

# Un exemple de méthode de gestion de la ressource en eau des aquifères de socle, en Inde du Sud

L'Inde, dont le climat dominant est de type semi-aride, est le pays qui a le plus mis en valeur la ressource de ses aquifères de socle. Le nombre de forages d'eau destinés à l'irrigation y est passé de moins de 1 million dans les années 60 à plus de 20 millions actuellement. Cette ressource a ainsi très largement contribué à l'autosuffisance alimentaire du pays (la « révolution verte »). Ce développement ne s'est pas réalisé sans certains excès (surexploitation locale de la ressource, dégradation de la qualité des eaux souterraines) et leurs conséquences sanitaires et sociales.



Figure 1. Récolte de riz produit par agriculture irriguée en Inde du Sud (Andhra Pradesh) [Source : © B. Dewandel]

Jusqu'à très récemment, les aquifères de socle étaient considérés comme trop hétérogènes pour pouvoir permettre une gestion de leur ressource en eau, comme c'est le cas pour les autres types d'aquifères. Au cours des quinze dernières années, les progrès des connaissances fondamentales concernant la structure et le fonctionnement de ces aquifères spécifiques (rôle des processus d'altération, caractérisation de la géométrie des principaux horizons constitutifs des profils d'altération, de leurs paramètres de porosité et perméabilité, etc) ont bousculé ces a priori. Tel que présenté et illustré dans le corps de l'article, des méthodes de cartographie hydrogéologique, des approches et des outils de modélisation de leur ressource en eau, etc ont été développés et appliqués.

L'Inde du Sud a constitué l'une des premières régions où a été mise en œuvre une méthode d'évaluation de la ressource en eau dans des aquifères de socle. Elle a reposé sur la combinaison de la méthode dite « des fluctuations du niveau piézométrique » et de la méthode du « budget d'eau souterraine ». Cette approche visait notamment à déterminer les inconnues que sont la recharge (annuelle) et la porosité efficace de l'aquifère.

La méthode du « budget d'eau souterraine » s'intéresse donc aux différentes composantes des écoulements et des variations de stock d'eau souterraine, en ne considérant que les entrées et sorties de l'aquifère (Figure 1). Cette méthode permet d'éviter les incertitudes concernant notamment la pluviométrie et l'évapotranspiration. Elle présente néanmoins l'inconvénient d'être réalisée à l'échelle du bassin versant (l'échelle du budget d'eau souterraine) et donc de ne pas permettre une analyse à une échelle plus fine que celle-ci. Les variations du stock d'eau souterraine ( $\Delta S$ ), donc du niveau de la nappe  $\Delta h$  ( $h$  = niveau piézométrique), peuvent ainsi être attribuées, pour ce qui concerne les « entrées », à la recharge ( $R$ , somme de la recharge directe à travers la zone non saturée  $R_d$  et de la recharge indirecte et localisée en provenance des eaux de surface  $R_{il}$ ), aux apports d'eau souterraine aux limites du bassin versant souterrain ( $Q_{on}$  ; ces derniers sont normalement nuls si le bassin versant a été bien délimité) et, dans le cas d'étude d'un bassin versant très agricole, à la recharge supplémentaire due aux excédents d'irrigation ( $RF$ ). Pour ce qui concerne les « sorties », il s'agit des sorties d'eau souterraine aux limites du bassin versant souterrain ( $Q_{off}$  ; avec la même remarque que pour les entrées), les sorties d'eau souterraine vers les cours d'eau ou les sources ( $Q_{bf}$ ), l'évapotranspiration directe à partir de la nappe ( $ET$ ) et les pompages anthropiques ( $PG$ ). Souvent, compte tenu de la profondeur de la nappe (plusieurs mètres à plusieurs dizaines de mètres), l'évapotranspiration est très faible et ce dernier terme peut être négligé.

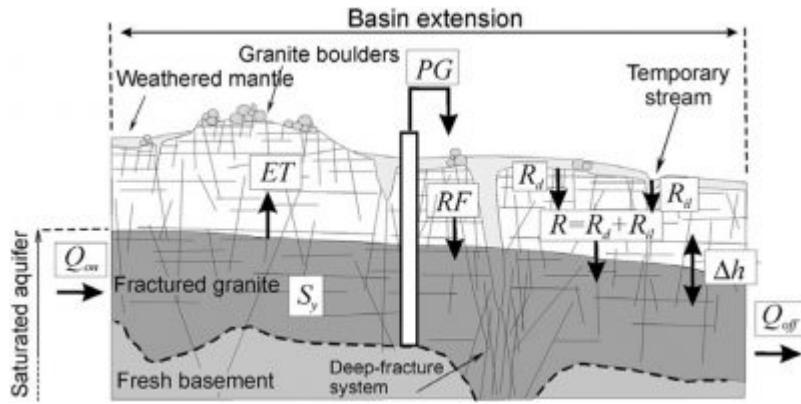


Figure 2. Schématisation des différentes composantes du budget des eaux souterraines dans un aquifère de socle (nappe libre), exploité par pompage [1]

On a alors l'équation suivante :

$$\Delta S = (R + RF + Qon) - (ET + PG + Qoff + Qbf) \quad (1)$$

La deuxième équation disponible relie les fluctuations du niveau piézométrique  $\Delta h$  à celles du stockage dans l'aquifère  $\Delta S$ , par l'intermédiaire du coefficient d'emmagasinement, ou porosité efficace, de l'aquifère  $S_y$ .

$$\Delta S = S_y \cdot \Delta h \quad (2)$$

Pour calculer la recharge  $R$  et le coefficient d'emmagasinement  $S_y$ , on utilise le fait que, lors de la saison sèche, la baisse du niveau piézométrique est uniquement due aux pompages. A l'inverse, lors de la saison des pluies, la remontée du niveau piézométrique est seulement due à la recharge minorée par les pompages. En mesurant les variations du niveau piézométrique et les pompages, il est donc possible d'évaluer la recharge et l'emmagasinement. Des observations sur plusieurs années permettent de disposer d'un modèle robuste et, notamment, d'évaluer les variations de la porosité efficace avec la profondeur et l'évolution de la recharge en fonction du régime des précipitations (Figure 2 [1]).

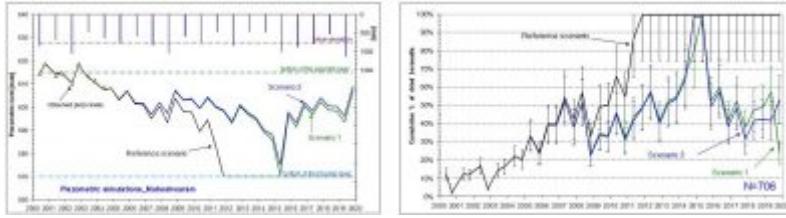


Figure 3. Exemple de simulations à long terme de la ressource en eau de l'aquifère de socle du bassin versant de Maheswaram, Andhra Pradesh, Inde. Les différentes courbes correspondent à différents scénarios d'évolution des prélèvements par pompage. Le scénario de référence correspond à la poursuite du taux « actuel » d'augmentation des pompages (à date de la simulation : 2005). Les scénarios 1 et 2 correspondent à des scénarios de réduction des prélèvements. Les bâtonnets du haut correspondent aux précipitations annuelles (en bleu) et à la recharge annuelle (en rouge) exprimées en mm (échelle de droite). Figure a (gauche) : Évolution du niveau d'eau dans le réservoir aquifère. Les pointillés correspondent à deux niveaux de référence clés : base de la saprolite, la partie la plus capacitive de l'aquifère et base de l'horizon fracturé, qui correspond à la base de l'aquifère. Figure b (droite) : Prévision de l'évolution du nombre de forages asséchés (ne pouvant plus produire d'eau souterraine du fait que le niveau d'eau est plus bas que la base de l'aquifère) pour les mêmes scénarios que précédemment. [2]

Utilisé en simulation (Figure 3 [2]), le modèle ainsi calé permet, pour différents scénarios d'évolution des prélèvements et une recharge moyenne, ou pour des scénarios de recharge dépendant du climat, de prévoir les variations de stock dans l'aquifère (baisse du niveau piézométrique, assèchement des forages, etc.).

Les aquifères de socle peuvent donc maintenant faire l'objet d'une évaluation, d'une mise en valeur et surtout d'une gestion durable. Ils sont prêts à participer au développement économique d'autres continents (Afrique, Amérique du Sud notamment) qui pourront ainsi contribuer à relever les défis du XXI<sup>e</sup> siècle (besoins alimentaires de la population mondiale, satisfaction des besoins en eau et assainissement, développement économique et social, etc.). Pour les chercheurs et les gestionnaires de la

ressource en eau, il s'agit de s'appuyer sur l'exemple indien pour susciter et accompagner le développement économique en évitant les écueils d'un modèle non durable (surexploitation de la ressource) et en préservant, voire en restaurant, la qualité des eaux souterraines.

---

## Références et notes

[11] Maréchal, J.C., Dewandel, B., Ahmed, S., Galeazzi L., 2006. Combining the groundwater budget and water table fluctuation methods to estimate specific yield and natural recharge. *Journal of Hydrology*, 329, 1-2, 281-293

[21] Lachassagne, P., Dewandel, B., Wyns, R. (2014b). The conceptual model of weathered hard rock aquifers and its practical applications, in "Fractured Rock Hydrogeology", N°20 International Association of Hydrogeologists Selected

---

L'Encyclopédie de l'environnement est publiée par l'Université Grenoble Alpes.

Les articles de l'Encyclopédie de l'environnement sont mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

---