

Nom: Prénom: Classe: Date:

La physique de la mer: observations depuis la plage de Reñaca

Objectifs

- Titrage avec suivi colorimétrique.
- Loi fondamentale de la statique des fluides.
- Onde mécanique progressive. Grandeurs physiques associées. Ondes mécaniques périodiques. Relation entre période, longueur d'onde et célérité.
- Énergie mécanique.

Classe

1^{ère} Spé

Durée

2 h

Cette sortie à la plage de Reñaca va nous permettre de revoir beaucoup de notions et définitions vues au cours de ce début d'année mais appliquées au domaine de la mer. Comme vous pourrez le voir, vous avez un laboratoire géant à côté du lycée.

Sur la paillasse

- 10 flacons de 250 mL avec bouchons;
- anémomètres,
- nitrate d'argent (2 comptes- gouttes),
- 10 tubes à essais,
- gants (une boîte),
- lunettes de sécurité (6 paires),
- 4 balances précises au dixième,
- 4 éprouvettes graduées de 100 mL,
- un bidon en plastique vide.

Document 1: Houle vs mer du vent

Pour décrire l'état de la mer, les marins distinguent la houle et la mer du vent. Par définition, la mer du vent est créée par le vent qui règne au lieu et à l'heure de l'observation. Par opposition, la houle a été créée par un vent qui n'est pas le vent présent :

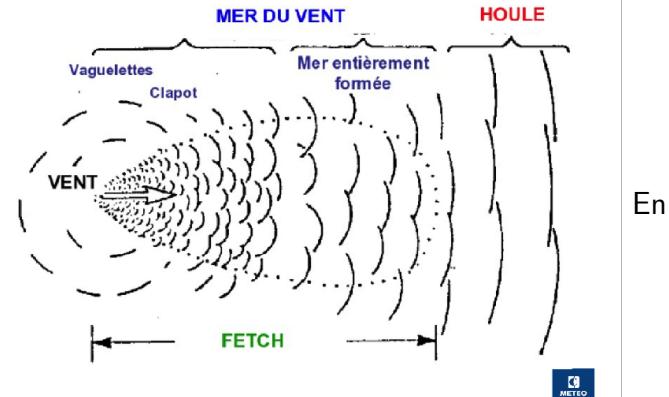
- soit qu'elle ait été engendrée ailleurs et qu'elle se soit propagée ;
- soit que le vent générateur ait cessé ou changé de direction.

Les vagues sont générées par le vent sur l'ensemble des mers du globe. Cette formation des vagues dépend :

- de la vitesse du vent ;
- du temps pendant lequel il souffle ;
- de la distance sur laquelle il souffle.

l'absence de vent les vagues continuent à se propager librement, c'est ce qu'on appelle la houle. Aux abords des côtes, ces vagues sont modifiées par la présence du fond et en particulier la rugosité du fond (rides, roches) qui peut être elle-même due aux vagues. Enfin les vagues déferlent sur la plage ou les hauts-fonds, récifs et autres, pour des profondeurs de 1 à 20 m, perdant toute leur énergie qui est en partie communiquée aux courants. Ces courants et les vagues sont responsables de l'essentiel des mouvements de sédiments sur les plages : érosion, formation de barres...

En pratique ces 4 zones peuvent se chevaucher, la "mer du vent" est souvent mêlée à la houle, et le vent peut souffler sur la zone de déferlement près de la plage, générant des vagues localement, près du rivage. La propagation des vagues est influencée par les courants et les variations du niveau d'eau, mais à leur tour les vagues modifient les courants et le niveau moyen de l'eau.



Document 2: Échelle de Beaufort

L'échelle de Beaufort est une échelle de mesure empirique, comportant 13 degrés (de 0 à 12), de la vitesse moyenne du vent sur une durée de dix minutes utilisée dans les milieux maritimes. Initialement, le degré Beaufort correspond à un état de la mer associé à une « fourchette » de la vitesse moyenne du vent. Même si, de nos jours, cette vitesse peut être mesurée avec une bonne précision à l'aide d'un anémomètre, il reste commode, en mer, d'estimer cette vitesse par la seule observation des effets du vent sur la surface de la mer.

ECHELLE DE BEAUFORT

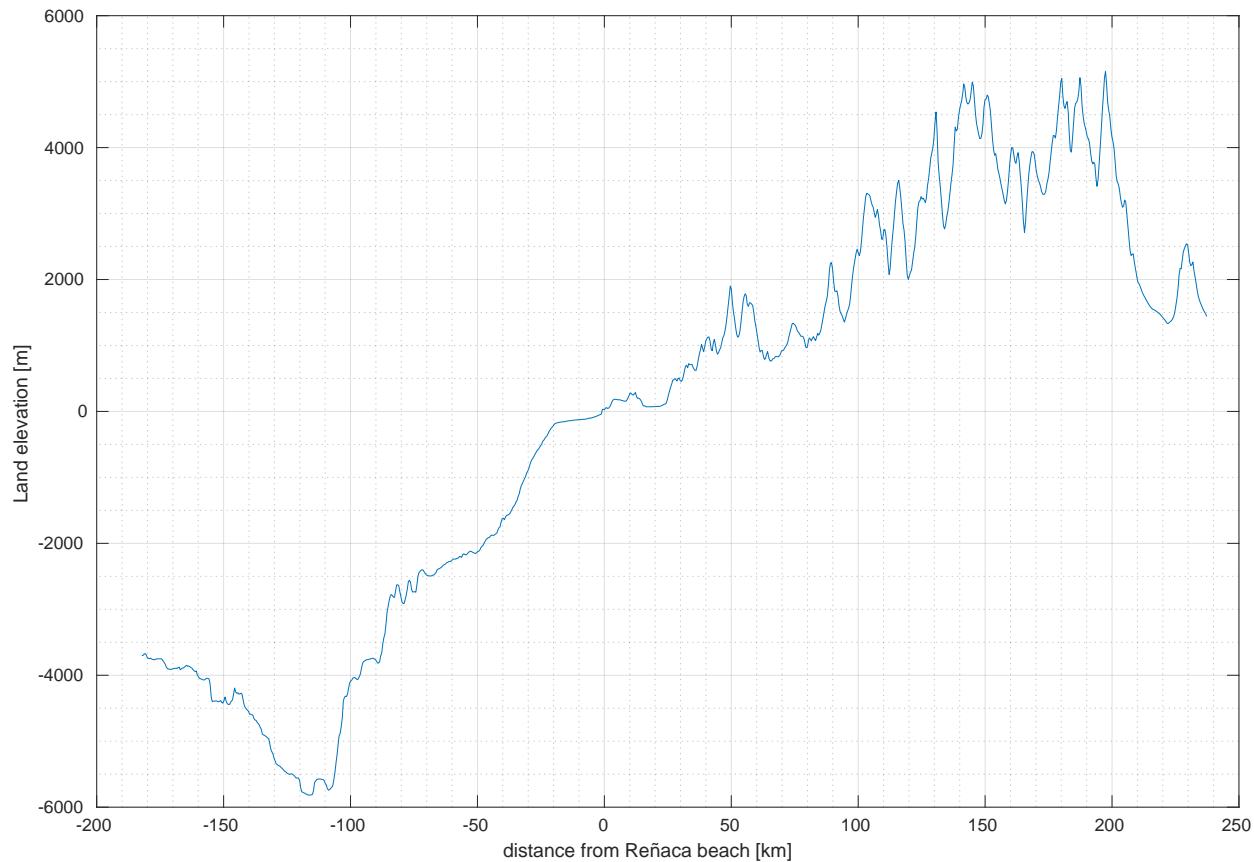
Force	Appellation	Vitesse du vent		Etat de la mer	Effets à terre
		nœud	km/h		
0	calme	1	1	Mer d'huile, miroir	La fumée monte droit
1	très légère brise	1 à 3	1 à 5	Mer ridée	La fumée indique la direction du vent,
2	légère brise	4 à 6	6 à 11	Vaguelettes	On sent le vent au visage Feuilles d'arbres s'agitent
3	petite brise	7 à 10	12 à 19	Petits moutons	Les drapeaux flottent
4	jolie brise	11 à 16	20 à 28	Nombreux moutons	Le sable s'envole
5	bonne brise	17 à 21	29 à 38	Vagues, embruns	Les branches des pins s'agitent
6	vent frais	22 à 27	39 à 49	Lames, crêtes d'écume étendues	Les fils électriques sifflent Vent sifflé dans oreilles
7	grand frais	28 à 33	50 à 61	Lames déferlantes	On peine à marcher contre le vent
8	coup de vent	34 à 40	62 à 74	Les crêtes des vagues partent en tourbillon d'écume	On ne marche plus contre le vent
9	fort coup de vent	41 à 47	75 à 88		
10	tempête	48 à 55	89 à 102	Les embruns obscurcissent la vue, on ne voit plus rien	Les enfants de moins de 12 ans volent
11	violente tempête	56 à 63	103 à 117		
12	ouragan	64 et plus	118 et plus		

Il existe une formule permettant de calculer avec une bonne approximation la vitesse du vent à partir du degré Beaufort. La formule de base a été établie par des mesures aux îles Scilly et reconnue internationalement en 1947 par la conférence météorologique de Toronto; la hauteur de mesure de la vitesse du vent étant normalisée à 10 m, la vitesse du vent est:

$$v = 1.62B^{\frac{3}{2}} \text{ avec } v \text{ la vitesse du vent en nœuds, et } B \text{ en Beaufort. Note: } 1 \text{ nœud} = 1,852 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$$

Document 3: Profile bathymétrique et du relief

La latitude, au niveau du milieu de la plage de Reñaca est d'environ -32.9697° . On peut tracer le profile bathymétrique, c'est-à-dire la profondeur de l'océan, ainsi que l'altitude du relief terrestre en fonction de la distance depuis la plage de Reñaca le long de cette latitude (Source: <https://download.gebco.net/>).



1 La houle: une onde mécanique

1. Décrire l'amplitude des vagues observée depuis la plage ainsi que son aspect visuel. D'après l'échelle de Beaufort, quel est l'état de la mer aujourd'hui ?

Solution: Les vagues ont une amplitude d'environ 0,5 m à 1 m. Elles sont régulières et déferlent sur la plage avec des crêtes blanches. D'après l'échelle de Beaufort, cela correspond à un état de mer 3-4 (petite houle à houle modérée) avec un vent de force 3-4 Beaufort (petite brise à jolie brise).

2. Si la vitesse du vent sur la plage est suffisante, mesurer la vitesse du vent à l'aide d'un anémomètre, et vérifier

que l'échelle de Beaufort est respectée. Si ce n'est pas le cas, on émettra des hypothèses quant à la différence observée.

Solution: Vitesse mesurée : $15 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = 8,1 \text{ noeuds}$. D'après la formule $v = 1.62B^{3/2}$, cela correspond à un degré Beaufort de 2-3. Si l'état de la mer ne correspond pas, cela peut être dû au fait que la mesure se fait sur la plage et non en mer, ou que le vent local vient de changer d'intensité.

3. En quoi la houle, telle qu'observée depuis la plage de Reñaca, est-elle une onde mécanique ? La décrire en utilisant (en partie ou totalement) les mots clefs suivant: perturbation, onde progressive, transversal, longitudinal, périodique.

Solution: La houle est une onde mécanique car elle correspond à une perturbation qui se propage dans un milieu matériel (l'eau de mer) sans transport de matière. C'est une onde progressive qui se déplace vers la côte, transversale et longitudinale car les particules d'eau oscillent verticalement et horizontalement, tandis que l'onde se propage horizontalement. Elle est périodique car les vagues se succèdent à intervalles de temps réguliers.

4. On cherche à mesurer la période de la houle. Pour cela, on comptera le nombre de vagues d'amplitude du même ordre de grandeur qui déferlent sur la plage pendant 30 s, 1 min, et 2 min. Expliquer la méthode de calcul de cette période et indiquer quel est la durée qui permet d'obtenir la mesure la plus précise.

Solution: $T = \frac{\text{durée de mesure}}{\text{nombre de vagues}}$. La mesure sur 2 min est la plus précise car elle permet de moyenner sur un plus grand nombre de vagues, réduisant ainsi l'incertitude relative. Plus la durée d'observation est longue, plus la mesure de la période est précise.

5. Dans le cas de l'hypothèse d'eau profonde, la longueur d'onde de la houle est reliée à la période selon l'expression suivante: $\lambda = \frac{gT^2}{2\pi}$. Calculer la longueur d'onde associée à la période précédemment calculée. Donnée: $g = 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. L'ordre de grandeur de la longueur d'onde est-il compatible avec ce qui est observé ? Pourquoi ?

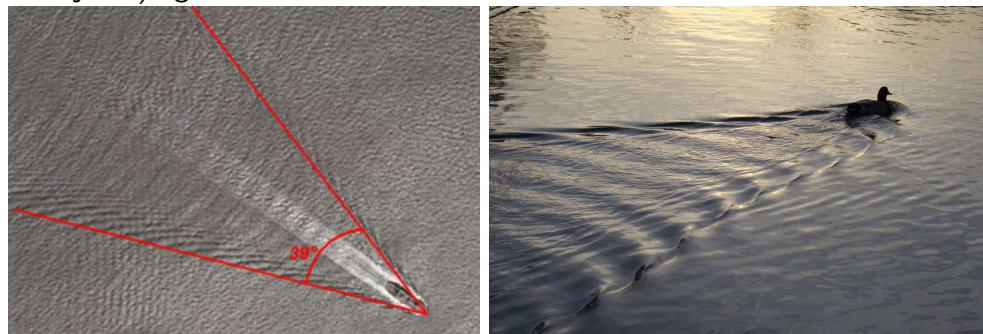
Solution: Si $T = 8 \text{ s}$ (période typique) :

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{gT^2}{2\pi} \\ &= \frac{9.81 \times 8^2}{2\pi} \\ &= \frac{9.81 \times 64}{2\pi} \\ &= 100 \text{ m}\end{aligned}$$

Cette longueur d'onde de 100 m est compatible avec l'observation : on peut effectivement observer plusieurs dizaines de mètres entre les crêtes successives des vagues au large. **Elle semble cependant surévaluée: la différence peut s'expliquer par le fait que la formule est valide dans le cas d'une eau profonde ce qui n'est pas le cas pour les mesures faites pour des vagues proches de la plage.**

2 Fun fact: Sillage de Kelvin

Le sillage est la trace marquant le passage d'un bateau dans un liquide ou d'un avion dans l'air. Le passage d'un bateau ou d'un oiseau aquatique à la surface d'une eau calme produit des ondes de gravité qui forment un motif caractéristique appelé **sillage de Kelvin**. Ce motif est bien particulier puisque l'angle formé par ce motif est (presque toujours) égal à 39°.



3 Masse volumique de l'eau

6. Décrire le protocole expérimental pour mesurer la masse volumique de l'eau de mer. Faire valider par le professeur.

Solution: Protocole :

- Mesurer la masse d'une éprouvette graduée vide : m_0 .
- Remplir l'éprouvette avec un volume connu d'eau de mer : $V = 100 \text{ mL}$.
- Mesurer la masse totale : m_{total} .
- Calculer la masse d'eau : $m_{eau} = m_{total} - m_0$.
- Calculer la masse volumique : $\rho = \frac{m_{eau}}{V}$.

7. Mesurer la masse volumique de l'eau de mer en appliquant le protocole précédent.

Solution: Exemple de résultat :

$$m_0 = 85,2 \text{ g}, m_{total} = 187,5 \text{ g}, V = 100 \text{ mL}$$

$$m_{eau} = 187,5 - 85,2 = 102,3 \text{ g}$$

$$\rho = \frac{102,3}{100} = 1,023 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} = 1023 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Cette valeur est supérieure à celle de l'eau pure ($1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) en raison de la présence de sels dissous.

4 Salinité

8. Quel est le sel majoritaire présent dans l'eau de mer ? Donner sa formule chimique sous sa forme solide et dissoute.

Solution: Le sel majoritaire dans l'eau de mer est le chlorure de sodium.

Forme solide : NaCl

Forme dissoute : $\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})}$

9. Le test de l'ion chlore donne un précipité blanc lorsque du nitrate d'argent rentre en contact avec l'ion chlorure. Vérifier la présence de l'ion chlorure.

Solution: Test à réaliser : Dans un tube à essais, introduire quelques millilitres d'eau de mer et ajouter quelques gouttes de solution de nitrate d'argent AgNO_3 .

Observation attendue : Formation immédiate d'un précipité blanc de chlorure d'argent AgCl , qui noircit à la lumière.

Équation : $\text{Ag}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})} \longrightarrow \text{AgCl}_{(\text{s})}$

10. Peut-on déterminer au laboratoire la salinité de l'eau de mer à Reñaca ? Dans le doute, prélever 250 mL d'eau de mer dans cet objectif.

Le reste du TP est à effectuer une fois que les manipulations des parties précédentes sont finies.

5 Aspects énergétiques

11. La houle, comme toute onde mécanique, transporte de l'énergie. Détailler les deux principaux types d'énergie la constituant.

Solution: La houle transporte deux types d'énergie mécanique :

- **Énergie cinétique** : liée au mouvement des particules d'eau qui oscillent.
- **Énergie potentielle de pesanteur** : liée aux variations d'altitude de la surface de l'eau (crêtes et creux des vagues).

Ces deux formes d'énergie s'échangent périodiquement au passage de l'onde.

6 Calcul de pression

12. Dans le document 3, on donne le profile bathymétrique et du relief terrestre le long de la latitude -32.9697° . Indiquer sur le profile où se situe la cordillera de la costa et la cordillère des Andes.

Solution: En observant le profil depuis la plage de Reñaca vers l'est:

- La **Cordillera de la Costa** correspond au premier relief, situé à environ 50 km à l'est de la côte, avec une altitude jusqu'à 2000 m.
- La **Cordillère des Andes** correspond au relief principal, situé à partir de 100 km à l'est, avec des altitudes dépassant 3000 m.

13. Calculer la différence de pression entre la surface libre et le fond de la fosse marine (point le plus profond), lieu où la plaque Nazca passe sous la plaque sud-américaine.

Solution: D'après le profil, la profondeur maximale est d'environ 5750 m. Loi fondamentale de la statique des fluides : $\Delta P = \rho g h$

$$\Delta P = \rho_{eau\ mer} \times g \times \Delta z$$

$$\begin{aligned} P_{\text{fond}} &= P_{\text{atm}} + \rho_{eau\ mer} \times g \times (z_{\text{plage}} - z_{\text{fond}}) \\ &= 1,013 \times 10^5 \text{ Pa} + 1023 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \times 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} \times (0 \text{ m} - (-5750 \text{ m})) \\ &= 1,013 \times 10^5 \text{ Pa} + 1023 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \times 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} \times 5750 \text{ m} \end{aligned}$$

$$P_{\text{fond}} = 5,78 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$P_{\text{fond}} = 5,78 \times 10^2 \text{ bar}$$

La pression au fond de la fosse est environ 600 fois supérieure à la pression atmosphérique !

7 Température

14. Quel effet (physique) a le réchauffement climatique sur les océans ? Citer deux causes à cet effet.

Solution: Effet principal : Le réchauffement climatique provoque une **dilatation thermique** des océans, contribuant à l'élévation du niveau des mers. **Deux causes :**

- **Fonte des glaces continentales** (glaciers, calottes glaciaires) qui ajoute de l'eau aux océans.
- **Dilatation thermique de l'eau** : l'eau se dilate quand sa température augmente, augmentant le volume total des océans.

8 Bonus: Déferlement des vagues

15. Comment le front d'onde de la houle est il orienté par rapport à la plage ?

Solution: Le front d'onde de la houle arrive généralement **parallèlement à la côte** au moment du déferlement, même si au large il peut arriver avec un angle différent. Ce phénomène s'appelle la **réfraction des vagues**.

16. La célérité d'une onde en eau peu profonde est donnée par la relation suivante: $c = \sqrt{gh}$, où c est la célérité, g l'accélération de la gravité et h la profondeur d'eau. Expliquer le phénomène décrit dans la question précédente en comparant les vitesses de propagation de l'onde pour des vagues proches et éloignées du littoral.

Solution: D'après $c = \sqrt{gh}$, la célérité diminue quand la profondeur h diminue près de la côte.

Les parties du front d'onde qui arrivent en premier en eau peu profonde ralentissent, tandis que celles en eau plus profonde continuent à la même vitesse. Cela provoque une **rotation du front d'onde** qui tend à s'aligner parallèlement à la côte.