TIPE 2020/2021

ENERGIE HOULOUMOTRICE

Comment peut-on, à partir des mouvements de la houle, produire une énergie électrique non polluante ?

THEME: Enjeux sociétaux

20173

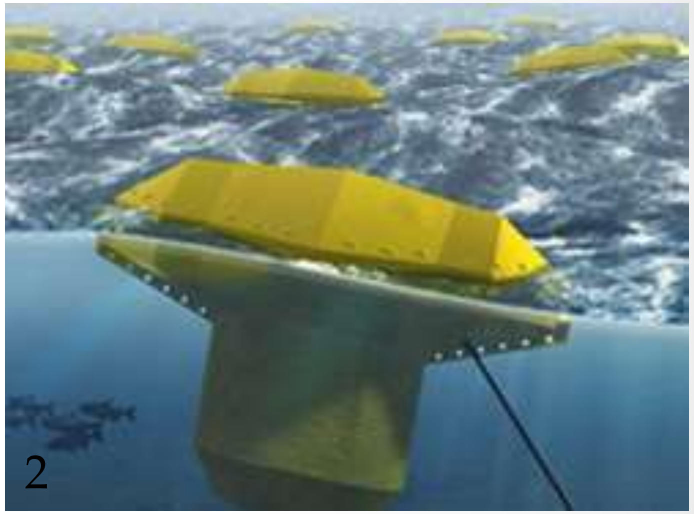
Il y a une anti coïncidence entre la demande et la production de l’électricité
+ Une production nuisible à l’environnement

Il y une faible estime aux énergies renouvelables comme l’énergie des vagues

La production de l’électricité est responsable de 42,5% des émissions mondiales du CO_2

1

Objectif



2

Produire d’avantage de l’électricité à l’aide de l’énergie des vague

Objectifs du TIPE

- Modélisation et resolution des équation vérifiées par la houle:
  - Modèle d'AIRY: équation aux dérivée partielles linéaire
  - Une simulation numérique du déplacement d'un petit volume d'eau
- Approfondissement dans la conversion de l'énergie en énergie électrique via à un système houlomoteur:
  - Exemple d'un système à corps oscillant
  - Etude de la récupération de l'énergie mecanique par le système houlomoteur
  - Etude de la production de l'électricité via le phénomène d'induction


3


4

sommaire

Une modélisation de la houle: *modèle d'Airy*

Simulation numérique du modèle d'Airy

Etude de la conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique à l'aide d'un système houlomoteur: *Chaine flottante articulée*

1. Une modélisation de la Houle: Houle d'AIRY

La houle est un mouvement ondulatoire de la surface de la mer

La houle est une oscillation sinusoïdale régulière

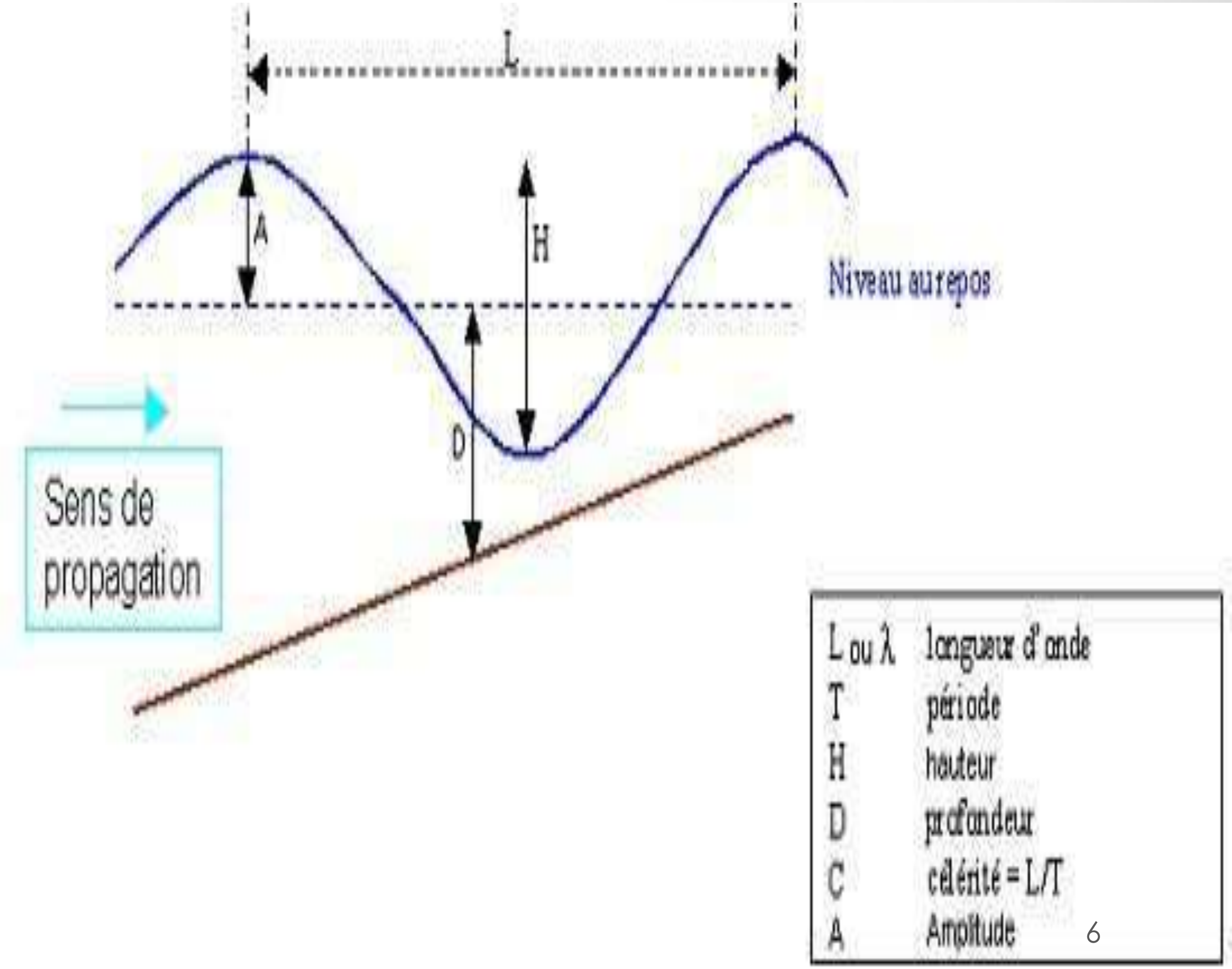
Modèle d'AIRY: Equation aux dérivée partielles

❖ <u>Hypothèse:</u>

$\mathrm{div}\vec{V} = 0$

L'existence d'un potentiel des vitesses Ø tel que :
$\nabla\emptyset(M,t) = 0$

$\overrightarrow{Rot}\ \vec{V}$ =0



La théorié d'AIRY n'est valable que pour des faibles amplitudes et une profondeur D< $0{,}01gT^2$

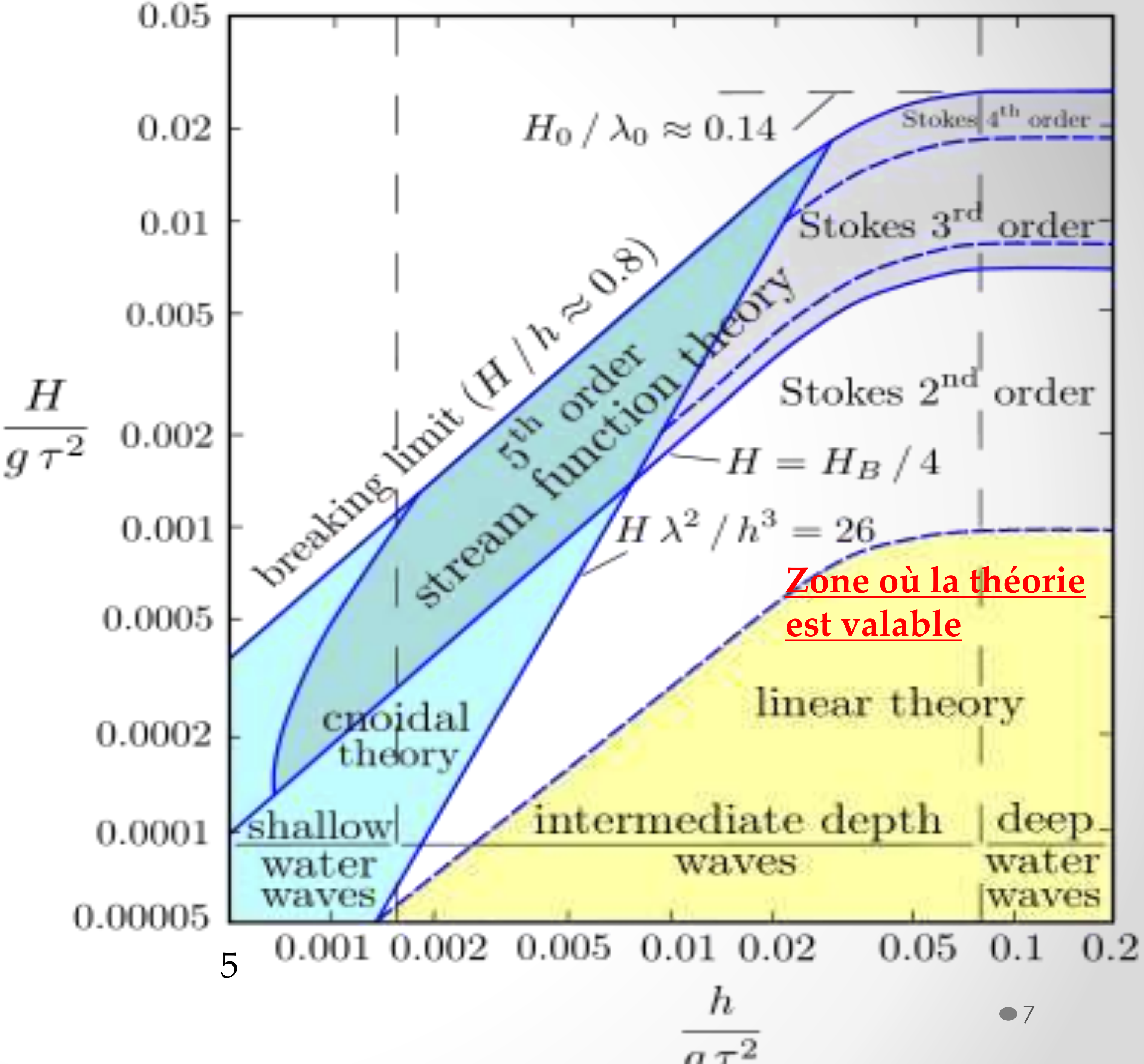
En appliquant la méthode de la séparation des variable on obtient:

$$\frac{1}{L^2}\frac{d^2 f}{dx^2} \times h + \frac{d^2 h}{dz^2} \times f = 0$$

On se trouve avec deux équations différentielles et linéaires:

1. $\frac{d^2 f}{dx^2} + (kL)^2 \times f = 0$

2. $\frac{d^2 h}{dz^2} + k^2 \times h = 0$



5

En résolvant les équations différentielles:

$$\boxed{\boldsymbol{f(x) = A\sin(\mathrm{kLx} + \varphi)}}$$

$$\boxed{\boldsymbol{h(z) = B1 \times \cosh(kz) + B2 \times \sinh(kz)}}$$

Conditions aux limites:

1. Le fond: en $z = -d$

Le potentiel de vitesse vérifie en z=-d

$$\frac{d\emptyset}{dz} = 0$$

$$= A\sin(kx+\varphi) \times \frac{\cosh(k(z+d))}{\cosh(kd)} \times F(t)$$

Le potentiel de vitesse vérifie en z=-d

$$\frac{d\emptyset}{dz} = 0$$

$$\emptyset = A\sin(kx+\varphi) \times \frac{\cosh(k(z+d))}{\cosh(kd)} \times F(t)$$

$$\emptyset = \frac{A1}{2}\sin(kx-\omega t)\frac{\cosh(k(z+d))}{\cosh(kd)}$$

2 - La surface libre: en z=0:

D'après l'équation de Bernoulli et en supposant que la pression est constante et en z=0 $\frac{\partial^2\emptyset}{\partial t^2} - \mathrm{g}\frac{\partial\emptyset}{\partial z} = 0$

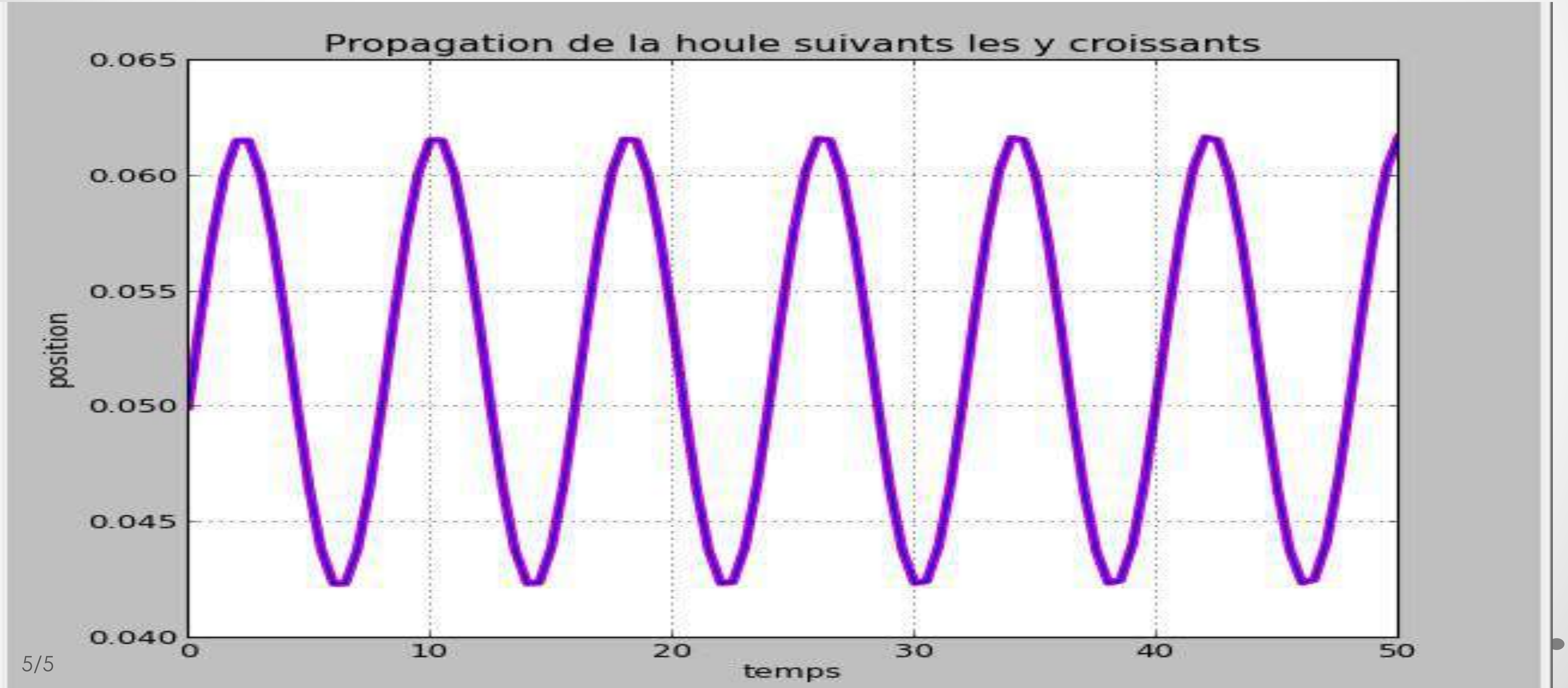
On se ramène donc à une équation différentielle qui vérifie $\frac{d^2F(t)}{dt^2} + gk\tanh(kd)\times F(t) = 0$

$$F(t) = Dsin(\omega t+\sigma)$$

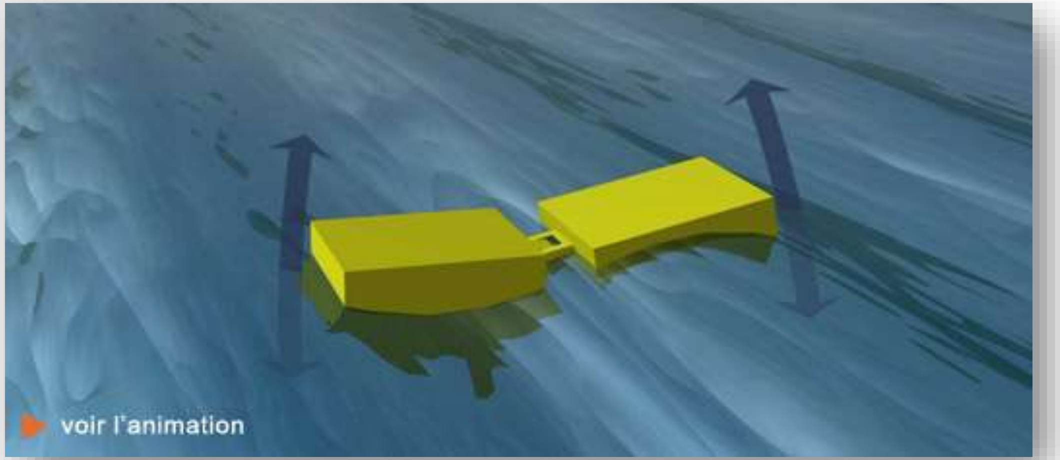
$$\emptyset = \frac{HL}{2T}\sin(kx-wt)\frac{\cosh(k(z+d))}{sh(kd)}$$

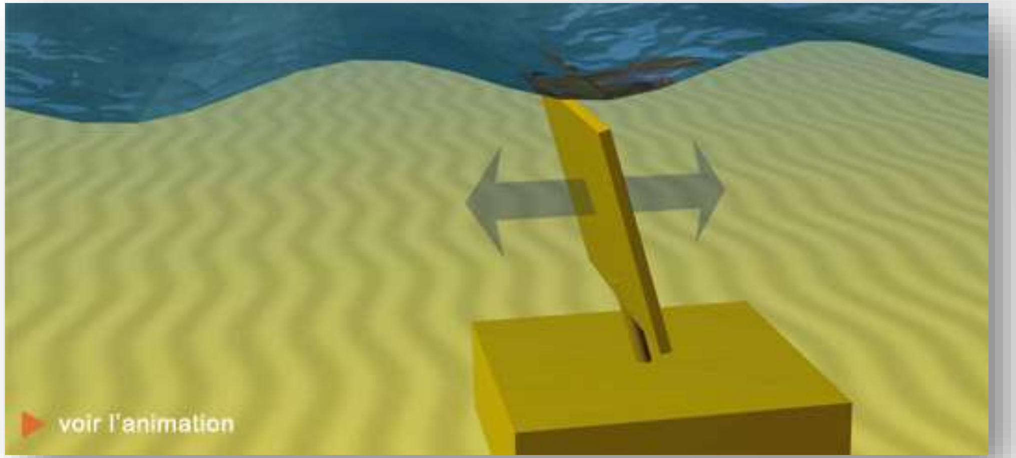
Une simulation numérique du déplacement d’un petit volume d’eau :

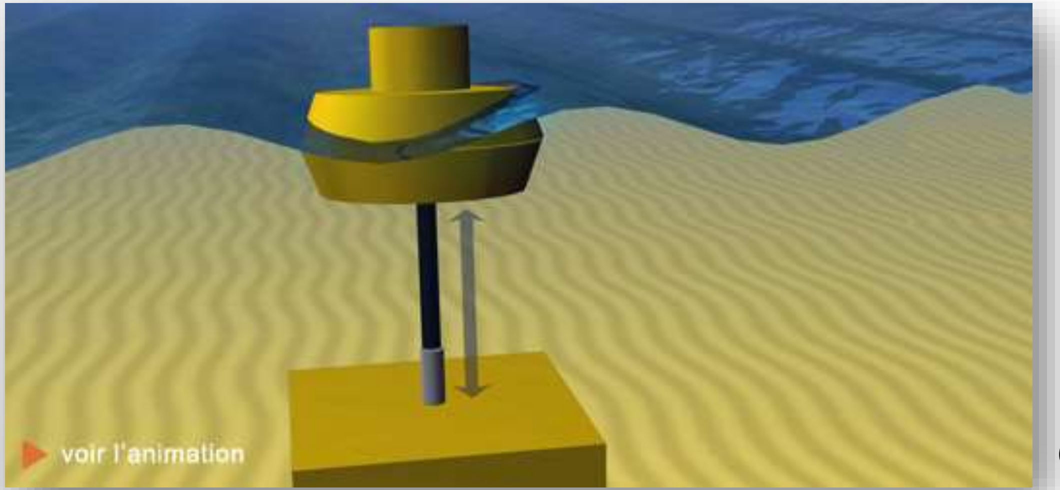
En eau profonde :

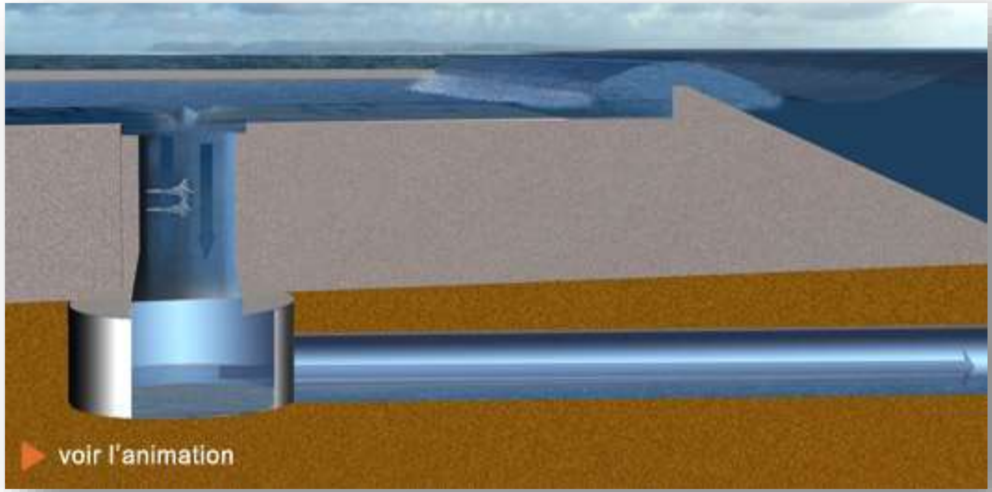


Qu'est ce qu'un système houloumoteur ?



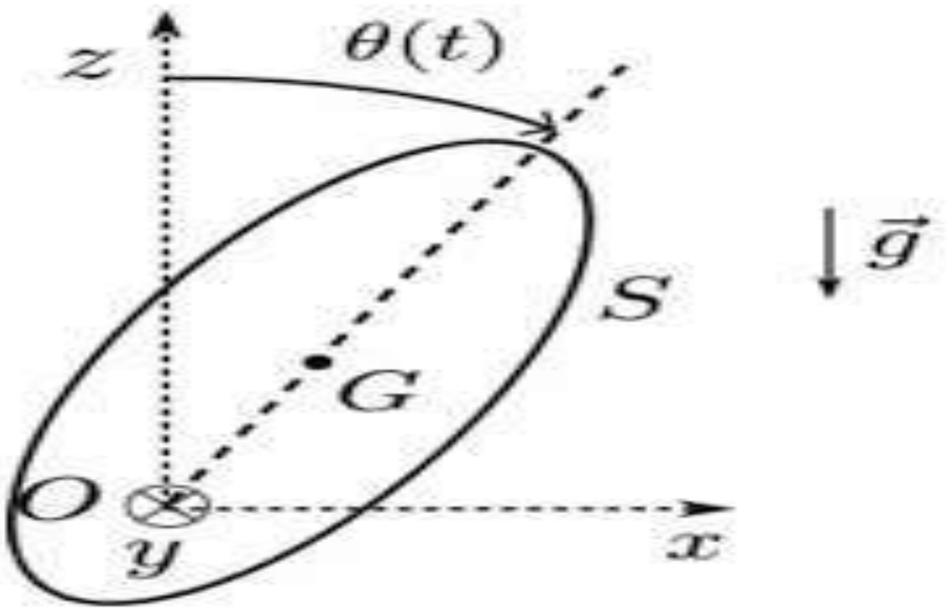






Récupération de l’énergie mécanique

- On modélise ce dispositif par un pendule pesant composé d'un solide S en rotation autour de l 'axe O y et complètement immergé dans l’eau.
- Le pendule est fixé au fond de la mer
- Les mouvements se font dans le plan (x O z)



- Référentiel terrestre supposé Galiléen

- Bilan des forces:

Poussée d'Archimedes : $\vec{\Pi} = -\rho_e V \vec{g}$

Poids : le poids $m\vec{g}$

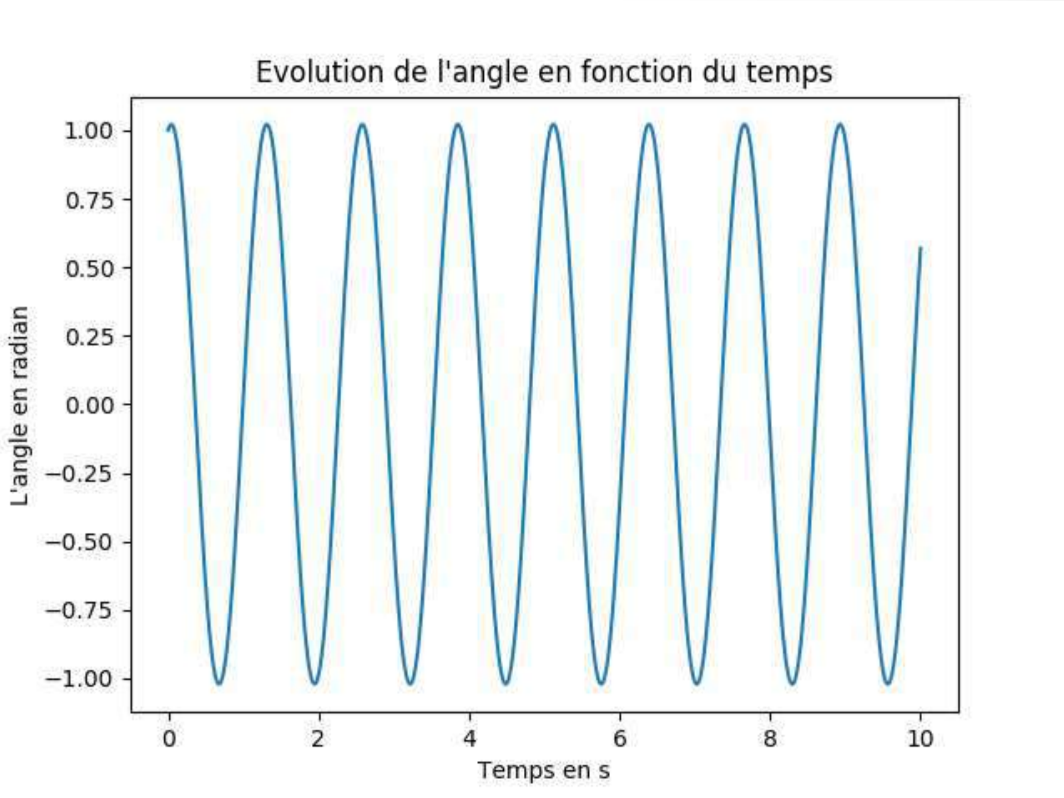
La force exercée par la houle : $\vec{F} = \beta \cos(\omega t)\vec{u}_x$

Couple résistant : $\vec{C} = -\alpha\dot{\theta}\vec{u}_y$

- On applique le théorème du moment cinétique du solide S par rapport à (Oy)

$$\ddot{\theta} + \frac{\alpha}{J}\dot{\theta} + \frac{gd}{J}(\rho V - m)\sin\theta = \frac{d\beta}{J}\cos\theta\cos wt$$

$$\ddot{\theta} + \frac{\alpha}{J}\dot{\theta} + \frac{gd}{J}(\rho V - m)\theta = \frac{d\beta}{J}\cos\omega t$$



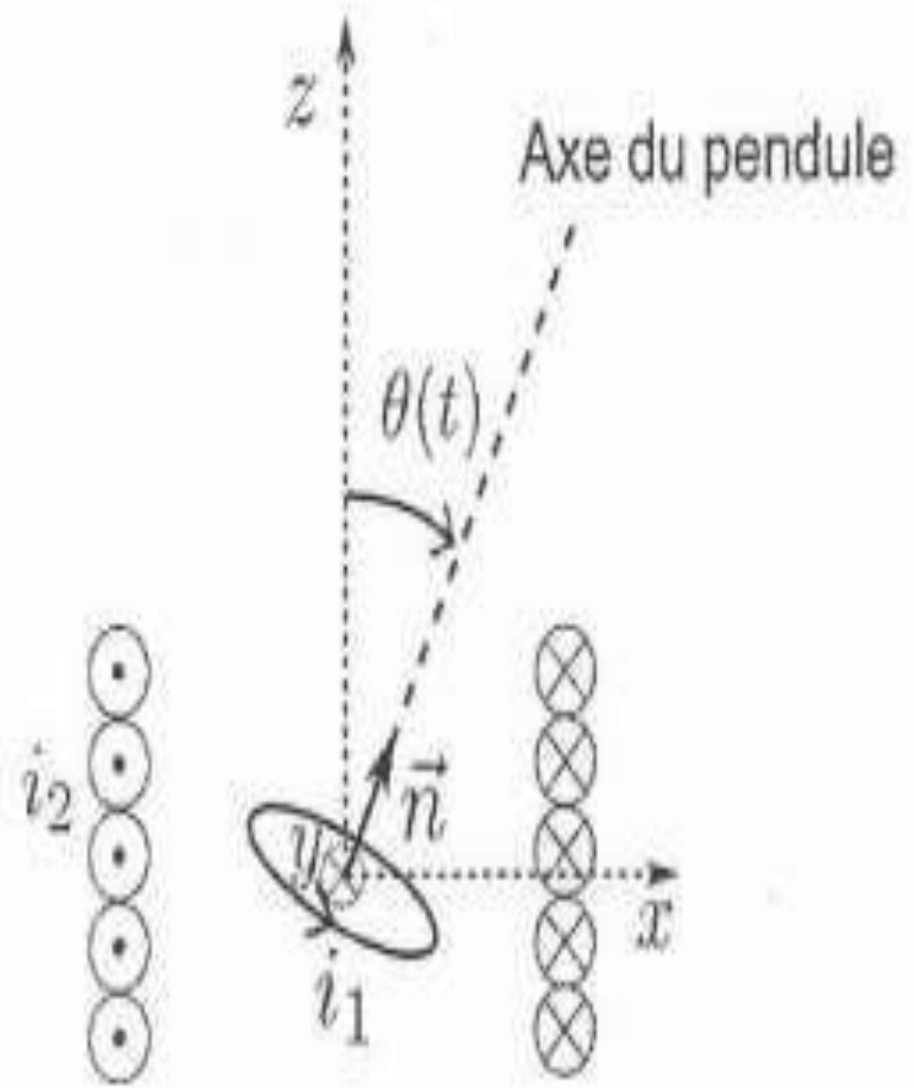
On pose $\underline{\theta} = \theta_0\, e^{i(\omega t+\varphi)}$

$$\theta_0 = \frac{d\frac{\beta}{J}}{\sqrt{(\omega^{\circ 2}-\omega^2)+(\delta\omega)^2}}$$

La puissance moyenne récupérée

- $Pm = \frac{\gamma}{2}(\frac{d\beta}{J})^2 \frac{{}^{1}/_{\omega_0{}^2}}{(\frac{\lambda}{\omega_0})^2 + (\frac{\omega_0{}^2}{\omega^2} - \frac{\omega}{\omega_0{}^2})}$

Production de l'électricité



Le flux du champ B_2 à travers la bobine 1:

$$\emptyset_{2\to 1} = N_1 K_2 i_2 S \cos\theta$$
$$B_2(t) = k_2 i_2(t)$$

Le flux du champ B_1 0 travers la bobine 2:

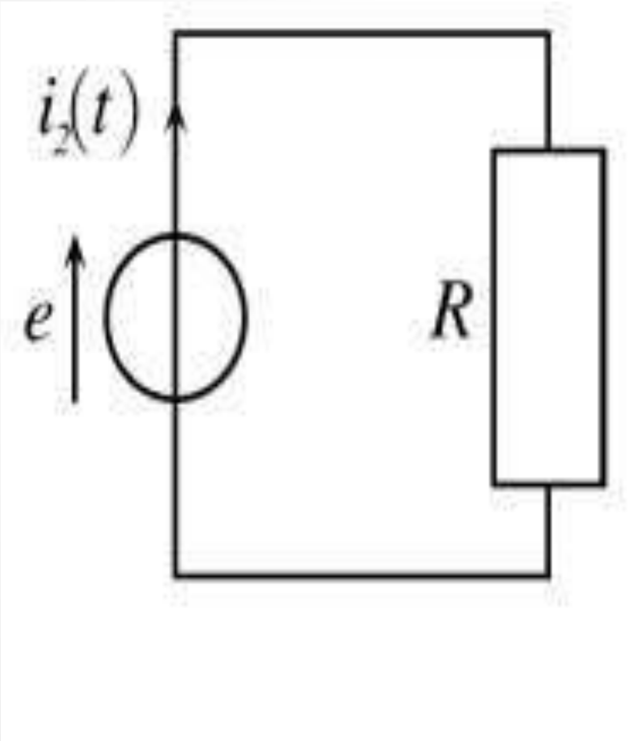
$$\emptyset_{1\to 2} = N_1 K_2 S i_1 \cos\theta$$

7

Production de l'électricité

- D'après la loi de Faraday; $e = -\frac{d\emptyset_{1\to 2}}{dt} = N_1 K_2 i_1 S\dot{\theta} \sin\theta$

- On obtient donc le schéma électrique équivalent:



$$e = Ri_2(t)$$

$$P = \frac{(N_1 K_2 i_1 S\dot{\theta} \sin\theta)^2}{R}$$

2/2

Conclusion

- La houle est une onde mécanique caractérisée par une longueur d'onde.
-

<u>Il y a plusieurs modélisations qui peuvent simplifier le mouvement de la houle parmi lesquelles le modèle linéaire qui a fait l'objet d'étude</u>

- La production de l'électricité met en avant plusieurs systèmes et technologies comme les systèmes flottants (Palemis installés au cote du Portugal) ou même les système à corps oscillant (dispositifs d'Oyster).
  (puissance de 300 à 750 Watt)

- Le mouvement des vagues est une alternative précieuse qui augmente la production de l'électricité et réduit la pollution mais les technologies aboutissant à ce processus n'ont pas encore atteint leur totale efficacité

Annexes

```python
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

def func(t,y):
    H=0.05
    T=6
    L=58
    D=0.53
    z=-0.5
    return (H/(np.pi)*T)*(np.cos(2*np.pi*(-(t/T)+(y/L))*(np.cosh(2*np.pi*(D+z)/L)/np.sinh(2*np.pi*D/L))))
tf=50
n=100
t=np.linspace(0,tf,n+1)
h=tf/n
y=np.zeros(n+1)
y[0]=0.05
for i in range(0,n):
    y[i+1]=y[i]+h*func(t[i],y[i])
plt.plot(t,y)
plt.grid()
plt.show()
```

```python
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from math import sin
from math import cos
def a(alpha, Omega, P_lev):
    if alpha * ( Omega**2 ) < P_lev:
        return alpha * Omega
    else:
        return ( P_lev ) / Omega

def g(theta):
    return 28*sin(theta)
def h(theta,t):
    return 3.3*(10**(-7))*cos(theta)*cos(2.6*t)

def F(t,theta, omega):

    f=h(theta,t)-g(theta)-(a(alpha, omega, P_lev)/(3.0*(10**7)))

    return f



def Euler(t0,tf,theta0,omega0,n) :
    T=np.linspace(t0,tf,n+1)
    h=(tf-t0)/n
    theta=theta0
    omega=omega0
    THETA=[theta0]
    OMEGA=[omega0]


    for i in range(n):
        theta+=h*omega

        omega+=h*F(T[i],theta, omega)

        THETA.append(theta)
        OMEGA.append(omega)

    return THETA,T
```

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
gamma = 1.
distance = 10.
beta = 1.
lambda1 = 10**(-7) * 0.5 / 3
J = 3 * 10**7
omega0 = 1.5
omega = np.linspace(0.01,2.6,num = 100)
def fonction(gamma, distance, beta, omega,omega0, lambda1, J, i):

    return 0.5 * gamma * ( distance * beta / J )**2  * (1/omega0**2) / ( (lambda1/omega0)**2 + (omega0/omega[i] - omega[i]/omega0) )
liste = []
for i in range(len(omega)):
    liste.append( fonction(gamma, distance, beta, omega,omega0, lambda1, J, i) )
liste = np.array(liste)
plt.plot(omega, abs( liste))
plt.xlabel("omega")
plt.ylabel("Puissance")
plt.title("Tracage de la puissance")
plt.grid()
```

- 1 : https://www.quelleenergie.fr/magazine/economies-energie/baisse-production-electrique-chauffage-bois-50328/
- 2:https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fwww.meretmarine.com%2Fobjets%2F14342.jpg&imgrefurl
- 3: https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/energie-houlomotrice-ou-energie-des-vagues
- 4,6: https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/energie-houlomotrice-ou-energie-des-vagues
- 7: https://www.youtube.com/watch?v=BbrFQfnnWqE