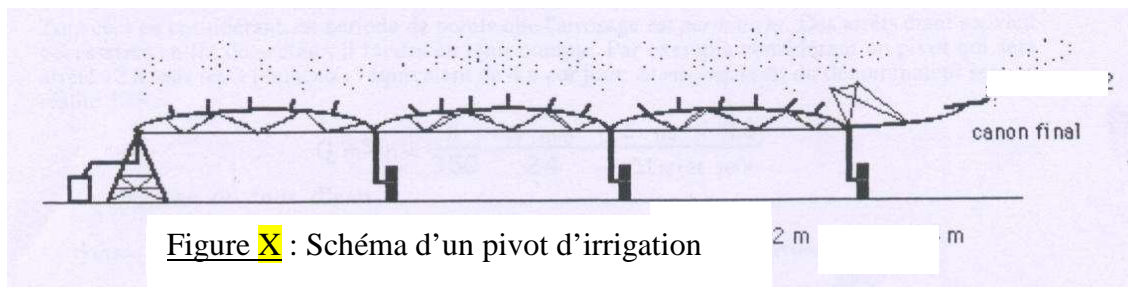


Le choix entre les différentes possibilités se faisant en fonction du prix, les éléments à prendre en compte sont :

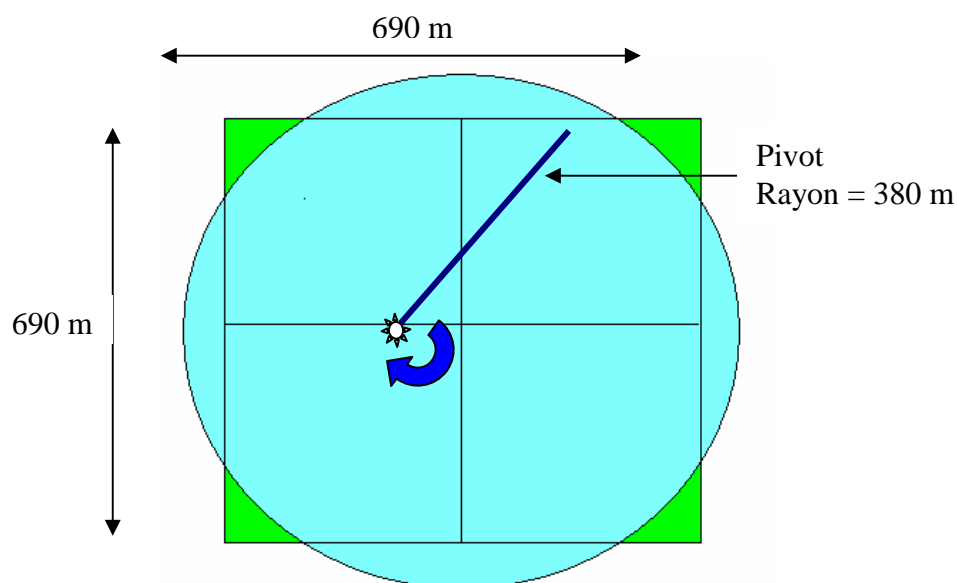
- prix du forage
- installation du massif de gravier
- tubage (plein + crépine)
- pompe (puissance)
- exploitation (tarif d'EDF)
- installation d'une réserve
- coût d'exploitation en fonction du temps
- périmètre de protection (1 ou 2).

Présentation de la demande

Un agriculteur désire faire construire un puits pour l'irrigation de ses cultures : 30 hectares de maïs (2 x 15 ha) et 15 hectares de betteraves. Il vient d'acquérir un pivot de 380 mètres qui lui permettrait d'irriguer ses 45 hectares sur 6 jours, 24 heures sur 24. Les schémas relatifs au pivot et à la zone à irriguer sont donnés par les figures X et X'.



La surface totale irriguée est donnée par la formule : S_T (en ha) = $[\pi * (\text{rayon du pivot})^2] / 10000$



Pour cela, il souhaite que son puits ait un débit moyen journalier de 2160 m³/jour, soit 90 m³/heure. Ce débit doit être continu sur 2 mois (15 juin au 15 août), le temps durant lequel l'agriculteur irrigue ses cultures.

La nappe dans laquelle doit pomper le puits est une nappe captive. Les hypothèses relatives aux nappes captives sont :

- un aquifère confiné entre 2 couches imperméables et considéré infini de hauteur constante, et homogène
- un écoulement permanent (indépendant du temps) et horizontal

Plusieurs agriculteurs, relativement éloignés les uns des autres, sont autorisés à irriguer leurs cultures à partir de cette nappe. Des quotas de prélèvement d'eau ont été instaurés, permettant de maintenir un niveau relativement correct de la nappe sur toute l'année, et notamment en période dite « de sécheresse ». Les quotas sont attribués en fonction de la surface à irriguer de chaque exploitant agricole.

Pour notre exemple, l'agriculteur possède 45 ha, soit un quota de prélèvement d'eau de 140000 m³/an. Pour ses besoins en eau, il utilisera en moyenne 2160 m³/jour sur 62 jours, soit environ 134000 m³ sur 2 mois, ce qui est inférieur au quota attribué.

Présentation de l'aquifère

L'exploitation se situe au-dessus d'une nappe confinée, le pompage s'effectuera dans cette nappe :

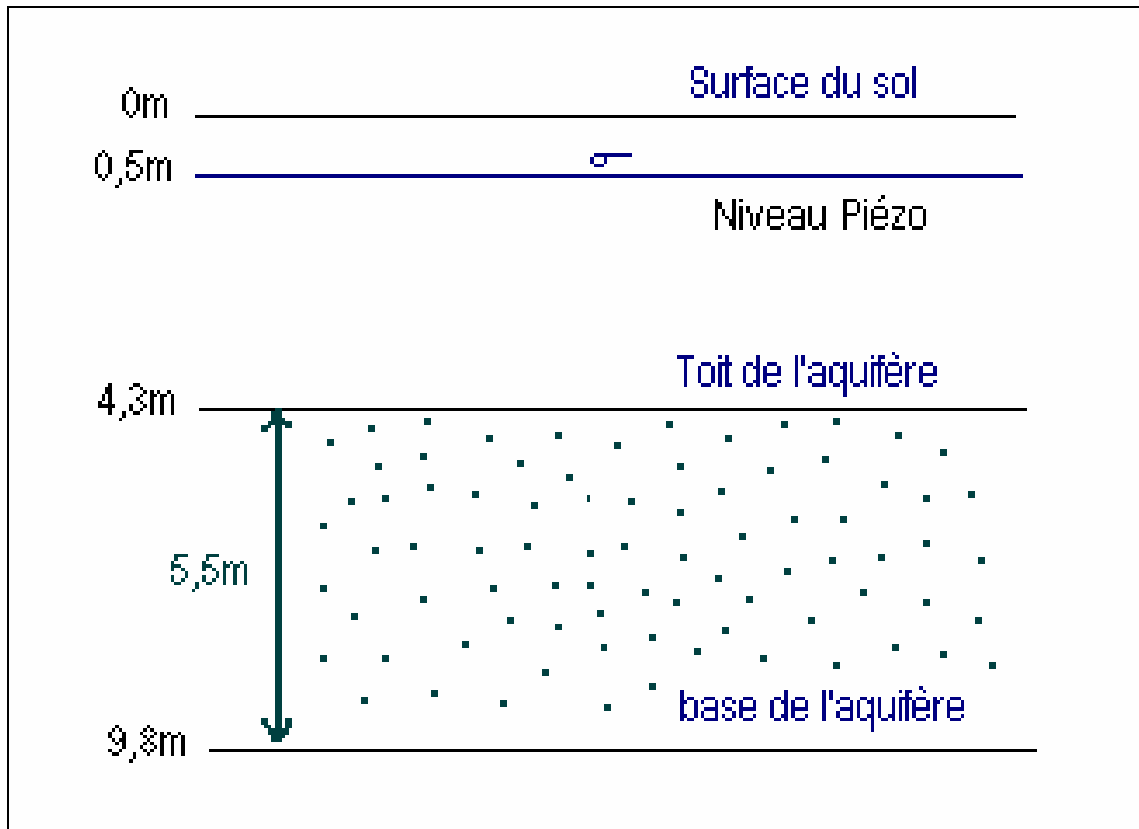


Figure : coupe géologique de la nappe confinée.

Coupe géologique de l'aquifère :

- de 0 à 2m : terre végétale et argiles
- de 2m à 4,3m : argiles
- de 4,3m à 9,8m : sables fins à moyens.

L'aquifère présente les caractéristiques suivantes :

- perméabilité $K=5 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$
- épaisseur de l'aquifère $b=5,5\text{m}$ donc la transmissivité $Kb = T=2,75 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$
- charge piézométrique avant pompage $H=9,3\text{m}$
- Coefficient d'emmagasinement $S=0,001$

Le rabattement maximum que l'on peut imposer à la nappe est de 3,8m au niveau du puit (pour ne pas dénoyer la nappe). On se placera dans un cas idéal, en considérant l'hypothèse de Dupuit valide (écoulements horizontaux).

Capacité maximum de pompage dans la nappe

Le temps de pompage souhaité est de 2 mois, 24h/24, à un débit de $90\text{m}^3/\text{h}$ au maximum. On doit donc se placer en régime permanent. Dans une nappe captive, on peut considérer qu'on est en régime permanent au bout de deux semaines (au maximum).

Pour ne pas dénoyer la nappe, on souhaite ne pas dépasser un rabattement de 2,8m à 1m du puit.

A l'aide de l'équation de Cooper-Jacob du rabattement en fonction du temps en nappe confinée, on calcule le débit maximum correspondant à un pompage permanent pendant 2 semaines, et pour $s(r=1)=2,8\text{m}$:

$$s(r) = (2,3Q / 4\pi T) \log (2,25Tt/r^2S)$$

$$\Leftrightarrow Q = (s(r)4\pi T) / (2,3 \log (2,25Tt/r^2S))$$

$$\Leftrightarrow Q_{\max} = 192\text{m}^3/\text{h}$$

Ce débit maximum est supérieur à la demande, on pourra donc prélever $90\text{m}^3/\text{h}$.

Le pompage de la nappe à $90\text{m}^3/\text{h}$ pendant 2 semaines provoque un rabattement (calculé avec l'équation de Cooper-Jacob) de :

$$s(r=1) = 1,31\text{m}$$

Rayon d'influence

Le rayon d'influence est calculé avec l'équation de Dupuit en nappe captive :

$$s(r) = (Q / 2\pi T) \ln (R/r)$$

$$\Leftrightarrow s(r) = (-Q \ln 10 / 2\pi T) \log (r/R)$$

$$\Leftrightarrow s(r) = a \log r + b$$

$$\Leftrightarrow a = -0,33 \text{ et } b = 1,31$$

$$\text{donc } s(r) = -0,33 \log r + 1,31$$

On obtient une équation linéaire du rabattement en fonction de $\log r$, et on calcule R pour $s(r)=0$

$$\Leftrightarrow s(R) = 0$$

$$\Leftrightarrow \log R = 1,31 / 0,33 = 3,91$$

$$\Leftrightarrow R = 8640\text{m}$$

Le rayon efficace ou rayon idéal du puit

Le rayon idéal du puit correspond au rayon pour lequel la surface piézométrique fait un angle avec l'horizontale de 45° .

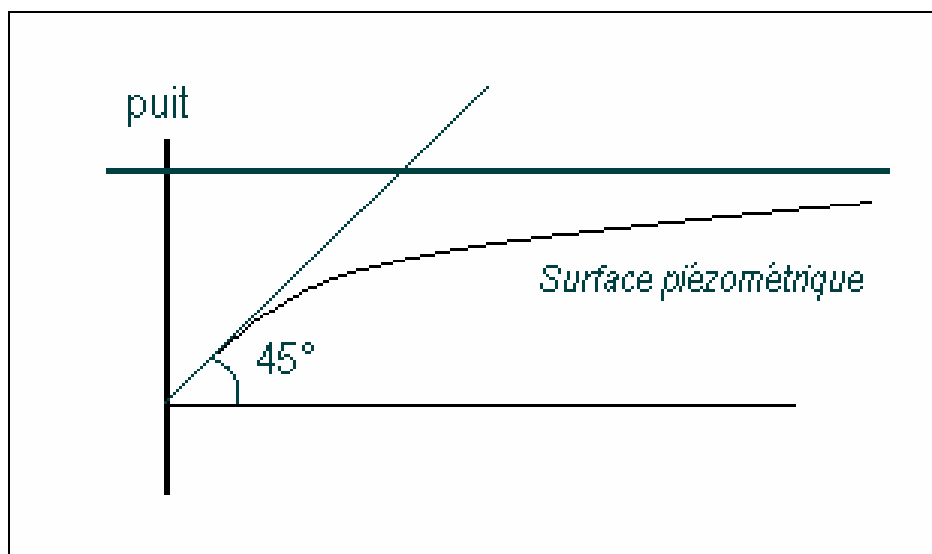


Figure : schéma montrant l'angle critique de 45° entre la surface piézométrique et l'horizontale au niveau du puit.

Cette valeur critique permet de ne pas entraîner trop de particules fines, par rapport à la vitesse d'écoulement induite par le gradient hydraulique au voisinage du puit.

On calcule le rayon efficace r_e à partir de l'équation de Darcy différentielle, avec un gradient hydraulique $dh/dr = 1$ ($\tan 45^\circ = dh/dr = 1$) :

$$Q = 2\pi T r_e dh/dr$$

$$\Leftrightarrow Q = 2\pi T r_e$$

$$\Leftrightarrow r_e = Q/2\pi T$$

$$\Leftrightarrow r_e = 14,5\text{cm}$$

On a donc un diamètre de puit de 30cm, ce qui correspond à 11,8". On prendra donc un diamètre de puit de 12".

Le rabattement au niveau du puit pour ce diamètre est de :
 $s(r=6'') = 1,58\text{m} < 2,8\text{m}$

Les conditions de rabattement maximum sont respectées.

Choix de la crépine

Calcul du coefficient d'uniformité C_u

La courbe granulométrique du sable de l'aquifère (annexe) nous donne les valeurs de d_{60} et d_{10} :

- $d_{10} = 0,12\text{mm}$
- $d_{60} = 0,54\text{mm}$

, avec d_{10} le diamètre supérieur à 10% des grains du sable, et d_{60} le diamètre supérieur à 60% des grains du sable.

Le coefficient d'uniformité C_u du sable est donc de :

$$C_u = d_{60} / d_{10} = 4,54$$

C_u est supérieur à 4, il faut procéder à un développement naturel avec un massif de gravier.

La granulométrie du gravier est donnée par les formules :

- $D_{10} = 5 d_{10} = 0,6\text{mm}$
- $D_{30} = 5 d_{30} = 1,23\text{mm}$
- $D_{60}/D_{10} = 3 \Leftrightarrow D_{60} = 3 D_{10} = 1,8\text{mm}$

, avec D_{10} le diamètre supérieur à 10% des grains du gravier. La courbe granulométrique du gravier est sur l'annexe....

Caractéristiques de la crépine

Le slot de la crépine (diamètre des ouvertures de la crépine) est égale au D_{30} du gravier. On a donc un slot = 1,23mm

La vitesse d'entraînement V_e des grains du même diamètre que le slot de la crépine est supérieure à 3cm/s (Guide pour l'équipement des puits). On prendra donc $V = 3\text{cm/s}$.

Le « Guide pour l'équipement des puits » a été tracé pour des crépines de 1m de hauteur.

Un diamètre de crépine de 12" n'est pas suffisant pour un débit de 90m³/h avec une vitesse V = 3cm/s. La surface d'ouverture est supérieure à 60% et la crépine n'est pas assez solide. On prendra donc un diamètre de 20".

La surface d'ouverture correspondante au débit de 90m³/h et à V = 3cm/s est de 8000cm², pour un pourcentage d'ouverture de 50%.

On calcule la hauteur de la crépine :

Surface totale de la crépine = π * diamètre de la crépine * hauteur de la crépine

$$\Leftrightarrow 8000\text{cm}^2 * 2 = \pi * 20 * 2,54\text{cm} * h_{\text{crépine}}$$

$$\Leftrightarrow h_{\text{crépine}} = (16000 / (\pi * 20 * 2,54)) \text{ cm}$$

$$\Leftrightarrow h_{\text{crépine}} = 100,25\text{cm}$$

Les caractéristiques de la crépine sont :

- diamètre = 20"
- hauteur = 1m
- Pourcentage d'ouverture = 50%
- Slot = 1,2mm

Questions :

Prix de différents forages (fonction du diamètre de la crépine). Est-ce qu'il existe une crépine de 170cm, et 12" de diamètre ?