

Chapitre 2 - Pressions et débits dans les canalisations

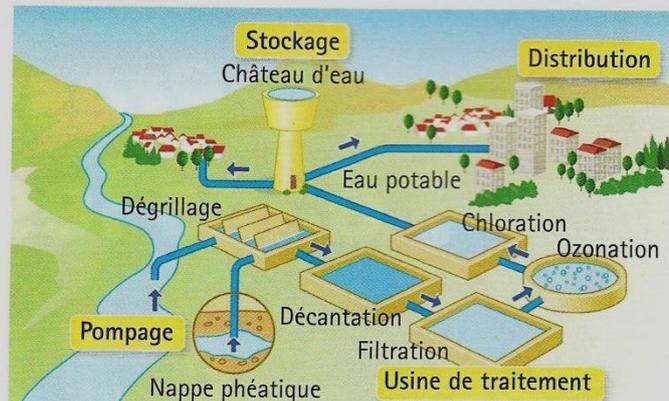
I. Notion de pression.

Activité préliminaire (page 24 Nathan) : le cycle de l'eau domestique.

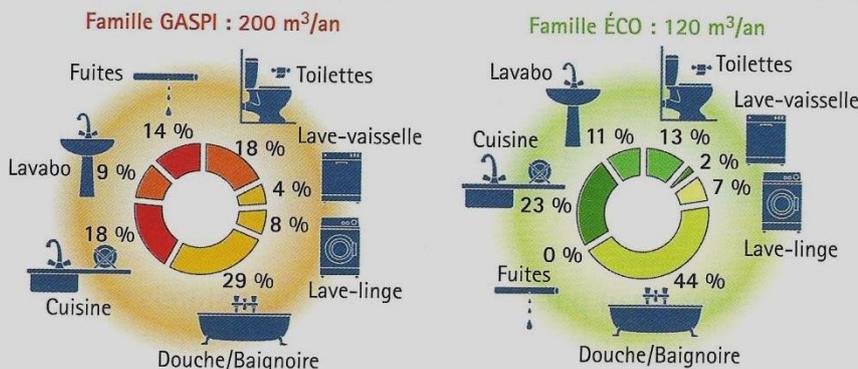
Le cycle de l'eau domestique

Chaque Français consomme en moyenne 55 m^3 d'eau potable par an (150 L/jour). La production d'eau potable comprend le **prélèvement**, le **traitement** et la **distribution** de l'eau jusqu'aux robinets (**DOC. 1**).

- L'eau est prélevée dans les eaux souterraines (nappes, sources) ou dans les eaux superficielles (rivières, fleuves, lacs) par des stations de pompage.
- L'eau est acheminée dans des **stations de traitement** où elle est décantée, filtrée, puis désinfectée.
- Des conduites (jusqu'à 2 m de diamètre) forment un réseau qui alimente les réservoirs de **stockage** et les **châteaux d'eau**.
- L'eau est ensuite acheminée chez le consommateur par un réseau de tuyaux de diamètre de plus en plus petit (de 40 cm jusqu'à 32 mm). Stations de pompage et châteaux d'eau assurent chez le particulier une pression pouvant atteindre 5,5 bar. Pour satisfaire à tout moment la demande en eau potable des abonnés, les réservoirs permettent de gérer les pointes de consommation (bâches enterrées, châteaux d'eau...). Le raccordement sur la canalisation principale de distribution arrive sur un compteur qui enregistre les volumes d'eau consommés (**DOC. 2**).



DOC. 1 Cycle de l'eau domestique.



DOC. 2 Volumes d'eau consommés.

Source : ADEME

Exploiter

1. Quels éléments permettent à l'eau d'arriver sous pression jusqu'au compteur d'eau d'un particulier ?
2. Pourquoi doit-on réaliser des réserves d'eau pendant son acheminement ?
3. Comment l'eau est-elle rendue potable ?
4. Sur quel poste la famille ECO réalise-t-elle sa plus grande économie d'eau par rapport à la famille GASPI ?



Comment fournir une pression d'eau suffisante ?

Correction :

1. Les stations de pompage et les châteaux d'eau permettent à l'eau d'arriver sous pression jusqu'au compteur.
2. On doit réaliser des réserves d'eau pendant son acheminement pour permettre de gérer les pointes de consommation. Le traitement des eaux (potabilisation) est une opération longue et on ne peut pas pomper trop d'eau d'un seul coup sans risquer d'assécher un cours d'eau.
3. L'eau est rendu potable lors de son passage dans l'usine de traitement, elle est décantée, filtrée, subie une ozonation puis une chloration ce qui la désinfecte.
4. La famille ECO réalise sa plus grande économie sur l'absence de fuite d'eau contrairement à la famille GASPI.

A retenir :

La pression est une grandeur physique (car on peut la mesurer) que l'on mesure à l'aide d'un baromètre (pression atmosphérique) ou d'un manomètre (pressiomètre).

L'unité de pression est le pascal (Pa), le bar (bar), le millimètre de mercure (mm Hg) ou l'atmosphère (atm)

La pression atmosphérique normale au niveau de la mer est de $P_{\text{atm}} = 1013 \text{ hPa} = 1 \text{ atm} = 760 \text{ mm Hg}$

Conversions :

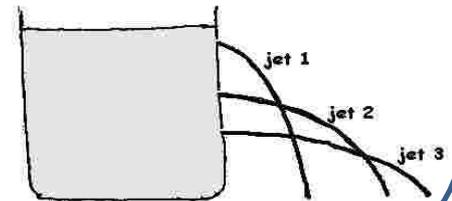
1bar = 100000 Pa = 10^5 Pa = 1000 hPa

1 hPa = 100 Pa

La pression d'un fluide (gaz, liquide) est toujours perpendiculaire aux parois.

$$P = \frac{F}{S}$$

avec P en Pa, F en N et S en m^2



Activité expérimentale : Pression dans une colonne d'eau

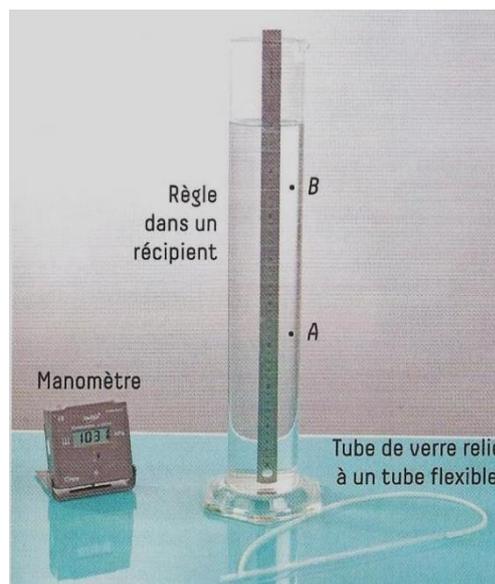
Est-ce que la pression est la même en haut de la colonne qu'en bas ?

Matériel : Eprouvette graduée 250 mL remplie d'eau.
Pressiomètre (manomètre).
Règle graduée.
Tuyau souple.

- Δ Mesurer la pression atmosphérique.
- Δ Mesurer la pression pour différentes profondeurs (tous les 4 cm)

Δ Notez vos résultats dans un tableau :

Profondeur (cm)	0					
Pression (Pa)						



- Δ Trace la courbe $P = f(h)$
- Δ Quelle est l'allure de la courbe ?
- Δ Trouve le coefficient directeur de la droite.

Données :
 $\rho = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$
 $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$

Application – Appliquer cette relation pour déterminer, dans un immeuble, la différence de pression qui existe entre le rez-de-chaussée et le 2^e étage, puis entre le rez-de-chaussée et le 8^e étage.

Données : On considère l'eau au repos dans les canalisations de l'immeuble et la hauteur d'un étage égale à 3 m.

Activité expérimentale : Pression dans une colonne d'eau

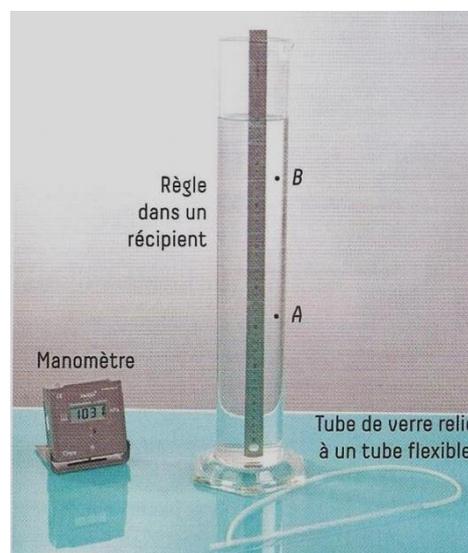
Est-ce que la pression est la même en haut de la colonne qu'en bas ?

Matériel : Eprouvette graduée 250 mL remplie d'eau.
Pressiomètre (manomètre).
Règle graduée.
Tuyau souple.

- Δ Mesurer la pression atmosphérique.
- Δ Mesurer la pression pour différentes profondeurs (tous les 4 cm)

Δ Notez vos résultats dans un tableau :

Profondeur (cm)	0					
Pression (Pa)						



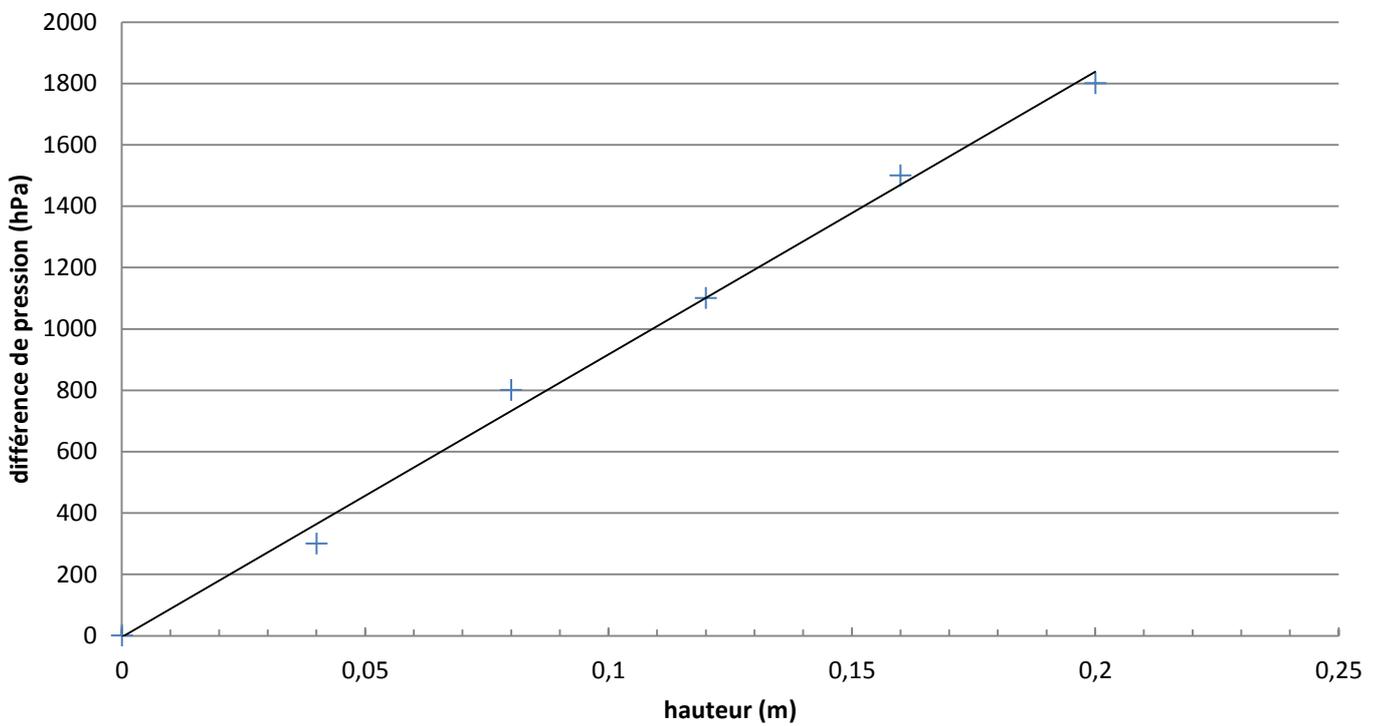
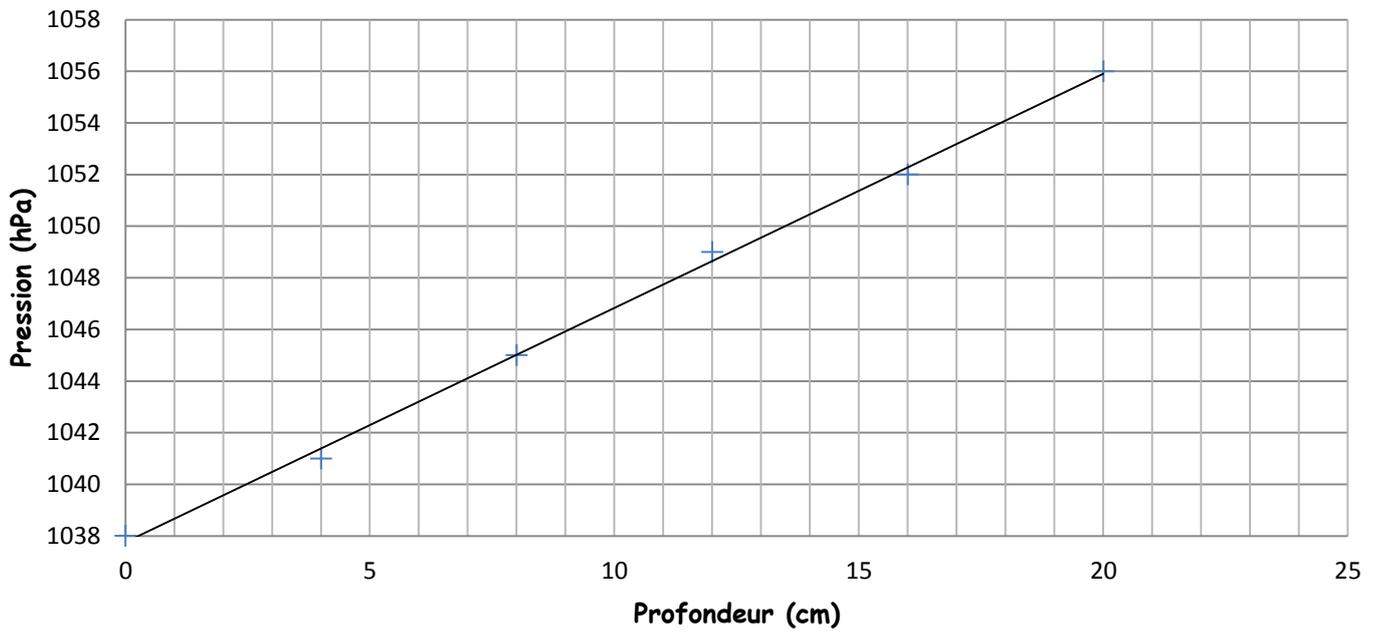
- Δ Trace la courbe $P = f(h)$
- Δ Quelle est l'allure de la courbe ?
- Δ Trouve le coefficient directeur de la droite.

Données :
 $\rho = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$
 $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$

Application – Appliquer cette relation pour déterminer, dans un immeuble, la différence de pression qui existe entre le rez-de-chaussée et le 2^e étage, puis entre le rez-de-chaussée et le 8^e étage.

Données : On considère l'eau au repos dans les canalisations de l'immeuble et la hauteur d'un étage égale à 3 m.

variation de pression



Activité expérimentale : Mesure de débit volumique

Matériel : Eprouvette graduée 250 mL + bécher 400 mL
 Chronomètre
 Règle graduée + mètre ruban
 Tuyau souple ou bouchon
 Bouteille 1,5L

Δ Mesurer le diamètre de la bouteille. En déduire la section S (en cm^2 puis m^2).

.....

.....

Δ Pour vérifier la section, mesurer la circonférence de la bouteille. En déduire la section S (en cm^2 puis m^2).

.....

.....

Δ Mesurer la durée t (en seconde) pour faire écouler un volume V d'eau (en mL lu sur l'éprouvette ou le bécher)

Δ Mesurer la différence de niveau h (en cm) dans la bouteille du haut

Δ Notez vos résultats dans un tableau :

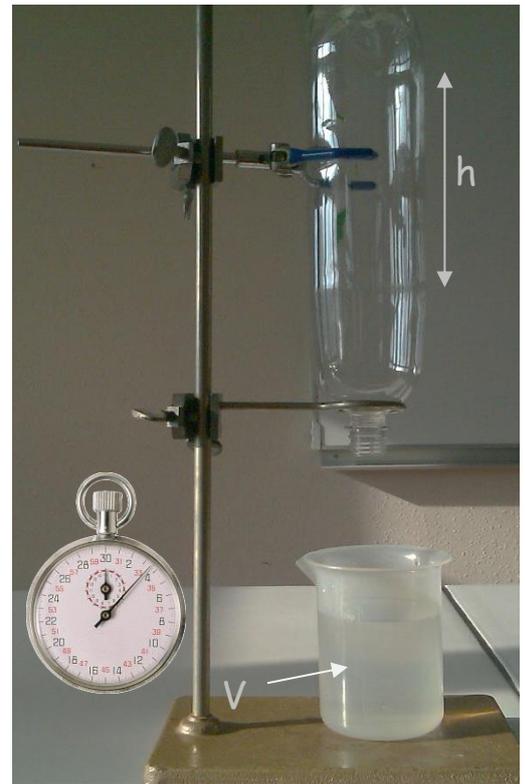


Tableau 1 : Des écoulements différents (250mL, 300 mL et 400 mL) mais toujours depuis le **haut** de la bouteille.

Volume V (mL)	Durée t (en s)	Différence des niveaux h (cm)	Débit $Q_v = \frac{V}{t}$ (en $\text{mL} \cdot \text{s}^{-1}$)	Vitesse moyenne $v = \frac{h}{t}$ (en $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	Produit $v \cdot S$

Tableau 2 : Des écoulements identiques (400 mL) mais depuis le **haut**, le **milieu** puis le **bas** de la bouteille.

Volume V (mL)	Durée t (en s)	Différence des niveaux h (cm)	Débit $Q_v = \frac{V}{t}$ (en $\text{mL} \cdot \text{s}^{-1}$)	Vitesse moyenne $v = \frac{h}{t}$ (en $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	Produit $v \cdot S$

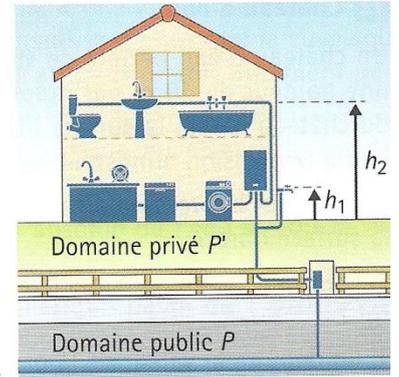
1. Dans le tableau 1, comment varie la durée d'écoulement en fonction du volume écoulé ?
2. Convertir des mL en m^3 ($1\text{m}^3 = 1\text{kL}$).
3. Déterminer l'unité du produit $v \cdot S$.
4. Quelle est la relation entre le produit $v \cdot S$ et le débit volumique Q_v ?
5. Dans le tableau 2, que peut-on dire du débit volumique Q_v et de la position de l'écoulement h (en haut, au milieu ou en bas de la bouteille.) ?

ÉNONCÉ

Alimentation domestique en eau

- Après le compteur d'eau, l'installation comporte un réducteur de pression qui permet à la pression de passer de $P = 5,5$ bar (pression du réseau) à $P' = 3,5$ bar (pression à la sortie du réducteur de pression).
 - Calculer la pression différentielle de P par rapport à P' .
 - Ces deux pressions sont relatives. Calculer les pressions absolues correspondantes.
- Tous les robinets sont fermés.
 - Calculer la pression relative au niveau des robinets 1 (altitude $h_1 = 1,0$ m) et 2 (altitude $h_2 = 3,5$ m). **Méthode 1** ▶
 - On souhaite que la pression relative de l'eau pour chaque robinet ne descende pas en dessous de 2 bar. Calculer l'altitude maximale à laquelle on peut connecter les robinets après le réducteur de pression. **Méthode 1** ▶
- Un robinet ouvert assure un débit volumique de $16 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$. Le diamètre intérieur du tuyau d'alimentation de chaque robinet vaut $d = 12$ mm.
 - On ouvre simultanément 3 robinets. Le compteur d'eau indiquait $3\,185,00 \text{ m}^3$. Quelle sera la valeur lue après 50 minutes d'utilisation ? **Méthode 2** ▶
 - Calculer la vitesse moyenne d'écoulement dans le tuyau d'alimentation de l'un des robinets.

Données : $\rho_{\text{eau}} = 1\,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $P_{\text{atm}} = 1,0$ bar ; $g = 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

**Méthode 1**

Il faut appliquer le principe fondamental de l'hydrostatique entre la sortie du réducteur de pression et le robinet.

Méthode 2

À partir des débits volumiques, il faut réaliser un bilan en volume de la consommation.

12 Château d'eau

Un château d'eau permet de stocker de l'eau jusqu'à une hauteur de 40 m par rapport au sol. Au sommet du château d'eau, la surface libre est en contact avec l'air à la pression atmosphérique.

- Que vaut la pression absolue de l'eau au niveau de la surface libre ?
- Que vaut la pression absolue de l'eau au niveau du sol ?
- En déduire la valeur de la pression relative de l'eau au niveau du sol.

Données : $\rho_{\text{eau}} = 1\,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $P_{\text{atm}} = 1,000$ bar ; $g = 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

17 Le tuyau pincé

Un tuyau d'arrosage de diamètre intérieur $d = 25$ mm laisse sortir l'eau à une vitesse moyenne $v = 0,42 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



- Calculer le débit volumique de cet écoulement. Ce débit reste constant pour la suite de l'exercice.
- On désire remplir un arrosoir d'une contenance de 5 L. Combien de temps prend l'opération ?
- L'extrémité du tuyau est partiellement obturée, la section de l'écoulement est réduite à $1,00 \text{ cm}^2$. Calculer la nouvelle vitesse moyenne à laquelle sort l'eau.

14 Recyclage d'eau d'une piscine

La piscine d'un particulier a pour volume $V = 30 \text{ m}^3$. Cette eau doit être filtrée et recyclée intégralement toutes les 3 heures à l'aide d'une pompe.



- Calculer le débit volumique minimal que doit assurer cette pompe.
- Quel est le débit massique minimal que doit assurer cette pompe ?
- Un fabricant propose en catalogue une pompe assurant un débit volumique $D_v^i = 3 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$. Ce modèle convient-il ?

Donnée : $\rho_{\text{eau}} = 1\,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

15 À vous de cocher

On donne les pressions suivantes : $P_{\text{atm}} = 1,020 \times 10^5 \text{ Pa}$; $P = 2,5$ bar ; $P' = 5\,500$ hPa.

- a) La pression relative P_{rel} n'est pas calculable sans avoir un schéma avec les altitudes.
- b) La pression différentielle de P' par rapport à P vaut $3,0 \times 10^5 \text{ Pa}$.
- c) La pression relative P'_{rel} vaut 4 480 hPa.

Applications directes du cours

12 Château d'eau

Un château d'eau permet de stocker de l'eau jusqu'à une hauteur de 40 m par rapport au sol. Au sommet du château d'eau, la surface libre est en contact avec l'air à la pression atmosphérique.

1. Que vaut la pression absolue de l'eau au niveau de la surface libre ?
2. Que vaut la pression absolue de l'eau au niveau du sol ?
3. En déduire la valeur de la pression relative de l'eau au niveau du sol.

Données : $\rho_{\text{eau}} = 1\,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $P_{\text{atm}} = 1,000 \text{ bar}$; $g = 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

13 Débit volumique

1. Avec quel appareil peut-on mesurer un débit volumique ?
2. Le débit volumique sortant d'un robinet est $10 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$. Quelle est sa valeur en $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$?
3. Ce robinet est alimenté par un tuyau de diamètre intérieur $d = 12 \text{ mm}$. Que vaut la vitesse moyenne d'écoulement dans ce tuyau ?

14 Recyclage d'eau d'une piscine

La piscine d'un particulier a pour volume $V = 30 \text{ m}^3$. Cette eau doit être filtrée et recyclée intégralement toutes les 3 heures à l'aide d'une pompe.



1. Calculer le débit volumique minimal que doit assurer cette pompe.
2. Quel est le débit massique minimal que doit assurer cette pompe ?
3. Un fabricant propose en catalogue une pompe assurant un débit volumique $D'_V = 3 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$. Ce modèle convient-il ?

Donnée : $\rho_{\text{eau}} = 1\,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

15 À vous de cocher

On donne les pressions suivantes : $P_{\text{atm}} = 1,020 \times 10^5 \text{ Pa}$; $P = 2,5 \text{ bar}$; $P' = 5\,500 \text{ hPa}$.

- a) La pression relative P_{rel} n'est pas calculable sans avoir un schéma avec les altitudes.
- b) La pression différentielle de P' par rapport à P vaut $3,0 \times 10^5 \text{ Pa}$.
- c) La pression relative P'_{rel} vaut $4\,480 \text{ hPa}$.

16 Consommation d'eau

Le tableau ci-dessous donne les ordres de grandeur des consommations d'eau courante, ainsi que les fréquences journalières maximales d'une famille de 5 personnes :

	Volume d'eau consommé (L)	Nombre d'utilisations
Douche	60 à 80	4
Chasse d'eau	6 à 12	10
Bain	150 à 200	1
Préparation du repas	5 à 8 (par personne)	2 repas
Lave-vaisselle	30 à 35	1
Lave-linge	50 à 110	1

1. Donner un encadrement du volume d'eau consommé lors d'une journée.
2. Calculer la masse d'eau consommée pour l'ensemble des repas.

Donnée : $\rho_{\text{eau}} = 1\,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

17 Le tuyau pincé

Un tuyau d'arrosage de diamètre intérieur $d = 25 \text{ mm}$ laisse sortir l'eau à une vitesse moyenne $v = 0,42 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

1. Calculer le débit volumique de cet écoulement. Ce débit reste constant pour la suite de l'exercice.
2. On désire remplir un arrosoir d'une contenance de 5 L. Combien de temps prend l'opération ?
3. L'extrémité du tuyau est partiellement obturée, la section de l'écoulement est réduite à $1,00 \text{ cm}^2$. Calculer la nouvelle vitesse moyenne à laquelle sort l'eau.



La pression absolue : C'est la pression réelle, dont on tient compte dans les calculs sur les gaz.

La pression atmosphérique ou pression barométrique : La pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer, à 15 °C, est d'environ 1013 mbar. Elle peut varier, de avec la pluie ou le beau temps. Elle est fonction de l'altitude (hydrostatique).

La pression relative : C'est la différence de pression par rapport à la pression atmosphérique. Elle est le plus souvent utilisée, car la plupart des capteurs, sont soumis à la pression atmosphérique. Pour mesurer une pression absolue, il faut faire un vide poussé dans une chambre dite de référence.

Pression différentielle : C'est une différence entre deux pressions, dont l'une sert de référence. Une pression différentielle peut prendre une valeur négative.

Le vide : Il correspond théoriquement à une pression absolue nulle. Il ne peut être atteint, ni dépassé. Quand on s'en approche, on parle alors de vide poussé.

Pression de service ou pression dans la conduite : C'est la force par unité de surface exercée sur une surface par un fluide s'écoulant parallèlement à la paroi d'une conduite.

Applications :

Soit un fluide homogène, immobile, de masse volumique $\rho=1000\text{kg/m}^3$: les points A et B du liquide possèdent une différence de profondeur égale à h.

1. De quoi dépend la pression au point A ?
2. Que dit le principe fondamental de l'hydrostatique ?
3. Le liquide est de l'eau, si $P_A = 1,01.10^5 \text{ Pa}$, quelle est la pression au point B ?
4. A quelle différence de pression correspond 1m de colonne d'eau ?
5. A quelle différence de pression correspond 0,5 m de colonne de mercure ?

Données :

$h = 20 \text{ cm}$

Masse volumique de l'eau : $1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

Masse volumique du mercure : $13,6.10^3 \text{ kg/m}^3$

Accélération de la pesanteur $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$

Applications :

Un jardinier remplit son arrosoir de 10 litres en 3 minutes.

1. Calculer le débit volumique du robinet.
2. Sachant que la section du robinet a un diamètre de 2 cm, calculer la vitesse d'écoulement en sortie du robinet.

Conservation du débit volumique

Le fluide s'écoule à l'intérieur d'un tube qui passe d'une section S_1 à une section S_2 , il passe également d'une vitesse d'écoulement v_1 à la vitesse v_2 . Le débit volumique est le même à travers toute section d'un circuit, donc le débit Q_1 au niveau de la première section est égal au débit Q_2 . L'équation de la conservation du débit s'exprime par la relation : $Q_1 = Q_2$ soit $v_1 \times S_1 = v_2 \times S_2$

Nous constatons qu'une section plus petite implique une vitesse d'écoulement plus importante du liquide qui la traverse.

Exercice d'application :

Un embout d'arrosage de diamètre intérieur $D_2 = 3 \text{ cm}$, est fixé sur un tuyau de diamètre intérieur $D_1 = 8 \text{ cm}$. La vitesse d'écoulement de l'eau avant l'embout est $c_1 = 8 \text{ m.s}^{-1}$.

- 1 Calculer la vitesse c_2 à la sortie de l'embout d'arrosage ;
- 2 Calculer le débit volumique du tuyau.