ANNALES SCIENTIFIQUES DE L'UNIVERSITE DE BESANCON
GEOLOGIE, MEMOIRE HORS SERIE N°6

QUATRIEME COLLOQUE D'HYDROLOGIE EN PAYS CALCAIRE
BESANCON, 29 SEPTEMBRE - 1er OCTOBRE 1988

EVALUATION DES RESERVES PERMANENTES ET RENOUVELABLES DES AQUIFERES KARSTIQUES DE L'OUEST DE L'ALGERIE A PARTIR DU SUIVI PIEZOMETRIQUE DES FORAGES EN EXPLOITATION

Bernard COLLIGNON

Hydrogéologue consultant. Associé au Laboratoire d'hydrogéologie de la Faculté des sciences d'Avignon, rue Louis Pasteur, F 84000, AVIGNON.

RESUME

Nous avons évalué des ressources en eau d'aquifères karstiques à partir d'un suivi piézométrique rigoureux des ouvrages d'exploitation. Les réserves permanentes peuvent être déterminées précisément en provoquant la vidange partielle de l'aquifère par un fort pompage. Les réserves renouvelables sont estimées à partir de la recharge observée lors des épisodes pluviométriques. Cette méthodologie est précise et peu coûteuse. Elle demande de gros pompages et des dispositifs piézométriques sensibles et fidèles. Elle s'applique bien aux aquifères à limites étanches qui sont soumis à un climat comportant une saison sèche.

MOTS CLES

aquifères karstiques - réserves permanentes - réserves renouvelables - piézométrie - volume spécifique

Introduction

Deux grandeurs fondamentales intéressent celui qui exploite les ressources en eau d'un aquifère karstique :

- ses réserves **permanentes** (l'eau stockée dans l'aquifère en fin d'étiage) ;
- ses réserves **renouvelables** (les apports moyens annuels à l'aquifère).

Le travail confié à l'hydrogéologue consiste alors le plus souvent à réaliser une étude globale, à l'échelle de l'aquifère. Celle-ci comporte en général un bilan en eau, la détermination de la géométrie des réservoirs rocheux et celle de leurs propriétés d'emmagasinement.

C'est un travail fort long et délicat. Ses résultats sont entachés de grosses incertitudes à cause des difficultés rencontrées pour déterminer la lame d'eau infiltrée, les limites des aquifères et les valeurs du coefficient d'emmagasinement.

En 1983, le gouvernement algérien a lancé de grandes campagnes de forage pour faire face rapidement à la sécheresse qui régnait dans l'Ouest du pays. Dans ce cadre, j'ai été amené à développer des méthodes d'évaluation rudimentaires des réserves en eau des aquifères karstiques, en utilisant des données très fragmentaires. Une confrontation permanente des observations et des modèles utilisés a permis d'affiner ces techniques jusqu'à en faire des outils précis et efficaces pour la détermination des ressources en eau.

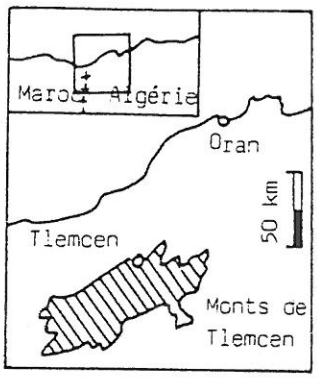
1. LES CONDITIONS EXPERIMENTALES DE CETTE ETUDE

1.1 Le contexte hydrogéologique

Les Monts de Tlemcen (fig.1) présentent près de 2000 km^2 d'affleurements de dolomies et de calcaires jurassiques (fig.2).

Spéléo Club Constantine

Figure 1
La région étudiée.



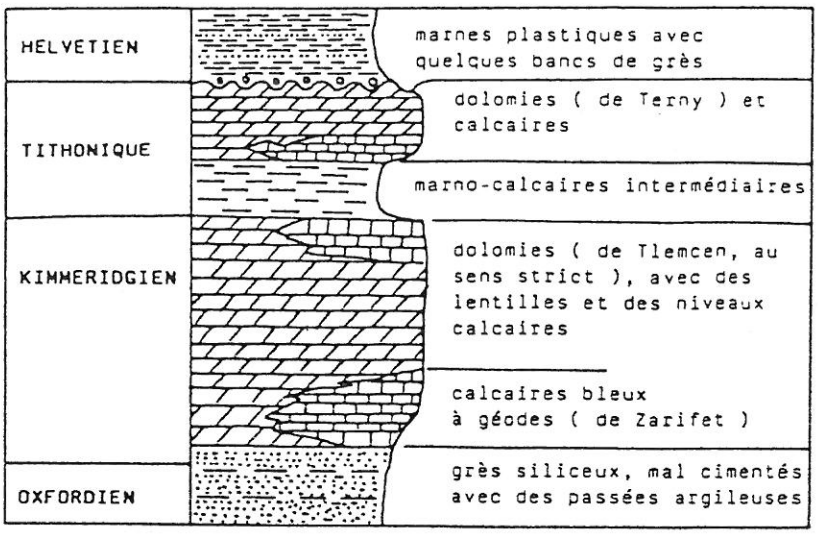


Figure 2. Coupe litho-stratigraphique type.

L'influence combinée de l'érosion et de la tectonique a divisé l'ensemble carbonaté en une trentaine d'aquifères principaux **indépendants** (dont l'étendue varie de 10 à 300 km^2 ; COLLIGNON, 1986). Le relief est assez accusé. En beaucoup d'endroits, les niveaux piézométriques sont donc profonds, ce qui rend leur observation coûteuse.

1.2. Les besoins exprimés par le Ministère de l'hydraulique algérien

L'ouest de l'Algérie a connu une sécheresse sévère de 1975 à 1986 (COLLIGNON, 1987). Les besoins en eau sont devenus si pressants que l'administration a demandé une évaluation très rapide des ressources en eau des aquifères karstiques, **simultanée à leur mise en exploitation.** Le délai disponible et les contraintes budgétaires interdisaient la réalisation de nombreux pompages expérimentaux ou le fonçage de piézomètres profonds dans les roches carbonatées. Il fut donc décidé d'utiliser au maximum les informations apportées par les premiers ouvrages de captage.

1.3. Dispositifs expérimentaux

Toutes les mesures ont été faites dans les forages eux-mêmes, au cours des travaux (pompages de développement) et au cours de l'exploitation. La cohérence des résultats obtenus tient en partie au fait que c'est le même hydrogéologue qui a conduit tous les travaux de forage et qui a assuré le suivi à long terme des niveaux piézométriques. On a ainsi pu disposer de **séries de mesures longues et continues.**

Les mesures piézométriques posaient des contraintes assez strictes : enrégistrer de petits écarts (de l'ordre du cm), à grande profondeur (pour 40 % des ouvrages, le niveau piézométrique est au-delà de 50 m) et sur de longues périodes (de quelques jours à plusieurs mois). On n'a pu atteindre cette précision qu'en fabricant des sondes électriques laissées **en permanence** dans le forage. Ces appareils ont montré une grande fidélité (allongement inférieur à 1/10.000 en plusieurs mois).

Comme les débits pompés étaient assez irréguliers (selon la demande en eau instantanée), les prélèvements ont été évalués globalement grâce à des compteurs à hélice (avec une précision de 2 à 10 %).

2. LA VIDANGE ARTIFICIELLE DES AQUIFERES ET L'EVALUATION DE LEUR RESERVES PERMANENTES

2.1.Observations

Les phénomènes décrits ci-dessous ne sont observables qu'au prix d'un long pompage à gros débit. La plupart de nos mesures correspondent à des

Spéléo Club Constantine

prélèvements dans l'aquifère de plus de 10.000 m^3 d'eau et les meilleurs résultats concernent des systèmes où l'on a pompé plus de 100.000 m^3. Les observations ont porté sur 10 à 1000 jours d'exploitation selon les ouvrages.

Pendant la première journée de pompage, l'évolution du rabattement est perturbée par divers phénomènes parasites (effet de capacité, développement,...) qui ont été décrits dans des publications antérieures (COLLIGNON, 1985 et 1986). Au-delà de cette période, on observe le plus souvent **un rabattement croissant proportionellement au volume d'eau prélevé.**

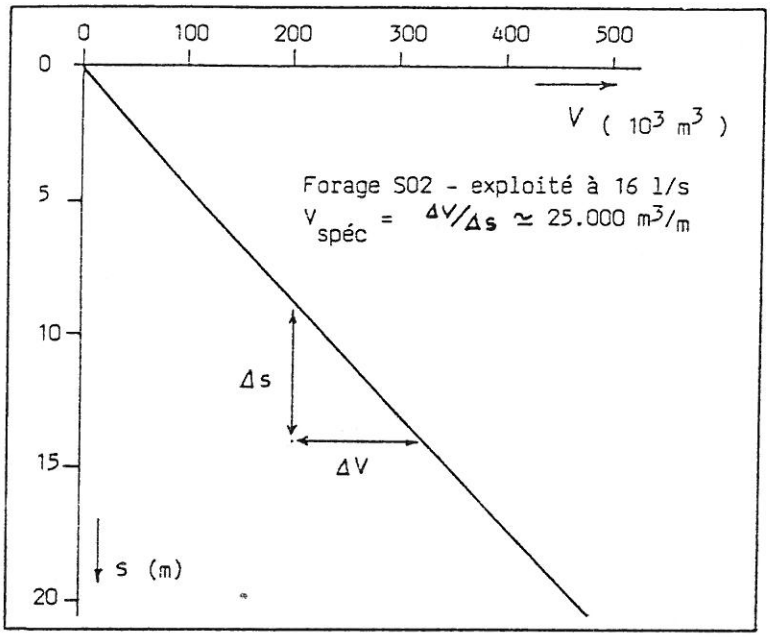


Figure 3. Un bel exemple de relation linéaire entre le volume prélevé et le rabattement à long terme dans un aquifère karstique.

Remarques

a) De telles observation ne sont possibles qu'**en dehors des périodes de fortes précipitations.** En effet, les phénomènes de recharge qui se produisent alors (voir ci-dessous) oblitèrent la vidange linéaire de l'aquifère.

b) Pour pouvoir prélever de l'eau aussi massivement, il faut disposer d'un **bon forage,** interconnecté avec l'aquifère par un système de chenaux. C'est le cas pour environ 60 % des ouvrages que nous avons implantés dans la région étudiée.

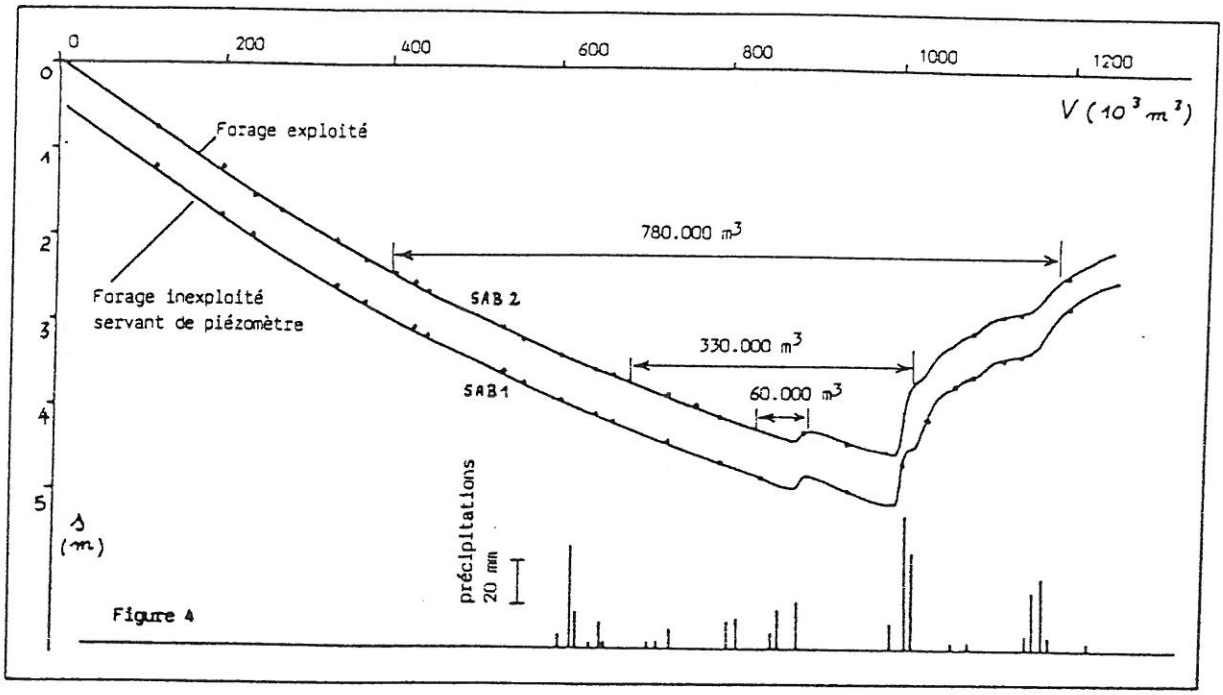
2.2. Interprétation hydrogéologique

La pratique des essais par pompage dans les milieux poreux ne nous accoutume pas à de telles évolutions linéaires. Au contraire, les modèles courants utilisés pour interpréter les essais conduisent à une **évolution à long terme de type logarithmique** (pour un aquifère infini) ou à une stabilisation (pour un aquifère possédant une limite à charge constante). Il en est ainsi des modèles classiques en milieu poreux (Theis, Jacob, Hantush) mais aussi de ceux développés spécialement pour les milieux fissurés (BOULTON et al, 1978 ; GRINGARTEN et al, 1974 ; THIERRY et al, 1983).

L'évolution linéaire du rabattement observée dans les Monts de Tlemcen correspond à une **réelle vidange de l'ensemble de l'aquifère.** Dans les piézomètres éventuels, l'évolution est d'ailleurs tout-à-fait synchrone et identique.

Le phénomène de **vidange linéaire** se manifeste très rapidement après le début du pompage (en moins de une journée). Cela signifie que l'influence du pompage se propage très rapidement jusqu'aux **limites** de l'aquifère (distantes en général de quelques kilomètres). Une **diffusion**

Spéléo Club Constantine



aussi efficace des variations de charge hydraulique n'est possible que par l'intermédiaire d'un **réseau de chenaux,** ce qui constitue une **caractéristique des aquifères karstiques.**

La relation de proportionnalité entre le rabattement et le volume prélevé signifie que l'aquifère se comporte comme un réservoir cylindrique dont l'emmagasinement varierait peu avec la profondeur.

Par la suite, nous appellerons **volume spécifique** le volume d'eau qu'il faut pomper pour abaisser de un mètre le niveau piézométrique sur l'ensemble de l'aquifère drainé. Comme ce volume varie peu avec la profondeur (fig.3 et 4), l'aquifère possède une certaine homogénéité **globale** (ce type d'observation a été contrôlé sur des dénivelées assez importantes : jusque 55 m au forage TL6).

Le volume des **réserves permanentes exploitables par le forage se** calcule simplement en multipliant le volume spécifique par le rabattement maximal techniquement et économiquement admissible (limites imposées par le diamètre du forage et le coût de l'énergie).

Forage	N.S. m	Prof.maxi. exploitable m	Effet de capacité m	$\frac{\Delta s}{\Delta t}$ cm/jour	$V_{spéc}$ $10^3 m^3/m$	$V_{perm\ expl}$ $10^6 m^3$
AZ1	65	190	15	7	38	4,2
BH1	143	280	5	8,5	30	4
BH2	72	280	10	5,5	92	18
BM1	75	200	7,2	5	65	8
SAB1/2	92	140	0,06	3,2	220	10
SAB3/4	98	160	15	3,3	140	11
TL3	36	110	35	2,2	100	4
TL6	10	88	0,25	5,6	105	7,8
DERMAM	24	40	0	1,6	270	4,3
SABRA	67	145	4,1	4,2	120	9,5
ND4	12	83	6	11	23,5	1,65
MADENE	54	80	0	50	0,6	0,015
SO2	159	240	0,3	5,5	25	2
BREDEAH	7	11	0,3	0,85	4200	15

Spéléo Club Constantine

2.3. Difficultés d'observation dues à la réalimentation par d'autres aquifères

La situation exposée ci-dessus est nettement compliquée si l'aquifère testé est alimenté par un autre (latéralement ou selon des phénomènes de drainance). La figure 5 montre le cas d'un aquifère où, après un fort pompage (à 55 l/s), on observe une remontée régulière du niveau piézométrique. Cette remontée, indépendante des précipitations, correspond vraisemblablement à des apports latéraux (de l'ordre de 10 l/s). Ces apports tendent à ramener le niveau à la cote -77 m dans le forage, pour laquelle les flux entrant et sortant de l'aquifère sont probablement équilibrés.

Dans un cas pareil, il faut réaliser des mesures piézométriques très soignées pour pouvoir évaluer le débit des apports (ou des pertes éventuelles). Quelques méthodes de calcul ont été développées dans une publication antérieure (COLLIGNON, 1986). Nous signalerons ici simplement l'intérêt qu'il y a à observer lors de tout essai de longue durée :

- l'évolution piézométrique avant le pompage ;
- l'évolution piézométrique après le pompage ;
- l'évolution piézométrique pour deux régimes de pompage différents.

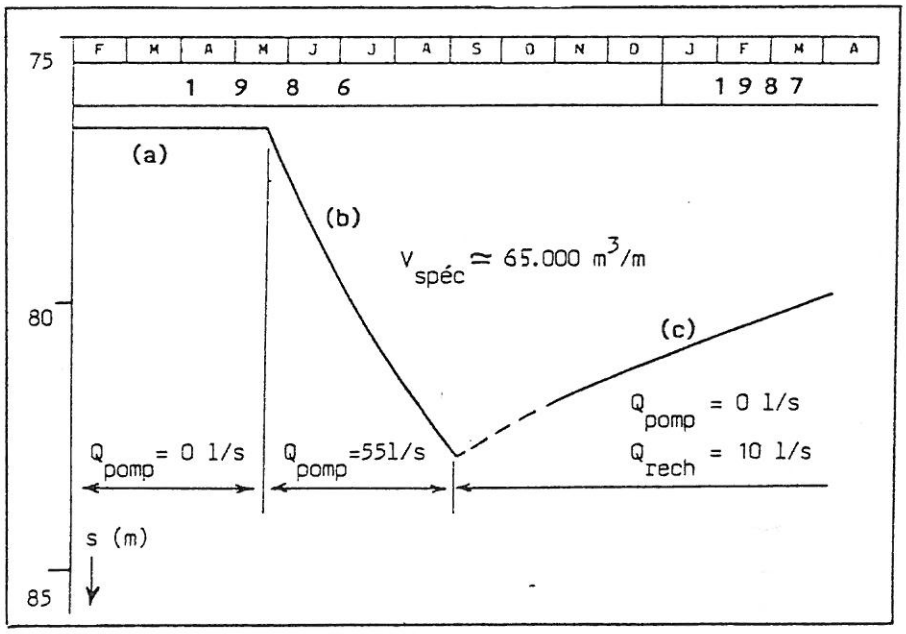


Figure 5.
Trois périodes se distinguent sur cette courbe piézométrique :
a) un niveau stable avant pompage (flux entrant = flux sortant) ;
b) une vidange linéaire pour un fort pompage (ce qui permet d'évaluer le volume spécifique) ;
c) une remontée linéaire plus lente après l'arrêt du pompage et qui permet d'estimer les apports latéraux à l'aquifère.

3. LA RECHARGE NATURELLE DES AQUIFERES ET L'EVALUATION DE LEURS RESERVES RENOUVELABLES

3.1. Observations

Lors des épisodes pluvieux violents (en fin d'automne et pendant l'hiver), les courbes de vidange linéaire sont accidentées par de **brusques remontées de niveau** (fig. 4 et 6). Ces remontées correspondent aux **apports directs par les précipitations.**

Spéléo Club Constantine

View publication stats

Des prélèvements importants

Pour que les pompages suffisent à "vidanger" l'aquifère, celui-ci ne peut être trop étendu et les apports par les pluies doivent largement l'emporter sur les apports latéraux. Nous avons pu déterminer précisément les volumes spécifiques d'aquifères ayant de 0,5 à 20 km^2. Les observations de même nature publiées auparavant concernent également des aquifères de cette taille (GEVIN, 1948 ; CASTANY, 1965 ; NAVARRO et al, 1965). Il doit être possible d'appliquer la même méthode à des domaines plus vastes (de l'ordre de la centaine de km^2). Par contre, les aquifères très vastes (de l'ordre du millier de km^2) poseront des problèmes expérimentaux délicats (nécessité de pomper plusieurs milliers de m^3/h et de mesurer les rabattements au mm près).

Une longue saison sèche

La lente vidange linéaire ne peut être quantifiée qu'en dehors des périodes où la piézométrie est fortement perturbée par les précipitations. Cela demande **une saison sèche d'au moins deux mois** ; cette condition sera facilement remplie en climat méditerranéen ou tropical. Il n'en sera pas de même dans le nord de l'Europe ou des Etats-Unis.

4.2. Que représentent les réserves mesurées ?

Les réserves permanentes et renouvelables évaluées par les méthodes présentées ici ne concernent pas nécessairement tout l'aquifère, tel que le présente la cartographie géologique, mais seulement la partie de celui-ci **qui est connectée efficacement au forage.**

C'est intéressant pour l'**exploitant,** car ce sont les réserves du système hydrologique sur lequel portent les prélèvements.

C'est moins intéressant pour l'hydrogéologue, puisque cela peut ne représenter qu'une partie des ressources offertes globalement par la formation aquifère.

Conclusion

La méthodologie présentée permet d'aboutir à une estimation des ressources en eau des aquifères karstiques :

- avec **précision** (de l'ordre de 10% pour les réserves permanentes et 20% pour les réserves renouvelables) ;
- pour un coût **très limité** (celui de la surveillance d'ouvrages existants) ;
- concernant les portions d'aquifère **effectivement exploitées.**

B I B L I O G R A P H I E

BOULTON N S and STRELTSOVA-ADAMS T D. 1978. Unsteady flow to a pumped well in an unconfined fissured aquifer. Journal of Hydrology. 37, pp.349-363.

CASTANY G. 1965. Exploitation des eaux souterraines et bilan hydrique dans les calcaires de Tunisie. Coll.hydrol.roches fissur. (Dubrovnik). Actes, pp.518-525.

COLLIGNON B. 1985. Interprétation des essais par pompage dans les aquifères karstiques des Monts de Tlemcen (Algérie). Journ. techn.forage hydr. (Alger). Actes, pp. 361-370.

COLLIGNON B. 1986. Hydrogéologie appliquée des aquifères karstiques des Monts de Tlemcen (Algérie). Thèse (Avignon). 280 p.

COLLIGNON B. 1987. La grande sécheresse 1975/1986 dans l'Ouest de l'Algérie et ses conséquences sur les ressources en eau souterraine. Commun.6ème Sémin.sc.Terre (Alger).

GEVIN P. 1948. Etude hydrologique de la Haute Tafna (Algérie). Rapp.au Serv.des études scientif.(Alger).

GRINGARTEN A C et RAMEY H J. 1974. Unsteady state pressure distribution created by a well with a single infinite conductivity vertical fracture. Soc.Pet.Eng.J. août 1974.

NAVARRO A et SAMPER AA. 1965. Problèmes de stockage des eaux dans le Sud-est espagnol. Coll.hydrol.roche fiss. (Dubrovnik). Actes, pp. 378-380.

THIERY D, VANDENBEUSCH M et VAUBOURG P. 1983. Interprétation des pompages d'essai en milieu fissuré aquifère. Doc.BRGM n°57.

Spéléo Club Constantine