UE Géoressources – Licence 2

Eaux souterraines : de l'aquifère au captage

Nappes, piézométrie, loi de Darcy, pompage, qualité et protection de la ressource

Compétences travaillées

À l'issue du TD, vous devrez être capable de :

— distinguer une nappe libre d'une nappe captive et interpréter une surface piézométrique ;

— tracer des isopièzes et des lignes de courant à partir de mesures de niveau d'eau ;

— reconnaître une rivière drainante et une rivière infiltrante ;

— appliquer la loi de Darcy et calculer une transmissivité et une vitesse d'écoulement ;

— exploiter un essai de pompage simplifié pour estimer transmissivité et coefficient d'emmagasinement ;

— distinguer dureté, minéralisation et potabilité d'une eau ;

— raisonner sur la vulnérabilité d'un captage et sur la forme de ses périmètres de protection.

Données et conventions

Les valeurs sont volontairement simplifiées pour privilégier le raisonnement hydrogéologique.

— Charge hydraulique : $h = z + \dfrac{p}{\rho g}$; dans un piézomètre, elle correspond à l'altitude du niveau d'eau.

— Loi de Darcy : $Q = K\,i\,A$ avec $i = \dfrac{\Delta h}{L}$.

— Transmissivité d'un aquifère homogène d'épaisseur saturée b : $T = Kb$.

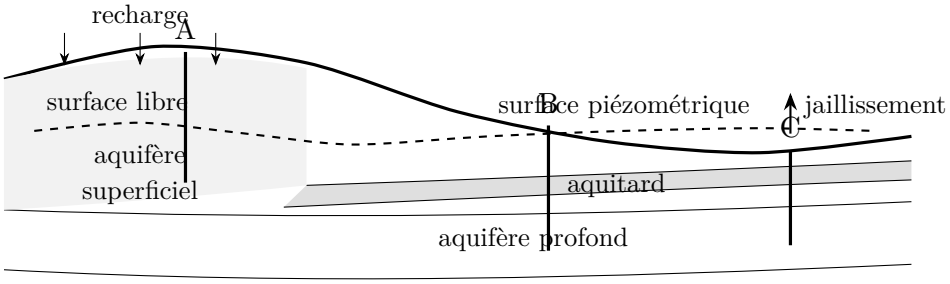
— Débit spécifique de Darcy : $q = Ki$; vitesse moyenne de pore : $v \simeq q/n_e$, avec n_e la porosité efficace.

— Pour l'essai de pompage de l'exercice 4, on utilisera les relations de Cooper–Jacob fournies dans l'énoncé.

— Dureté totale de l'eau : $TH\,(°\text{f}) \simeq 0{,}250\,[Ca] + 0{,}412\,[Mg]$, avec Ca et Mg en mg/L.

A. Nappe libre, nappe captive et artésianisme

1. Lire une coupe hydrogéologique. La coupe ci-dessous représente schématiquement deux niveaux aquifères séparés localement par un niveau peu perméable.



a) Identifiez la partie correspondant à une nappe libre et celle correspondant à une nappe captive.

b) Dans les puits A, B et C, indiquez ce que représente le niveau d'eau mesuré.

c) Pourquoi le puits C peut-il être artésien jaillissant ?

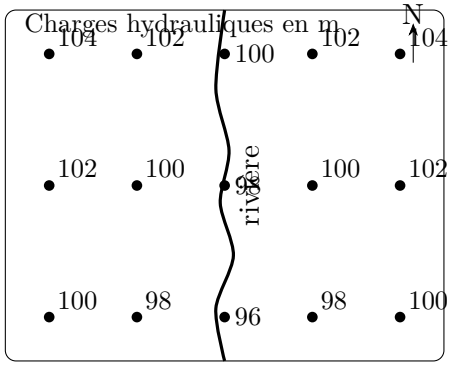
d) Où se situe la zone principale de recharge de l'aquifère profond ?

e) Expliquez pourquoi la protection d'une nappe captive ne doit pas se limiter au voisinage immédiat du forage.

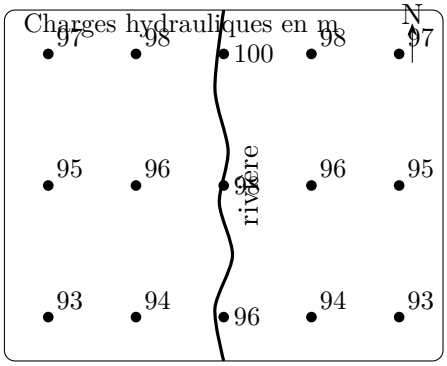
B. Cartographie piézométrique d'une vallée alluviale

2. Tracer les isopièzes et les lignes de courant. Les deux cartes représentent la même vallée à deux périodes différentes. Les nombres indiquent les charges hydrauliques mesurées dans les piézomètres et, sur la rivière, l'altitude de la ligne d'eau. On tracera les isopièzes avec une équidistance de 1 m. Les lignes de courant seront tracées perpendiculairement aux isopièzes, des charges fortes vers les charges faibles.

Situation A



Situation B



a) Tracez les isopièzes sur chacune des deux cartes par interpolation entre les points de mesure.

b) Ajoutez au moins six lignes de courant sur chaque carte.

c) Dans quelle situation la rivière est-elle **drainante** (gagnante), c'est-à-dire alimentée par la nappe ?

d) Dans quelle situation la rivière est-elle **infiltrante** (perdante), c'est-à-dire qu'elle réalimente la nappe ?

e) Expliquez comment la forme des isopièzes au voisinage de la rivière permet de distinguer les deux cas.

f) En période sèche, quel type de relation nappe–rivière contribue au maintien d'un débit de base dans le cours d'eau ?

C. Loi de Darcy, transmissivité et vitesse d'écoulement

3. Débit d'une nappe alluviale. Un aquifère alluvial homogène a une épaisseur saturée moyenne $b = 12\,\text{m}$ et une largeur $W = 450\,\text{m}$. Deux piézomètres distants de $L = 800\,\text{m}$ mesurent respectivement $h_1 = 112{,}4\,\text{m}$ et $h_2 = 110{,}1\,\text{m}$. La conductivité hydraulique est $K = 3 \times 10^{-4}\,\text{m/s}$ et la porosité efficace $n_e = 0{,}25$.

a) Calculez le gradient hydraulique moyen i.

b) Calculez la section saturée A traversée par l'écoulement.

c) Appliquez la loi de Darcy pour calculer le débit souterrain Q en m^3/s, puis en m^3/d.

d) Calculez la transmissivité T de l'aquifère en m^2/s, puis en $\text{m}^2\,\text{j}^{-1}$.

e) Calculez le débit spécifique de Darcy q puis la vitesse moyenne de pore v en $\text{m}\,\text{j}^{-1}$.

f) Estimez le temps nécessaire à une molécule d'eau pour parcourir 500 m dans ce modèle.

g) Citez au moins trois raisons pour lesquelles le temps de transfert réel d'un polluant peut différer fortement de cette estimation.

4. Essai de pompage : transmissivité et coefficient d'emmagasinement. Un puits pompe dans une nappe captive à débit constant $Q = 40\,\mathrm{m^3/h}$. Dans un piézomètre situé à $r = 50\,\mathrm{m}$ du puits, l'interprétation semi-logarithmique donne :

— une augmentation du rabattement de $\Delta s = 1{,}10\,\mathrm{m}$ pour un facteur 10 sur le temps ;

— l'intersection de la droite extrapolée avec $s = 0$ à $t_0 = 0{,}50\,\mathrm{min}$.

Pour cet exercice, on utilisera :

$$T = \frac{2.3\,Q}{4\pi\,\Delta s}, \qquad S = \frac{2.25\,T\,t_0}{r^2},$$

avec des unités cohérentes dans le système SI.

a) Convertissez Q en $\mathrm{m^3/s}$ et t_0 en secondes.

b) Calculez la transmissivité T en $\mathrm{m^2/s}$, puis en $\mathrm{m^2\,j^{-1}}$.

c) Calculez le coefficient d'emmagasinement S.

d) L'aquifère a une épaisseur $b = 20\,\mathrm{m}$. Calculez le coefficient d'emmagasinement spécifique $S_s = S/b$.

e) Le résultat obtenu pour S est-il plutôt compatible avec une nappe libre ou avec une nappe captive ? Justifiez.

f) Pourquoi un essai de pompage renseigne-t-il sur un volume d'aquifère beaucoup plus grand qu'un simple échantillon de carotte ?

D. Qualité de l'eau et protection d'un captage

5. Eau douce, eau dure et potabilité. Deux captages présentent les analyses simplifiées suivantes :

Paramètre	Captage A	Captage B
pH	7,4	7,2
Ca^{2+} (mg/L)	92	28
Mg^{2+} (mg/L)	18	6
NO_3^- (mg/L)	8	58
Cl^- (mg/L)	22	40
SO_4^{2-} (mg/L)	35	28

Pour l'exercice seulement, on adoptera les critères pédagogiques suivants :

— eau douce : $TH < 15\,°\mathrm{f}$; eau moyennement dure : $15 \le TH \le 30\,°\mathrm{f}$; eau dure : $TH > 30\,°\mathrm{f}$;

— nitrate : valeur à ne pas dépasser $= 50\,\mathrm{mg/L}$; chlorure et sulfate : $250\,\mathrm{mg/L}$; $6{,}5 \le pH \le 9{,}0$.

a) Calculez la dureté TH des deux eaux.

b) Classez chaque eau comme douce, moyennement dure ou dure.

c) En vous limitant aux critères fournis, quelle eau présente un problème de potabilité ? Pourquoi ?

d) Expliquez pourquoi une eau dure n'est pas nécessairement une eau polluée et pourquoi une eau douce n'est pas nécessairement potable.

e) Quel contexte géologique peut favoriser une eau riche en calcium et bicarbonates ?

f) Quel type d'activité humaine peut expliquer une concentration élevée en nitrates ?

6. Protection d'un point de captage. Un captage d'eau potable exploite la nappe alluviale de l'exercice 3. Dans sa zone amont hydraulique, on identifie :

— une parcelle agricole à 300 m en amont du captage ;

— une cuve d'hydrocarbures à 150 m en amont et légèrement latéralement ;

— une habitation avec assainissement individuel à 120 m, mais en aval hydraulique ;

— une route traversant le secteur à 80 m du captage.

Pour cette question, on adopte localement $K = 8 \times 10^{-4}$ m/s, $i = 0{,}004$ et $n_e = 0{,}25$.

a) Calculez la vitesse moyenne de pore de l'eau souterraine en $\mathrm{m\,j^{-1}}$.

b) Estimez le temps de transfert advectif depuis la parcelle agricole située à 300 m en amont.

c) Parmi les quatre activités citées, lesquelles sont les plus préoccupantes pour le captage ? Le simple critère de distance suffit-il ?

d) Pourquoi un périmètre de protection rapprochée est-il généralement allongé dans la direction amont de l'écoulement plutôt que parfaitement circulaire ?

e) Proposez, pour chacun des trois niveaux conceptuels de protection (immédiate, rapprochée, éloignée), un objectif et un exemple de mesure de gestion.

f) Expliquez pourquoi la connaissance des isopièzes et des lignes de courant est indispensable pour protéger correctement un captage.

E. QCM de synthèse

7. Vrai ou faux ? Justifiez en une phrase.

a) Les lignes de courant sont parallèles aux isopièzes.

b) Dans une nappe libre, le coefficient d'emmagasinement est généralement beaucoup plus grand que dans une nappe captive.

c) La transmissivité dépend de la conductivité hydraulique et de l'épaisseur saturée de l'aquifère.

d) Un cours d'eau drainant reçoit de l'eau de la nappe.

e) Une faible dureté garantit la potabilité d'une eau.

f) Un captage peut être vulnérable à une pollution située loin du puits si celle-ci se trouve dans sa zone d'alimentation.

Question de synthèse

Un projet de nouveau captage est envisagé dans une vallée alluviale. En dix lignes maximum, indiquez les informations qu'un hydrogéologue devrait acquérir avant de conclure que la ressource est *quantitativement exploitable, qualitativement acceptable et durablement protégeable*. Votre réponse doit mobiliser au moins une notion de piézométrie, une propriété hydraulique, une donnée de qualité d'eau et un élément de vulnérabilité.