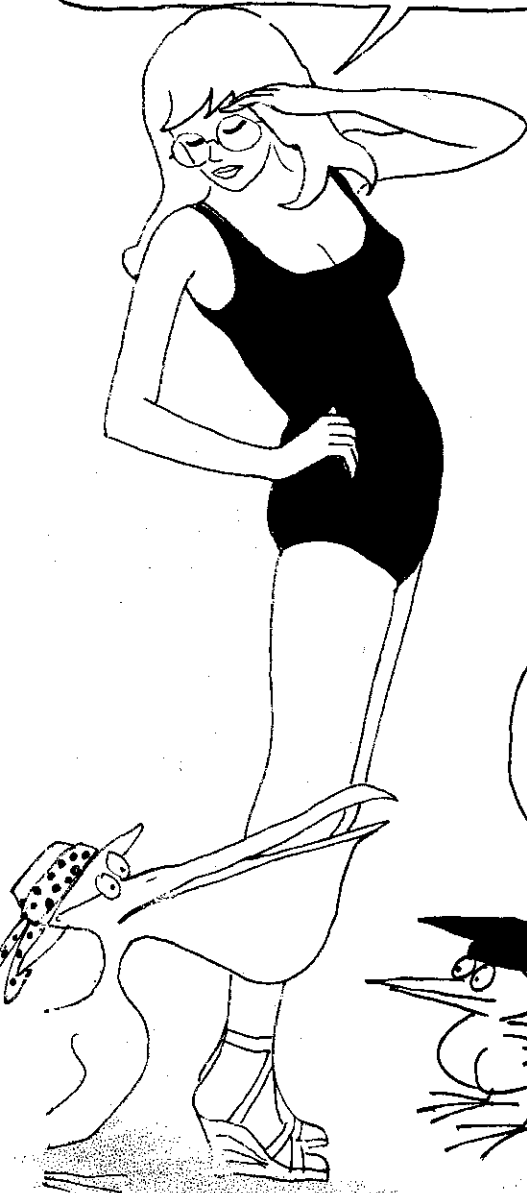
Eh oui, si tu te débrouilles pour laisser le fluide dans l'état où tu l'as trouvé, pas besoin de vague de poupe.

Bon. Et avec vingt teslas à bord, le canoë d'Anselme filera sur la mer sans créer de front d'onde, ni de turbulence. Sans briser les appointements. Et alors?..

Ne suffit-il pas de se tenir loin de la côte Et n'y a-t-il pas des choses plus urgentes à étudier?



Je ne suis pas d'accord avec vous. Je trouve qu'on devrait étudier l'idée d'Anselme, et surtout l'ACCÉLÉRATEUR PARIÉTAL. Un navire a une **TRAINÉE DE FROTTEMENT** (force de résistance à l'avancement due au frottement de l'eau sur la coque). Mais la présence des **FRONTS D'ONDE** modifie la distribution de la **PRESSION** sur le profil, ce qui se traduit par une **TRAINÉE D'ONDE**, qui croît très rapidement avec la vitesse. Et c'est surtout cette dernière qui limite la vitesse des navires.



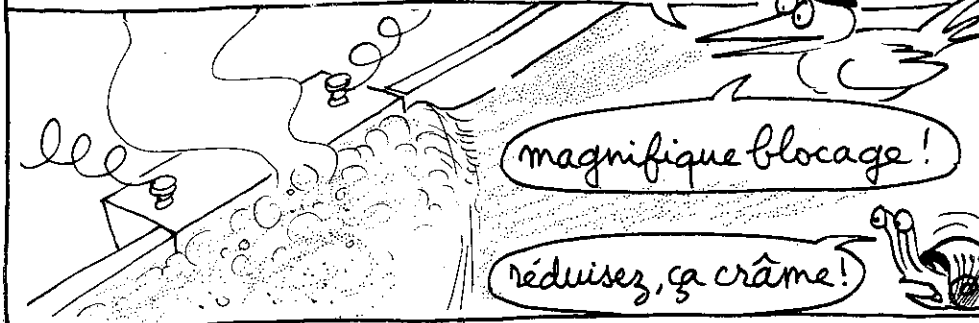
On connaît l'ordre de grandeur de l'énergie à mettre en jeu pour supprimer les fronts d'onde (*). Il faut que le travail des forces de Laplace soit au moins égal à l'énergie cinétique incidente du fluide



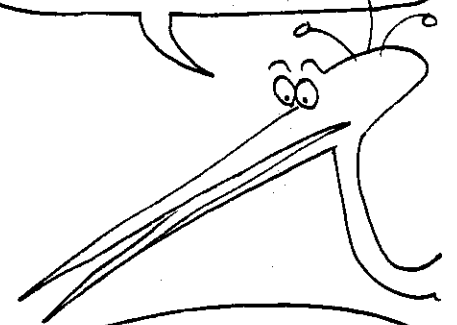
Si le navire va à la vitesse V , il faut que la force de Laplace **IB** dépasse un certain seuil (*).

(*) Voir Annexe B

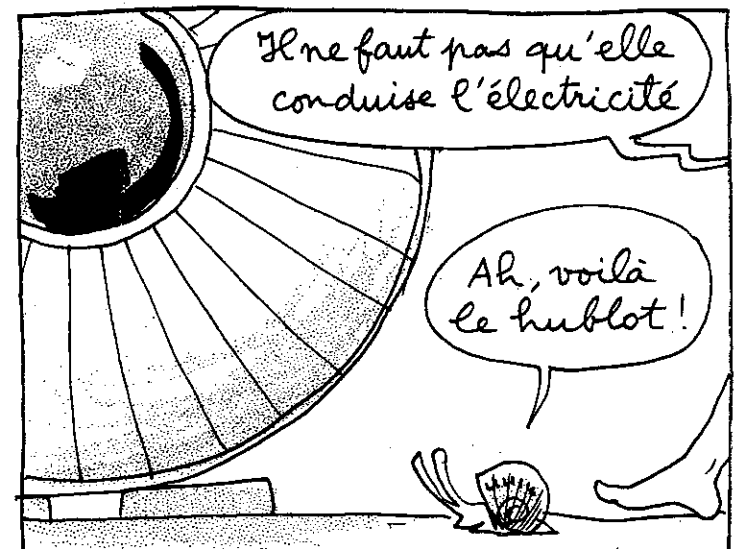
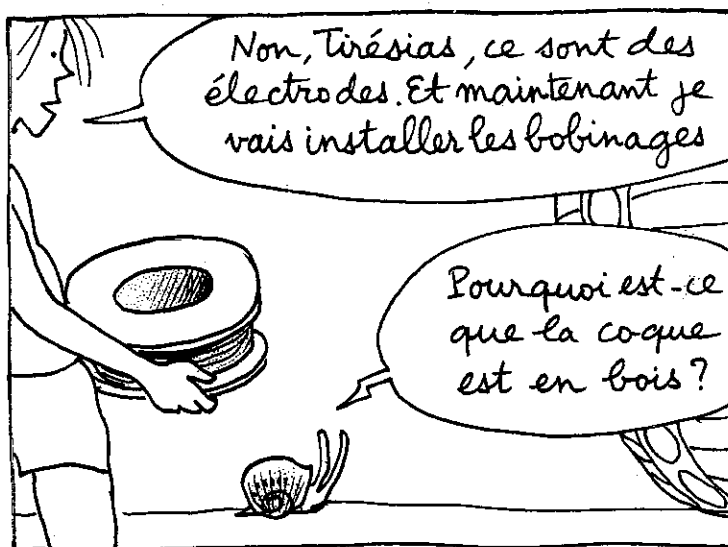
On a intérêt à avoir un champ magnétique B aussi élevé que possible. Si on travaille à B faible et i élevé, primo le rendement sera mauvais, secundo, du fait de l'électrolyse on aura un fort dégagement gazeux.



Est-ce que tout ceci, Hum... cette propulsion électromagnétique, n'est pas un peu en avance vis-à-vis de notre technologie du moment ?



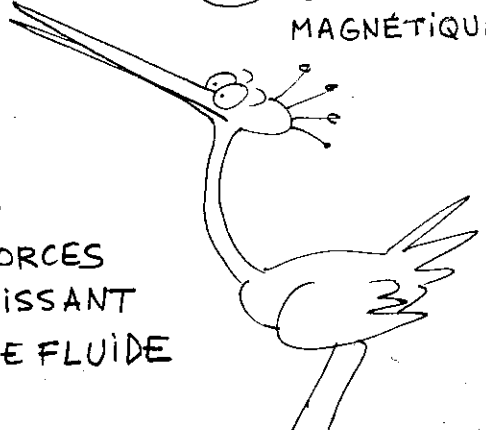
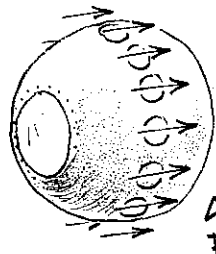
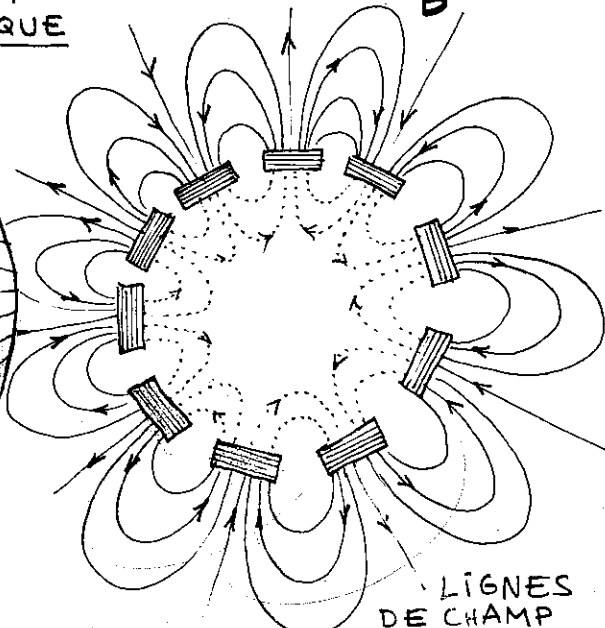
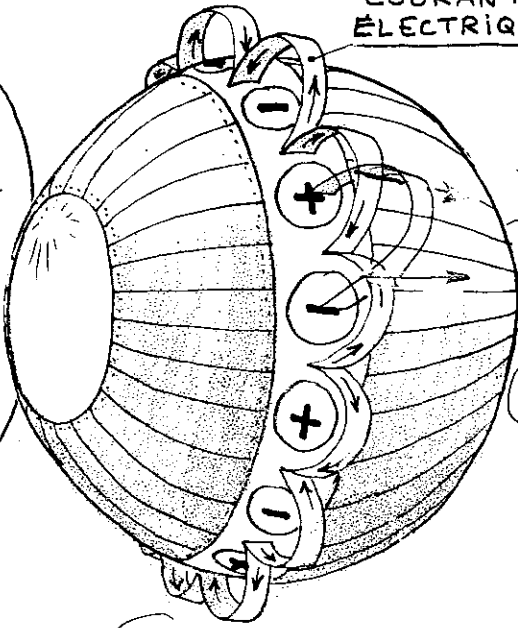
LE SOUS-MARIN SANS HÉLICE



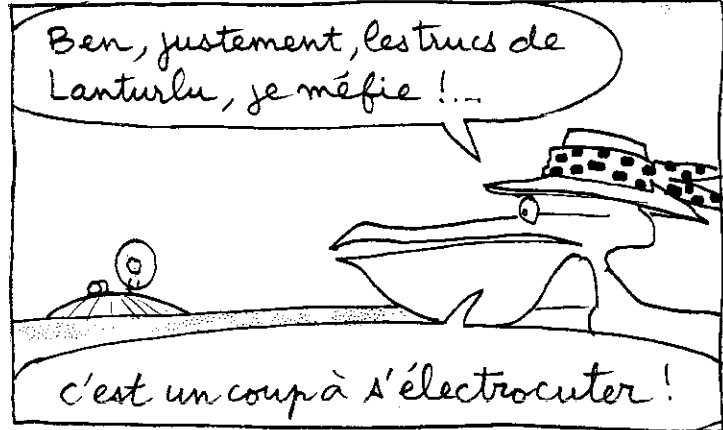
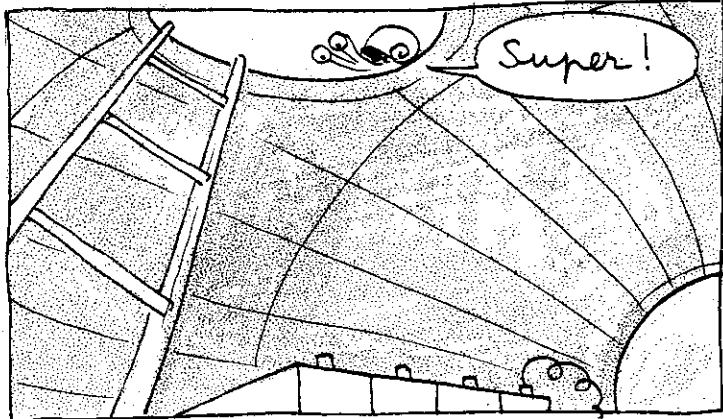
COURANT ÉLECTRIQUE

B

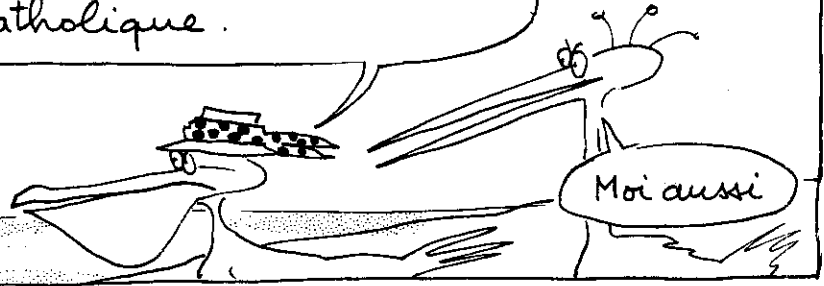
Tu vois, si tu appliques la règle des trois doigts, tu constates que l'engin s'entoure d'un champ de forces de Laplace aptes à le propulser.



Et... vous n'allez pas monter dans un machin pareil?!



Je ne sais pas ce que vous en pensez. Moi je trouve que tout cela n'est pas très catholique.

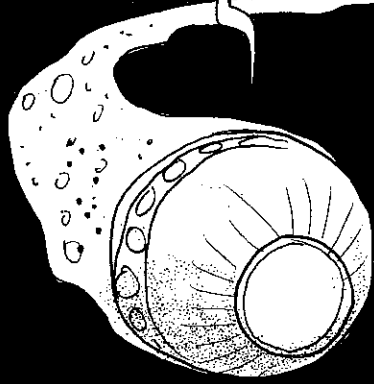


Comment fais-tu pour le piloter?



Simple : tu joues sur l'intensité débitée par chaque électrode

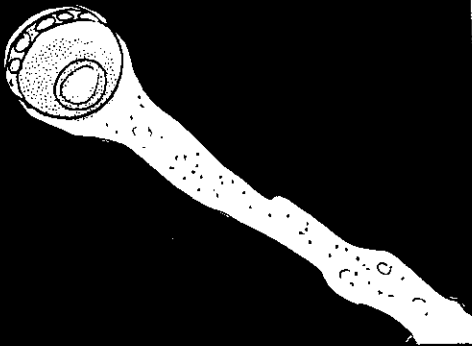
tourner ...



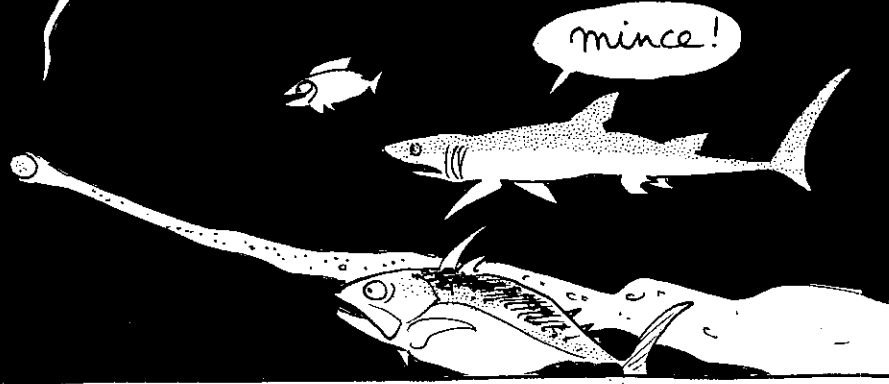
... s'arrêter



Repartir en marche arrière ...



Un sous-marin MHD pourrait être très rapide et totalement SILENCIEUX.

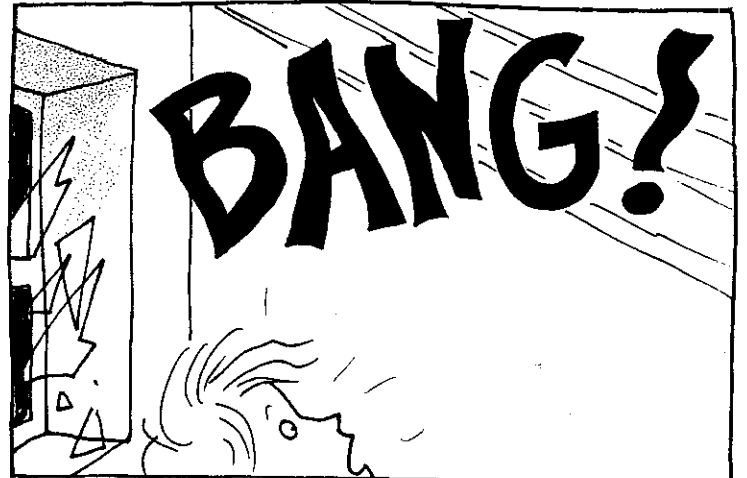
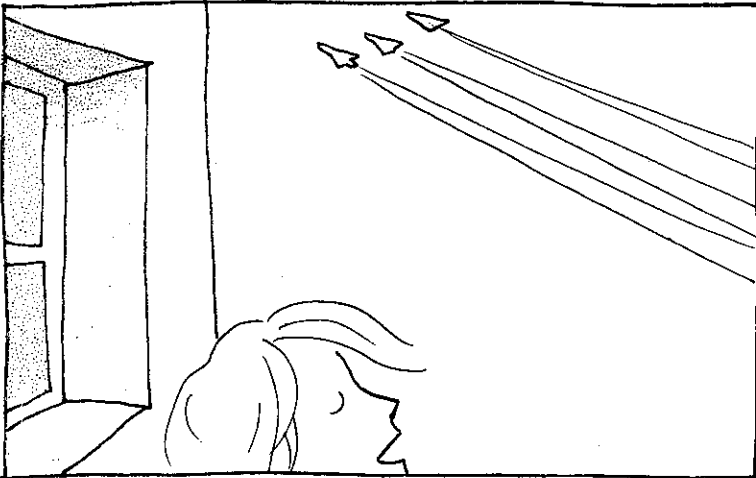
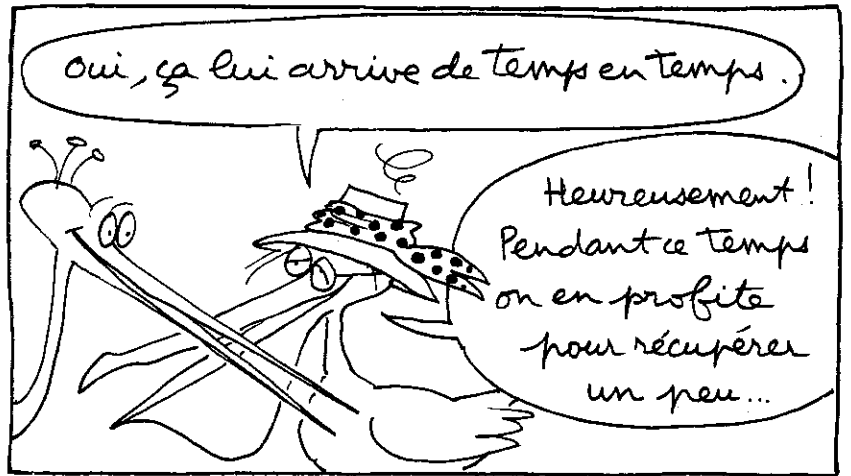
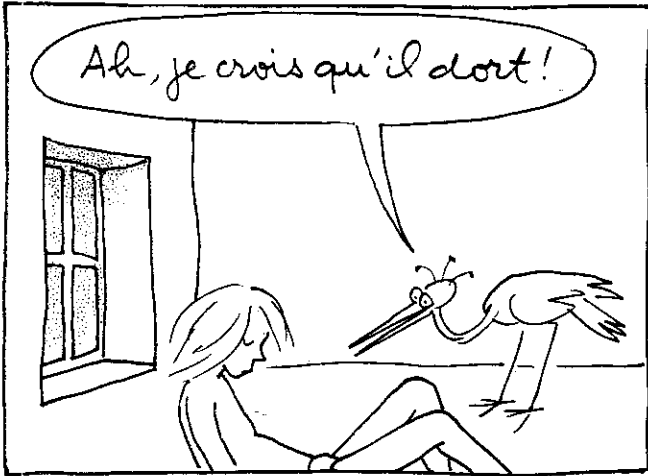
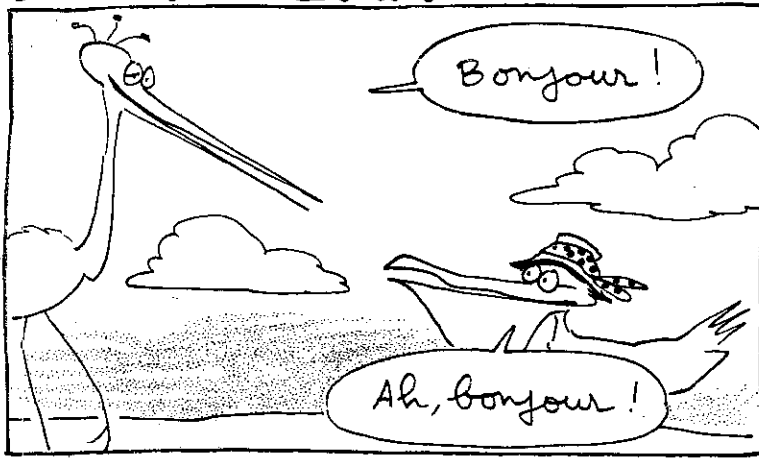


Eh bien voilà, mon cher Léon. Quand nous aurons des aimants supraconducteurs très performants (*) et des générateurs électriques à haut rendement, les navires cesseront de faire des vagues et les sous-marins, eux, feront des bulles.



(*) Un matériau SUPRACONDUCTEUR, refroidi à basse température (quelques degrés absolus) conduit le courant sans dissiper de chaleur, sans effet JOULE.

LE LENDEMAIN



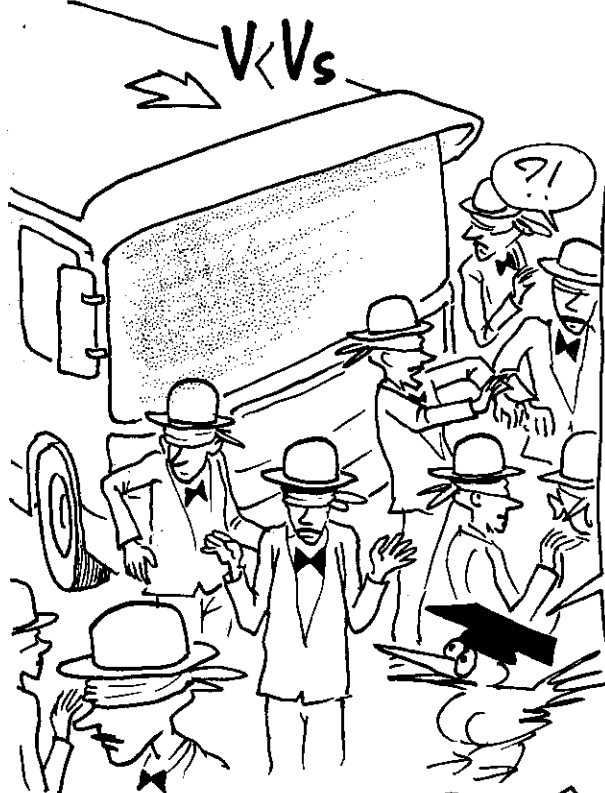
ÉCOULEMENTS SUPERSONIQUES

- Cette **ONDE DE CHOC** qui brise tes vitres est semblable à cette **VAGUE D'ÉTRAVE** qui démolissait ton appontement.
- Tu veux dire... que les avions... font des vagues?
- En un sens, oui, mais au lieu de créer des vagues de surface, ils créent des **ONDES SONORES**, qui se propagent à la **VITESSE DU SON V_s** (*)



Lorsque le bateau allait à une vitesse V , plus élevée que V_s , il se crée des **FRONTS D'ONDE**. Mais, quand un avion vole à une vitesse V **SUPÉRIEURE** à la vitesse du SON V_s , il crée des **ONDES DE CHOC**.

- Mais, comment, puisqu'il n'y a pas de surface libre?
- La **DENSITÉ** dans le gaz joue le rôle de la hauteur d'eau. Les **ONDES DE SURFACE** tendaient à maintenir une hauteur d'eau constante. Les **ONDES SONORES TENDENT À MAINTENIR UNE DENSITÉ CONSTANTE**. Les ondes de choc sont des **FRONTS** où la densité, la pression et la température sont plus élevées.



Assimilons les molécules à des badauds aux yeux bandés, qui déambulent à vitesse V_s de manière totalement incohérente, sur une place, en se bousculant sans cesse (collisions moléculaires). Un objet pénétrant dans le gaz est semblable à cet autocar entrant dans la foule à une vitesse V . Si celle-ci est **INFÉRIEURE** à V_s , l'information pourra **RE MONTER VERS L'AMONT**, et les personnages, avertis de la venue du véhicule **AVANT** qu'il ne soit sur eux, pourront lui **FAIRE PLACE**. Voilà une image d'un **ÉCOULEMENT SUBSONIQUE**.

(*) Voir **SION VOLAIT ?**, même auteur

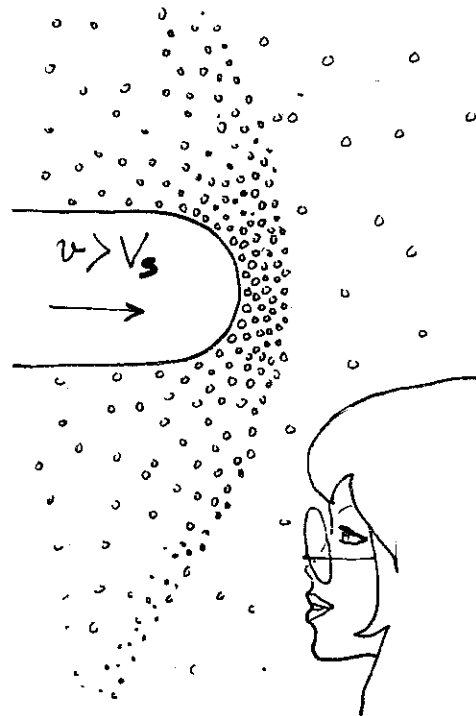
MAIS que se passera-t-il si $V > V_s$?



Les badauds, c'est-à-dire les molécules, ne pourront plus éviter l'objet **AVANT** qu'il ne soit sur eux, afin de maintenir une DENSITÉ CONSTANTE. Le gaz aura donc tendance à s'ACCUMULER devant l'objet en formant une sorte de bourrelet, de ressaut abrupt de densité.

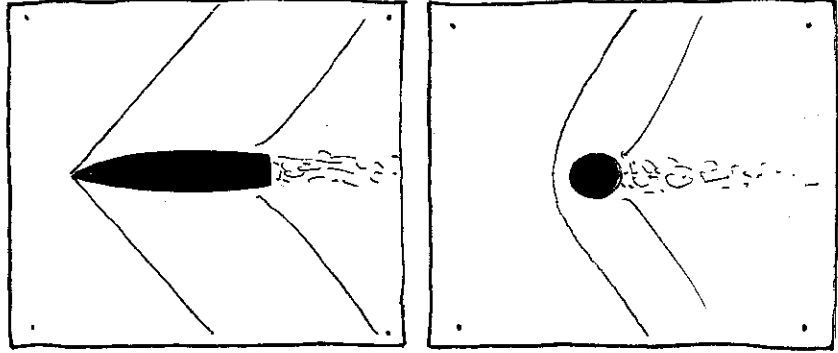


L'ONDE DE CHOC



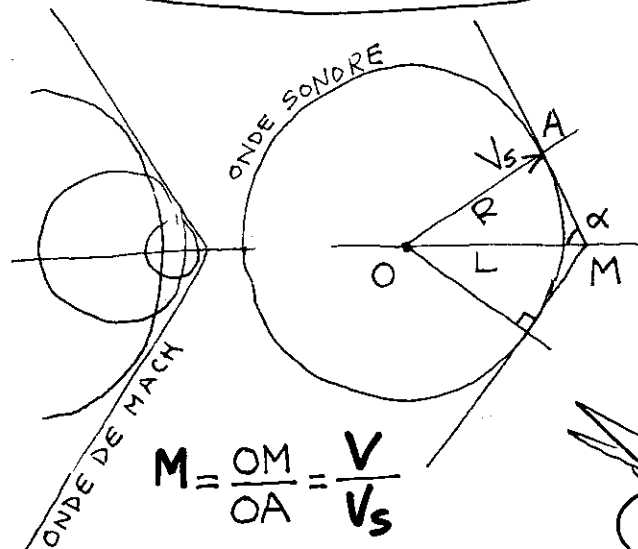
On appelle ce phénomène une **ONDE DE CHOC**. Les **ONDES SONORES** remplacent ici les ONDES DE SURFACE, et c'est comme pour la vague d'étrave. Des **FRONTS DE DENSITÉ, DE PRESSION** et de **TEMPÉRATURE** inévitables se créent. L'ONDE DE CHOC apparaît dès que la vitesse V est **SUPÉRIEURE** à la **VITESSE DU SON V_s** .

Tu veux dire qu'à chaque fois que les zèbres de la base voisine voudront s'amuser à faire un peu de vitesse, je devrai me coltiner le remplacement de toutes les vitres de la maison!



Pourtant, tu trouveras sur tout objet évoluant à vitesse supersonique ce système d'ondes de choc FRONTALE et de CULOT. A gauche une balle de fusil, et à droite une sphère.

Tout objet, même un grain de sable, lancé à $V > V_s$, va créer un CHOC. On appelle le rapport $M = V/V_s$ le **NOMBRE DE MACH**. Quand l'objet est très petit on appellera cette onde une **ONDE DE MACH**. (*)



$$M = \frac{OM}{OA} = \frac{V}{V_s}$$

(*) Voir Annexe A



Dites, à ce que je vois, les écoulements liquides à surface libre ressemblent beaucoup aux écoulements gazeux supersoniques. On retrouve ce qui a été dit page 15 sur les déplacements lents et les déplacements rapides.

Entre les deux guerres comme il n'y avait pas d'ordinateurs, on "calculait" la forme des ondes de choc avec des cuves à analogie hydraulique.

Fouhtrre!
un calculateur
à eau !?!

Il y a, de fait, une grande similitude entre les équations mathématiques décrivant les deux systèmes, et la HAUTEUR D'EAU correspond à la DENSITÉ dans le gaz

Bon, pour étudier tout cela, plus qu'à construire une **SOUFFLERIE SUPERSONIQUE !**

Hé là, attention!

cette fois-ci, vous n'allez pas construire cela dans votre cuisine(*)

Une soufflerie, c'est une autre histoire

Il faut de gros compresseurs, beaucoup d'énergie!

Des gros moyens, comme ceux du Centre National d'Etudes Spéciales

(*) En France, on n'a pas de pétrole, mais on a des évier...
50

LE MUR DU SON

LE MUR DE LA CHALEUR

Avec une soufflerie supersonique, on pourrait effectivement mettre en évidence un certain nombre de choses. Primo le passage du **MUR DU SON** ($V=V_s$) s'accompagne d'un accroissement de la résistance à l'avancement, de la traînée, du fait de l'apparition d'une **TRAINÉE D'ONDE** qui vient se superposer à la **TRAINÉE DE FROTTEMENT**

concrètement, c'est quoi ?

SURPRESSION

DÉPRESSION

$V > V_s$

En hydraulique l'apparition des fronts d'onde modifiait la répartition des pressions sur la coque, de manière pénalisante. Il en sera de même en aérodynamique supersonique.

ça fait du bruit, ça ne sert à rien et ça bouffe de l'énergie

Malgré ses formes très effilées destinées à réduire cette traînée, **CONCORDE** dépense 40% de son énergie à créer ces ondes de choc.

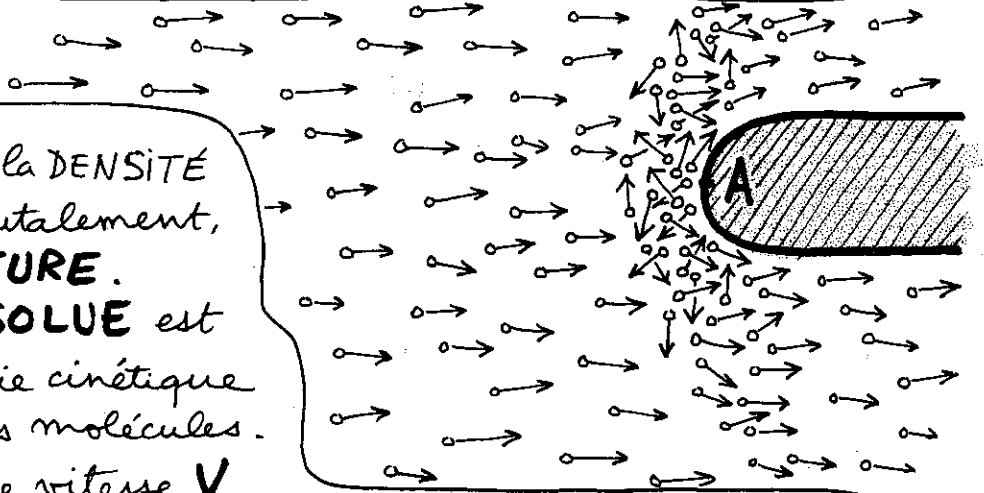
Si on voulait survoler à basse altitude une région habitée à MACH 5 ou 6, l'onde de choc démolirait les toitures

Comme la vague d'étrave brisait l'apportement !

Derrière une ONDE DE CHOC, la DENSITÉ et la PRESSION croissent brutalement, mais aussi la TEMPÉRATURE.

La TEMPÉRATURE ABSOLUE est la mesure de l'énergie cinétique d'agitation $\frac{1}{2} m V^2$ des molécules.

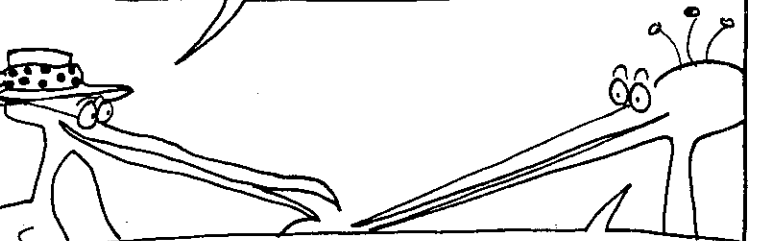
Si ce gaz "tombe" à une vitesse V sur un objet, au point d'arrêt **A** (où le gaz est totalement stoppé) toute cette énergie sera convertie en énergie d'agitation thermique ; ainsi au point **A** la TEMPÉRATURE D'ARRÊT variera comme le carré de la vitesse V .



Bon sang, mes chaussures, vite !

Peu sensible au-dessous de Mach 2, ce phénomène d'échauffement du nez des appareils apporte une sérieuse contrainte comme sous le nom de **MUR DE LA CHALEUR**

Pour une vitesse donnée, plus l'air sera dense, plus ça chauffera.



Ce qui fait que le vol hypersonique en basse altitude est une impossibilité !

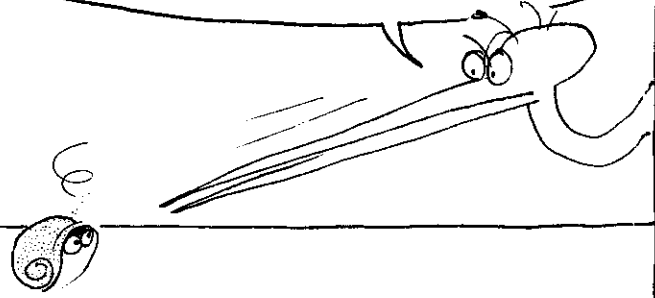


En tout cas, le vol supersonique à basse altitude est, lui, tout à fait possible !... Ne pourrait-on imaginer des avions supersoniques qui ne soient pas des briseurs de vitre...



Pour cela, Anselme, il faudrait des machines qui, en supersonique, ne fassent pas d'ondes de choc.

Ça, mon cher, c'est tout à fait impossible. Sinon il y a longtemps qu'on l'aurait fait!



Voyons. Si le choc se forme, c'est comme pour la vague d'étrave; c'est parce qu'on ne peut plus agir sur les molécules situées en amont, à l'aide des collisions, par des ondes sonores, en les incitant à laisser le passage. Alors elles s'entassent en une sorte de bournelet appelé ONDE DE CHOC.



logiquement, en agissant en amont avec des forces de Laplace, le problème du choc doit se poser de manière totalement nouvelle.

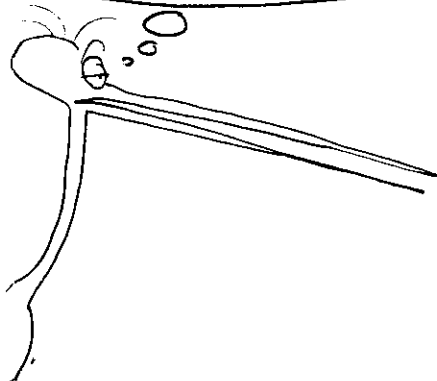
Tiresias, regarde cette photo de l'écoulement MHD de la page 30, autour du cylindre. Ne dirait-on pas un effet de succion, sur l'avant?



N'importe quoi...

C'est vrai, dans les expériences hydrauliques tu arrivais à sucer l'eau sur l'avant au point de créer une dépression

le problème est de savoir jusqu'où on peut étendre l'analogie.



← $V > V_s$

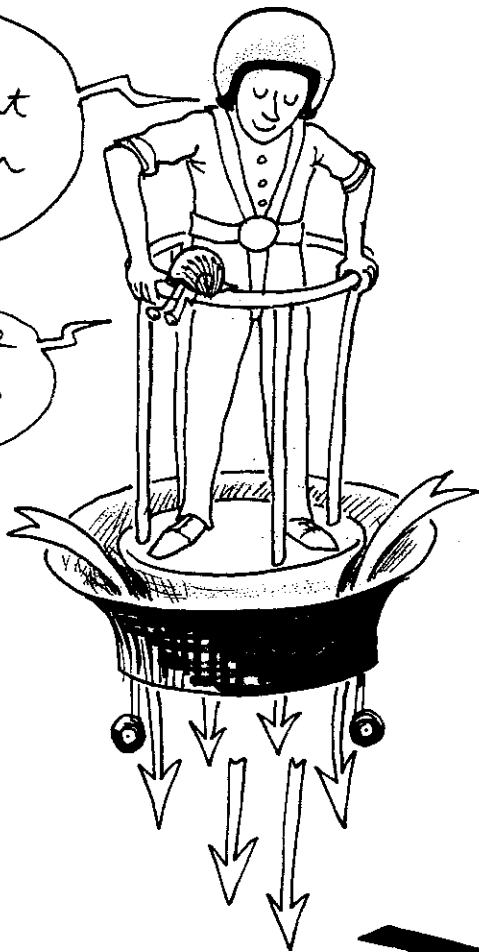
Si l'analogie hydraulique donne des indications valables cela voudrait dire qu'il existerait **TROIS FAÇONS DE VOLER.**

lesquelles?

Pour voler, quoi qu'on fasse, cela revient toujours à animer des molécules de gaz d'un mouvement du haut vers le bas

Premier système :
je crée le mouvement gazeux à l'aide d'un profil d'aile

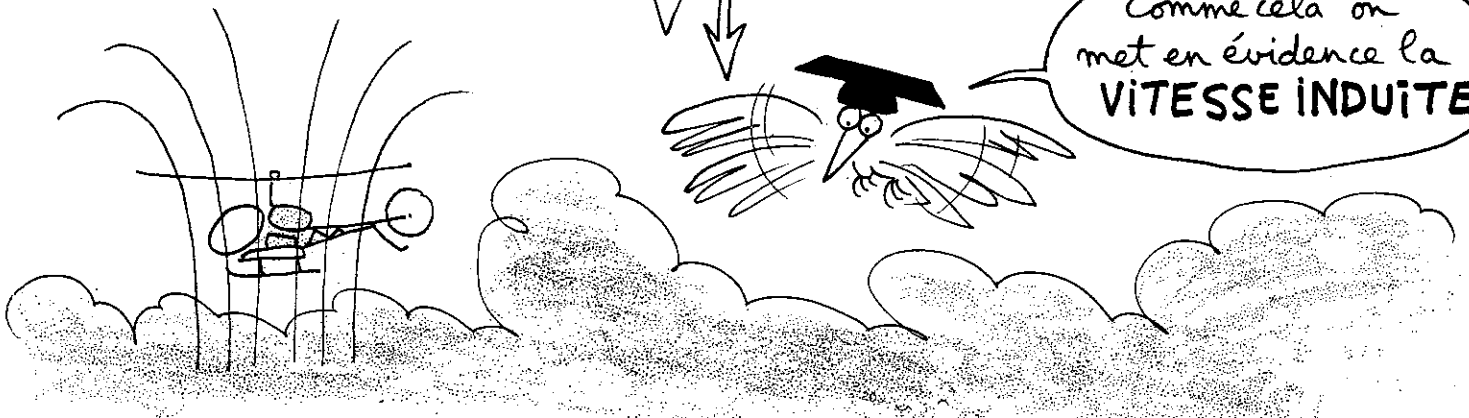
Mais, où est l'aile? je ne vois que deux rotors contrarotatifs



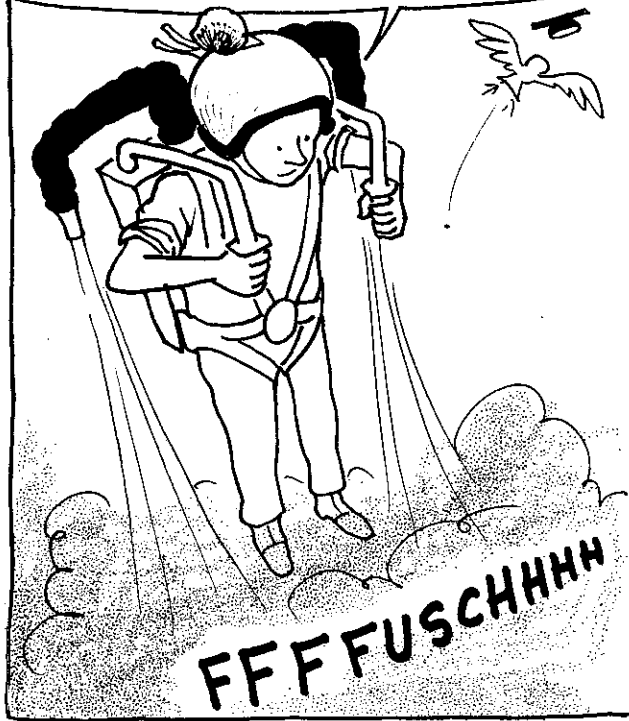
Que tu es bête!
Un rotor, c'est une aile qui tourne



Comme cela on met en évidence la **VITESSE INDUITE**



Second système : accélérer un gaz que l'on produit soit-même

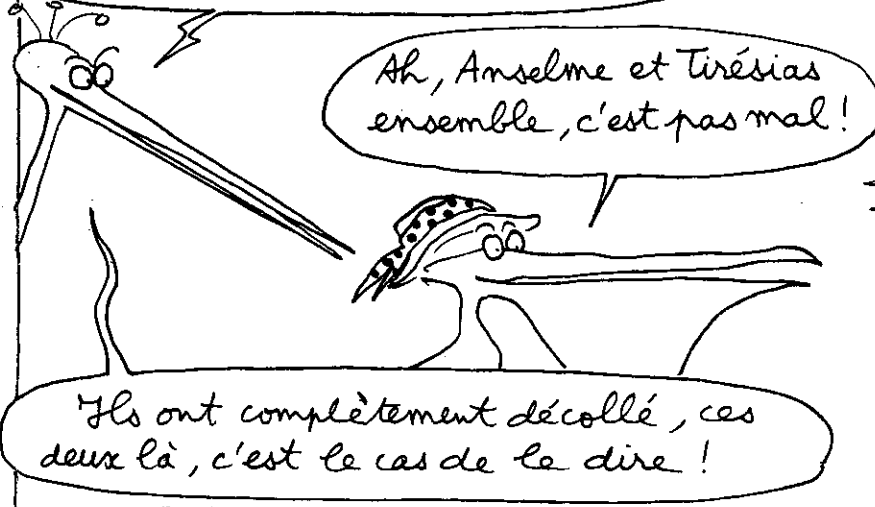


Mais, quel est le TROISIÈME système?



À mon avis, c'est **ASPIRER L'AIR QUI EST AU-DESSUS** à l'aide des forces de Laplace.

Non, mais vous avez entendu?



Ah, Anselme et Tirésias ensemble, c'est pas mal!

Ils ont complètement décollé, ces deux là, c'est le cas de le dire!

Et Sophie, bien sûr, à la plage!...



Ah... Max a encore un peu de bon sens

quel est votre problème?

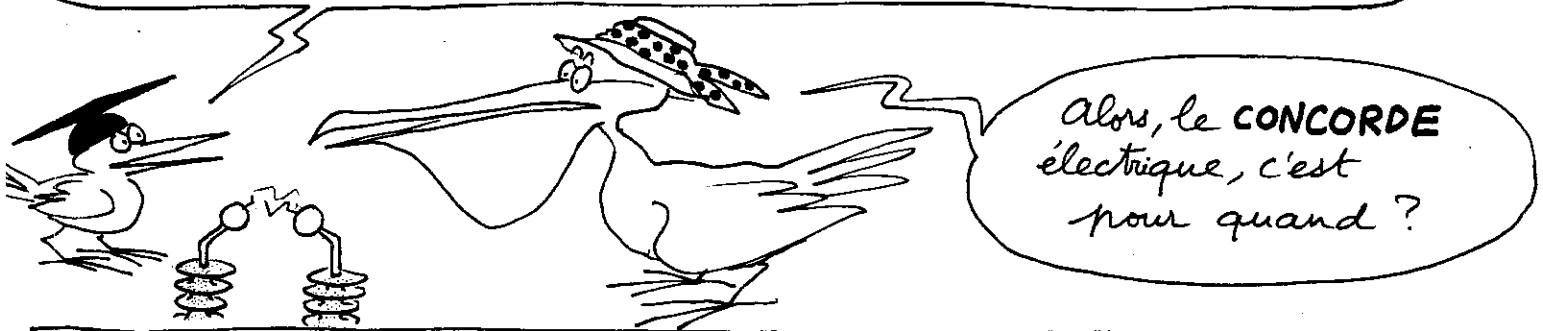
Anselme envisage maintenant je ne sais quoi... de voler avec de l'électricité.

Je disais tout à l'heure à Léon que c'était impossible, car l'air ne conduit pas l'électricité.



c'est même un **ISOLANT**

Attendez, attendez ! Cela dépend de la valeur du **CHAMP ÉLECTRIQUE** que vous appliquez ! c'est-à-dire du rapport entre la tension aux bornes des électrodes et de la distance qui les sépare !! Si vous mettez trois mille volts par millimètre, cela claque joliment !



Alors, le **CONCORDE** électrique, c'est pour quand ?

Voyons, avec un champ magnétique **B** de 4 Teslas (40.000 gauss) (*) et une densité de courant de un ampère par centimètre carré (dix mille ampères par mètre carré), tu obtiens une force de Laplace de 40.000 newtons par mètre cube, soit quatre tonnes par mètre cube. Si le moteur a un volume utile d'un mètre cube, cela fait 4 tonnes

QUATRE TONNES!

Attendez, il ne faut pas rêver ! Trois mille volts par millimètre, ça fait quand même un petit million de volts par mètre !...

Dites, les forces de Laplace ça secoue !...

Je connais une sacrée application des forces de Laplace

Ah, laquelle ?

Le tonnerre

Le tonnerre ?

Mais c'est encore de la très haute tension

Sophie ! Viens vite voir !
Avec Anselme, on est en train d'inventer
des trucs extra. Comment voler
avec de l'électricité !

mon dieu
j'arrive

COMPTES
RENDUS DE
L'ACADEMIE DES
SCIENCES
DE PARIS

Tu imagines la complexité ! À bord, il te faudra un système de refroidissement pour les supraconducteurs, à très basse température, et un générateur électrique de plusieurs centaines de mégawatts. Ça va peser un poids fou !

autant essayer de
faire voler une centrale
nucléaire !

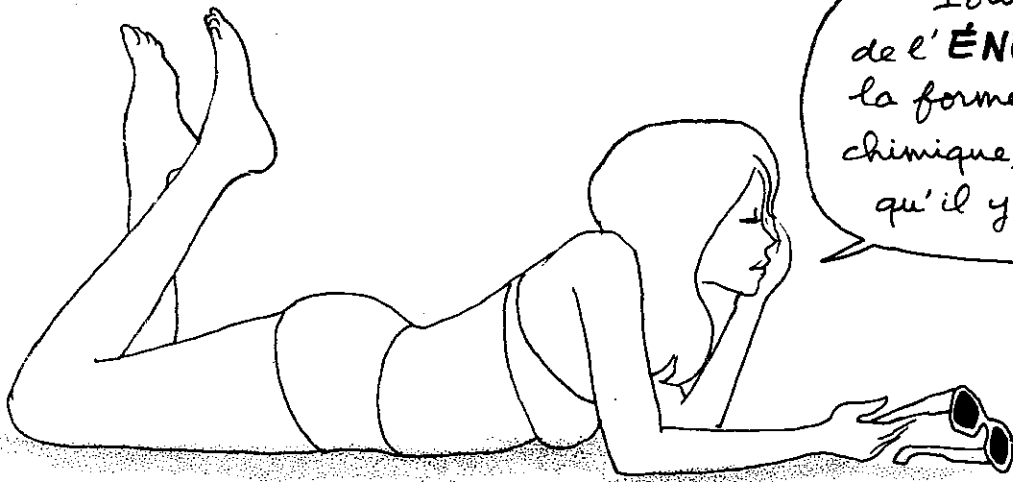
voler avec de l'électricité, c'est impossible

Ah bon, alors avec quoi
vole cet appareil ?

mais, ça n'est pas
pareil, il a une
hélice...

Et puis il a des cellules solaires !..

mais, qu'est-ce qu'un PROPULSEUR MHD, sinon
une sorte d'HÉLICE ÉLECTROMAGNÉTIQUE ?



Pour voler, il faut de l'**ÉNERGIE**. Et peu importe la forme que prend cette énergie, chimique, électrique, du moment qu'il y en a suffisamment.



Quand on y regarde de plus près, voler, c'est une question de **RAPPORT PUISSANCE SUR POIDS POUR UNE VITESSE DONNÉE**

40 km/h AVION A' PÉDALES (ou électrique)

10 watts au kilo

60 km/h L'AVION DES FRÈRES WRIGHT (Technologie moins élaborée)

100 watts au kilo

250 km/h UN AVION DE TOURISME

300 watts au kilo

700 km/h UN CHASSEUR DE LA DERNIÈRE GUERRE MONDIALE

800 watts au kilo

2700 km/h UN CHASSEUR DE LA PROCHAINE GUERRE MONDIALE

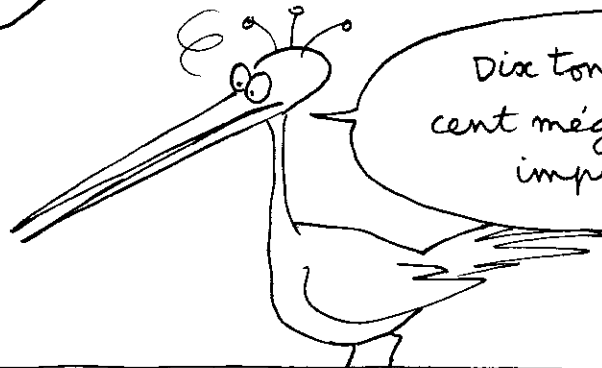
5000 watts au kilo

20.000 watts au kilo

La Navette Spatiale!!



Si je comprends bien, si les centrales nucléaires produisaient un kilowatt d'énergie électrique par kilogramme, elles s'envoleraient spontanément ?!..



Dix tonnes pour cent mégawatts, c'est impossible !..

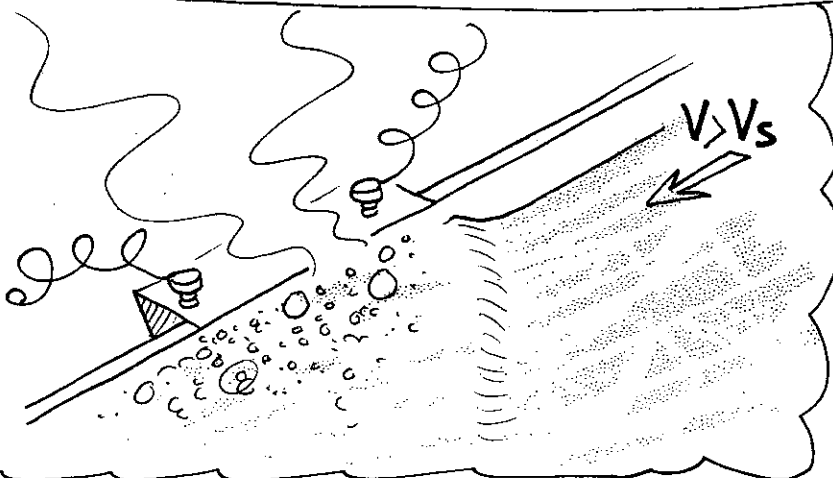
alors?
Sophie?



Sacré lanturlu ! Finalement il semble que l'on puisse étendre dans les gaz ce qui a été élucubrè dans les écoulements liquides à surface libre : LE CRITÈRE D'INTERACTION, LE RENDEMENT MHD Il doit bien y avoir un os quelque part, voyons ...

alors?

Dans l'expérience de la page 43, un TROP FORT APPORT D'ÉNERGIE provoquait un **BLOCAJE**

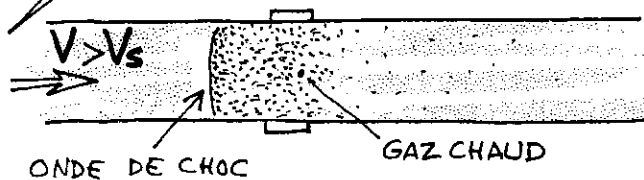


LE BLOCAGE THERMIQUE

Est-ce qu'un phénomène analogue, dans les gaz, ne pourrait pas contrarier l'action MHD ?



En effet, on peut **BLOQUER** un écoulement supersonique de gaz avec de la **CHALEUR**, par effet Joule. Dans une décharge électrique PURE (sans champ magnétique), la boule de gaz chaud se comporte comme un vrai bouchon et une onde de choc se forme.



c'est le **BLOCAGE THERMIQUE**

Alors, l'expérience d'Anselme est vouée à l'échec ?



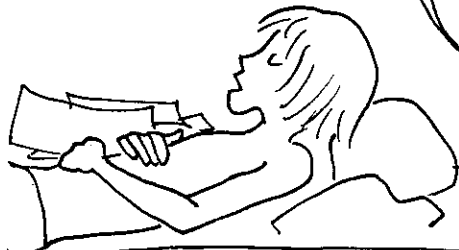
Ça n'est pas sûr. Tout dépend de la CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE de l'air (de celle qu'on pourra lui donner par des moyens variés). Si elle est assez élevée (*), le dégagement de chaleur dans le gaz restera modéré, et on n'aura pas de blocage.

(* Voir Annexe E

Oh, regardez Anselme...

il s'est endormi

tu m'étonnes...



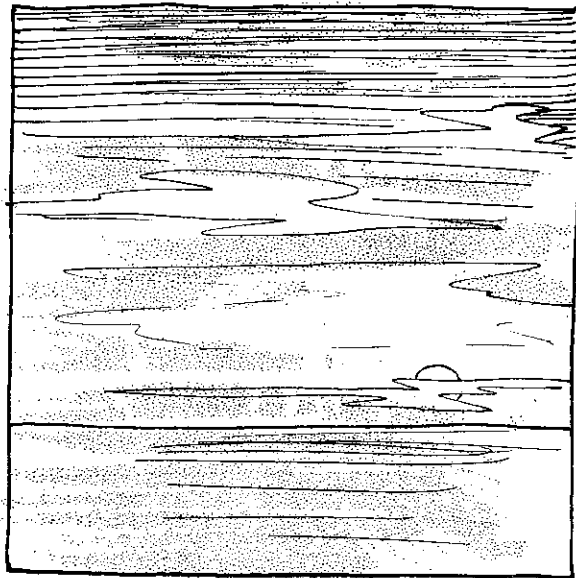
qu'est-ce que vous pensez de tout cela, vous ?

Dans la mesure où ces aérodynes MHD correspondent à une technologie que nous n'aurons peut-être pas dans un siècle, on peut se demander si cela vaut vraiment la peine de se poser ces questions

sur le plan fondamental cela pourrait être intéressant ?



Oh, vous savez, le fondamental...



Pfffff...
quelle journée!



Dors, savanturier
mon amour



LE SONGE D'ANSELME

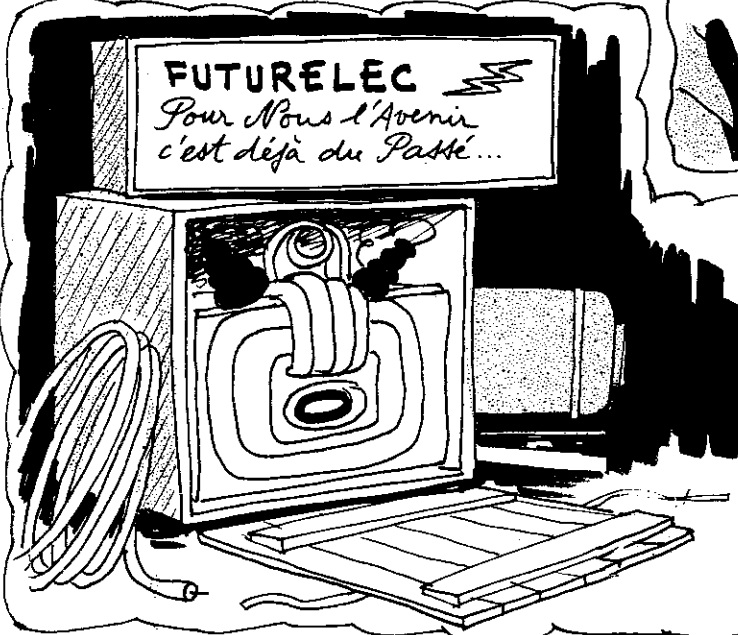


Euh... Ah... oui...

Monsieur Lanturleu ?
C'est bien vous qui avez demandé un générateur électrique de deux cents mégawatts, une source de micro-ondes de dix mégawatts, un rouleau de fil supraconducteur, le tout pesant une vingtaine de tonnes...



Vous signez ça ?



FUTURELEC
Pour Nous l'Avenir
c'est déjà du Passé...



Ouah...

ça c'est du chouette matériel
Alors, Anselme,
on y va ?



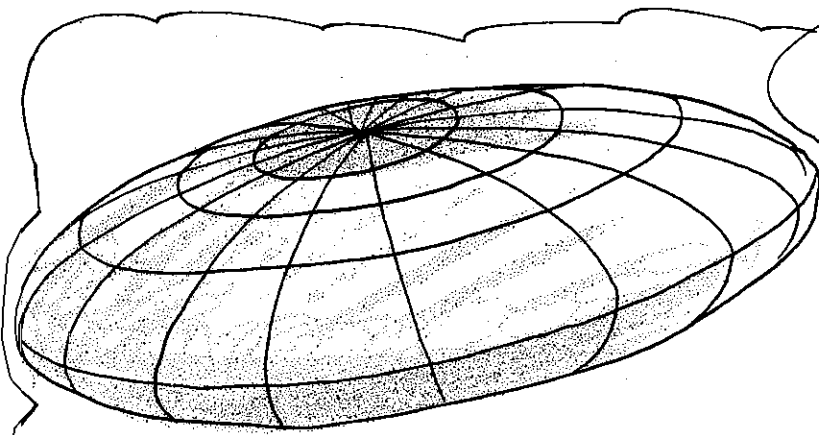
Il est bizarre son camion,
à ce type... tu as vu ?



Jamais vu un
camion pareil !
Enfin...

On s'y met ?
On s'y met ?

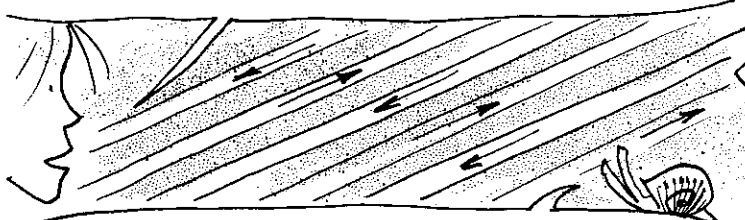
Pourquoi est-ce que tu le fais plat, ton aérodynne.



C'est pour mieux exploiter la DÉPRESSION que je vais créer sur le dessus et la SURPRESSION qui s'installera en dessous



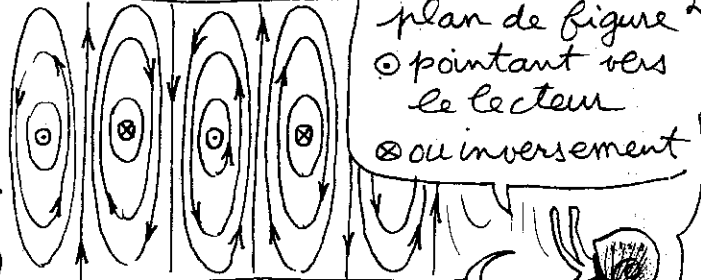
On va commencer par s'occuper du **CHAMP MAGNÉTIQUE**. Avec ce fil supraconducteur, je vais alterner le sens des courants, comme ceci



Dans ces barres parallèles, le courant s'inverse en passant de l'une à l'autre.

Ces barres creuses seront refroidies à très basse température par circulation d'hélium liquide.

⊙ ⊗ vecteurs perpendiculaires au plan de figure
⊙ pointant vers le lecteur
⊗ ou inversement

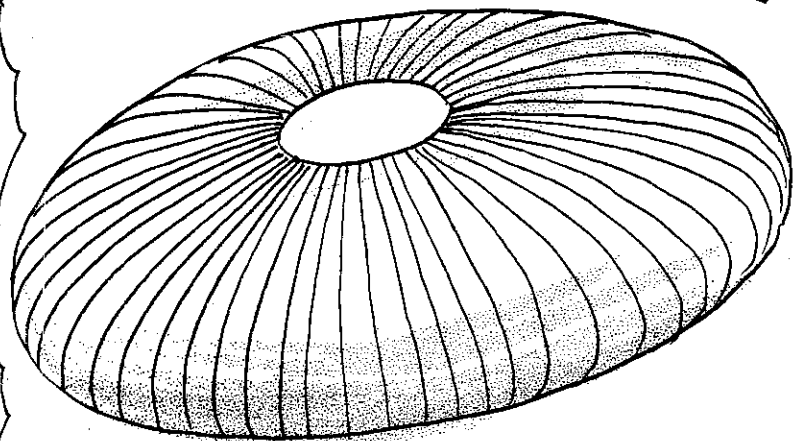


On obtient un champ magnétique qui s'inverse tous les d mm.

Ces barres vont suivre les méridiens de l'objet.

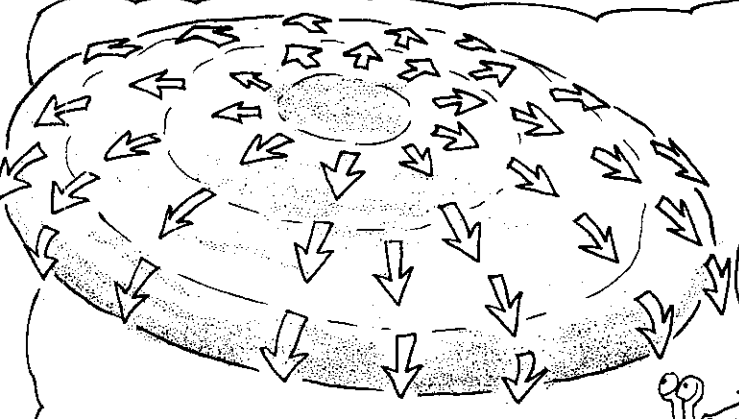
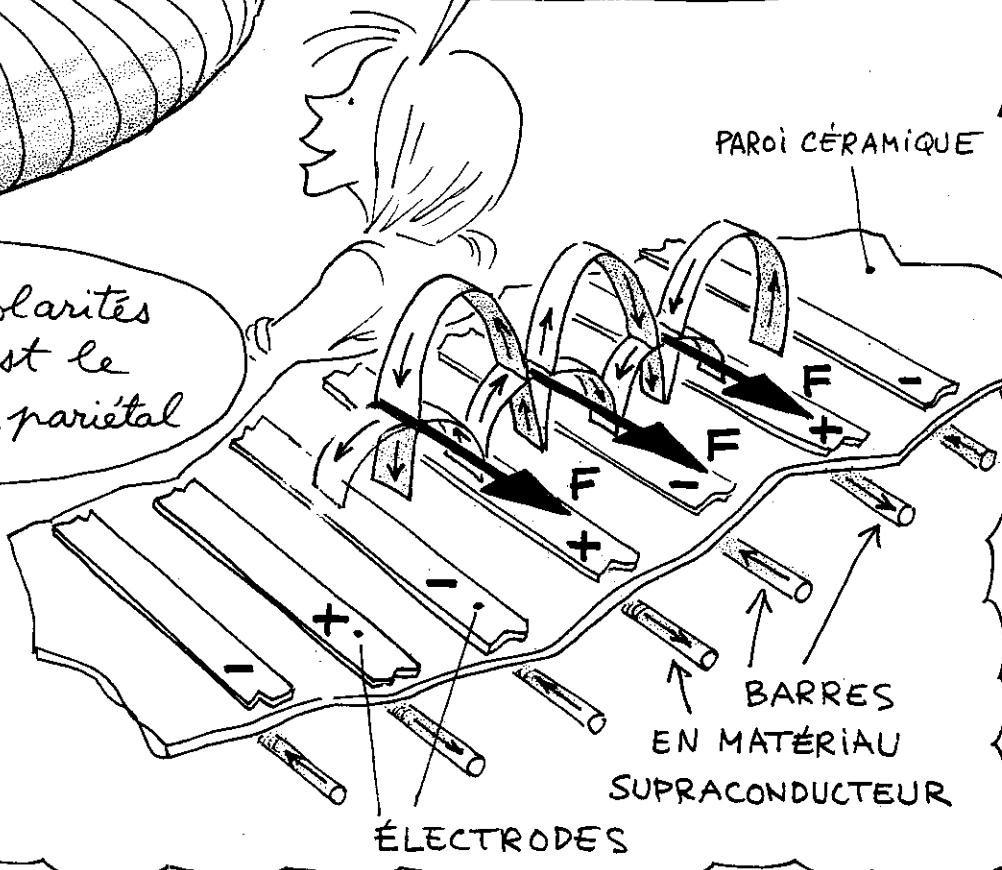


Et je les recouvre d'une plaque de céramique mince



Au-dessus de cette céramique, je mets aussi mes électrodes suivant les lignes méridiennes.

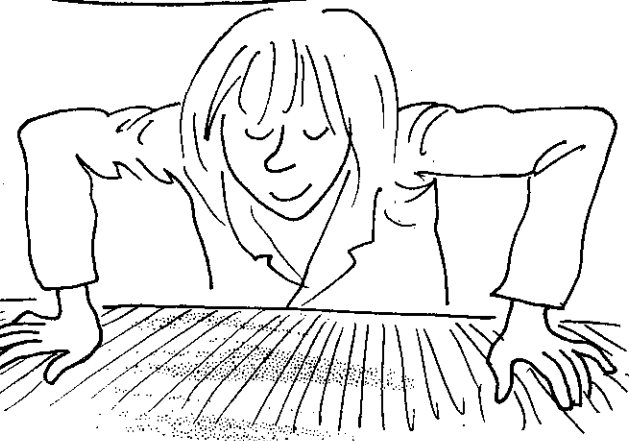
Et tu alternes les polarités de ces électrodes. C'est le coup de l'accélérateur pariétal



Cela va créer ce type de **CHAMP DE FORCES** autour de l'appareil.



Je peux mettre mes barres et mes électrodes très près les unes des autres, ce qui a plusieurs avantages



Primo, ça limite la tension à appliquer aux électrodes

Secundo, ça permet de limiter le volume où on aura à créer le champ magnétique :
Pratiquement, la surface de l'engin, multipliée par le "pas" des barres.

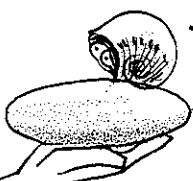
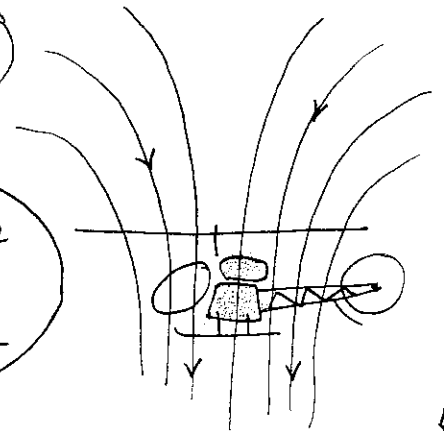
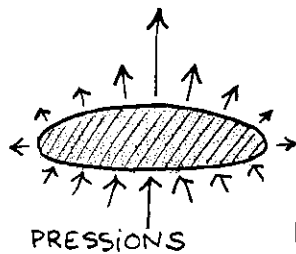
Tertio, ça permet d'agir dans une couche assez mince, en y concentrant l'ionisation, les forces.

Et voilà l'écoulement gazeux qui en résultera.

c'est comme une sorte d'hélicoptère électromagnétique

Reste à savoir comment créer l'IONISATION, c'est-à-dire suffisamment d'**ÉLECTRONS LIBRES** dans cette couche gazeuse

Si tu mets les électrodes à un millimètre l'une de l'autre et si tu balances mille volts, cela sera suffisant pour arracher les électrons des atomes et les libérer. Le courant passera



LE PROBLÈME DE L'IONISATION

Dans l'air, ce qui fournit les électrons libres, ce n'est pas l'oxygène, ni l'azote, mais l'oxyde d'azote **NO**. Mais j'ai envie carrément d'enrichir l'air avec une substance qui donne plus facilement des électrons libres, comme le Césium ou le sodium.

Alors tu ménages des PORES dans la paroi en céramique, pour lui faire émettre pendant le vol des petites quantités de vapeur de Césium

CÉSIMUM

Anselme a mis à bord un générateur produisant un champ électrique alternatif dans l'air environnant, à très haute fréquence. (trois mille mégahertz)

Ces micro-ondes seront vite absorbées dans la couche d'air entourant la machine, et créeront aussi des électrons libres.

Couche de
PLASMA

trajet d'un
élément de gaz

IONISATION

DÉIONISATION AVEC
ÉMISSION DE LUMIÈRE

Bon, je crois que tout y est.
Un circuit intérieur de télévision
va nous donner, à partir de
microcaméras disposées sur la paroi
des images de l'extérieur

on met
le contact?

qu'est-ce que c'est
que ce bazar?

Ionisation!

Nom d'une pipe! Léon et
son copain, dehors...

mais c'est
lumineux,
rougeâtre..

qu'est-ce qu'ils
vont ramasser avec
les hyperfréquences!

le mieux est de filer au plus vite!

J'ai rentré le train
Télescopique

c'est marrant,
ça se pilote comme
un hélicoptère

!?

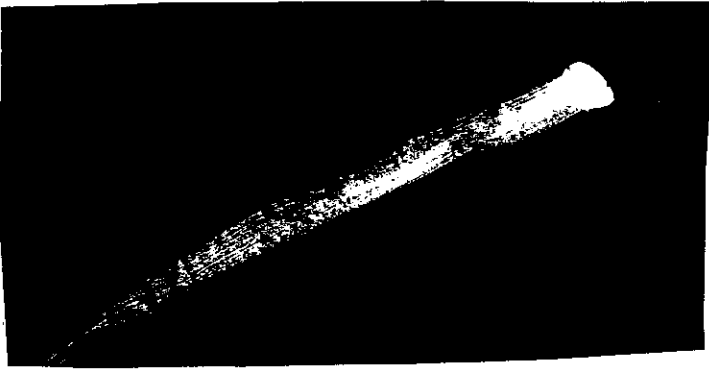
Sophie!

Sauf qu'au lieu d'agir
sur l'incidence des pales
tu modifies les courants

Regarde ces deux là. Que leur est-il
arrivé. On dirait qu'ils ont vu le diable


C'est bizarre.
Comme s'ils avaient subi
une commotion...

L'**AÉRODYNE MHD** continue son vol en filant une longue queue de Césium brûlant



Forçons les feux!

Le courant débité augmentant, l'aspect de la machine volante devient celui d'une étoile filante



Dis donc, qu'est-ce qu'on force! on doit être au moins à quatre ou cinq fois la vitesse du son!!!!

Dis donc, Anselme, comme nous contrôlons parfaitement l'écoulement gazeux, nous volons sans turbulence ni onde de choc

Non?

Possible

DONC SANS BRUIT

il y a eu le **MUR DU SON** puis le **MUR DE LA CHALEUR** et là, j'ai bien l'impression que nous avons franchi...

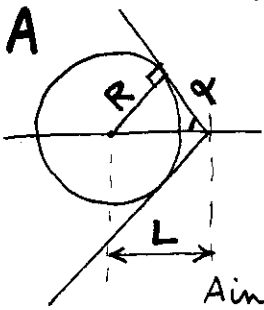


Le MUR DU SILENCE

FIN

ANNEXES SCIENTIFIQUES

A



Pendant le temps t , une onde émise s'est propagée radialement selon $R = V_s t$. tandis que l'objet s'est déplacé de $L = V t$.

Ainsi $\frac{V}{V_s} = \frac{L}{R}$ $\sin \alpha = \frac{V_s}{V} = \frac{R}{L}$

B On agit sur le système d'onde si l'énergie reçue par l'élément de volume qui est **JBL** (travail de la force de Laplace le long de la LONGUEUR D'INTERACTION) est supérieure à l'énergie cinétique $\frac{1}{2} \rho V^2$. Dans l'eau salée l'électrolyse limite J à $1A/cm^2$ ($10^4 A/m^2$). Soit $V = 8cm/s$. Si le cylindre fait $\phi 8mm$ ($8 \cdot 10^{-3}m$) avec une longueur d'interaction prise égale à la largeur de l'électrode : $2 \cdot 10^{-3}m$ $\rho = 10^3 kg/m^3$. Si $B = 1$ tesla (10.000 gauss) le PARAMÈTRE D'INTERACTION est $S = \frac{2JBL}{\rho V^2} = 25$
On annihile la VAGUE D'ÉTRAVE ...

C Le bateau a une poussée de 1 gramme. Soit $10^{-3}kg$ ou 10^{-2} newton. Il avance à $0,1m/s$ ce qui représente 10^{-3} watt. Le générateur donne du 25 volts, 20 ampères, soit 500 watts. Le rendement est donc $\eta = \frac{10^{-3}}{500} = 2 \cdot 10^{-6}$. Le fluide transite dans l'accélérateur pendant le temps t . La puissance propulsive sera donc $\frac{JBL}{t}$. Mais $\frac{L}{t}$ est la vitesse V . Par ailleurs la puissance dissipée par effet Joule est J^2/σ , où σ est la conductivité électrique. Le rendement est donc $\eta = \frac{JBV}{JBV + J^2/\sigma}$
avec $\sigma = 10$ mhos/m
 $B = 25$ teslas
 $V = 20$ m/s
 $J = 10^4 A/m^2$ on obtient $\eta = 0,33$
Le rendement croît avec V

D

la surpression au point d'arrêt sera, grosso modo $\frac{1}{2} \rho V^2$, où ρ est la masse volumique de l'air ($1,3 kg/m^3$) et V la vitesse de déplacement de l'objet. Pour une surface frontale équivalente de $1m^2$, la puissance associée à la trainée d'onde serait $\frac{1}{2} \rho V^3$.
Si $V = 600$ m/s $P = 140$ MW
Si $V = 1500$ m/s $P = 2190$ MW

E

La puissance associée à l'accélération MHD est **JBV**. Avec $J = 10^4 A/m^2$, $B = 4$ teslas $V = 1000$ m/s, on a $JBV = 40$ MW/m³. Si on a une conductivité électrique de l'air (hors d'équilibre) atteignant 10 mhos/m, celle de l'eau salée, alors la chaleur produite par effet Joule J^2/σ correspondra à une puissance de 10 MW/m³. C'est jouable. On aurait intérêt à travailler à B fort (20 teslas) et à accroître artificiellement la conductivité électrique σ (sodation d'alcalin à travers une paroi poreuse ou action de micro-ondes).

