

Vérification de l'équation de Bernoulli

Auteur : Fabrice Maquère

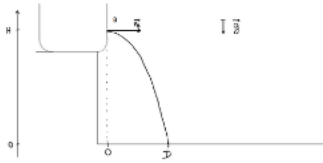
Niveau (Thèmes)	Tale Spécialité – Mécanique des fluides
Introduction	<p>Cette activité expérimentale a pour but de vérifier l'équation de Bernoulli. Pour cela, les élèves vont comparer de 2 mesures différentes de la vitesse d'écoulement en sortie d'un réservoir. La première mesure utilise la loi de Bernoulli, la seconde analyse le mouvement parabolique du jet d'eau.</p> <p>Les élèves sont invités à mettre en commun l'ensemble de leurs résultats expérimentaux ce qui permet par ailleurs de discuter des sources d'incertitudes et des limitations des lois utilisées.</p> <p>Cette expérience peut être réalisée à la maison ou en classe.</p>
Type d'activité	Activité expérimentale
Compétences disciplinaires	<p>Suivre un protocole</p> <p>Collecter des mesures et les organiser dans un tableau</p> <p>Effectuer un travail collaboratifs</p> <p>Transmettre des informations (données, photo)</p>
CRCN Compétences Numériques	<p>1. Information et données</p> <p> 1.2 Gérer des données</p> <p> 1.3 Traiter des données</p> <p>2. Communication et collaboration</p> <p> 2.1 Interagir</p> <p> 2.3 Collaborer</p> <p>3. Création de contenu</p> <p> 3.2 Développer des documents visuels et sonores</p> <p>5. Environnement numérique</p> <p> 5.2 Évoluer dans un environnement numérique</p>
Notions et contenus du programme	<p>Exploiter la relation de Bernoulli, celle-ci étant fournie, pour étudier qualitativement puis quantitativement l'écoulement d'un fluide incompressible en régime permanent.</p> <p>Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour étudier l'écoulement permanent d'un fluide et pour tester la relation de Bernoulli.</p>
Objectif(s) pédagogique(s)	<p>Travailler les compétences expérimentales dans une situation d'autonomie (à la maison).</p> <p>Travailler en collaborant : partage des trucs et astuces pour la partie expérimentale, mutualisation des résultats, échanges autour des conclusions</p> <p>Réflexion sur les incertitudes et les limites des modélisations</p>

Objectifs disciplinaires et/ou transversaux	Se familiariser avec la relation de Bernoulli. Revoir les équations du mouvement Réflexion sur les incertitudes et les limites des modèles
Description succincte de l'activité	Partie expérimentale : fabriquer un réservoir d'eau avec un écoulement bas à l'aide d'une bouteille en plastique puis lors de la vidange de ce réservoir, mesurer la hauteur d'eau dans la bouteille et la portée du jet. Partie théorique : calculer la vitesse du jet d'eau sortant <ul style="list-style-type: none"> • à l'aide de la relation de Bernoulli en fonction de la hauteur d'eau dans la bouteille • à l'aide des lois du mouvement en fonction de la hauteur de chute et de la portée du jet Partie exploitation / interprétation : mise en commun des résultats à l'aide d'un tableur collaboratif en ligne, conclusion puis discussion autour des sources d'erreurs possibles A chaque étape, des tests auto-évalués guident l'élève dans ses réponses.
Découpage temporel de la séquence	Partie 1 : préparation de l'expérience, calculs préparatoires Partie 2 : réalisation de l'expérience Partie 3 : interprétations
Pré-requis	Lois du mouvement
Outils numériques utilisés/Matériel	Tableur (collaboratif si possible) Outil de communication et d'échange Outil permettant des tests autoévalués
Gestion du groupe Durée estimée	Ce découpage temporel prend en compte que le travail expérimental à la maison des élèves se fait à un rythme plus lent qu'en classe mais peut se faire en parallèle d'autres activités / d'autres chapitres. <ul style="list-style-type: none"> • Préparation de l'expérience à la maison, familiarisation avec la relation de Bernoulli, calculs préparatoires : 1 à 2 semaines • Réalisation de l'expérience et partages des résultats : 1 semaine • Bilan en classe : 30 minutes

Énoncé à destination des élèves

Version Moodle (archive téléchargeable)

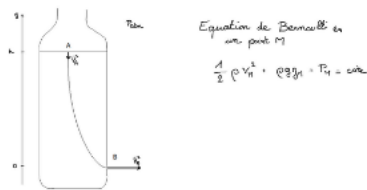
- TP-Spe-Bernoulli
- Participants
- Badges
- Compétences
- Notes
- Description de l'expérience
- Détermination de la vitesse de l'eau en B - équations du mouvement
- Détermination de la vitesse de l'eau en B - équation de Bernoulli
- Expérience et résultats
- Tableau de bord
- Accueil du site
- Calendrier
- Fichiers personnels
- Banque de contenus
- Mes cours
- Plus...



A l'aide de la 2e loi de Newton appliquée à une goutte d'eau, quelle est la vitesse en B en fonction de la hauteur de chute H et de la portée D du jet ?

Résolution pas à pas

Détermination de la vitesse de l'eau en B - équation de Bernoulli



Le but de cette partie est de calculer, après quelques questions préliminaires, la vitesse de l'eau en B en utilisant une ligne de fluide entre le point A (surface du liquide) et B (sortie basse de la bouteille).

L'équation de Bernoulli exprime qu'en tout point de cette ligne de courant, une grandeur (cf son expression ci-dessus) est constante. Notamment, sa valeur en A est égale à celle en B. Dans cette expression, P est la pression au point i, z l'altitude du point i, ρ la masse volumique du fluide, v la vitesse du fluide au point i et g l'accélération du champ de pesanteur.

Résolution pas à pas

Expérience et résultats

A l'aide de l'expérience décrite ci-dessus, remplir la bouteille d'eau et la laisser couler. Noter à intervalles réguliers les mesures h (hauteur d'eau dans la bouteille) et D (portée du jet d'eau). Saisir vos données dans le tableau ci-dessous.

g (m.s ⁻²)	Nom	H	D	v _B (m.s ⁻¹)	v _B (m.s ⁻¹)	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
9.81	Bernoulli	0.10	0.15	0.45	0.45	0.05	2.00								
9.81	Bernoulli	0.15	0.20	0.60	0.60	0.05	1.80								

Version Traitement de texte (fichier téléchargeable)

TP-TaleSpe
Vérification de la loi de Bernoulli

Plan :

- Description de l'expérience
- Détermination de la vitesse de l'eau en B - équations du mouvement
- Détermination de la vitesse de l'eau en B - équation de Bernoulli
- Expérience et résultats
- Pour aller plus loin

Description de l'expérience

Dans cette activité, nous allons vérifier la loi de Bernoulli sur les fluides incompressibles en mouvement. L'expérience consiste à créer un jet d'eau horizontal à la sortie d'un récipient et d'en calculer sa vitesse par 2 méthodes différentes : l'équation de Bernoulli d'une part, les équations horaires dans un champ de pesanteur uniforme d'autre part. Vérifier la loi de Bernoulli revient à vérifier l'égalité de ces deux mesures de la vitesse.

Une bouteille d'eau est percée dans sa partie basse. Elle est placée au-dessus d'un évier ou cuvette ou rebord extérieur. Pour utiliser l'équation de Bernoulli, il faut mesurer la hauteur de liquide au-dessus du trou latéral (mesure qui évolue au cours du temps). Pour utiliser les équations horaires de mécanique, il faut mesurer la hauteur de chute (constante dans l'expérience) et la portée du jet d'eau (mesure qui évolue au cours du temps).

Détermination de la vitesse de l'eau en B - équations du mouvement

A l'aide de la 2e loi de Newton appliquée à une goutte d'eau, quelle est la vitesse en B en fonction de la hauteur de chute H et de la portée D du jet ?

Résolution pas à pas

A partir de la 2^e loi de Newton, déterminer les coordonnées de l'accélération selon les axes horizontal et vertical (entourer la bonne réponse) :

a _x = ?	0	-g	g	0	v _x	g ²
a _y = ?	0	-g	g	g	v _y	g ²

A partir de l'expression de l'accélération et des conditions initiales, déterminer les coordonnées du vecteur vitesse (entourer la bonne réponse) :

v _x = ?	-gt	v _{0x}	v _{0x}	-gt	0	-gt/2
v _y = ?	-gt	v _{0y}	v _{0y}	-gt	0	-gt/2

A partir de l'expression de la vitesse et des conditions initiales, déterminer les coordonnées du vecteur position (entourer la bonne réponse) :

x = ?	v _{0x}	gt ²	gt + H	H	v _{0x} t	gt/2 + H
y = ?	v _{0y}	-gt ²	-gt + H	H	v _{0y} t	-gt/2 + H

Soit t le date où la goutte d'eau se trouve au point i, point qui permet de définir la portée du jet. Après avoir exprimé, en fonction de H et g (à l'aide de z), exprimer v_B en fonction de D, g et H en injectant l'expression de t dans l'expression de v_x. On obtient l'expression suivante (à compléter) :

$$v_B = \dots \times \frac{D}{2g \dots}$$

Retour d'expérience :

Les plus-value pédagogiques (enseignants/élèves) :

- Faire sortir la physique-chimie de la salle de TP : étude d'un phénomène naturel plus que d'un objet théorique d'enseignement
- Introduction à la médiation scientifique (présentation auprès des membres de sa famille)
- Travailler l'autonomie des élèves
- Entraînement des élèves à l'utilisation d'outils numériques, amélioration des compétences PIX

Les freins :

- Résultats parfois trop hétérogènes
- Trou de sortie bas laissant un petit morceau de plastique faisant office de clapet aléatoires
- Jet d'eau assez vite turbulent quand on s'éloigne de l'orifice de sortie d'où lecture de la portée du jet difficile
- Erreurs de parallaxe lors de la mesure de la portée du jet
- Investissement faible de quelques élèves qui ne se sentent pas concernés ou qui sont trop déstabilisés
- Difficultés pour suivre une protocole écrit en autonomie (malgré des photos d'illustration)
- Perte de charge importante avec l'écoulement au travers d'un trou droit dans une paroi mince

Les leviers :

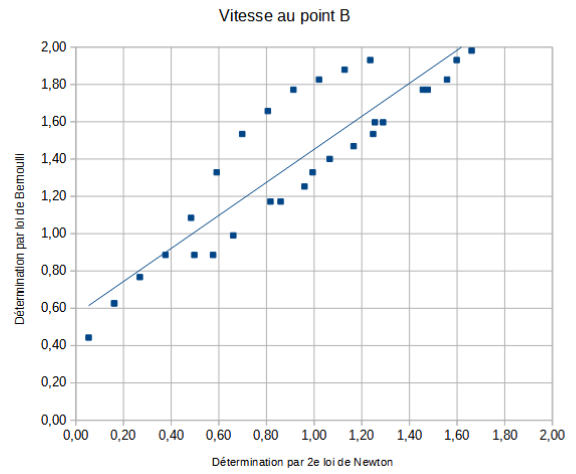
- Prévoir une séance intermédiaire de questions/réponses
- Imposer un planning stricte et faire comprendre que ses échéances sont du même ordre qu'un rendu de devoir
- Essayer de faire vivre l'entre-aide entre élèves, de jouer sur le côté ludique de l'expérience et la fierté d'avoir une jolie photo de son montage
- Toutes les difficultés de mesures sont des pistes de discussions autour de la notion d'incertitudes et de validité d'un modèle

Les pistes pour aller plus loin ou généraliser la démarche :

- Remplacer les photos du protocole par des vidéos tutorielles
- Prévoir un canevas de compte-rendu numérique que l'élève n'a plus qu'à compléter.
- Équiper l'orifice de sortie de la bouteille d'une sortie conique pour réduire fortement la perte de charge

Production d'élèves :

g (m.s ⁻²)	Nom élève	H (en cm)	h (en cm)	D (en cm)	v ₀ Newton	v ₀ Bernoulli
9,81						
		En vert, cellules où vous devez saisir vos données			En jaune, cellules à copier vers le bas	
Exemple		17	17	29	1,56	1,83
		17	9	18,5	0,99	1,33
Elève 1		9	20	22,5	1,66	1,98
		9	16	20	1,48	1,77
		9	12	16,9	1,25	1,53
		9	8	13	0,96	1,25
		9	4	7,8	0,58	0,89
Elève 2		17	13	24	1,29	1,60
		17	11	21,7	1,17	1,47
		17	7	16	0,86	1,17
		17	5	12,3	0,66	0,99
		17	2	3	0,16	0,63
Elève 3		3,5	19	13,5	1,60	1,93
		3,5	16	12,3	1,46	1,77
		3,5	13	10,6	1,25	1,60
		3,5	10	9	1,07	1,40
		3,5	7	6,9	0,82	1,17
		3,5	4	4,2	0,50	0,89
Elève 4		17	19	23	1,24	1,93
		17	18	21	1,13	1,88
		17	17	19	1,02	1,83
		17	16	17	0,91	1,77
		17	14	15	0,81	1,66
		17	12	13	0,70	1,53
		17	9	11	0,59	1,33
		17	6	9	0,48	1,08
		17	4	7	0,38	0,89
		17	3	5	0,27	0,77
Elève 6		17	2	3	0,16	0,63
		17	1	1	0,05	0,44
Elève 7						



Modélisation de la relation

Régression linéaire valide si le coefficient de corrélation est supérieur à 0,99
 coeff_correl = 0,9005

Equation de la droite
 $v(\text{Bernoulli}) = 0,89 \times v(\text{Newton}) + 0,57$