

La protection des infrastructures contre les séismes par diffraction des ondes sismiques

Rayan Ben fkih n°42454

Les séismes, une problématique majeure concernant les villes

Natori au Japon après le séisme de 2011



Source : Le devoir

Gaziantep en Turquie après le séisme du 6 février 2023



Source : L'ordre de Malte

On peut se poser deux questions qui sont à l'origine de ce TIPE :

Est-ce que la diffraction des ondes permettra une amélioration de la protection des infrastructures contre les séismes ?

Et comment diffracter les ondes sismiques afin de protéger les infrastructures ?

I - Qu'est-ce qu'un séisme

- a) Causes d'un séisme
- b) Les différentes ondes sismiques

II- Diffraction des ondes sismiques

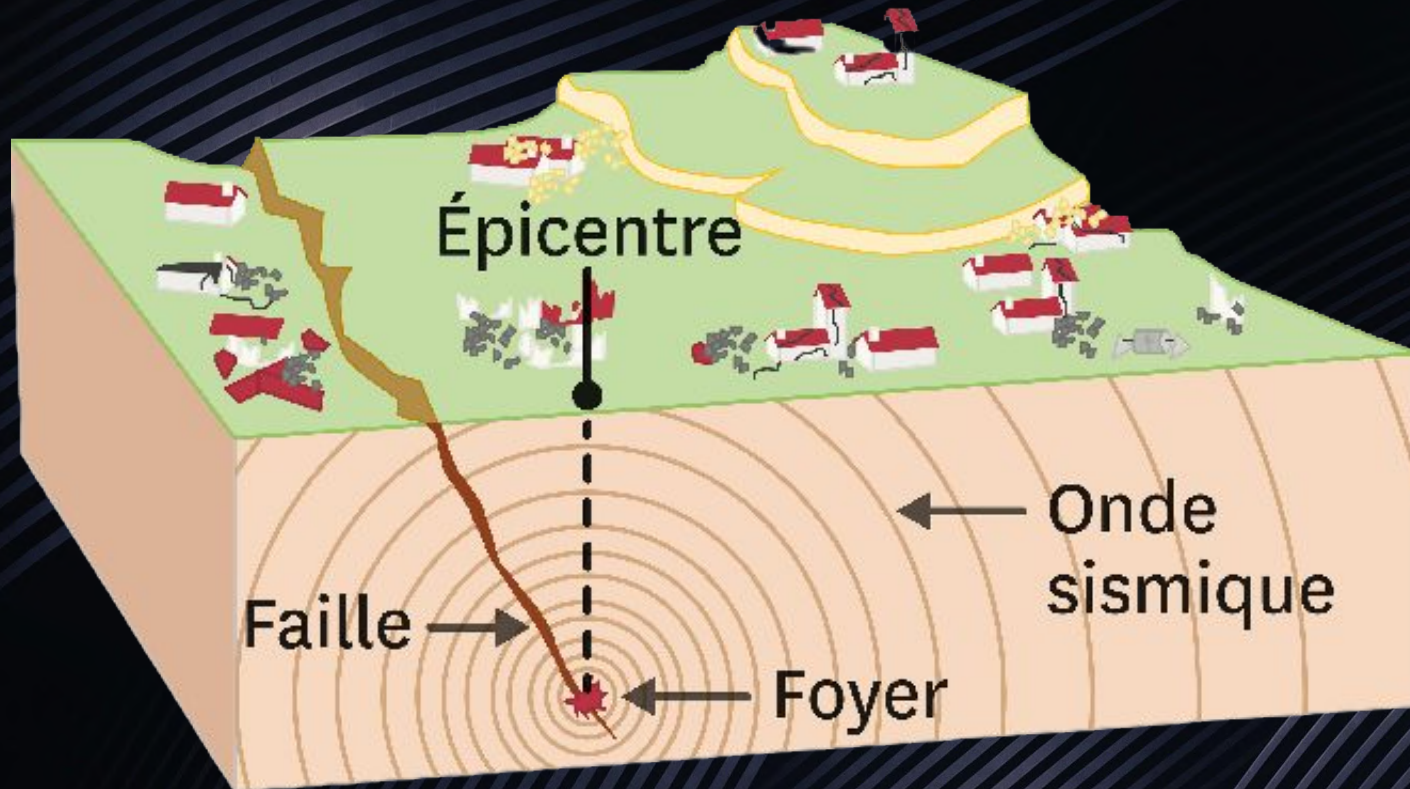
- a) Atténuation des ondes sismiques par diffraction
- b) Cuve à onde
- c) Cape d'invisibilité
- d) Projets en cours
- e) écran antisismiques

III - Expérience de l'aquarium à vague

- a) Objectifs de l'expérience
- b) Réalisation
- c) Résultats et analyse
- d) Informatique

a) Causes d'un séisme

5/25



Source : Lelivrescolaire.com

I- Qu'est-ce qu'un séisme ?

II- Diffraction des ondes sismiques

III - Expérience de l'aquarium à vague

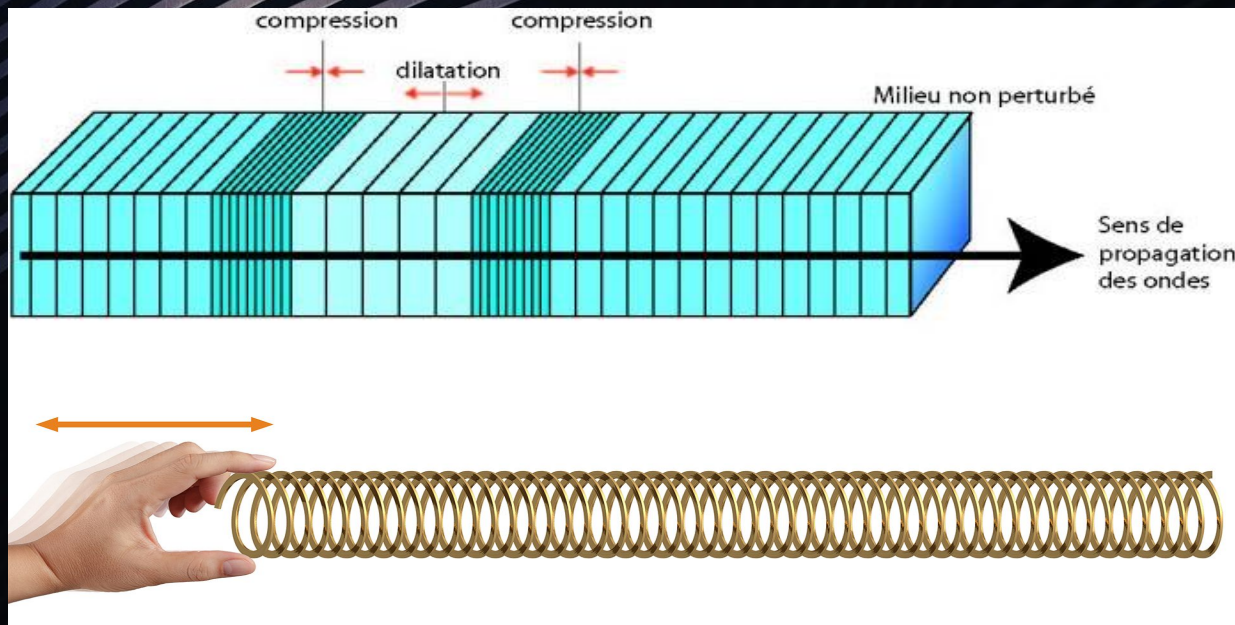
b) Les différentes ondes sismiques

6/25

Les ondes de volume:

- Ondes de volume P :

Les ondes se déplacent parallèlement à leur direction de propagation



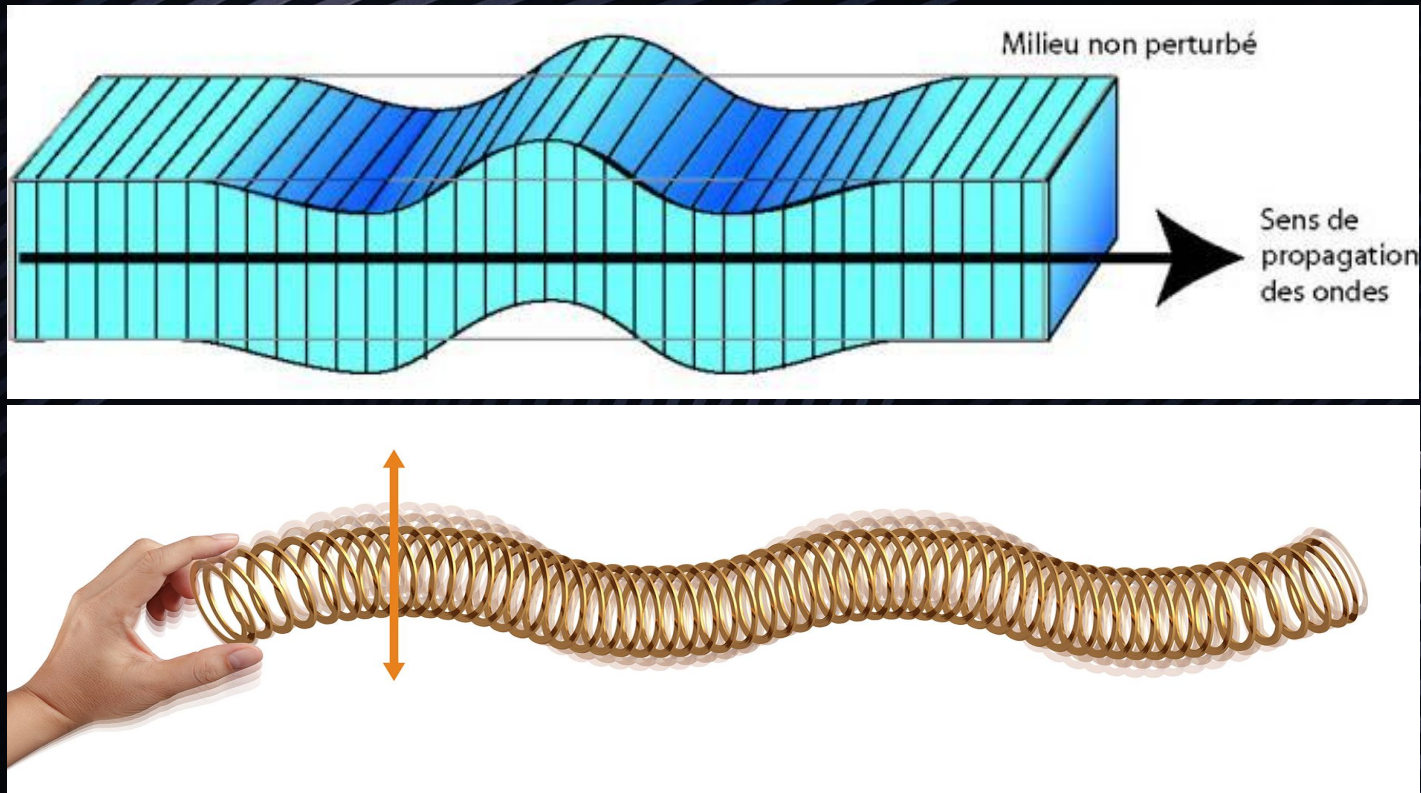
I- Qu'est-ce qu'un séisme ?

II- Diffraction des ondes sismiques

III - Expérience de l'aquarium à vague

- Ondes de volume S :

Se déplacent perpendiculairement à leur direction de propagation



I- Qu'est-ce qu'un séisme ?

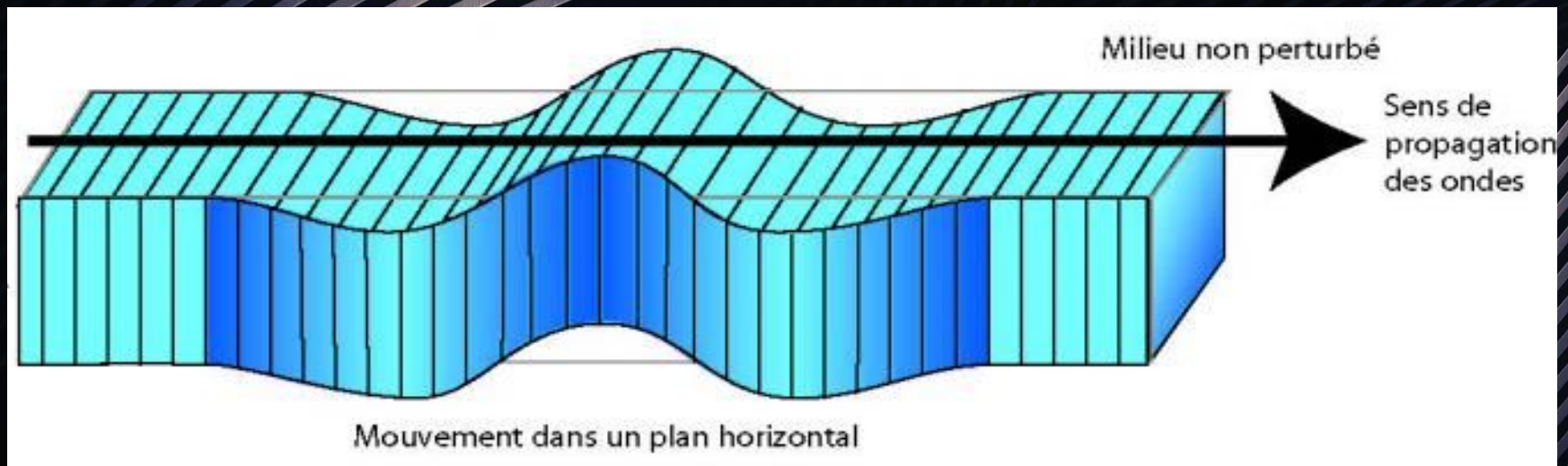
II- Diffraction des ondes sismiques

III - Expérience de l'aquarium à vague

Onde de surface :

- Ondes de surface L :

Vibration horizontale par rapport au sol



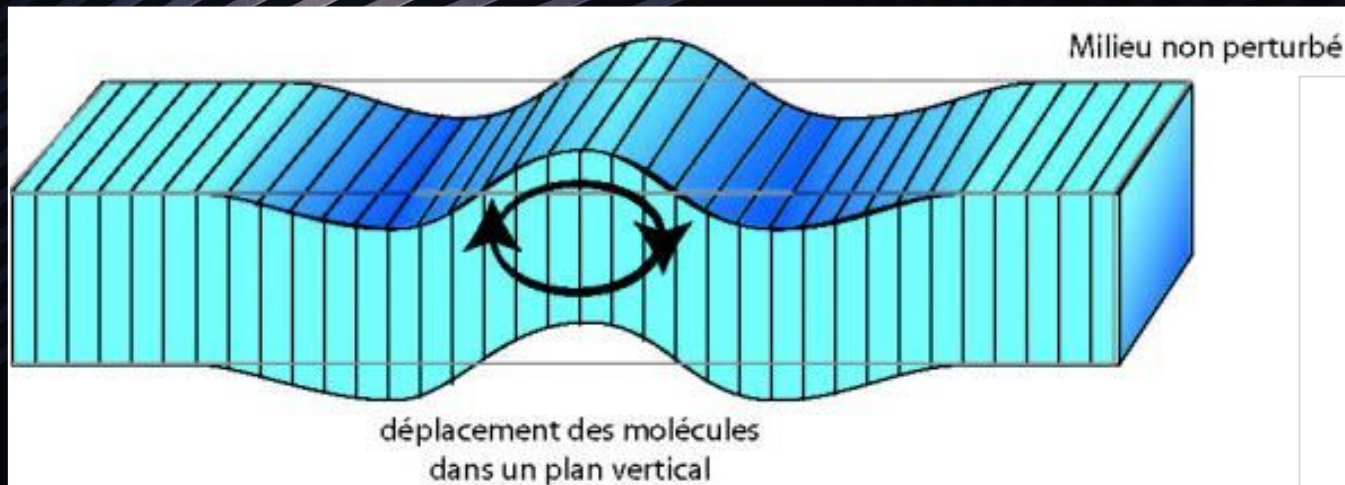
I- Qu'est-ce qu'un séisme ?

II- Diffraction des ondes sismiques

III - Expérience de l'aquarium à vague

- Ondes de surface R :

Vibration avec un mouvement elliptique dans le plan vertical



I- Qu'est-ce qu'un séisme ?

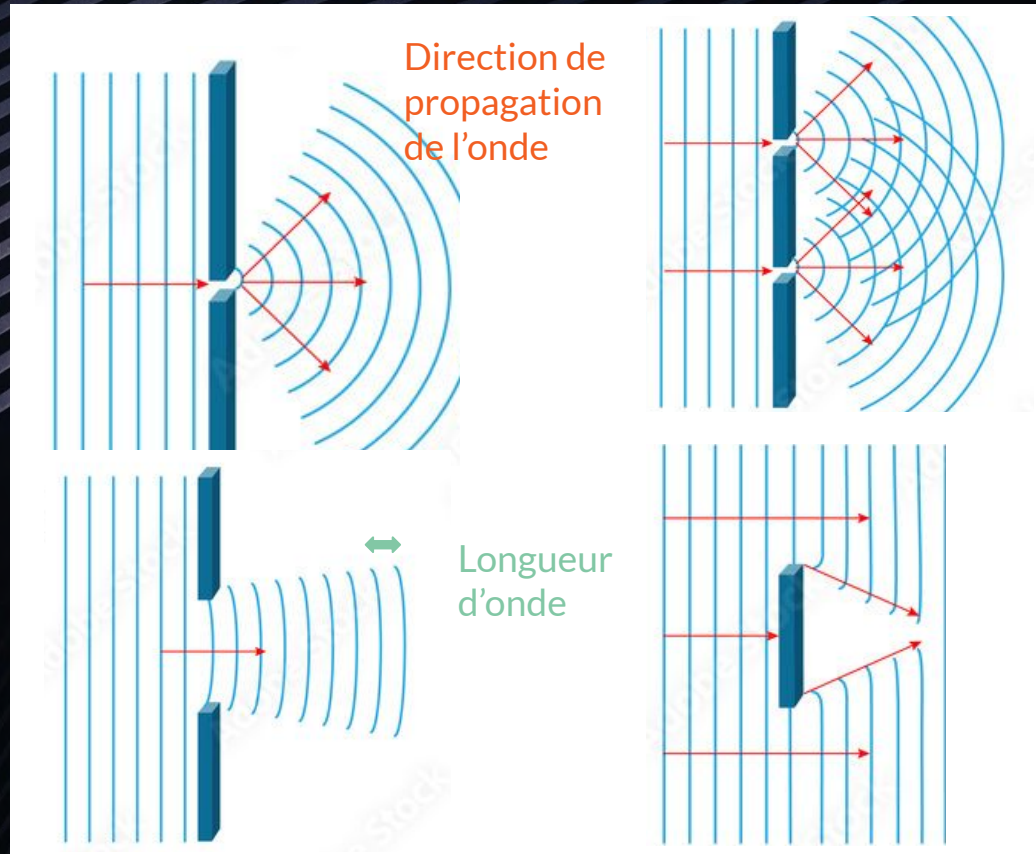
II- Diffraction des ondes sismiques

III - Expérience de l'aquarium à vague

a) Atténuation des ondes sismiques par diffraction

Longueur d'onde supérieure à la largeur de l'ouverture

Longueur d'onde inférieure à la largeur de l'ouverture



Interférence d'ondes

Longueur d'onde inférieure à la longueur de l'obstacle

Source: Science Ready

I- Qu'est-ce qu'un séisme ?

II- Diffraction des ondes sismiques

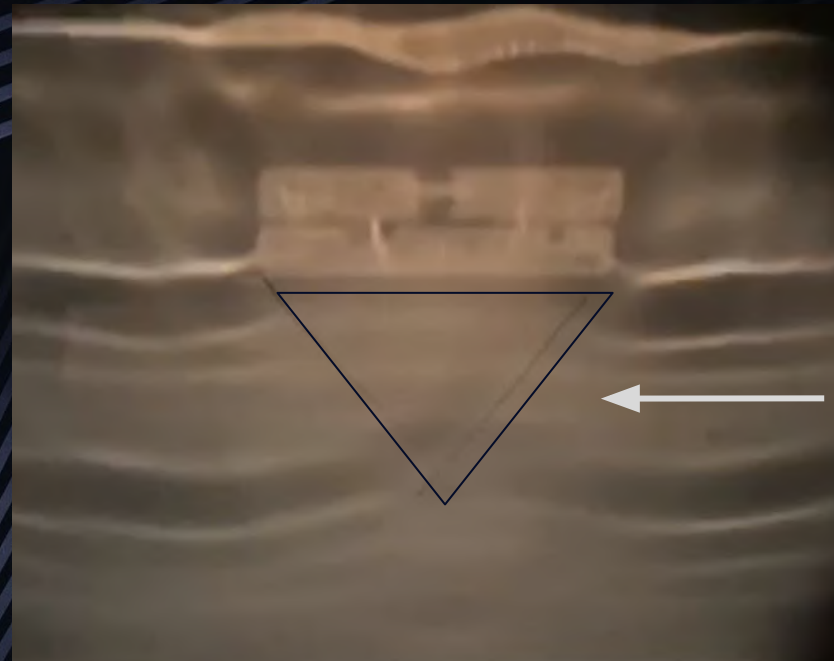
III - Expérience de l'aquarium à vague

b) Cuve à onde

Stroboscope :
dispositif qui
délivre des
flash
lumineux
périodiques

Générateur
d'ondes -
plan d'onde

Cuve à onde



Zone non
atteinte par
les ondes
planes

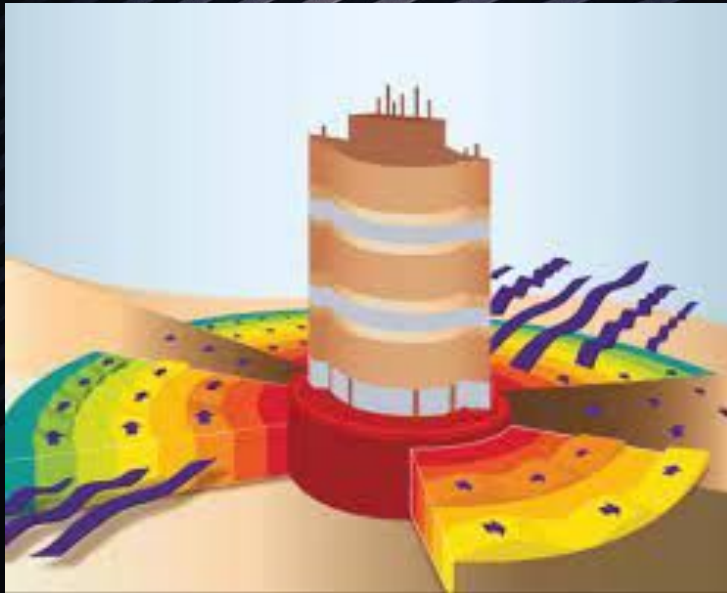
I- Qu'est-ce qu'un
séisme ?

II- Diffraction des
ondes sismiques

III - Expérience de
l'aquarium à vague

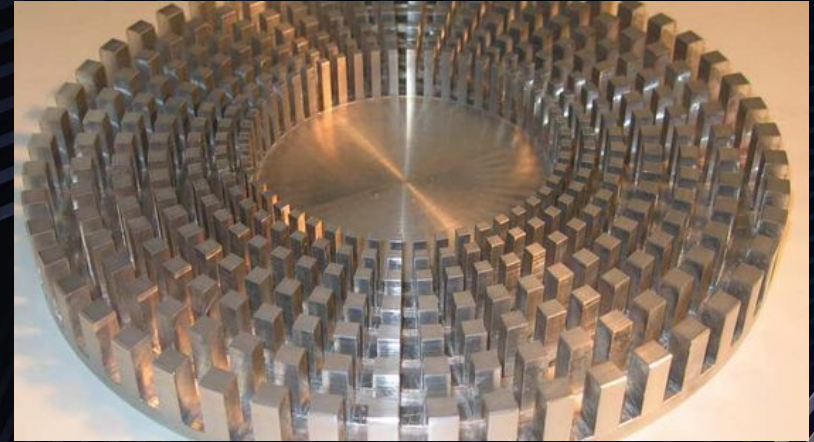
c) Cape d'invisibilité

Principe de la cape d'invisibilité



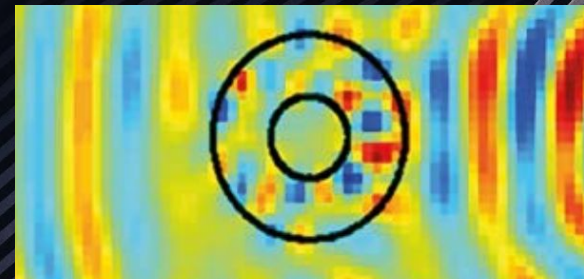
Infographie : CNRS

Prototype de cape d'invisibilité



CNRS - Institut Fresnel Photo : S. Enoch

Carte de champ expérimentale pour le champ magnétique



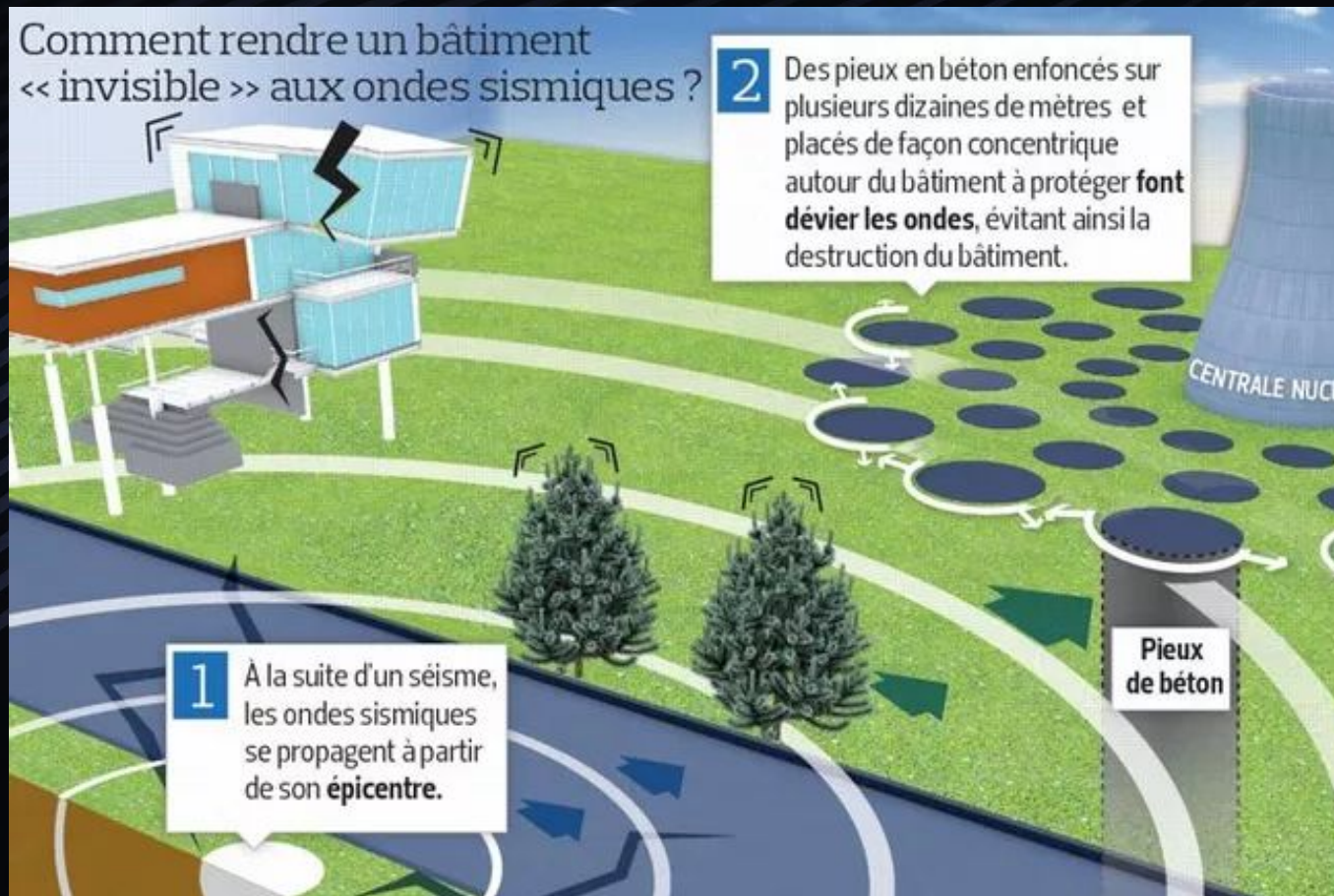
Source : R. Abdeddaim, Institut Fresnel

I- Qu'est-ce qu'un séisme ?

II- Diffraction des ondes sismiques

III - Expérience de l'aquarium à vague

d) Projets en cours



Infographie : CNRS

I- Qu'est-ce qu'un séisme ?

II- Diffraction des ondes sismiques

III - Expérience de l'aquarium à vague

e) Écran antisismiques



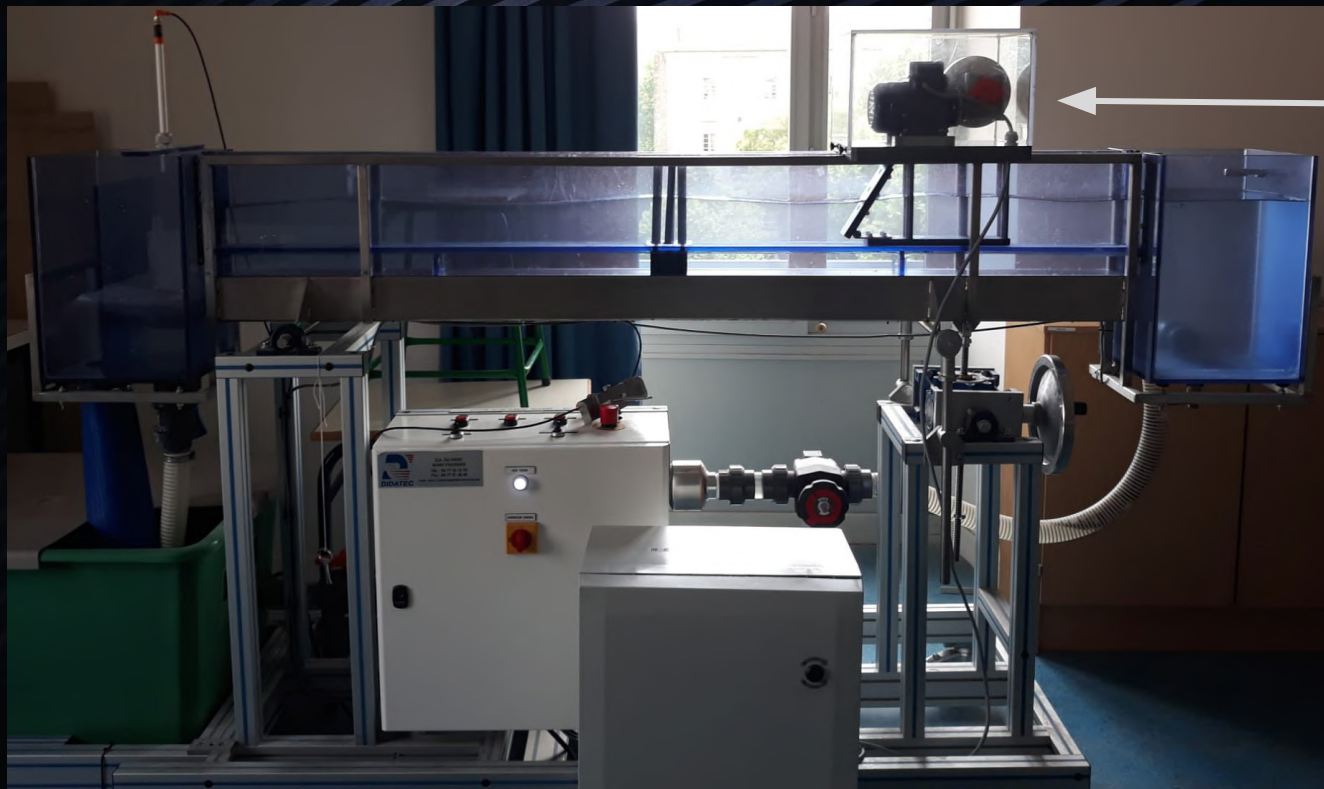
Expérience de Stefan Enoch, Sébastien Guenneau et leur équipe en collaboration avec l'équipe de Stéphane Brûlé, de la Société Ménard

I- Qu'est-ce qu'un séisme ?

II- Diffraction des ondes sismiques

III - Expérience de l'aquarium à vague

a) Objectifs de l'expérience



← Générateur de vagues

- analogie des ondes sismiques en vagues

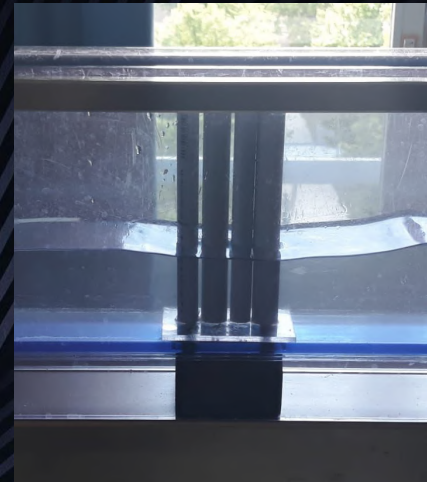
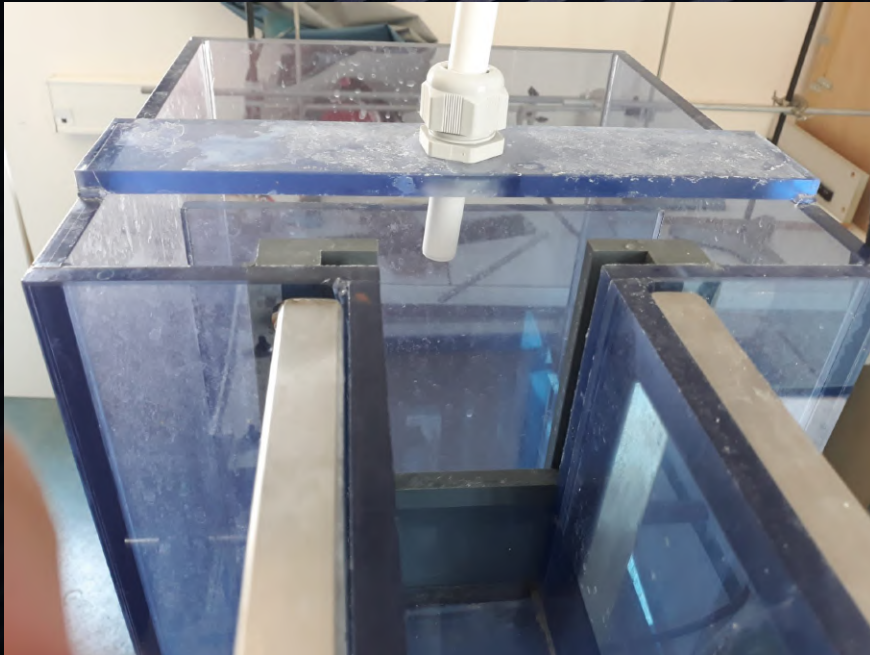
I- Qu'est-ce qu'un séisme ?

II- Diffraction des ondes sismiques

III - Expérience de l'aquarium à vague

b) Réalisation

16/25



I- Qu'est-ce qu'un séisme ?

II- Diffraction des ondes sismiques

III - Expérience de l'aquarium à vague

c) Résultats et analyse :

17/25

Configuration	Sans cylindres		
Volume en Litre récupéré	4,2	3,9	4,5
	3,7	3,8	4,6
	4,3	3,6	4,1
	3,8	4,3	4,4
Moyenne en L	4,1		
Incertitude type A de la moyenne en L	0,1		

I- Qu'est-ce qu'un séisme ?

II- Diffraction des ondes sismiques

III - Expérience de l'aquarium à vague

Configuration	Losange			18/ 25
Volume en Litre récupéré	3,2	4,1	2,7	
	3,8	3,5	3,6	
	2,8	3,1	3,5	
	2,8	3,2	3,4	
Moyenne en L	3,3			
Incertitude type A de la moyenne en L	0,1			
Pourcentage de la diminution de la quantité d'eau par rapport au cas sans cylindres :	20 %			

I- Qu'est-ce qu'un séisme ?

II- Diffraction des ondes sismiques

III - Expérience de l'aquarium à vague

Configuration	parallèle aux parois			19/ 25
Volume en Litre récupéré	4,5	3,9	4,2	
	3,8	3,5	3,8	
	4,1	3,5	4,4	
	3,7	4,3	3,6	
Moyenne en L	3,9			
Incertitude type A de la moyenne en L	0,1			
Pourcentage de la diminution de la quantité d'eau par rapport au cas sans cylindres :	5 %			

I- Qu'est-ce qu'un séisme ?

II- Diffraction des ondes sismiques

III - Expérience de l'aquarium à vague

Configuration	orthogonal aux parois			20/ 25
Volume en Litre récupéré	3,3	3,7	4,1	
	3,2	3,8	3,5	
	3,9	3,6	3,8	
	3,4	3,2	3,5	
Moyenne en L	3,6			
Incertitude type A de la moyenne en L	0,2			
Pourcentage de la diminution de la quantité d'eau par rapport au cas sans cylindres :	12 %			

I- Qu'est-ce qu'un séisme ?

II- Diffraction des ondes sismiques

III - Expérience de l'aquarium à vague

Condition	Taux de destruction	
	Sans protection	Avec protection
Magnitude = 5 Distance = 20km	50,28 %	40,69 %
Magnitude = 5 Distance = 50 km	22,11 %	17,42 %
Magnitude = 8 Distance = 20 km	80,24 %	64,83 %

I- Qu'est-ce qu'un séisme ?

II- Diffraction des ondes sismiques

III - Expérience de l'aquarium à vague

Conclusion

Mise en évidence d'une zone non atteinte par les ondes après l'obstacle avec la cuve à onde

Mise en évidence de la diminution des amplitudes des ondes avec des tubes dans une certaine configuration avec l'aquarium à vague

Solution mise en oeuvre par une équipe de chercheur dans la réalité à une moindre échelle

Annexe

Incertitude de type A :

$$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

Code informatique sans protection :

24/25

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

def simulate_destruction(magnitude, distance):
    # Paramètres empiriques
    magnitude_factor = 0.7 # Facteur d'influence de la magnitude
    distance_factor = 0.3 # Facteur d'influence de la distance

    # Calcul du taux de destruction
    destruction_rate = (magnitude * magnitude_factor) / (distance * distance_factor + 1)

    # Générer un nombre aléatoire entre 0 et 1 pour déterminer si le bâtiment est détruit
    random_number = np.random.random()

    if random_number <= destruction_rate:
        return True # Le bâtiment est détruit
    else:
        return False # Le bâtiment n'est pas détruit

# Paramètres du modèle
magnitude = 8 # Magnitude du séisme
distance = 20 # entre le bâtiment et l'épicentre (en kilomètres)
num_simulations = 10000 # Nombre de simulations

# Liste pour stocker les résultats des simulations
destruction_results = []

# Effectuer les simulations
for _ in range(num_simulations):
    destroyed = simulate_destruction(magnitude, distance)
    destruction_results.append(destroyed)

# Calculer le taux de destruction global
destruction_rate = np.mean(destruction_results) * 100 # Convertir en pourcentage

# Afficher les résultats
print(f"Taux de destruction moyen sur {num_simulations} simulations : {destruction_rate:.2f}%")
```



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

def simulate_destruction(magnitude, distance, protection_radius):
    # Paramètres empiriques
    magnitude_factor = 0.7 # Facteur d'influence de la magnitude
    distance_factor = 0.3 # Facteur d'influence de la distance

    # Calcul du taux de destruction
    destruction_rate = 0.8*(magnitude * magnitude_factor) / (distance * distance_factor + 1)

    # Vérifier si le bâtiment est protégé par le réseau de cylindres
    if distance <= protection_radius:
        destruction_rate *= 0,2 # Réduire le taux de destruction si le bâtiment est protégé

    # Générer un nombre aléatoire entre 0 et 1 pour déterminer si le bâtiment est détruit
    random_number = np.random.random()

    if random_number <= destruction_rate:
        return True # Le bâtiment est détruit
    else:
        return False # Le bâtiment n'est pas détruit

# Paramètres du modèle
magnitude = 8 # Magnitude du séisme
distance = 20 # Distance entre le bâtiment et l'épicentre (en kilomètres)
protection_radius = 10 # Rayon de protection du réseau de cylindres (en kilomètres)
num_simulations = 10000 # Nombre de simulations

# Liste pour stocker les résultats des simulations
destruction_results = []

# Effectuer les simulations
for _ in range(num_simulations):
    destroyed = simulate_destruction(magnitude, distance, protection_radius)
    destruction_results.append(destroyed)

# Calculer le taux de destruction global
destruction_rate = np.mean(destruction_results) * 100 # Convertir en pourcentage

# Afficher les résultats
print(f"Taux de destruction moyen sur {num_simulations} simulations : {destruction_rate:.2f}%")
```