

Equipement d'un forage d'eau potable

Mise en situation

La Société des Sources de Soultzmatt est une Société d'Economie Mixte (SEM) dont l'activité est l'extraction et l'embouteillage d'eau de source en vue de sa commercialisation.

Résumé de l'historique du projet et enjeux:

La production annuelle d'eau de source de la SEM des eaux de Soultzmatt s'élève aux environs de 22 millions de cols (bouteilles). En tenant compte de l'eau de rinçage, cette production correspond à une consommation globale de 40 000 m³/an.

La société envisage d'amener sa production annuelle à 36 millions de cols, soit un besoin total en eau de source de 60 000 m³. Elle doit donc augmenter ses capacités d'extraction et pour cela mettre en exploitation un nouveau forage (L4) assurant un débit maximum de 10 m³/h (donnée du cahier des charges défini par la société).

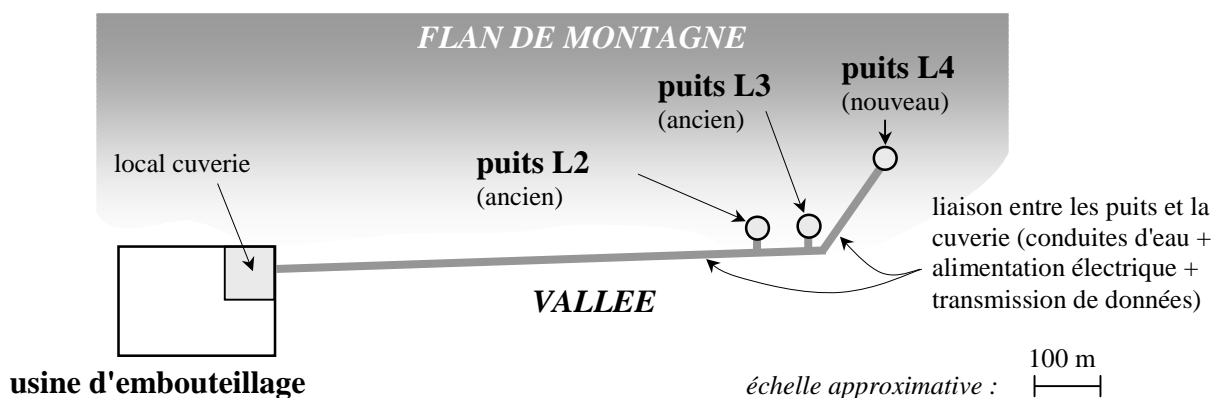
L'enjeu est donc d'obtenir **en quantité suffisante** une eau de **qualité contrôlée**.

Description de l'installation :

L'eau est pompée à partir de 3 puits (L2 et L3 sont les plus anciens, L4 a été installé en 2007 et fera l'objet de cette étude), jour et nuit, vers un local « cuverie », qui sert de stock tampon en entrée du cycle de production.

L'eau est ensuite embouteillée sur 2 chaînes (une chaîne bouteilles plastique et une chaîne bouteilles verre) avant palettisation et stockage. Cette partie sera hors étude.

Le puits L4 est à environ un kilomètre de l'usine et **le suivi devra se faire à distance**.



plan schématique du site : puits et usine d'embouteillage

Problématiques abordées :

Pour répondre à la commande de production de cols, il est nécessaire de contrôler le débit et la qualité de l'eau. Cela conduira à dimensionner la pompe immergée et à déterminer les outils de contrôle indispensables.

Les parties abordées seront donc les suivantes :

- dimensionner et choisir la pompe immergée et réguler le débit.
- alimenter le puits en énergie électrique : déterminer la section de câble, choisir les protections.
- obtenir une qualité contrôlée : choisir les capteurs et l'instrumentation associée.
- contrôler cette qualité à distance : choisir et étudier partiellement le support de communication.

Présentation du puits L4

Le puits L4, sujet de cette étude, est constitué d'un forage et d'un local technique abritant la tête de forage et les équipements, comme le montre la photo de droite.

La pompe et son moteur d'entraînement sont immergés au fond du forage. Le moteur est piloté par un variateur de vitesse ATV 61 lui-même commandé par un automate qui assure à la fois la régulation du débit d'eau dans la conduite de refoulement et le dialogue entre les équipements du puits et la cuverie, celle-ci étant distante de presque 1 km. Un ensemble de capteurs permettent de maîtriser le pompage et de surveiller la qualité de l'eau.

La *figure 1* présente, d'un point de vue fonctionnel, les équipements du puits.

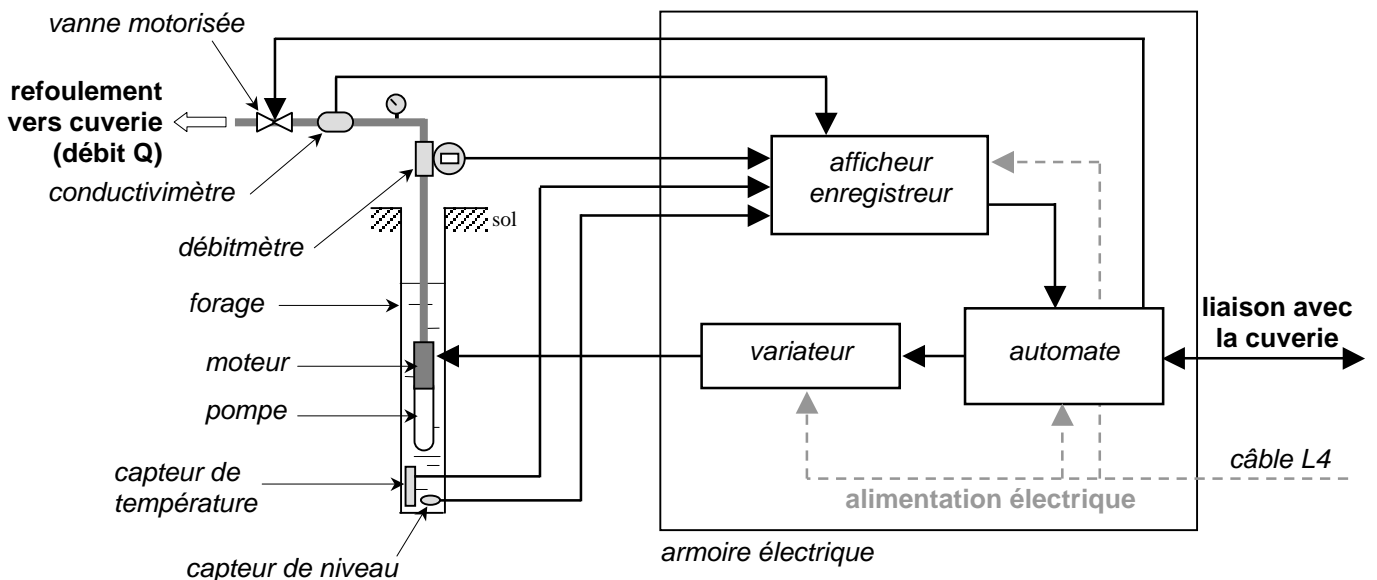
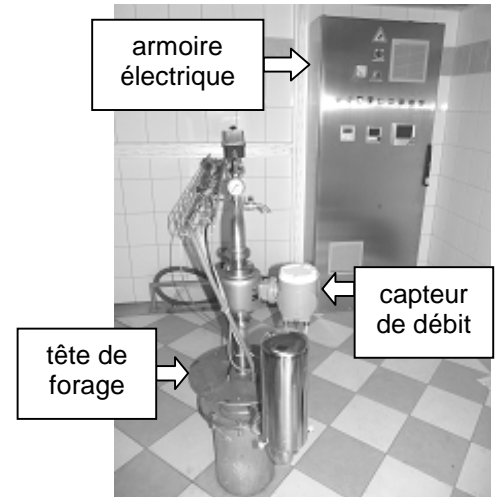


figure 1 : schéma des équipements du puits L4

La valeur moyenne du débit Q de la pompe, fixée par les besoins en eau de l'usine, est de $7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Pour s'adapter aux variations de niveau du puits L4, il peut varier entre $Q_{\min} = 4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ et $Q_{\max} = 10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

A. Choix de la pompe

La **figure 2** présente le profil de la conduite hydraulique reliant la pompe immergée du puits L4 à la cuve 1R de la cuverie, destinée à recevoir l'eau de ce puits.

Il s'agit d'une conduite en PVC de diamètre intérieur $D = 50 \text{ mm}$ et de longueur totale $L = 920 \text{ m}$.

Les pertes de charge linéiques le long de cette conduite dépendent du débit volumique Q et sont données par :

$$J = 0,076.Q^2 + 0,26.Q$$

où J sont les pertes de charge POUR 100 m DE CONDUITE (elles sont exprimées en m de colonne d'eau). Q est le débit (exprimé en $m^3.h^{-1}$).

Vu la grande longueur et la forme de la conduite, on négligera les pertes de charge singulières devant les pertes de charge régulières.

Une prise d'air en haut du forage permet de maintenir la pression de la surface de l'eau dans le puits à la pression atmosphérique.

Côté refoulement dans la cuve 1R, l'eau débouche également à la pression atmosphérique.

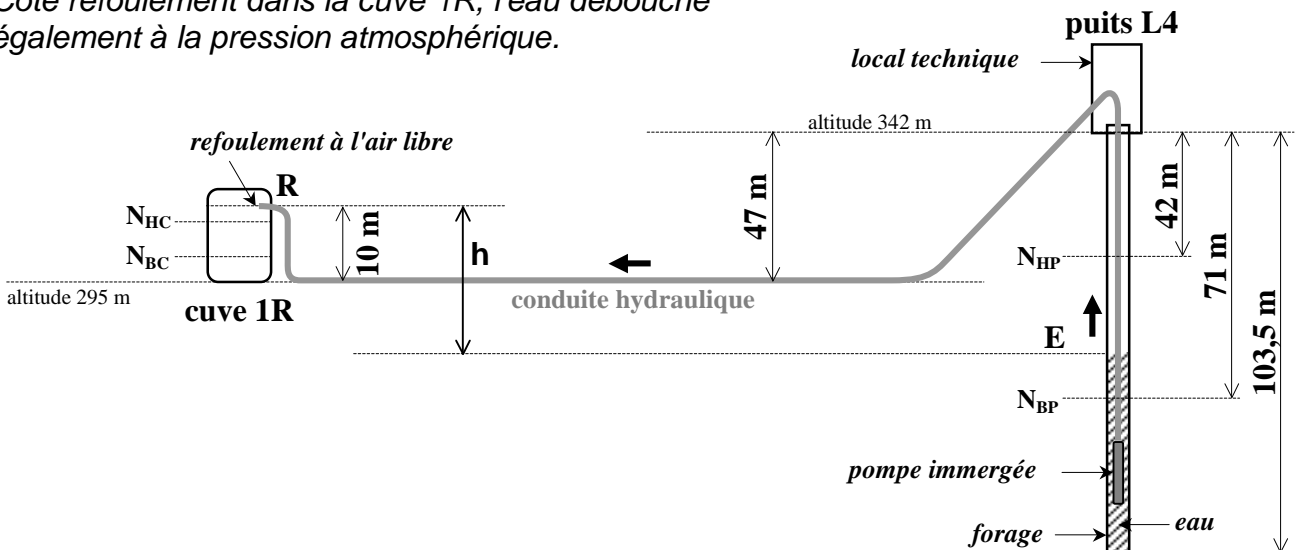


figure 2 : profil de l'installation hydraulique

Au cours d'une l'année, le niveau d'eau dans le puits peut varier entre une valeur minimale N_{BP} et maximale N_{HP} .

Données :
 masse volumique de l'eau : $\rho = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$
 accélération du champ de pesanteur : $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$

A.1. caractéristiques hydrauliques de l'installation en vue du choix de la pompe et du moteur

On rappelle l'expression de la puissance hydraulique P d'une pompe :

$$P = Q. \rho.g.H_{pompe}$$

où Q est le débit de fluide traversant la pompe (exprimé en $m^3.s^{-1}$) et H_{pompe} sa hauteur manométrique totale.

Ainsi que l'expression du théorème de Bernoulli généralisé :

$$p_B + \rho \cdot g \cdot z_B + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_B^2 = p_A + \rho \cdot g \cdot z_A + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_A^2 + \rho \cdot g \cdot H_{\text{pompe}} - \rho \cdot g \cdot \Delta H$$

où - p_B , z_B et v_B sont respectivement la pression, l'altitude et la vitesse du fluide en un point B situé en aval de l'écoulement

- p_A , z_A et v_A sont respectivement la pression, l'altitude et la vitesse du fluide en un point A situé en amont de l'écoulement

- H_{pompe} et ΔH la hauteur manométrique de la pompe et les pertes de charges exprimées en m de colonne de fluide

A.1.1. Déterminer les valeurs h_{min} et h_{max} du dénivelé h entre le point de refoulement dans la cuve 1R et la surface de l'eau dans le puits (voir *figure 2*) :

- h_{min} : valeur de h lorsque l'eau dans le puits est au niveau haut N_{HP}
- h_{max} : valeur de h lorsque l'eau dans le puits est au niveau bas N_{BP} .

Indiquer les valeurs trouvées dans la colonne de gauche du tableau du *document-réponse A.1*.

A.1.2. En appliquant le théorème de Bernoulli généralisé, entre les points E et R, établir une relation entre :

- H_{pompe} : hauteur manométrique totale de la pompe (nécessaire à faire circuler l'eau dans l'installation) exprimée en m de colonne d'eau
- h : le dénivelé défini à la question précédente
- ΔH : les pertes de charges totales dans la conduite exprimées également en m de colonne d'eau.

On admettra que les termes correspondant à l'énergie cinétique volumique sont négligeables devant les autres termes de la relation.

A.1.3. En déduire que H_{pompe} peut s'exprimer en fonction du débit Q dans la conduite par la relation : $H_{\text{pompe}} = 0,7 \cdot Q^2 + 2,4 \cdot Q + h$ avec H_{pompe} en m et Q en $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

A.1.4. Compte tenu des caractéristiques de l'installation et des variations possibles du débit, calculer la valeur maximale de H_{pompe} .

A.1.5. Calculer la puissance hydraulique P_{hydrau} que doit fournir la pompe pour assurer un débit $Q = 10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ avec un dénivelé $h = h_{\text{max}}$.

A.1.6. En s'aidant des questions précédentes, compléter le tableau du *document-réponse A.1* en indiquant pour chaque cas :

- la hauteur manométrique totale nécessaire apportée par la pompe H_{pompe}
- la puissance hydraulique fournie par la pompe P_{hydrau} .

A.2. validation du choix de la pompe et du moteur

La pompe choisie est un modèle centrifuge immergé, destiné à ce type d'application. Sa vitesse maximale de rotation est de **3000 tr.min⁻¹**.

Son réseau de caractéristiques hydrauliques (en traits pleins) est fourni sur le **document-réponse A.2**, c'est-à-dire les courbes représentant la hauteur manométrique totale de la pompe en fonction de son débit pour différentes vitesses de rotation (données du constructeur).

Sur ce même document-réponse figurent également les caractéristiques (en traits pointillés) de l'installation (hauteur manométrique totale nécessaire en fonction du débit)

pour les 2 cas extrêmes correspondant respectivement à $h = h_{\min}$ (l'eau dans le forage est au niveau haut) et à $h = h_{\max}$ (l'eau dans le forage est au niveau bas).

Le moteur d'entraînement est de type asynchrone triphasé, de puissance **7,5 kW** et de vitesse nominale **2870 tr.min⁻¹**.

- A.2.1. On rappelle que la plage de variation de débit souhaitée s'étend de 4 à 10 m³.h⁻¹. Compléter le *document-réponse* A.2 en hachurant la surface correspondant à l'ensemble des points de fonctionnement possibles de la pompe. Conclure quant à la validité du choix de cette pompe.
- A.2.2. En déduire n_{\min} et n_{\max} , respectivement valeur minimale et valeur maximale de la vitesse de rotation de la pompe lors de son fonctionnement sur le site.
- A.2.3. Pour un débit $Q = 10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, la pompe choisie a un rendement mécanique $\eta_{\text{pompe}} = 65\%$. Déterminer la puissance utile P_u que devra délivrer le moteur d'entraînement dans les conditions de la question A.1.5.
- A.2.4. A l'aide des résultats des 2 questions précédentes, valider le choix du moteur.

B. Solution pour obtenir un débit variable

On rappelle que le moteur d'entraînement de la pompe est une machine asynchrone triphasée de 7,5 kW. L'ensemble moteur-pompe est immergé au fond du puits.

Les caractéristiques nominales de ce moteur sont les suivantes :

puissance utile : $P_{uN} = 7,5 \text{ kW}$
 vitesse de rotation : $n_N = 2870 \text{ tr.min}^{-1}$
 fréquence : $f_N = 50 \text{ Hz}$
 tension : $U_N = 400 \text{ V}$
 intensité : $I_N = 17 \text{ A}$
 facteur de puissance : $\cos \varphi_N = 0,84$

La pompe est reliée mécaniquement au moteur par un accouplement direct, si bien que les deux ont même vitesse de rotation.

B.1. motorisation de la pompe

On a réalisé une série de mesures sur la pompe en place dans le puits pour un niveau d'eau moyen dans le forage, qu'on supposera constant. Ces mesures ont permis de tracer :

- la caractéristique mécanique de la pompe, c'est à dire le couple d'entraînement en fonction de sa vitesse de rotation. Cette courbe est donnée sur le **document-réponse B.1**.
- le débit de la pompe en fonction de sa vitesse de rotation. Cette courbe est représentée sur la **figure 3** (page suivante).