

# Fiche de présentation et d'accompagnement

Terminale Spécialité

Discipline(s) dominante(s) : Physique

Chapitre : Ecoulement d'un fluide en régime permanent

Nom de l'activité : TP Le déluge d'Ariane 6

Activité expérimentale

En binôme

Durée : 2 heures

## Programme officiel

Savoir	Savoir-faire
Écoulement d'un fluide en régime permanent. Débit volumique d'un fluide incompressible. Relation de Bernoulli.	Exploiter la relation de Bernoulli, celle-ci étant fournie, pour étudier qualitativement puis quantitativement l'écoulement d'un fluide incompressible en régime permanent.  <i>Mettre en oeuvre un dispositif expérimental pour étudier l'écoulement permanent d'un fluide et pour tester la relation de Bernoulli.</i>

## Compétences pouvant être évaluées au cours de l'activité

<input type="checkbox"/> S'approprier	<input checked="" type="checkbox"/> Analyser	<input checked="" type="checkbox"/> Réaliser	<input checked="" type="checkbox"/> Valider	<input type="checkbox"/> Communiquer
---------------------------------------	--	--	---	--------------------------------------

## Organisation de la séance et remarques :

Après avoir vérifié expérimentalement la formule de Torricelli, les élèves doivent ensuite estimer le débit volumique d'écoulement de l'eau déversée lors de la phase de lancement d'Ariane 6.

# TP : Le déluge d'Ariane 6

Terminale - Enseignement de spécialité PC

Compétences	S'APProprier	ANALyser	REALiser	VALider	COMmuniquer
Coefficient	0	2	2	2	0

**Thème :** Mouvement et interactions

**Objectifs :**

- Mettre en oeuvre un dispositif expérimental pour étudier l'écoulement permanent d'un fluide et pour tester la relation de Bernoulli.

## Le contexte

Lors du décollage du lanceur Ariane , on utilise d'énormes volumes d'eau pour :

- atténuer l'onde acoustique générée par le lancement et assurer ainsi la protection des charges utiles embarquées ;
- atténuer l'onde de surpression générée par le lancement et protéger les installations ;
- protéger la table de lancement et les carreaux des effets thermiques des jets du lanceur (car la température des flammes peut atteindre 3 000 °C) ;
- alourdir le nuage issu de la combustion du propergol des propulseurs et limiter les vibrations liées au bruit qui pourraient endommager les satellites.



Immédiatement après le décollage, plus de 500 m<sup>3</sup> d'eau sont ainsi déversés sur le pas de lancement. Cette phase se nomme : « le déluge ».

sources : <https://videothèque.cnes.fr/index.php?include=allFolders> et <http://www.cnes-csg.fr/web/CNES-CSG-fr/11443-faq.php?item=9090>

## Problématique

La hauteur du château d'eau et le diamètre des canalisations permettent-ils un « déluge » d'eau de débit suffisant pour assurer la protection des installations de la zone de lancement ELA 4 juste après l'allumage du moteur Vulcain d'Ariane 6 ?

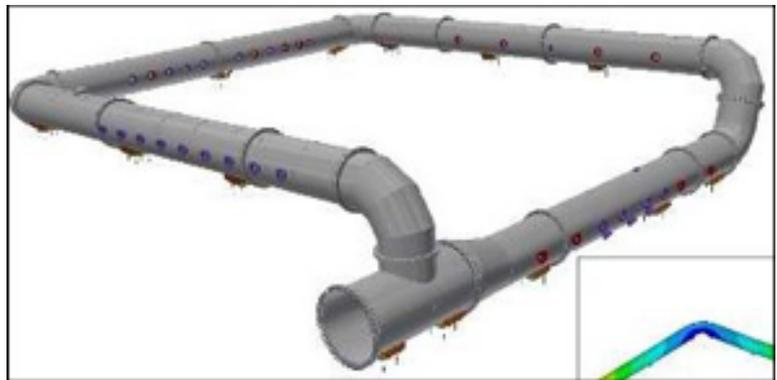
### **Doc n°1 : Les principales fonctions du déluge**

Le principe du déluge est de déployer une couverture liquide aussi dense que possible pour deux fonctions : protéger la table des effets directs du jet des EAP (risque d'endommagement thermomécanique, chimique, corrosion...) et atténuer le bruit en augmentant de façon artificielle la densité du milieu dans lequel se propage l'onde acoustique. On réduit ainsi la vitesse du jet par transfert de la quantité de mouvement de la phase gazeuse à la phase liquide, la puissance acoustique étant proportionnelle au cube de la vitesse d'éjection des gaz. Pour que le déluge soit efficace, il faut injecter un débit d'eau au moins deux fois supérieur à celui des gaz éjectés ; on peut ainsi monter jusqu'à 30 m<sup>3</sup>/s. Le timing d'ouverture des vannes déluge est très précis.

source : [http://www.capcomespace.net/dossiers/espace\\_europeen/CSG/ELA3/zone\\_lancement.htm](http://www.capcomespace.net/dossiers/espace_europeen/CSG/ELA3/zone_lancement.htm)

### **Doc n°2 : ELA 4, le nouveau site de lancement d'Ariane**

Ci-dessous, le château d'eau juste après sa construction et la pose de la canalisation principale. Le diamètre de la canalisation principale est de 2 m. La hauteur du château d'eau (90 m) assure une pression d'au moins 10 bars. En 4 secondes, le déluge équivaut à  $\frac{2}{3}$  du volume d'une piscine olympique, soit 1000 m<sup>3</sup>. Le château assure aussi le lavage du pad après le lancement (massif, table, mat et portique), le remplissage de la piscine et le réseau de noyage du moteur Vulcain.



Ci-dessus à droite, la canalisation de 2 m qui entoure le massif. Elle alimente les différentes buses aussi bien pour les carnaux (16 buses réparties sous la table), la fosse du Vulcain et la table elle-même avec 2 systèmes, un adossé au mât (16 buses) et devant les palettes (2 x 5 buses).

source : [http://www.capcomespace.net/dossiers/espace\\_europeen/CSG/ELA4/ELA4\\_2018.htm](http://www.capcomespace.net/dossiers/espace_europeen/CSG/ELA4/ELA4_2018.htm)

### Doc n°3 : Relation de Bernoulli

La relation de Bernoulli exprime la conservation d'énergie entre deux points d'un même fluide.  
Elle s'écrit :

$$\frac{\rho v_A^2}{2} + \rho g z_A + p_A = \frac{\rho v_B^2}{2} + \rho g z_B + p_B$$

où  $\rho$  est la masse volumique du fluide en ( $\text{kg.m}^{-3}$ )  
 $g$  est l'intensité du champ de pesanteur :  $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$   
 $v_A$  est la vitesse du fluide au point A (en  $\text{m.s}^{-1}$ )  
 $z_A$  est l'altitude au point A (en m)  
 $p_A$  est la pression au point A (en Pa)

Attention ! Cette relation n'est valable sous cette forme que dans les conditions suivantes :

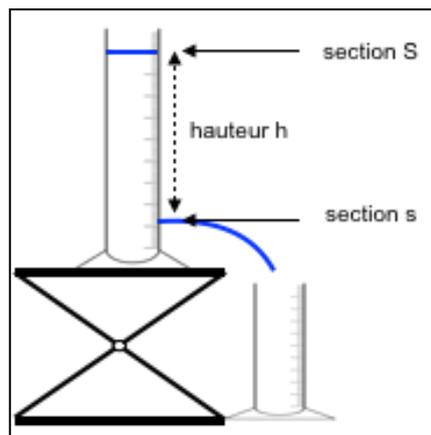
- on considère un fluide non visqueux de masse volumique constante ;
- l'écoulement est laminaire (non turbulent) et se déroule dans un champ de pesanteur uniforme ;
- la vitesse en un point du fluide est indépendante du temps (régime permanent).

### Doc n°4 : Comment mesurer la vitesse d'un écoulement ?

En 1643, Torricelli a établi que le carré de la vitesse d'écoulement d'un fluide sous l'effet de la pesanteur est proportionnel à la hauteur de fluide située au-dessus de l'ouverture par laquelle il s'échappe du cylindre qui le contient :

$$v^2 = 2 \times g \times h$$

où  $v$  est la vitesse d'écoulement du fluide (en  $\text{m.s}^{-1}$ )  
 $h$  est la hauteur du fluide (en m)  
 $g$  est l'intensité du champ de pesanteur (en  $\text{m.s}^{-2}$ )



A partir du dispositif expérimental ci-dessus, d'un chronomètre, et en utilisant la conservation du débit volumique  $Q$ , on peut, connaissant les surfaces des sections  $S$  et  $s$ , mesurer la vitesse d'écoulement  $v$  en fonction de la hauteur  $h$ .

Conservation du débit volumique :  $Q = S_1 \times v_1 = S_2 \times v_2 = \text{constante}$

## Matériel :

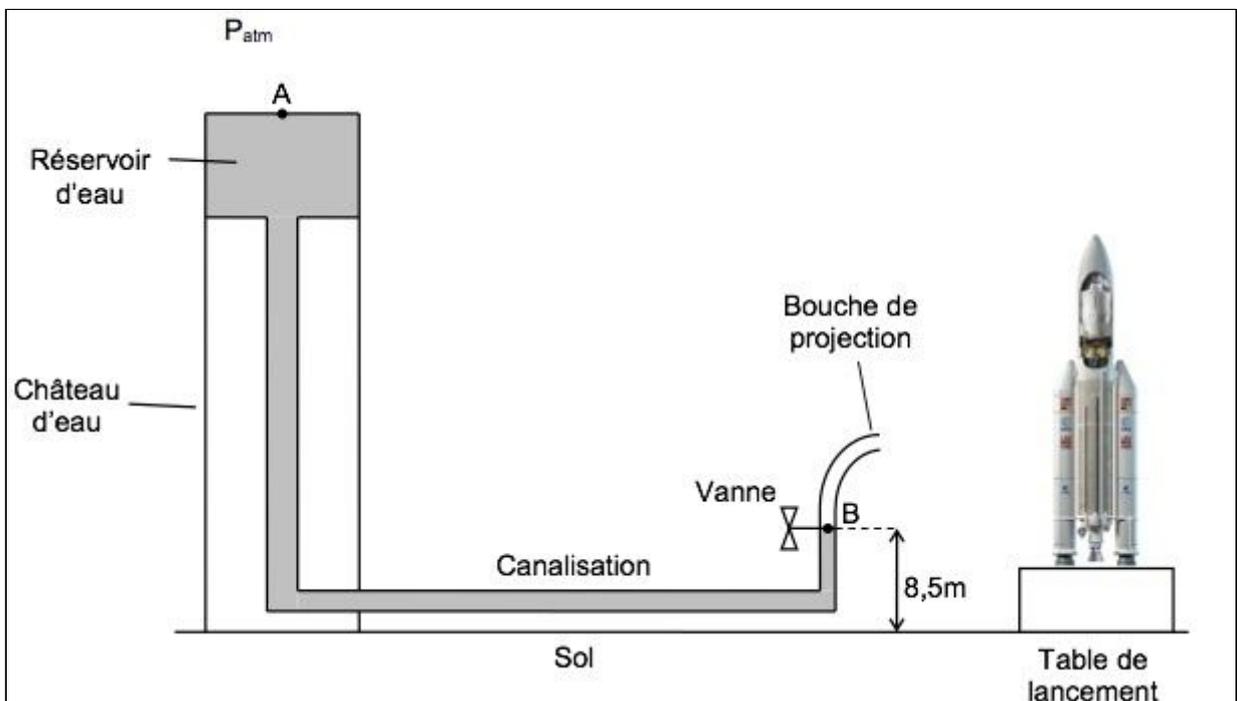
Éprouvette percée ou bidon  
Eprouvette graduée  
Robinet  
Chronomètre

## Votre travail

- 1) A partir de la relation de Bernoulli, en utilisant des points judicieux, établir la formule de Torricelli. **(ANA)**
- 2) Proposer un protocole expérimental pour vérifier la formule de Torricelli et le mettre en oeuvre. **(REA)**
- 3) A l'aide des documents et des résultats précédents, calculer la vitesse d'écoulement de l'eau dans la canalisation lors du déluge, en déduire le débit volumique de l'eau déversée lors de la phase de décollage. Répondre à la problématique. **(VAL)**
- 4) Présenter votre travail sous forme d'un compte-rendu numérique. **(COM)**

## Éléments utiles à la résolution

**Etape n°1 :** La démonstration s'effectue à partir de la relation de Bernoulli. Les pressions en A (au sommet du château d'eau) et B (sortie de la canalisation) sont égales à la pression atmosphérique (peu de variation, même pour une hauteur de 90 m).



source : [https://besancon.udppc.asso.fr/images/bacs2016/STI2D\\_STL/2016\\_metro\\_STI2D\\_STL\\_SPCL.pdf](https://besancon.udppc.asso.fr/images/bacs2016/STI2D_STL/2016_metro_STI2D_STL_SPCL.pdf)

La vitesse de l'écoulement du fluide à la surface du château d'eau peut être négligée devant celle de l'eau à la sortie de la canalisation, on prend donc  $v_A = 0$ .

On en déduit :  $v_B^2 = 2 \times g \times (z_A - z_B) = 2 \times g \times h$

**Etape n°2 :** Le protocole attendu consiste à mesurer le débit volumique de l'eau contenue dans une éprouvette percée, dont la surface est située à la hauteur  $h$ , et s'écoulant par la section  $s$ .

Grâce au débit volumique  $Q$ , et à la section  $s$ , on accède à la vitesse de l'écoulement  $v = Q/s$ .

Il faut effectuer plusieurs mesures (1 ou 2 par groupe) afin de pouvoir tracer  $v^2 = f(h)$ .

On peut proposer aux élèves de noter les résultats expérimentaux dans un tableau.

Volume mesuré $V$ (en $\text{cm}^3$ )					
durée $t$ (en s)					
débit volumique $Q$ (en $\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )					
vitesse $v = Q/s$ (en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )					

On vérifie à l'aide des valeurs expérimentales et d'une régression linéaire (calculatrice, Regressi, ou Python) qu'il s'agit bien d'une droite.

La formule de Torricelli ayant été vérifiée expérimentalement, on s'assure que les hypothèses de travail sont les mêmes pour l'écoulement lors du déluge que pour l'expérience avec l'éprouvette (écoulement stationnaire, fluide incompressible...).

**Etape n°3 :** On effectue le calcul à partir des données fournies dans les documents :

La hauteur du niveau de l'eau dans le château est située à 90 m au-dessus du sol, ce qui donne :

$$v_b^2 = 2gh \text{ soit } v_b = 42 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

La section  $S$  de la canalisation mesure 2 m de diamètre pour la table d'Ariane 6, ce qui donne  $R = 1$  m soit une section  $S = 3,14 \text{ m}^2$

On calcule donc un débit volumique  $Q = 42 \times 3,14 = 132 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  à partir de données, ce qui très grand !!!

**Conclusion :** le débit volumique calculé à partir de notre modélisation, très simplifiée du problème est d'environ  $527 \text{ m}^3$  en 4 s. L'ordre de grandeur obtenu est conforme aux données fournies de  $1\,000 \text{ m}^3$  en 4 s. Les écarts proviennent d'une part des hypothèses simplificatrices sur l'écoulement (fluide parfait, incompressible, variation de la pression en fonction de l'altitude négligée...) et sur la surface réelle d'écoulement du fluide au niveau de la table de lancement : l'eau n'est pas évacuée par une seule ouverture, mais par 26 buses, de section d'environ  $20 \text{ cm}^2$  chacune.

## Éléments de correction et indicateurs de réussite

		oui	bof	non	Évaluation des compétences
		<b>Proposer un protocole expérimental</b>			
<b>A N A</b>	L'élève démontre la formule de Torricelli à partir de la relation de Bernoulli : <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>en utilisant convenablement l'expression littérale fournie</i></li> <li>• <i>en choisissant des points particuliers et en effectuant les simplifications</i></li> </ul>				A    B    C    D
	L'élève formule clairement le protocole qu'il souhaite mettre en oeuvre (en particulier : effectuer plusieurs mesures de hauteur et de débit associé)				
<b>R E A</b>	L'élève s'assure qu'il peut mesurer toutes les grandeurs utiles à la vérification du protocole (surfaces S et s, hauteur d'eau, volume et durée de l'écoulement)				
	L'élève mesure le plus précisément possible le débit volumique correspondant à une hauteur d'eau donnée				A    B    C    D
	L'élève répète plusieurs fois les mesures.				
	L'élève calcule le débit et la vitesse de l'écoulement pour différente hauteurs				
	L'élève propose de vérifier la formule de Torricelli par régression linéaire				
	L'élève effectue la régression linéaire à l'aide d'un outil adapté.				
		<b>Exploiter et interpréter des résultats expérimentaux</b>			
<b>V A L</b>	L'élève calcule la vitesse de l'écoulement de l'eau lors du déluge : <ul style="list-style-type: none"> <li>• en utilisant les données fournies dans les documents ;</li> <li>• en effectuant les hypothèses simplificatrices nécessaires.</li> </ul>				A    B    C    D
	L'élève confronte les résultats obtenus par la modélisation aux données disponibles.				
	L'élève formule des critiques sur la démarche mise en oeuvre et propose des améliorations.				
		<b>Communiquer à l'écrit</b>			
<b>C O M</b>	L'élève présente de façon claire démarche expérimentale.				A    B    C    D
	L'élève utilise un vocabulaire scientifique adapté.				