

SYSTEME D'EXHAURE EFFICACE DANS LA MINE A CIEL OUVERT DE KAMFUNDWA EN R.D.CONGO

EFFICIENT DEWATERING SYSTEM TO KAMFUNDWA OPEN PIT MINE IN D.R.CONGO

KILUBA NSENGA, S.*, KAPENDWE KIPILI, M.*, KATWIKI NDOLWA, C.*

Résumé

L'exploitation dans la phase A de la mine de KAMFUNDWA doit passer du niveau 1260 au niveau 1240 ; ainsi un système d'exhaure devant gérer et évacuer les différentes venues d'eau est indispensable. D'après nos recherches, les principales sources des venues d'eau sont :

- La pluie, dont la pluviométrie moyenne annuelle sur les huit ans des données disponibles est de 1176,6 mm;
- La nappe proche dont le jaillissement est directement drainé dans la mine à un débit moyen de 62,2 m³ /h.
- Le débit d'eau de pluie étant très variable pendant la saison de pluie, nous avons considéré le plus grand débit saisonnier pour une bonne marge de sécurité, et qui a été trouvé à 371,6 m³/h.

Dans notre système d'exhaure nous avons besoin d'un puisard capable d'emmagasiner sans incident et sans pompage pendant 4 heures, les différentes venues d'eau (de drainage, de ruissellement, de pluie). Sa capacité a été trouvée égale à 1735,2 m³ ; une installation de pompage dont les caractéristiques ont été déterminées et qui valent respectivement 11,7m de hauteur manométrique de la pompe centrifuge ou hélice à installer, 254 mm de diamètre de la conduite d'aspiration ayant 3m de long et 203,2mm de diamètre de la conduite de refoulement ayant 9m de long ; les pertes de charge à

*Département des Mines de la Faculté Polytechnique de l'Université de Lubumbashi

l'aspiration et au refoulement ont été déterminées, pour les conduites en fonte et en acier valent respectivement, 0, 2m et 0,7m.

Mots-clés: Exhaure, puisard, venues d'eaux, bassin versant, débit, pertes de charge, pompe

Abstract

The exploitation in the phase A of the KAMFUNDWA mine must increase from level 1260 to level 1240; so a dewatering system having to manage and having to evacuate the different arrivals of water is indispensable. According to our research, the main sources of the water arrivals are:

- Rain of which the annual average pluviometer measure on the eight years of the available data is of 1176, 6 mm;
- The near tablecloth whose spur is drained directly in the mine to an average debit of 62, 2 m³/h.
- The debit of rainwater being very variable during the rainy season, we considered the biggest seasonal debit for a good margin of safety, and that has been found to 371,6 m³/h.

In our dewatering system we need a cesspool capable to store without incident and without pumping during 4 hours, the different arrivals of water (of drainage, of dripping, of rain). Its capacity has been found to 1735,2 m³; a pumping installation whose features have been determined and are respectively worth 11,7m of barometric height of the centrifugal pump or helix to install, 254 mm of diameter of the aspiration conduct having 3m of long and 203,2mm of diameter of the repression conduct having 9m of long; the losses of pressure to the aspiration and to the repression have been determined, for the conducts in iron and are worth respectively, 0, 2m and 0, 7m.

Keywords: dewatering, cesspool, waters arrivals, basin pouring, debit, losses of pressure, pump.

1. Introduction

Les venues d'eau pendant l'exploitation minière font parties des problèmes très délicats qu'il faut maîtriser pour une bonne évolution des travaux, car elles peuvent conduire même à l'arrêt de l'exploitation faute de les maîtriser. C'est pourquoi une exhaure préalable avant l'exploitation et une exhaure permanente pendant l'exploitation, en fonction de la connaissance que l'on dispose de l'hydrogéologie du site, revêtent une importance indéniable pour une bonne continuité des travaux d'exploitation.

Le passage de l'exploitation du niveau 1260 au niveau 1240 par des gradins successifs de 10m dans la phase A de la mine de KAMFUNDWA située à 8 km de la cité de KAMBOVE, à $10^{\circ} 48' 54''$ de latitude Sud et à $26^{\circ} 35' 19''$ de longitude Est ; exige une conception d'un système d'exhaure pouvant faire face aux différentes venues d'eau ; pour cela il faut les identifier et les quantifier sur base des paramètres liés à la géologie du site. Pour ce faire nous traitons dans le présent travail, des données de huit saisons pluvieuses, allant de 2003 à 2011 ; nous considérons que le débit maximum moyen d'eau de pluie que nous avons trouvé sur huit ans ne sera en aucun cas dépassé, et le système d'exhaure que nous concevons, devra tenir compte de ce débit maximum pour une bonne marge de sécurité comme indiqué dans le manuel de GRUNDFOS (2013). Ce système d'exhaure comporte, un puisard qui devra collectionner les eaux drainées sur le niveau 1250 et dont la capacité est une donnée eue sur chantier et déterminée sur base des expériences réalisées par l'exploitant actuel; ainsi qu'une installation de pompage ; les conduites d'aspiration et de refoulement dont nous déterminons les dimensions. Dans la suite de ce travail, nous parlons un peu de l'hydrologie et l'hydrogéologie du site, de l'évaluation des venues d'eau et de la conception même du système d'exhaure.

2. Matériels et méthodes

2.1. Aperçu hydrologique et hydrogéologique du site de KAMFUNDWA

Le niveau hydrostatique se maintient au niveau 1300, mais le réseau hydrographique de la rivière de MULUNGUISHI le rabat à 1260 ; ce rabattement divise les gisements du groupe d'écailles auxquels fait partie la phase A en deux parties dont l'une supérieure, pour laquelle il n'y aura guère le problème de rabattement d'eau, et l'autre inférieure où le rabattement d'eau sera nécessaire. Les venues d'eau dans une mine ont trois origines principales, qui sont : les précipitations, les ruissellements et les nappes (Bell, 2007). C'est ainsi que dans la mine de KAMFUNDWA, les venues d'eau majeuresont pour origine : les précipitations et les deux nappes d'eau souterraines dont l'une est représentée par des poches d'eau moins importante qui ne gêne pas l'exploitation ; et l'autre libre, située en dessous de la phase B. L'eau de cette dernière est drainée vers la phase A , la phase B se trouvant à un niveau élevé par rapport à la phase A. Notons que la présence des terrains argileux et dolomitiques sur le site, fait que la perméabilité des couches (Bell, 2007) de la mine étudiée soit réduite ; et du fait du niveau topographique élevé du site, notre mine se trouve au potentiel hydraulique (Blyth et Freitas, 2005) élevé en dépit de l'étendue du bassin versant de la fosse de la mine qui est aussi faible.

2.2. Evaluation des venues d'eau dans la mine de KAMFUNDWA

Les études d'exhaure dans une mine sont étroitement liées à celles d'hydrologie et d'hydrogéologie de la région de la mine. Pour ce faire il faudra connaître principalement les éléments suivants : la hauteur pluviométrique du bassin versant de la mine, la superficie du bassin versant de la mine, l'état du terrain de la mine (végété ou non), la présence ou non ainsi que la nature des nappes souterraines, la présence ou non des failles communiquant avec les

nappes ou les cours d'eau ; le degré de perméabilité des terrains de la mine. Il faut noter cependant que notre étude fait partie de l'exhaure secondaire (Freeport, 2005) qui n'est rien d'autre que l'ensemble des dispositions techniques visant à gérer et évacuer par pompage hors du champ minier des eaux météoriques, celles de ruissellement, celles venant des drains horizontaux, celles des fuites de tuyauteries, etc.

Comme dit précédemment, les venues d'eau dans la mine de KAMFUNDWA ont comme principales origines les précipitations ; et les deux nappes d'eau souterraines dont l'une est représentée par des poches d'eau moins importante qui ne gêne pas l'exploitation et n'étant pas encore précisément quantifiée ; et l'autre libre, située en dessous de la phase B, son eau est drainée vers la phase A ; et c'est seule celle-ci qui entre dans le compte de nos calculs.

2.2.1. Eaux des précipitations

Les venues d'eau des précipitations sont déterminées en tenant compte principalement d'éléments suivants :

a) La superficie du bassin versant

La mesure de la superficie du bassin versant de la mine a été déterminée en tenant compte de la superficie et du relief du champ minier de la mine de KANFUNDWA ; c'est-à-dire le bassin versant hydrologique qui circonscrit la ligne de crêtes topographiques telle que les eaux de ruissellement superficiel se rassemblent vers un exutoire unique (le puisard)(Blyth et Freitas, 2005).

Sa détermination a été rendue possible par le calcul de la superficie de la zone quadrillée sur la figure 1, qui représente le champ minier. Et en tenant compte du relief, une partie d'eau de pluie serait suite à la pente naturelle, conduite hors du champ minier ; ce qui réduirait la quantité d'eau à recevoir par le puisard. Pour tenir compte de cette dernière, nous avons enlevé la superficie concernée par le ruissellement vers l'extérieur du champ minier pour ne rester qu'avec la zone bordée par la ligne en gras sur la figure 1. Cette dernière est approximativement estimée à 60% de la surface totale.

La figure 1 nous donne les courbes des niveaux du champ minier de KAMFUNDWA produites par le logiciel SURPAC après implémentation des données topographiques de la mine.

Nous remarquons facilement que la surface de cette figure quadrillée est celle d'un carré de côté 1100m. Cette surface nous donne une superficie de $1100^2 = 1210000\text{m}^2$. De ce résultat nous tirons les 60% qui représentent la superficie du bassin versant dans notre champ minier et qui est approximativement délimité par le contour en gras sur la figure 1 ci-dessus, elle vaut 726000 m^2 .

b) la hauteur pluviométrique

Sur base des données des hauteurspluvieuses mensuelles de 2003-2004 à 2010-2011 telles quérécoltées à KAMFUNDWA, auservice de géologie de la GECAMINES ; nous trouvons les hauteurs pluviométriques moyennes mensuelles pour une saison pluvieuse dans le tableau 1 ci-dessous. Ces données montrent que la pluviométrie du site de la mine de KAMFUNDWA respecte l'allure d'une courbe en cloche d'une saison pluvieuse (Peiffer, 2005) avec maximum au mois de décembre.

b1) Courbe de variation de la hauteur des précipitations mensuelles en une saison de pluie

Sur base du tableau 1 nous parvenons à tracer la courbe donnant les variations mensuelles des précipitations pour une saison annuelle (figure 2), et par conséquent, donnant les variations des venues d'eau des précipitations.

b2) Détermination des venues d'eaux saisonnières moyennes des précipitations

Sur base des données des précipitations de huit ans récoltées à KAMFUNDWA et données dans le tableau 1 ci-dessus, nous avons déterminé la hauteur pluviométrique moyenne saisonnière $P_{mo} = 1176,6\text{mm}$.

b3)Débit à prendre en compte dans la conception du systèmed'exhaure

Pour une bonne sécurité dans le dimensionnement de nos ouvrages, nous calculerons le débit d'eaude

pluie en tenant compte du mois le plus pluvieux qui présente d'ailleurs le plus grand débit à prendre en compte pour le dimensionnement de nos ouvrages comme indiqué dans le manuel de GRUNDFOS (2013).

Sur la figure 2 nous voyons le pic au niveau du mois de décembre, qui correspond à la hauteur de pluie de 245,7mm.

La quantité d'eau (Q_m) de pluie tombée et recueillie à la mine durant le mois de décembre le plus pluvieux sera trouvée par la formule ci-après (Haward et al, 1992):

$$Q_m = CAH_m(1)$$

Avec C : coefficient de ruissellement égal à 1 pour aire décapée (Rodier, 1993) ;

A : aire totale du bassin versant (en m^2) ;

H_m : hauteur pluviométrique mensuelle (en m).

$$Q_m = 1 \times 726000 \times 0,2456875 = 178369,1 \text{ m}^3/\text{mois}.$$

Le passage à un débit horaire commence par celui au débit journalier. Pour cela, une simple division par 30 ne serait pas juste du fait qu'il n'y ait pas pluie chaque jour du mois considéré, mais plutôt une division par le nombre de jours où il y a eu pluie pendant le mois considéré est une évidence. Se référant aux données eues à KAMFUNDWA, le nombre de jours est donné par la moyenne arithmétique sur les huit ans concernés:

$$N = \frac{22+23+17+24+23+18+19+21}{8} = 20,9$$

Comme nous avons déjà la valeur de précipitations mensuelles pour le mois de décembre, choisi comme référence ; le débit journalier est inversement proportionnel au nombre de jours qu'il y a eu pluie ; nous arrondissons par défaut en prenant en moyenne la valeur de $N = 20$ jours, de sorte à accroître encore une fois la sécurité dans le dimensionnement de nos ouvrages.

Le débit journalier sera donné par :

$$Q_j = \frac{Q_m}{N}(2)$$

$$Q_j = \frac{178369,13}{20} = 8918,5 \text{ m}^3/\text{Jr} ; \text{ le débit horaire } Q_h, \text{ sera donc égal à } 371,6 \text{ m}^3/\text{h}.$$

b4) Le coefficient de ruissellement

Le coefficient de ruissellement est égal à l'unité pour des aires décapées et vaut 0,2 pour des aires avec végétation (Rodier, 1993) ;(Haward et al, 1992). Dans notre cas la surface toute entière de notre bassin versant est une aire exploitée, donc décapée soit par la production, soit par la nécessité de garder les aires pour la pose des remblais ; ce qui implique que nous prendrons pour nos calculs, l'unité pour coefficient de ruissellement.

2.2.2. *Eaux des nappes*

Comme dit précédemment, pour des raisons évidentes, seul l'eau de la nappe libre se trouvant en dessous de la phase B à 1300 m d'altitude, et drainée vers la phase A à partir de la jonction de deux phases, a été prise en compte. Selon les expériences faites par la GECAMINES, cette eau a un débit moyen de 62,2 m³/h.

2.3. Conception du système d'exhaure

Notre système d'exhaure sera constitué du puisard qu'il faudra dimensionner et qui sera implanté au niveau 1250 ; et d'une installation de pompage, constitué de conduite d'aspiration et conduite de refoulement. Le débit de l'installation de pompage d'exhaure devra tenir compte du débit d'alimentation du puisard. Les dimensions à donner au puisard doivent tenir compte du temps requis pour stocker l'eau dans le puisard sans pompage, qui est de 4 heures dans notre cas ; des dimensions de travail de l'engin de creusement ainsi que de la hauteur des gradins. Pour ce faire nous devons déterminer la dimension du puisard, le diamètre de la conduite d'aspiration, les pertes de charge dans la conduite d'aspiration ; le diamètre de la conduite de refoulement, les pertes de charge dans la

conduite de refoulement et la hauteur manométrique de la pompe à installer convenable pour les eaux chargées. Les pertes des charges locales dans les coudes(raccords) ont été négligées car étant très faibles.

2.3.1. Dimensionnement du puisard

En mettant ensemble toutes les venues d'eau ; le débit horaire d'alimentation du puisard vaut 433, 8 m³/h. Notre puisard doit avoir la capacité d'absorber le débit ci haut pendant 4 heures du temps requis sans pompage(Haward et al, 1992).

2.3.2. Dimensionnement du circuit d'exhaure

Le circuit d'exhaure n'est rien d'autre que le réseau des tuyauteries à travers lesquelles les eaux pompées quittent un puisard ou un puits filtrant vers un point de refoulement situé en dehors du champ minier (Freeport, 2005). Un circuit d'exhaure est caractérisé par la hauteur géométrique, le débit du fluide, la tuyauterie d'aspiration et de refoulement, les pertes des charges. La caractéristique de l'installation permet de faire le choix de la pompe qui donnerait les résultats escomptés (hauteur manométrique, débit, ...) dans les meilleures conditions de son fonctionnement.

Considérons la figure 3 ci-dessous :

Avec P_1 : la pression en (1) qui est égale à la pression atmosphérique.

C_1 : la vitesse du liquide en (1) qui est nulle. Z_1 : la côte en (1).

P_4 : la pression en (4) qui est égale à la pression atmosphérique.

C_4 : la vitesse du liquide en (4). Z_4 : la côte en (4).

H_g : la hauteur géométrique. H_a : la hauteur géométrique d'aspiration.

H_r : la hauteur géométrique de refoulement.

P_i , Z_i et C_i représentent, la pression, la cote et la vitesse en i.

Lorsqu'on tient compte des pertes de charge dans les conduites d'aspiration J_a [J/kg] ou J_a/g [m] ; et de refoulement J_r [J/kg] ou J_r/g [m] : c'est-à-dire exprimé en mètre.

Avec ρ : la masse volumique, et g : 9,81 m/s².

Trajet 1-2 : équation de Bernoulli (Lemasson, 1967) ; (Ranald, 1986) ; (Riadh, 2008):

$$0 = \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \frac{1}{2}(C_2^2 - C_1^2) + g(Z_2 - Z_1) + J_a \quad (3)$$

Trajet 2-3 : équation de l'écoulement avec échange de travail W_{23} (LEMASSON, 1967) ; (Ranald, 1986):

$$W_{23} = \frac{P_3 - P_2}{\rho} + \frac{1}{2}(C_3^2 - C_2^2) + g(Z_3 - Z_2) \quad (4)$$

Trajet 3-4 : équation de Bernoulli :

$$0 = \frac{P_4 - P_3}{\rho} + \frac{1}{2}(C_4^2 - C_3^2) + g(Z_4 - Z_3) + J_r \quad (5)$$

Ajoutant ces trois équations membre à membre :

$$W_{23} = \frac{P_4 - P_1}{\rho} + \frac{1}{2}(C_4^2 - C_1^2) + g(Z_4 - Z_1) + J_a + J_r \quad (6)$$

On appelle hauteur nette la quantité $H_n = (Z_4 - Z_1) + \frac{J_a + J_r}{g}$

Considérant le trajet 1-4 :

$$W_{14} = \frac{P_4 - P_1}{\rho} + \frac{1}{2}(C_4^2 - C_1^2) + g(Z_4 - Z_1) + J_a + J_r \quad (7)$$

Nous constatons que $W_{14} = W_{23}$ c'est-à-dire que pour le trajet 1-4, c'est à l'intérieur même de la pompe

que le fluide a reçu du travail.

Nous désignons par W_h le travail utile reçu par la masse de fluide de 1kg et par :

$H_h = \frac{W_h}{g}$ [m], la hauteur manométrique.

W_h et H_h sont donnés par les deux relations ci-dessous, obtenues suivant que l'on considère le trajet 1-4, ou le trajet 2-3 à l'intérieur même de la pompe :

$$W_h = g H_h = \frac{P_4 - P_1}{\rho} + \frac{1}{2}(c_4^2 - c_1^2) + g (Z_4 - Z_1) + J_a + J_r \text{ [J/kg]}$$

$$W_h = g H_h = \frac{P_3 - P_2}{\rho} + \frac{1}{2}(c_3^2 - c_2^2) + g (Z_3 - Z_2) \text{ [J/kg]}$$

W_h [J/kg] ou $H_h = \frac{W_h}{g}$ [m] représente l'effet utile dont est capable la pompe. C'est une caractéristique indiquée sur le catalogue du constructeur.

Le débit d'alimentation du puisard qui est de 433, 8 m³/h est pris comme étant le débit horaire nécessaire pour l'évacuation des eaux.

a) Conduite d'aspiration

En appliquant l'équation de Bernoulli compte tenu de la perte de charge entre 1 et 2 sur la figure 3, on a :

$$\frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{1}{2}(c_2^2 - c_1^2) + g (Z_2 - Z_1) + J_a = 0$$

$$H_a = Z_2 - Z_1 = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} - \frac{c_2^2}{2g} - \frac{J_a}{g} \text{ [m]}$$

L'eau à 20°C ; qui est une température courante de l'eau que l'on peut avoir à pomper ; si l'on ne veut pas que des dégagements de vapeur viennent perturber le fonctionnement de la pompe il faut que P_2 soit bien choisi.

Pour la détermination du diamètre de la tuyauterie d'aspiration, il faut se rassurer que la vitesse d'écoulement ne dépasse pas 2 m/s avec les pompes verticales et 2,5 m/s avec les pompes horizontales ; mais lorsque des pompes neuves de plus grosse taille sont mises en place dans une station ancienne, il est possible de dépasser ces valeurs comme dit dans le manuel de GRUNDFOS (2013). Le calcul de H_a nous a montré que la vitesse c_2 doit être faible : valeur courante 1,5 à 3 m/s. Sachant que pour de l'eau chargée, une valeur faible de la vitesse favorise le dépôt dans la tuyauterie, et une valeur très élevée favorise les pertes des charges et la cavitation (Ranald, 1986); la valeur courante de la vitesse à l'entrée d'une pompe, le liquide étant l'eau est $c_2=3\text{m/s}$ (Lemasson, 1967). Soit q_v [m^3/s] le débit, la relation $q_v = S c_2$ nous permet de calculer la section S de la conduite, et donc le diamètre.

b) Conduite de refoulement

En écrivant l'équation de Bernoulli entre 3 et 4, compte tenu de la perte de charge :

$$\frac{P_4 - P_3}{\rho} + \frac{1}{2}(c_4^2 - c_3^2) + g(Z_4 - Z_3) + J_r = 0$$

Relation qui permet de calculer P_3 .

En général la vitesse dans la conduite de refoulement est choisie un peu plus élevée que dans la conduite d'aspiration, 4m/s est une valeur courante (Lemasson, 1967).

C'est encore la relation $q_v = S c$ qui nous donne la section S de la conduite.

Connaissant $q_v = 433,8 \text{ m}^3/\text{h}$; nous retenons aussi la valeur de vitesse $v = 4\text{m/s} = 14400\text{m/h}$ qui est une valeur courante.

c) Pertes de charge

La perte de charge J sur une longueur L d'une conduite circulaire, exprimée en hauteur de liquide, est

donnée par (Ranald, 1986) ; (Delmotte, 2012) : $J = \lambda \frac{Lv^2}{D2g} [\text{m}]$ (8).

Avec λ le coefficient de perte de charge, qui est fonction de la rugosité K et du nombre de Reynold qu'on trouve sur le diagramme de Moody.

Le débit $Q = Sv$ où $S = \frac{\pi D^2}{4}$ est la section de la conduite.

Alors $J = \lambda \frac{L}{D} \frac{Q^2}{S^2} \frac{1}{2g} = \frac{8\lambda L}{\pi^2 D^5 g} Q^2 [\text{m}]$ (9).

Pour déterminer λ sur le diagramme de Moody, on cherche le rapport K/D . $K = 0,25\text{mm}$ pour une conduite en fonte comme indiqué dans le manuel de GRUNDFOS (2013), et le nombre de Reynolds $Re = \frac{VD}{\nu}$ où ν [m^2/s] est la viscosité cinématique ; pour l'eau à 20°C , $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Le nombre de Reynolds permet de se situer sur la nature d'écoulement.

- Pertes de charge dans la conduite d'aspiration

Nous savons que $J_a = \lambda \frac{Lv^2}{D2g}$ est la perte de charge de la conduite d'aspiration. Pour la valeur de λ sur le diagramme de Moody, avec $K = 0,25\text{mm}$ pour la fonte, $D = 254\text{mm}$; on a $\frac{K}{D} = \frac{0,25\text{mm}}{254\text{mm}} = 0,000984 \approx 0,001$. Avec le nombre de Reynolds $\approx 10^6$ dans le régime turbulent ; ces valeurs correspondent à $\lambda = 0,02$ sur le diagramme de Moody.

- Pertes de charge dans la conduite de refoulement

Nous savons que $J_r = \lambda \frac{Lv^2}{D2g}$ est la perte de charge dans la conduite de refoulement. En prenant $\frac{K}{D} = \frac{0,25\text{mm}}{203,2\text{mm}} \approx 0,001$ et le nombre de Reynolds $\approx 10^6$ dans le régime turbulent ; donc $\lambda = 0,02$ sur le diagramme de Moody.

d) Calcul du système d'exhaure

d1) Calcul des dimensions du puisard

D'où la capacité du puisard est donnée par : $4h \times 433,8 \text{ m}^3/\text{h}$ ce qui donne : $1735,2 \text{ m}^3$. Si l'on considérait le puisard ayant une forme cubique, son côté serait de $\sqrt[3]{1735,2 \text{ m}^3} = 12 \text{ m}$. Comme la profondeur du puisard doit être inférieure à la hauteur du gradin, et à la profondeur de creusement de l'excavateur ; la profondeur du puisard à concevoir doit être fixée de manière à respecter ces conditions.

Dans notre cas, nous avons des gradins de 10 m de hauteur ; et la pelle hydraulique CATERPILLAR 345 B L, qui a pour caractéristiques (tirées du manuel technique CATERPILLAR, Pelle hydraulique 345 B L) :

- Flèche Normale(R) de 6,9 m de long ;

- Bras (R) de 3,4 m de long ;

- Profondeur de fouille max de 7,4 m.

Tenant compte de ce qui précède, nous fixons la profondeur du puisard à 7 m ; il faudra réserver pour le puisard, une superficie de $1735,2 \text{ m}^3 / 7 \text{ m} = 247,9 \text{ m}^2$. Le puisard aura pour côté de 15,8 m de long lorsqu'on adopte la base carrée.

d2) Calcul de la conduite d'aspiration

Pour l'eau froide (température = 10 à 15°C), $P_2 = 30000$ à 40000 N/m^2 on arrive à $H_a = 5,8 \text{ m}$ lorsqu'on choisit $J_a/g = 1 \text{ m}$.

Une hauteur d'aspiration $H_a = 7 \text{ m}$ est possible si l'eau est très froide et si la perte de charge dans la conduite d'aspiration est faible. Il est souvent prudent de ne pas dépasser 5 m (Lemasson, 1967).

Pour nous, nous retiendrons une valeur de H_a inférieur ou égal à 5 m.

Nous retenons la vitesse $v = 3 \text{ m/s}$ dans la conduite d'aspiration compte tenu de ce qui est dit précédemment, cette valeur est la plus courante.

Nous avons $q_v = 433,79 \text{ m}^3/\text{h}$, la section de la conduite sera donnée par

$$S = \frac{q_v}{v} = \frac{433,79 \text{ m}^3/\text{h}}{10800 \text{ m/h}} = 0,04 \text{ m}^2$$

Pour la conduite de section circulaire, nous aurons $S = \frac{\pi D^2}{4} = 0,04 \Rightarrow D^2 = 0,05 \text{ m}^2$

$\Rightarrow D = 0,2257 \text{ m}$ ou $D = 225,7 \text{ mm}$. Il existe des valeurs normalisées des diamètres exprimées en pouces auxquelles doivent être reporté les valeurs obtenues après calcul. Il s'agit de 6'', 8'', 10'', 14'', 18'', 24'', 32'' et 36''. $D = 225,7 \text{ mm} \approx 8,8''$, qui sera reporté à $D = 10'' = 254 \text{ mm}$.

La longueur de la conduite d'aspiration L_a nous la fixons à $L_a = 5 \text{ m}$, car le niveau de l'eau dans le puisard sera variable du fait du débit variable au cours d'une saison pluvieuse ; on trouve $J_a =$

$$\frac{0,02 \cdot 5 \cdot 9}{0,254 \cdot 2 \cdot 9,81} = 0,2 \text{ m}.$$

d3) Calcul de la conduite de refoulement

$$\text{Sachant que : } q_v = S v, \Rightarrow S = \frac{433,79 \text{ m}^3/\text{h}}{14400 \text{ m/h}} = 0,03 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow S = \frac{\pi D^2}{4} = 0,03 \Rightarrow D^2 = 0,0382 \text{ m}^2 \Rightarrow D = 0,1954 \text{ m} \text{ ou } D = 195,4 \text{ mm} \approx 7,7'' \text{ qu'on reporte à } D = 8'' = 203,2 \text{ mm}$$

$$\text{Avec } L_r = 9 \text{ m}, v = 4 \text{ m/s}, J_r = \frac{0,02 \cdot 9 \cdot 16}{0,2032 \cdot 2 \cdot 9,81} = 0,7 \text{ m}$$

d4) Calcul de la hauteur manométrique

$$\text{Avec } P_4 = P_1 = P_{\text{atm}}, c_1 = 0, c_4 = 4 \text{ m/s}, Z_4 = 1260, Z_1 = 1250.$$

$$\text{Alors } H_h = \frac{16}{19,62} + 10 + 0,2 + 0,7$$

$$H_h = 11,7 \text{ m}.$$

La hauteur manométrique de la pompe à installer est de $H_h = 11,7 \text{ m}$.

e) Choix de la pompe

Pour notre cas, le puisard ayant 7 m de profondeur, son fond est à 1243 ; s'il est rempli, l'eau atteint le niveau 1250. Pour une marge de sécurité, et comme la hauteur d'aspiration est limitée, la pompe sera implantée à 1 m au-dessus du niveau 1250 et devra refouler de l'eau jusqu'à 1260, soit à 9 m plus haut.

On fait le choix de la pompe à installer au point de fonctionnement de l'installation (Haward,1992), qui n'est rien d'autre que le point d'intersection de la courbe caractéristique (débit Q- pression H) de la pompe fourni par les constructeurs, avec celle de l'installation. Ce point renseigne sur le débit et la hauteur manométrique de fonctionnement de l'installation ; dans notre cas c'est le point (433, 8 m³/h ; 11, 7m). Pour le cas d'eau chargée on utilise des pompes centrifuges ; il est conseillé de faire le choix de plusieurs pompes dans la gamme du fabricant ,dont la courbe passe au plus près du point de fonctionnement souhaité ; on peut y inclure à ce choix aussi bien des pompes dont la courbe passe au-dessus du point de fonctionnement souhaité, ce qui offre une marge de sécurité et permet d'augmenter la vitesse d'écoulement.

Dans notre cas, on remarque ici une faible hauteur manométrique pour un grand débit. Pour la pompe centrifuge, le débit est fonction de nombre de tours du rotor et plus ce nombre est grand, plus les pertes des charges deviennent importantes et la dépression qui en résulterait pourrait causer la cavitation ; dans ce cas il ya lieu d'associer les pompes en parallèle pour atteindre le grand débit souhaité ; ou recourir aux pompes hélices, qui ont la propriété d'avoir un grand débit pour une faible hauteur manométrique (Lemasson, 1967).

3. Résultats et discussion

Les résultats de notre étude sont regroupés dans le tableau 2 ci-dessous où nous constatons la nécessité d'utiliser une pompe à grand débit d'eau chargée et une hauteur manométrique faible. La courbe de la hauteur des précipitations moyennes mensuelles pour une saison pluvieuse sur la figure 2, montre une forte variation des venues d'eau pluvieuse au cours d'une saison allant de septembre à mai, ayant un maximum au mois de décembre ; ce qui implique que le débit auquel nous faisons face est très variable. Le dimensionnement du puisard en tenant compte du débit des venues maximales implique que tous les autres débits faibles, aussi faibles soient-ils, n'auront aucun incident sur l'exploitation, aussi longtemps que la durée de 4 heures prise comme référence dans le dimensionnement est respectée. Les vitesses de l'eau dans les conduites ont été raisonnablement fixées, du fait qu'une très grande vitesse favoriserait l'augmentation des pertes des charges, et une faible vitesse favoriserait le dépôt des particules en suspension dans la conduite. Les diamètres des conduites étant ramenés à des dimensions standards supérieures, le débit étant constant, ceci favorise la diminution des vitesses et donc des pertes des charges et de la hauteur manométrique ; ce qui réduit aussi le risque de la cavitation. Il faut noter aussi que le point de fonctionnement que nous avons déterminé ne tient pas compte de cette légère diminution des vitesses, ce qui implique que le choix de notre pompe se fera avec la courbe caractéristique de la pompe qui passe au-dessus du point réel de fonctionnement ; ce qui accroît la marge de sécurité dans le fonctionnement. La faible hauteur manométrique et l'exigence du gros débit défavorise le choix de la pompe centrifuge en faveur de la pompe hélice lorsqu'on veut éviter l'encombrement. La référence aux catalogues defabriquants des pompes (Flowserve, Flygt, ...) est ici nécessaire afin de faire le choix de la pompe qui s'adapte à notre situation dans la gamme variée de celles-ci.

4. Conclusion

En conclusion nous dirons que, la conception d'un système d'exhaure efficace n'est possible qu'en connaissant le débit des venues d'eau et le temps requis pour le fonctionnement du système sans pompage. Eu égard aux données que nous avons reçues pour faire cette étude, les venues d'eau dans la phase A de la mine de KAMFUNDWA ont deux sources principales que nous citons ; la pluie en quantité majeure, dont nous avons trouvé le débit maximal de $371,6 \text{ m}^3/\text{h}$, et la nappe souterraine située en dessous de la phase B dont le débit est de $62,2 \text{ m}^3/\text{h}$;cequi fait un débit d'alimentation total de $433,8 \text{ m}^3/\text{h}$. Sur base du débit d'alimentation, de quatre heures journalières requises pour le fonctionnement du système sans pompage et de l'état de lieu ; nous avons pu dimensionner le puisard et les installations du circuit d'exhaure. Les résultats de notre étude du système d'exhaure efficace sont les suivants :

Un puisard ayant une capacité de $1735,2 \text{ m}^3$, une profondeur de 7m et une superficie de $247,9 \text{ m}^2$.

La tuyauterie a un diamètre de 254 mm à l'aspiration et 203,2 mm au refoulement.

Les pertes des charges linéaires sont de 0,2 m à l'aspiration pour conduite en fonte de 3 m de long ; et de 0,7 m au refoulement pour conduite en fonte de 9m de long.

La hauteur manométrique de la pompe et le débit souhaité sont respectivement 11,7 m et $433,8 \text{ m}^3/\text{h}$ qui représentent le point de fonctionnement de l'installation.

Dans le choix de la pompe à installer, à cause de l'exigence du gros débit, nous conseillons l'association des pompes centrifuges en parallèle afin d'atteindre le débit souhaité, ou faire recours à la pompe hélice.

L'étude que nous avons menée a été réalisée de manière à faire fonctionner le système d'exhaure dans les meilleures conditions ; néant moins la voie reste ouverte pour toute volonté visant à approfondir ce domaine de conception de systèmes d'exhaure très indispensable pour l'exploitation minière.

Remerciements

Nous remercions tous les personnels de la mine de Kamfundwa pour leur hospitalité et leur esprit de collaboration. Nous remercions en particulier monsieur Emmanuel KANDURI, le directeur d'exploitation de la mine de Kamfundwa ; l'ingénieur civil des mines MWASHYA ; monsieur Ludovic MONGA et monsieur HAMISI ALAKI pour leur assistance dans la récolte des données qui nous ont permis de réaliser le présent travail.

5. Références

Bell F.G. 2007. Engineering geology second edition, Elsevier, UK, London pp.151-160.

Blyth, F.G.H. and Freitas, M.H.2005. A Geology for Engineers, Seventh Edition, Elsevier BUTTERWORTH-HEINEMAN, Oxford, UK, London pp. 213-226.

Delmotte, C. 2012. Calcul des pertes de pression et dimensionnement des conduits de ventilation, CSTC, Bruxelles, pp3-8.

Freeport P.T. 2005. Surface Mine Planning Standard Manual Edition 1, Indonesia pp.153-172

Haward L. H et al. 1992. SME Mining Engineering Handbook 2nd edition Volume 1, Littleton, Colorado pp.1158-1169.

Lemasson, G. 1967. Les machines transformatrices d'énergie, TOME II, librairie de LAGRAVE, Paris, pp29-48.

Manuel du pompage en assainissement (GRUNDFOS ASSAINISSEMENT), disponible sur www.grundfos.com , juillet, 2013 pp41-74.

Peiffer M. 2005. Paramétrisation du bilan hydrique et établissement des flux d'eau et des nutriments dans des séquences de hêtraies de plaine, Thèse de doctorat, ENGREF, Paris, pp77-84.

Ranald V. G. 1986.SerieSchaum Mécanique des fluides et hydraulique Mc Graw Hill pp63-250

Riadh B. H. 2008. Notions de mécanique des fluides, cours et exercices corrigés, CPU, Tunis pp10-130.

Rodier, J. A. 1993.Méthode utilisée pour le calcul du coefficient de ruissellement sur les bassins représentatifs et expérimentaux, E.D.F, Paris, pp1-12.

ANNEXES

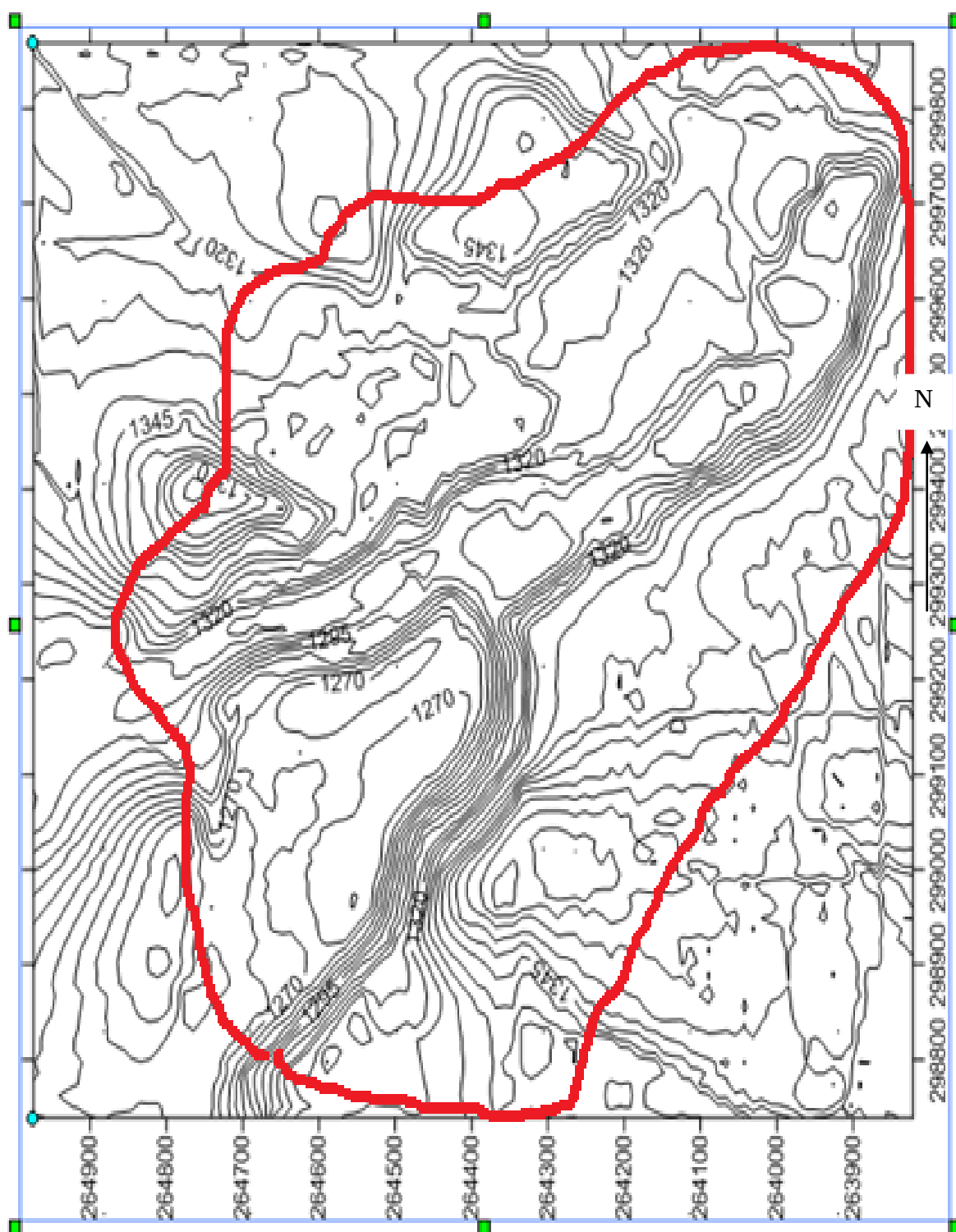


Figure 1. Carte montrant les courbes des niveaux dans le champ minier de la mine de KAMFUNDWA

Tableau 1. Hauteurs pluviométriques moyennes mensuelles pour une saison pluvieuse [mm]

SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI
12,6	51	189,2	245,7	238,1	200,3	175,9	52,5	11,3

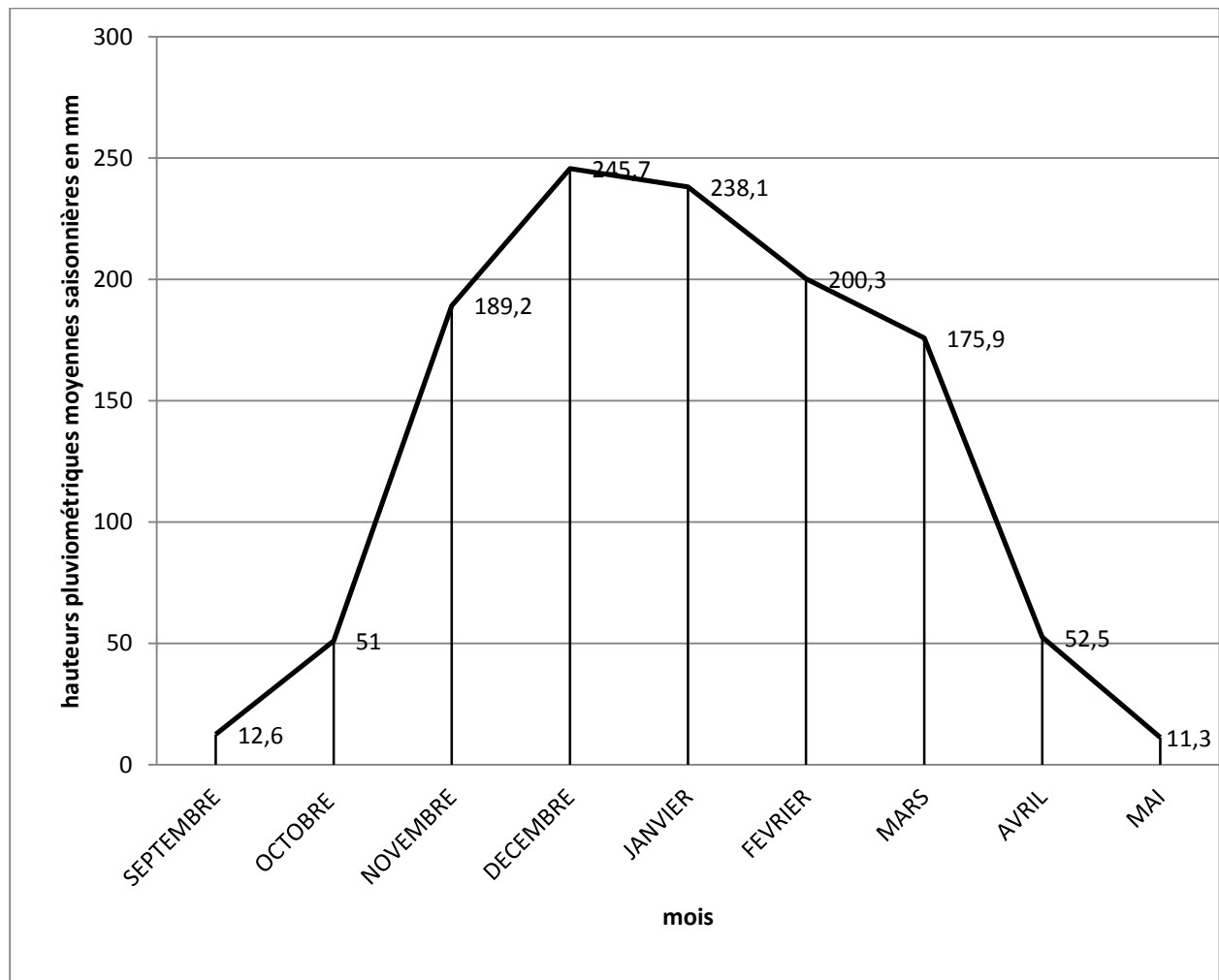


Figure 2. Courbe des variations des hauteurs pluviométriques moyennes mensuelles pour une saison pluvieuse

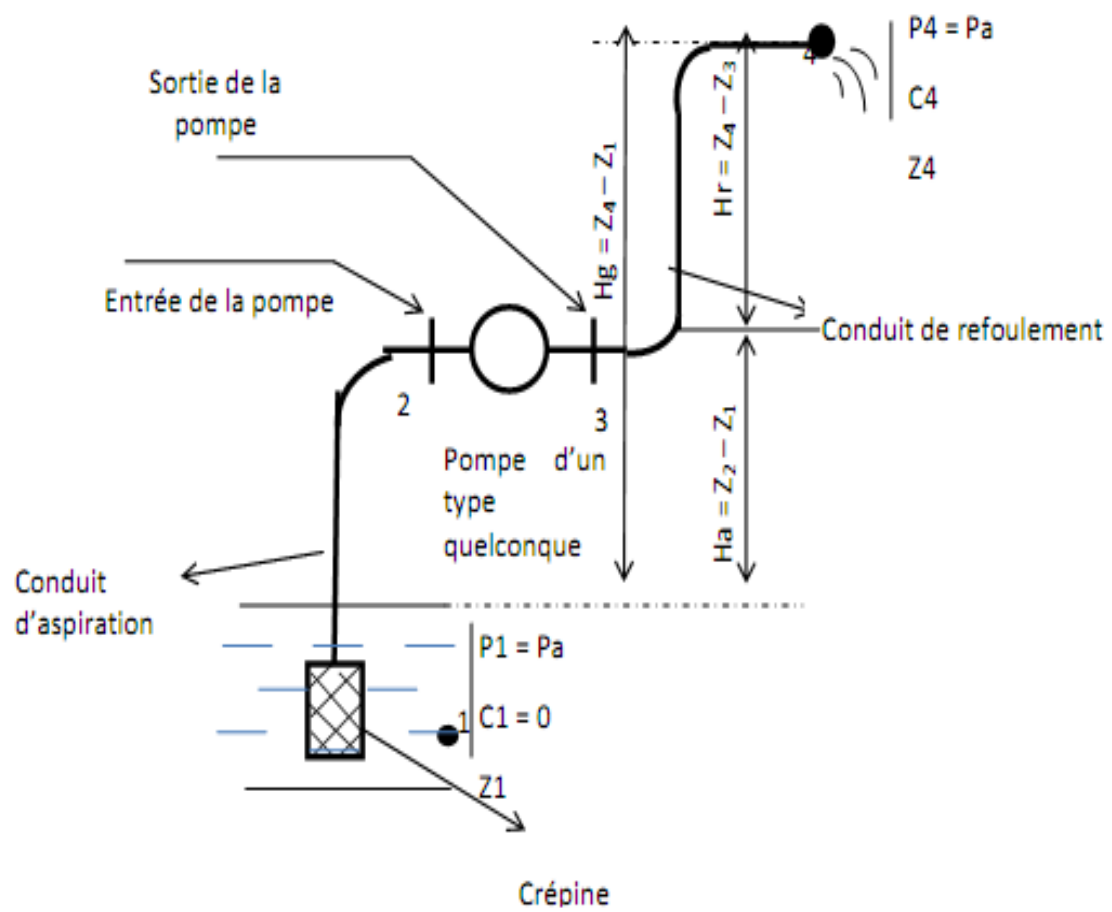


Figure 3 : Schéma de principe d'installation d'une pompe

Tableau 2 : Eléments caractéristiques du système d'exhaure

Eléments du système d'exhaure	
	caractéristiques
1. Puisard	Base carré ; Profondeur : 7 m ;Côté : 15,75 m.
2. Conduite d'aspiration	$L_a = 5\text{ m}$; $D = 254\text{ mm}$; $V_a = 3\text{ m/s}$; $J_a = 0,1806\text{ m}$
3. Conduite de refoulement	$L_r = 9\text{ m}$; $D = 203,2\text{ mm}$; $V_r = 4\text{ m/s}$; $J_r = 0,7224\text{ m}$
4. Choix de la pompe	Point de fonctionnement : $(433,8\text{ m}^3/\text{h}$; $11,7\text{ m})$