



Chapitre 6

Transport des fluides



Fiches de synthèse mobilisées :

Fiche n°6 Transport des fluides



Sommaire des activités

ACTIVITÉ 1 :	Hauteur d'eau dans un château d'eau	2
ACTIVITÉ 2 :	Débit volumique dans une conduite d'eau	5
ACTIVITÉ 3 :	Perte d'énergie le long d'une canalisation	6
ACTIVITÉ 4 :	Arrosage d'un jardin	8
ACTIVITÉ 5 :	Récolte de sel en Indonésie.....	12
ACTIVITÉ 6 :	Remplacement d'éléments de canalisation	15

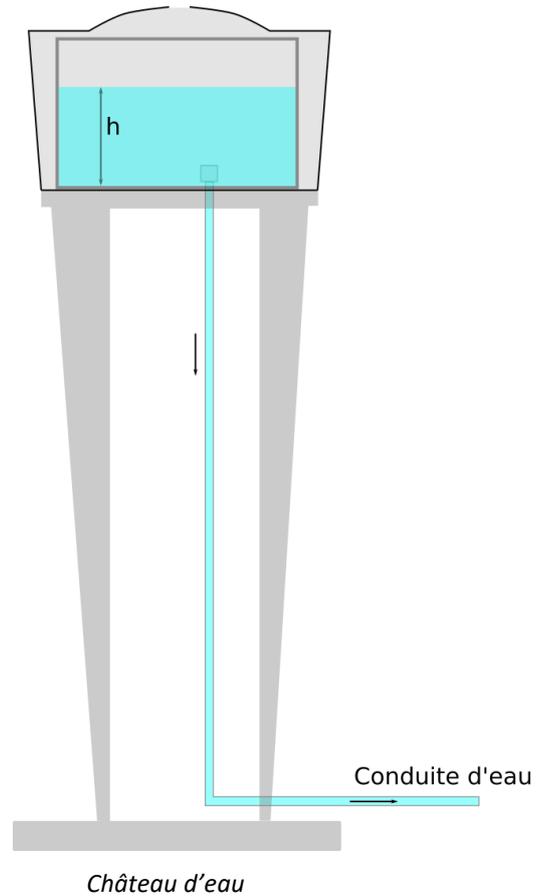


ACTIVITÉ 1 : Hauteur d'eau dans un château d'eau

Un château d'eau contient un réservoir d'eau destiné à assurer la distribution en eau potable d'une population et sert également à maintenir une pression hydraulique suffisante dans le réseau d'eau. La pression dans le réseau d'eau potable est d'autant plus élevée que la hauteur du réservoir est importante.

La pression de l'eau à l'entrée du réseau d'eau d'une habitation est comprise entre 3 et 5 Bar environ et permet ainsi à l'eau de s'écouler lorsque l'on ouvre un robinet.

On souhaite mettre en œuvre un système permettant de mesurer la hauteur d'eau dans un réservoir.



Partie 1 : Etude d'un capteur de pression

On dispose d'une maquette modélisant la cuve du château d'eau et d'un capteur de pression. Une tubulure en plastique remplie d'air est connectée d'un côté au capteur de pression et de l'autre au bas de la cuve remplie d'eau. La pression de l'air dans la tubulure est identique à la pression au fond de la cuve.

Une règle permet de mesurer la hauteur d'eau dans la cuve.

DOCUMENT 1 : Dispositif expérimental



Maquette château d'eau

DOCUMENT 2 : Caractéristiques du capteur de pression MPX5700P

Etendue de mesure : 0 à 10 kPa

Sensibilité : $\frac{\Delta U}{\Delta P} = 6,4 \text{ mV} \cdot \text{kPa}^{-1}$



1. Expliquer pourquoi il est possible de mesurer une hauteur d'eau grâce à un capteur de pression.
2. La différence de pression entre deux points d'une colonne d'eau est égale à 1kPa. A l'aide de la loi de l'hydrostatique, déterminer la hauteur en cm séparant ces deux points ($g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$).
3. En déduire la sensibilité du capteur de niveau en $\text{mV} \cdot \text{cmCE}^{-1}$ (millivolt / centimètre de colonne d'eau).
4. Réaliser un étalonnage du capteur et comparer la sensibilité obtenue à celle déterminée à la question 3.

Partie 2 : Etalonnage d'une chaîne de mesure de niveau

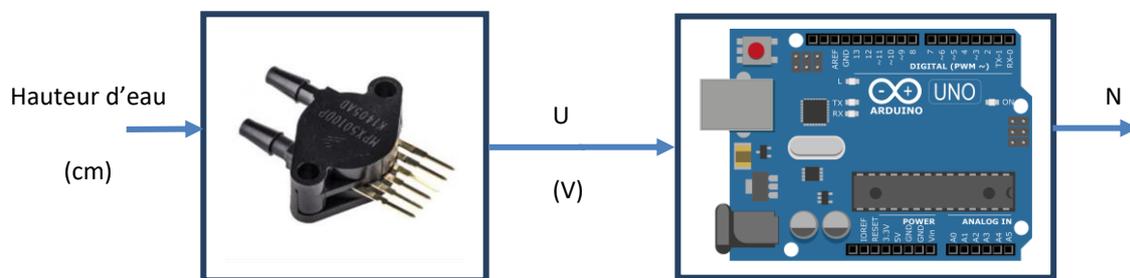
Pour réaliser une mesure de niveau avec une chaîne de mesure de meilleure sensibilité, on intègre un capteur déjà conditionné et adapté au format d'entrée d'un microcontrôleur. Le capteur délivre en sortie une tension comprise entre 0 et 5 V.

5. A l'aide de la notice du voltmètre utilisé et de la sensibilité du capteur déterminée à la question 3, expliquer pour quelle raison il est nécessaire d'augmenter la sensibilité de la chaîne de mesure de niveau ?
6. Réaliser à nouveau l'étalonnage du nouveau capteur.
7. Déterminer la nouvelle sensibilité de la chaîne de mesure en mV.cmCE^{-1} et l'incertitude-type de mesure de hauteur, en supposant que la mesure de la tension est la seule source d'incertitude.

Partie 3 : Suivi du niveau d'eau dans la cuve

Pour suivre en temps réel le niveau d'eau dans la cuve du château d'eau, on intègre un microcontrôleur dans la chaîne de mesure. On utilise dans cette partie le capteur de niveau d'eau précédent.

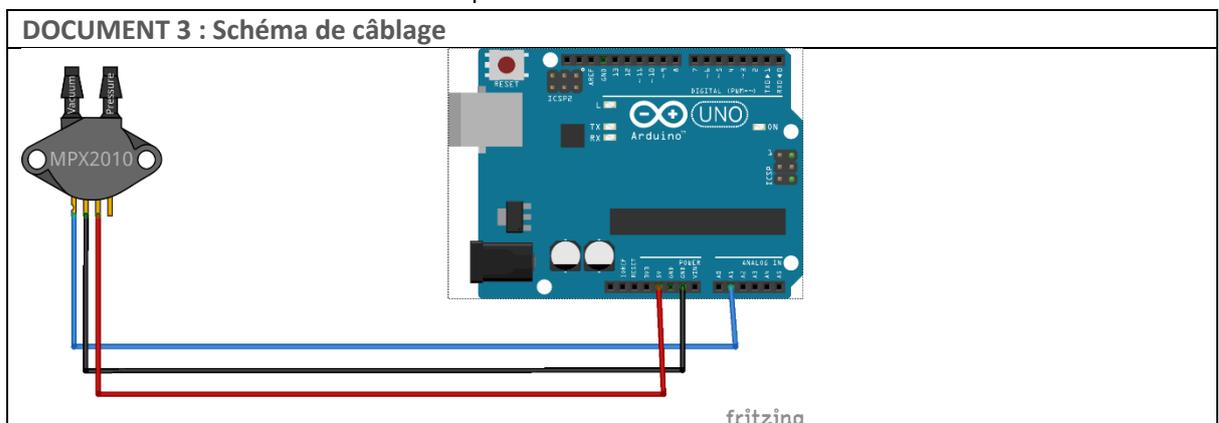
Le capteur délivre en sortie une tension de sortie comprise entre 0 et 5 V. Le microcontrôleur sera chargé de la conversion de cette tension en nombre N par l'intermédiaire de l'entrée analogique A1 (CAN 0-5V ; 10 bits).



8. Calculer les valeurs possibles de N à la sortie du CAN en supposant que la tension U est comprise dans l'intervalle [0 – 5V].

L'objectif de l'étalonnage est de déterminer la relation existante entre la grandeur de sortie N et celle en entrée du capteur.

9. Fermer la vanne manuelle puis remplir le château d'eau.
10. En analysant le programme « etalonnage_capteur_niveau.ino » repérer le numéro de ligne correspondant à l'instruction de lecture de l'entrée analogique A1.
11. Expliquer la signification de l'instruction `Nombre = analogRead(A1)` ;
12. Mettre en œuvre la chaîne de mesure complète en vous aidant du Document 3.



13. Proposer un protocole expérimental utilisant le programme « etalonnage_capteur_niveau.ino » et permettant d'étalonner la chaîne de mesure complète.
14. Mettre en œuvre le protocole.



15. Déterminer l'équation de la droite d'étalonnage et noter les valeurs des coefficients a et b données par le tableur correspondant respectivement au coefficient directeur de la droite et à l'ordonnée à l'origine.
16. Exécuter le programme « niveau_d_eau.ino » pour afficher le niveau en cm dans la cuve et recopier les valeurs de a et b obtenues précédemment dans le programme.
17. Comparer la valeur de niveau de référence mesurée à la règle avec la valeur affichée par le programme.

ACTIVITÉ 2 : Débit volumique dans une conduite d'eau

La vitesse de l'eau dans les canalisations domestiques doit se situer entre 0,3 et 3 m·s⁻¹.

En effet, la vitesse ne doit pas être trop faible pour éviter les dépôts sur les parties intérieures du tube.

D'autre part, la vitesse ne doit pas être trop élevée pour éviter les phénomènes de bruit ou de corrosion-érosion.

Mais il faut également prendre en compte les besoins de l'utilisateur dans le cas d'une installation de plomberie classique : le débit dans les canalisations dépend de l'appareil sanitaire à alimenter (Document 1).

Comment choisir le tuyau approprié pour un débit donné en respectant les critères de vitesse d'écoulement de l'eau ?

DOCUMENT 1 : caractéristiques des tuyaux

Appareil	Débit en L.s ⁻¹	Diamètre intérieur recommandé (mm)
Evier	0,20	12
Baignoire	0,33	13
Douche	0,20	12
WC avec réservoir de chasse	0,12	8
Machine à laver la vaisselle	0,20	10

Un simulateur (application Epanet) permet d'étudier le débit et la vitesse du fluide dans une canalisation en fonction de son diamètre.

A l'aide du simulateur on modélise l'écoulement de l'eau à travers une conduite constituée d'une succession de tuyaux de longueur identique mais de diamètres différents. La simulation est réalisée à l'aide du fichier « changement_section.net ». L'installation simulée contient 7 tuyaux connectés les uns à la suite des autres de la plus grande section à la plus petite.

La pression à l'entrée du premier tuyau est égale à 4,2 Bar. Elle est suffisante pour permettre l'écoulement dans toute la conduite à sections variables.

**DOCUMENT 2 : caractéristiques des tuyaux**

	Longueur (m)	Diamètre (mm)
Tuyau 1	100	80
Tuyau 2	100	70
Tuyau 3	100	60
Tuyau 4	100	50
Tuyau 5	100	40
Tuyau 6	100	30
Tuyau 7	100	25

DOCUMENT 3 : protocole simulateur Epanet

- Ouvrir le fichier « changement_section.net » et exécuter la simulation.
- Cliquer sur l'icône *tableau* et cocher *arcs du réseau* (dans notre simulation les arcs correspondent aux tuyaux).
- Cliquer sur l'icône *options* et ne cocher que les propriétés suivantes de l'écoulement :
 - Longueur
 - Diamètre
 - Débit
 - Vitesse
- Copier les valeurs du tableau dans une feuille de calcul d'un tableur.

1. Réaliser le protocole du document 3.
2. Indiquer l'évolution du débit le long de la conduite d'eau ? Préciser la propriété permettant de justifier ce résultat.
3. Indiquer l'évolution de la vitesse du fluide le long de la conduite en fonction du diamètre de tuyau.
4. Calculer l'aire de la section S de chaque tuyau et tracer la courbe de la vitesse en fonction de l'inverse de la section.
5. Montrer que la dimension physique du coefficient directeur de la droite obtenue est un débit. En déduire le débit en $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.
6. En déduire la relation entre débit, aire de la section et vitesse d'écoulement.
7. A l'aide du document 1, vérifier si le diamètre des tubes intérieurs respecte bien le critère de vitesse.

ACTIVITÉ 3 : Perte d'énergie dans une canalisation

La récupération des eaux pluviales dans une cuve, permet d'arroser son jardin sans utiliser l'eau du réseau d'eau potable. Il est nécessaire d'installer un système d'irrigation comportant une pompe et des canalisations.

Les pertes d'énergie dans le réseau d'eau doivent être évaluées pour dimensionner au mieux l'installation.

A l'aide du simulateur EPANET de l'activité précédente, on se propose d'étudier les pertes d'énergie dans une canalisation.

1. A l'aide de la relation de Bernoulli et de la conservation du débit, montrer que la perte d'énergie dans un fluide dans une conduite horizontale de section constante entraîne une baisse de pression du fluide.



On souhaite modéliser la différence de pression appelée perte de charge à l'aide du simulateur.

2. Quels sont les paramètres de la conduite qui peuvent influencer sur la perte de charge.

Partie 1 : Influence de la longueur de la canalisation

Le simulateur permet, en certains points de la canalisation, d'insérer des nœuds qui correspondent à des prises de mesure de pression. On peut ainsi mesurer la pression en différents points de la conduite pour un débit constant.

1. Réaliser le protocole du document 2.
2. Modéliser la perte de charge en fonction de la longueur de la canalisation.
3. En déduire la perte de charge par mètre en mCE.m^{-1} puis en kPa.m^{-1} .

DOCUMENT 1 : caractéristique de la conduite

	Longueur (m) par rapport à l'origine
Noeud 2	100
Noeud 3	200
Noeud 4	300
Noeud 5	500
Noeud 6	600
Noeud 7	700

DOCUMENT 2 : protocole 1

- Ouvrir le fichier « influence_longueur.net » et exécuter la simulation.
- Cliquer sur l'icône *tableau* et cocher *nœuds du réseau*.
- Cliquer sur l'icône *options* et ne cocher que les propriétés suivantes de l'écoulement :
 - Pression
- Copier les valeurs du tableau dans une feuille de calcul d'un tableur.
- Calculer la perte de charge $\Delta p = p_{\text{nœud}} - p_0$ en chaque nœud de la canalisation (p_0 désignant la pression à l'entrée de la canalisation en mètre de Colonne d'eau (mCe) (égale à 42 mCe dans notre exemple).
- Tracer la perte de charge en fonction de la longueur de la canalisation.

Partie 2 : Influence du débit et du diamètre de la canalisation

Le simulateur permet de réaliser un réseau d'eau en étoile. A chaque nœud de pression, on mesure la pression.

Le simulateur affiche le débit dans chaque tuyau du réseau.

Le diamètre de chaque tuyau est fixé à 30 mm.

4. Réaliser le protocole du document 4.
5. Recommencer en changeant le diamètre de chaque tuyau (40 mm puis 100 mm).
6. Comment varie la perte de charge en fonction du débit ?
7. Comment varie la perte de charge en fonction du diamètre ?

DOCUMENT 3 : caractéristique du réseau

	Débit (m ³ .h ⁻¹)
Noeud 2	1
Noeud 3	2
Noeud 4	3
Noeud 5	5
Noeud 6	6
Noeud 7	7

DOCUMENT 4 : protocole 2

- Ouvrir le fichier « debit_pression.net » et exécuter la simulation.
- Cliquer sur l'icône *tableau* et cocher *nœuds du réseau*.
- Cliquer sur l'icône *options* et ne cocher que les propriétés suivantes de l'écoulement :
 - Pression
- Copier les valeurs du tableau dans une feuille de calcul d'un tableur.
- Calculer la perte de charge $\Delta p = p_{\text{nœud}} - p_0$ en chaque nœud de la canalisation (p_0 désignant la pression à l'entrée de la canalisation en mètre de Colonne d'eau (mCe) (égale à 42 mCe dans notre exemple).
- Tracer la perte de charge en fonction du débit.

ACTIVITÉ 4 : Arrosage d'un jardin

Un propriétaire dispose d'un terrain dans lequel il a implanté un jardin potager. Pour économiser l'eau d'arrosage, il décide de creuser un puits. Les schémas de l'installation se trouvent dans le Document 1.

Son but est d'utiliser une pompe en la plaçant au niveau du sol à côté du puits ; il souhaite raccorder un tuyau en PVC au refoulement de cette pompe ainsi qu'à l'aspiration de la pompe avec une conduite qui plonge dans le puits.

A l'autre extrémité du tuyau il veut brancher un asperseur pour l'arrosage du jardin. L'asperseur disperse l'eau en fines gouttelettes.

L'asperseur est placé au centre du jardin de forme rectangulaire. L'eau est dispersée à partir de ce point de manière circulaire. Le propriétaire sait qu'il ne pourra éviter d'arroser inutilement une surface extérieure au jardin.

Une difficulté majeure apparaît au propriétaire : comment choisir la pompe parmi les modèles disponibles sur les boutiques en ligne ?

Il trouve sur un site spécialisé (Document 2) une méthode pour déterminer les pertes de charge de son installation. Après avoir vu le schéma prévu de l'installation, un ami lui donne les conseils suivants :

- "Calcule d'abord le débit volumique nécessaire"
- "Attention à ton choix de tuyau : tu peux avoir des problèmes de résistance mécanique au niveau des raccords. Il ne faut pas dépasser une vitesse de 1,5 m/s dans le tuyau. En plus, attention au poids du tuyau si tu dois le déplacer. De



même attention à ne pas descendre en-dessous de 0,5 m/s car si des particules solides remontent du puits elles peuvent sédimenter dans le tuyau après la pompe. Calcule la vitesse dans les tuyaux pour commencer"

- "Après tu calcules les pertes de charge"

- "Applique alors simplement la relation de Bernoulli entre la surface du puits et la sortie de l'asperseur sans tenir compte des termes de vitesse."

- " Ensuite tu calcules la puissance hydraulique pour la pompe et avec un catalogue de pompes tu trouveras celle qu'il te faut."

Dans un magasin, il trouve une documentation sur les pompes (Document 3). Quatre pompes sont proposées avec les références PX20, PX15, PX12 et PX07. Il ne parvient pas à s'en servir car il ne comprend pas le terme Hmt.

Il rappelle son ami qui lui explique la signification du terme Hmt :

"Hmt est la hauteur manométrique totale; les spécialistes en hydraulique utilisent cette grandeur couramment. Il y a une relation entre Hmt et P_{hyd} de la relation de Bernoulli.

$$P_{hyd} = Q_V \cdot \rho \cdot g \cdot H_{mt}$$

Il suffit donc pour toi de calculer la valeur de Hmt puis d'utiliser les courbes de la documentation."

Le propriétaire du jardin est maintenant sûr de savoir quelle pompe il doit acheter. Montrer, à l'aide des questions qui suivent, que vous aussi, vous êtes capables de choisir cette pompe.

Partie 1 : Estimation du diamètre du tuyau PVC

L'asperseur est réglé pour arroser une aire de surface circulaire de rayon égal à 30 m.

1. Calculer l'aire de cette surface.
2. A l'aide du document 2, calculer le débit fourni par la pompe pour arrosage quotidien de 4 heures.
3. A l'aide de la relation entre le débit volumique et la vitesse d'écoulement, déterminer le diamètre de la canalisation choisi parmi ceux proposés dans le document 2 pour obtenir une vitesse entre 0,5 et 1,5 m.s⁻¹.

Partie 2 : Estimation de la puissance hydraulique de la pompe sans tenir compte des pertes de charge

4. Calculer la puissance minimale de la pompe dans le cas le plus défavorable.
5. Montrer la relation entre la puissance hydraulique et la hauteur d'aspiration de la pompe que l'on assimilera à la hauteur manométrique totale (HMT).

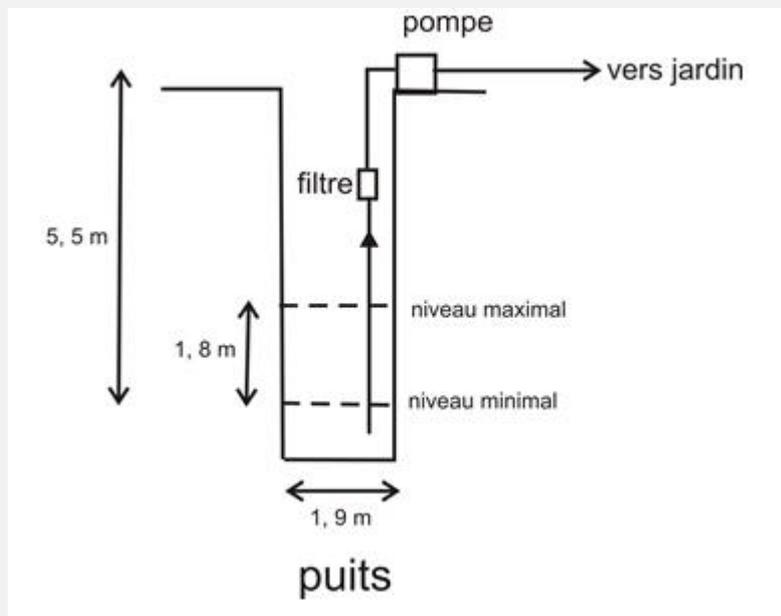
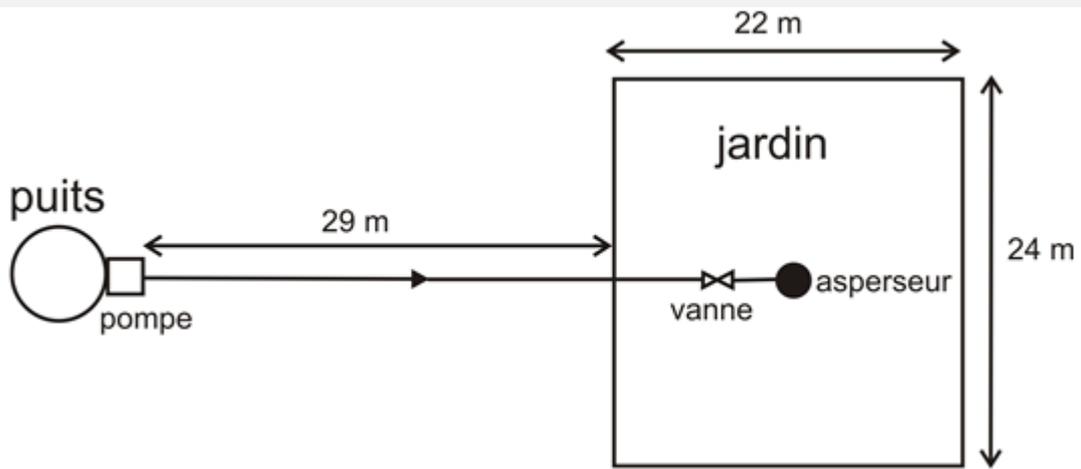
Partie 3 : Estimation des pertes de charge dans le circuit hydraulique

6. A l'aide du document 2, estimer la perte de charge lié à l'écoulement dans le tuyau de 100 m.
7. Estimer la perte de charge totale en prenant en compte les pertes de charge des différents accessoires.

Partie 4 : Choix de la pompe utilisée

8. Calculer la puissance hydraulique de la pompe.
9. En déduire la valeur de la Hmt correspondante et déterminer quelle pompe peut être utilisée pour assurer cet arrosage.

DOCUMENT 1 : schémas de l'installation



DOCUMENT 2 : calculs de pertes de charge d'une installation (extrait du site "Jardin Plus")
Etape 1 : calcul du débit d'eau nécessaire

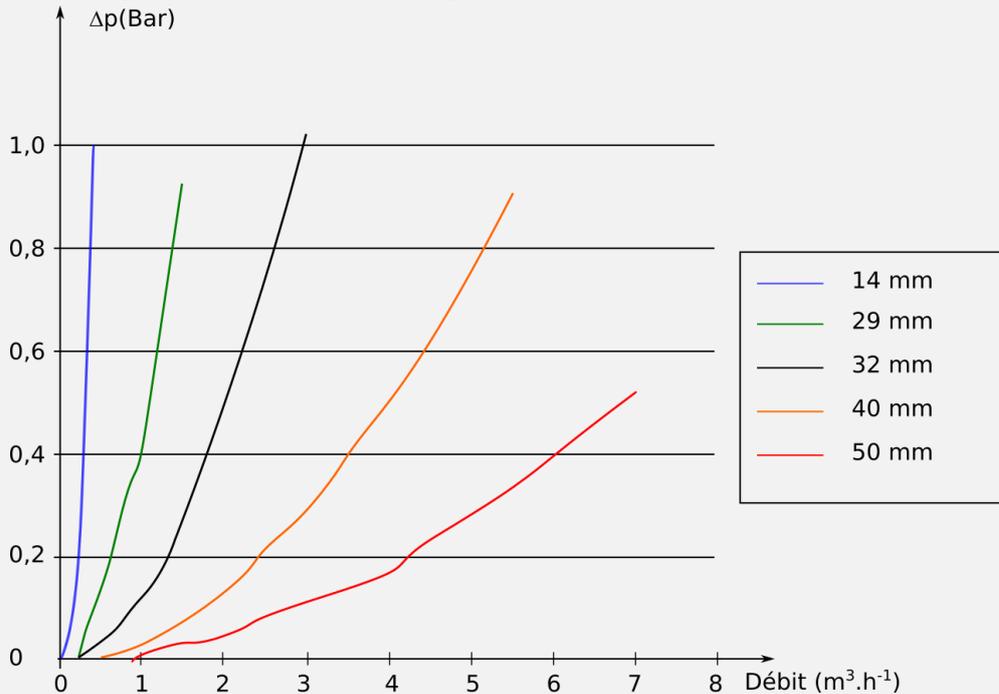
On estime un arrosage correct avec $6 \text{ L/m}^2/\text{jour}$. Il est préférable d'arroser en quatre heures au maximum.

Etape 2 : calcul des pertes de charge des tuyaux

L'abaque suivant correspond à des canalisations en PVC (souple ou rigide).

La perte de charge est indiquée pour une canalisation de 100 m.

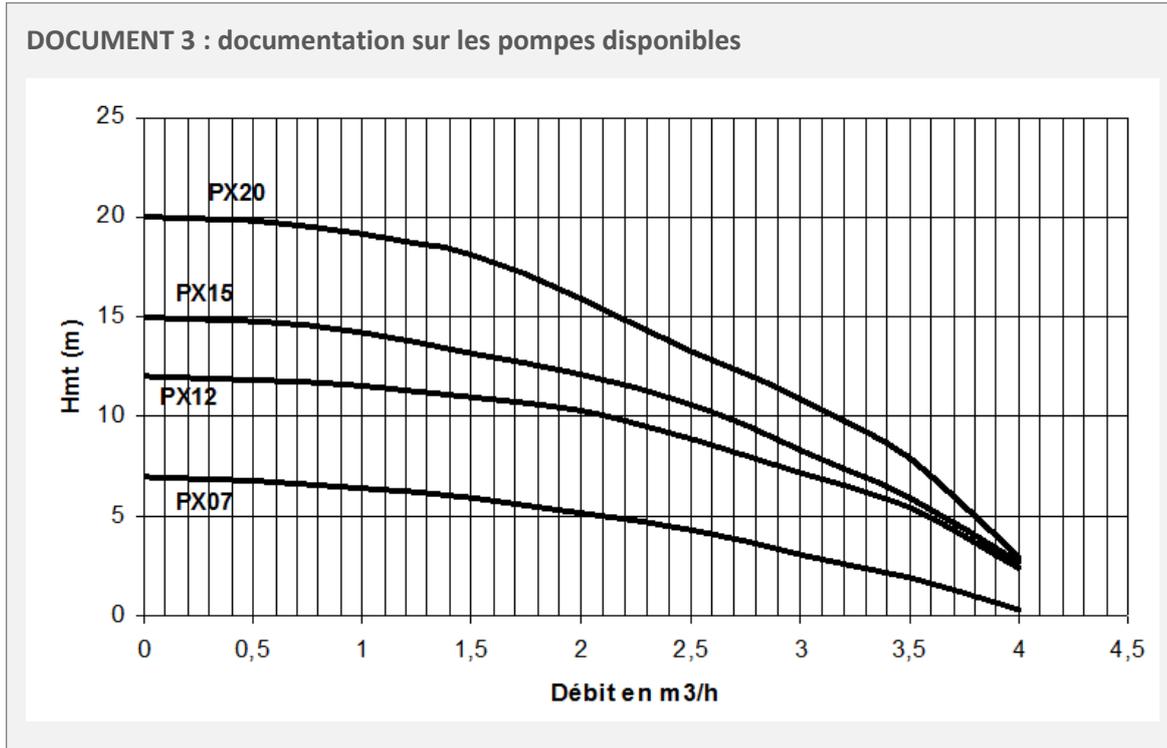
La perte de charge est proportionnelle à la longueur de la canalisation.


Etape 3 : calcul des pertes de charge totale

Il faut additionner aux pertes de charges calculées à l'étape 2, les pertes de charge dues aux accessoires placés sur la tuyauterie. Pour cela, on indique pour chaque accessoire la perte de charge exprimée en longueur de tuyau équivalente L_e . Cela revient à dire que l'accessoire crée la même perte de charge qu'une longueur de tuyau L_e .

Par exemple, si une vanne crée une perte de charge équivalente L_e de 3 m de tuyau, on ajoute 3 m à la longueur réelle de tuyau utilisé.

Accessoire	Longueur équivalente en mètre de tuyaux
Vanne avant asperseur	2
Asperseur	20
Filtre à l'aspiration de la pompe	3



ACTIVITÉ 5 : Récolte de sel en Indonésie

Un voyageur de passage à Bali se promène sur la plage quand il aperçoit une femme âgée effectuer des allers-retours de la mer jusqu'en haut de la plage. Elle transporte à chaque fois de l'eau de mer avec une palanche. Intrigué par cette activité il lui demande ce qu'elle fait. Elle lui explique qu'elle transporte l'eau de mer pour l'étendre sur le sable de la partie haute de la plage. Il s'agit de la première partie du procédé permettant la récolte du sel.

Comme le voyageur trouve le travail de cette femme très pénible, il poursuit la conversation avec elle afin d'examiner s'il ne serait pas intéressant pour elle d'utiliser une pompe pour acheminer l'eau de mer en haut de la plage. Membre d'une association d'aide aux pays en voie de développement, il se propose même de lui fournir la pompe, la canalisation et un filtre.

Il rassemble les données pour son étude dans trois documents.

De retour en France, il effectue des calculs qui confortent son idée première : l'installation d'une pompe aura un impact très positif sur cette famille indonésienne.

Votre travail consiste à reprendre les différents points de cette étude :



1. Calculer la masse d'eau de mer traitée actuellement et en déduire la masse de sel obtenu par le procédé en une journée.
2. Calculer le débit d'eau de mer nécessaire avec le nouveau procédé.
3. Calculer les pertes de charge du circuit hydraulique.
4. A l'aide de la relation de Bernoulli, calculer la puissance hydraulique nécessaire pour la pompe.
5. En déduire la puissance consommée par la pompe.
6. Calculer le coût de fonctionnement hebdomadaire de la pompe.
7. Réaliser le bilan financier comparatif hebdomadaire (situation avant et après l'installation de la pompe).
8. Indiquer des limites de cette étude en envisageant les approximations ainsi que tous les paramètres non pris en compte.

DOCUMENT 1 : caractéristiques de l'eau de mer

- concentration en chlorure de sodium : 35 g.L^{-1}
- densité : 1,05

DOCUMENT 2 : description du procédé actuel

- Nombre d'aller-retour de la mer à la plage : 6 par heure en moyenne
- Nombre d'heures de travail par jour : 6 h en moyenne (6 jours par semaine)
- Masse d'eau de mer transportée chaque fois : environ 15 kg

On peut considérer que la récupération du sel est de 60 % sur l'ensemble du procédé (non décrit dans cette étude)

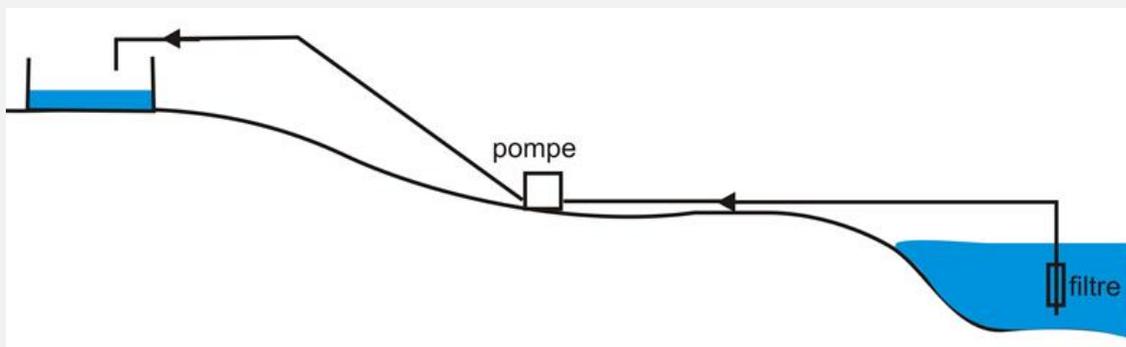
Vente du sel : 2 Euros / kg

DOCUMENT 3 : description du procédé envisagé

Les terrains disponibles pour cette petite exploitation familiale lui permettront de doubler la quantité d'eau de mer traitée. La main d'œuvre nécessaire pour cette augmentation sera largement compensée par le temps gagné sur le transport manuel de l'eau.

Le bac de stockage de l'eau de mer existant est de taille largement suffisante pour recevoir la quantité d'eau envisagée. Pour des raisons pratiques, la quantité d'eau de mer sera apportée dans la journée en trente minutes.

Le schéma de l'installation prévue est indiqué ci-dessous.



- différence d'altitude (niveau moyen de la mer - sortie au-dessus du bac) : 12 m
- longueur totale de canalisation : 65 m
- diamètre de canalisation : 27 mm
- perte de charge due à la canalisation : 0,82 kPa.m⁻¹
- perte de charge due au filtre : 52 kPa

Les pertes de charge sont approximatives et correspondent à une moyenne pour la gamme de débits envisageables

- pompe : moteur thermique à essence
- rendement de la pompe : 40 %
- consommation de la pompe : 200 g de carburant par kWh
- densité essence : 0,760
- prix au litre de l'essence : 0,56 Euros / L

DOCUMENT 4 : relation de Bernoulli entre deux points du circuit hydraulique

$$P_A + \rho \cdot g \cdot z_A + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_A^2 + \frac{P_{hyd}}{Q_V} - \Delta p_{charge} = P_B + \rho \cdot g \cdot z_B + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_B^2$$



ACTIVITÉ 6 : Remplacement d'éléments de canalisation

Dans le cadre d'un projet destiné à remplacer des canalisations anciennes détériorées par la corrosion, votre fonction est d'apporter les informations nécessaires à ce choix.

Les canalisations actuelles sont en acier et ont un diamètre de 27 mm. Le liquide à l'intérieur est de l'eau.

Pour ce remplacement, on envisage de changer le matériau pour du PVC, de diminuer le diamètre des canalisations ainsi que d'ajouter une vanne sur le circuit pour arrêter la circulation si besoin. Ces changements seront validés aux conditions suivantes (voir document 1) sur une plage de débit allant de 2 à 4 m³.h⁻¹.

DOCUMENT 1 : conditions de remplacement

Remplacement de l'acier par le PVC	Diminution minimale de 50% des pertes de charge
Modification du diamètre : PVC de 17 mm à 17 mm	Perte de charge maximale de 4 Bar pour une longueur de 50 m de canalisation
Installation d'une vanne	Perte de charge maximale de 50 mBar en position ouverte

La société qui commercialise les canalisations et les accessoires vous a envoyé les résultats des essais qu'elle a réalisés (document 2). Les résultats sont exprimés sous forme de tableau de mesures.

Vous devez rendre un rapport contenant notamment les éléments suivants :

1. Relier la perte de charge Δp à la différence de pression entre deux points.
2. Tracer les courbes expérimentales des pertes de charge Δp en fonction de la longueur de canalisation pour deux débits.
3. Modéliser les courbes précédentes pour déterminer la relation mathématique existant entre la perte de charge et la longueur de la canalisation pour chaque débit.
4. Justifier si les points suivants sont conformes au cahier des charges :
 - Remplacement du matériau
 - Réduction du diamètre
 - Installation d'une vanne

DOCUMENT 2 : résultats des essais avec de l'eau à 25°C

Les canalisations des essais sont alimentées par une pompe placée sur une autre partie de circuit.

Les valeurs indiquées dans les tableaux sont les différences de pression ΔP entre les deux extrémités des canalisations.

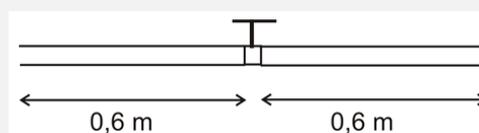
Essai 1 : les canalisations ont une longueur de 2 m et sont horizontales. Les prises de pression sont effectuées aux deux extrémités de la canalisation.

Débit ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	PVC (17 mm) ΔP (mbar)	PVC (27 mm) ΔP (mbar)	acier (27 mm) ΔP (mbar)
0,5	8	1	3
1,0	29	3	7
1,5	52	5	15
2,0	102	10	26
2,5	155	15	39
3,0	217	20	55
3,5	291	27	76
4,0	365	34	96
4,5	449	42	122
5,0	541	52	150
5,5	649	64	181

Essai 2 : les canalisations en PVC sont horizontales et de diamètre 27 mm. Les prises de pression sont effectuées aux deux extrémités de la canalisation.

Longueur (m)	Débit : $2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ΔP (mbar)	Débit : $4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ΔP (mbar)
0,5	3	8
1,0	4	18
1,5	7	26
2,0	10	34

Essai 3 : la canalisation en PVC est horizontale et de diamètre 27 mm. Une vanne complètement ouverte est placée au centre selon le schéma suivant.



Débit ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	ΔP (mbar)
0,5	1
1,0	5
1,5	10
2,0	16
2,5	24
3,0	34
3,6	46
4,0	59
4,5	74
5,0	91
5,5	109