ESTIMATION DU TAUX DE RECHARGE ET D' EVAPORATION A TRAVERS LA ZONE NON SATUREE EN ZONE ARIDE : Application des techniques nucléaires et hydrogéochimiques

GUENDOUZ.A[1] . et MOULLAA.S[2] .

[1] Université de Blida Faculté des Sciences de l'ingénieur, B.P.270-Blida

[2] COMENA/CRNA/DAN-Bd.Frantz Fanon,B.P.399-Alger-16000

INTRODUCTION :

Face à l'accroissement des besoins en eau dans les pays en voie de développement et en particulier dans les zones arides et semi arides toutes les méthodes d'investigation des eaux souterraines ont été mis en oeuvre. Au cours de ces trente dernières années s'est développée une nouvelle méthodologie basée sur l'application des techniques nucléaires en hydrologie et hydrogéologie, elle est devenue actuellement l'une des principales méthodes appliquée aux sciences de l'eau.

Le recours systématique aux réserves en eau souterraine est devenu partout une nécessité et notamment dans les zones et semi arides qui disposent d'immenses réserves souterraines (exemple des grands aquifères captifs des grands bassins sédimentaires) et la même question revient continuellement aux hydrogéologues : les ressources exploitées sont-elles renouvelées ? Si oui, comment et à quel taux ?

L'exploitation de ces aquifères pose d'énormes problèmes aux gestionnaires des ressources en eau relatifs d'une part à l'estimation précise des paramètres de leur bilan hydrique (taux de recharge et évaporatoire), et d'autre part, à leur qualité chimique

Les études dans ce sens sont relativement aisées et rapides a mettre en oeuvre dans les pays développés qui disposent d'une vaste technologie et d'une connaissance globale des caractéristiques hydrodynamiques de leurs aquifères. Il n'en va pas de même dans la plupart des pays en développement où les données de bases en climatologie, hydrologie et en hydrogéologie sont habituellement éparses, incomplètes ou en cours d'acquisition.

A ces « Contraintes techniques et logistiques » s'ajoutent notamment dans les pays arides et semi-arides, les conditions climatiques extrêmes qui les caractérisent et c'est dans ce cas que les méthodes nucléaires apparaissent non seulement comme des techniques d'appoint mais indispensables.Nous nous attacherons dans cette communication a présenter un des aspect relatif a ces applications en Algérie et dans le monde sur les transferts hydriques a travers la zone non saturée pour l'évaluation des taux évaporatoires en régime permanent des nappes d'eau souterraines et le calcul de l'infiltration efficace

METHODOLOGIE GENERALE :

Sur le plan méthodologique, les possibilités du traçage isotopique naturel ont été utilisées pour préciser des mécanismes difficiles où impossibles à déterminer par les méthodes classiques dans les cycles des solutions naturelles, ainsi ont été étudiées :

A l'échelle réduit- Etude quantitative de la zone non saturée des aquifères en zone aride et semi aride par l'estimation des paramètres du bilan hydrique:

- Estimation du taux d'évaporation des nappes d'eau souterraine en zone aride
- Détermination de la recharge(taux d'infiltration)

La zone non saturée **(ZNS),** tranche de sol comprise entre la partie supérieure de la frange capillaire et la surface du sol, régit en grande partie la répartition de l'eau selon les différents termes du bilan hydrique. Trois principales approches sont communément mises en oeuvre pour son étude :

Techniques lysimétriques : longtemps utilisée du fait de la complexité des phénomènes mis en jeu dans la ZNS, elle traite cette zone comme une **boite noir .** L'enregistrement des fonctions d'entrée et de sortie permet de déduire une fonction de transfert à l'intérieur du système.

Techniques physiques : consistent à décrire le transfert de l'eau à partir de la connaissance des paramètres hydrodynamiques du sol. Elles conduisent à des modèles déterministes qui permettent théoriquement de prédire le mouvement de l'eau.

Techniques Nucléaires : la méthode consiste à prélever, à la tarière à main, des carottes de sol de la zone non saturée et de procéder aux analyses isotopiques et chimiques de l'eau interstitielle extraite à différentes profondeurs. L'extraction se fait par distillation sous vide sur des portions aliquotes des échantillons de sol. La mesure de l'état final du profil permet de déterminer le flux évaporé ou infiltré.

TECHNIQUES GEOCHIMIQUES ET ISOTOPIQUES *:*

Ces méthodes sont basées sur l'estimation de l'infiltration efficace par le bilan des chlorures et le modèle déterministe pour l'évaluation de l'évaporation basé sur les profils d'isotopes stables dans la zone non saturée.Estimation de l'évaporation : Lois de transfert d'eau en zone non saturée

De nombreux auteurs ont montré que la circulation de l'eau en zone saturée se fait sous deux formes (Philip et De Vries, 1957). Deux types de flux d'eau peuvent être distinguées, un flux en phase vapeur et un flux en phase liquide. Suivant les conditions d'humidité du profil de sol, on peut simplifier le mode de circulation : en phase liquide seule et en phase liquide et vapeur. L'équation de base utilisée est celle qui dérive de la loi de Darcy et établi par Philip et Devries (1957) :

$$\mathbf{q = - K\nabla H = - K\,(\partial\psi/\partial T)\nabla T - K\,(\partial\psi/\partial\theta)\nabla\theta - Ki \qquad avec\ (H = \psi - z)} \qquad (1)$$

d'ou l'équation globale du transfert liquide et vapeur dans la zone non saturée s'écrira sous la forme :

$$\mathbf{q_{liq} = - DT(\nabla T) - D\theta(\nabla\theta) - Ki} \qquad (2)$$

Avec :

D_T : diffusivité thermique
$D\theta$ = diffisuvité isothermique liquide
K*i = composante gravitaire, terme convectif
Dans l'étude des phénomènes d'évaporation d'un sol, deux facteurs sont particulièrement importants à connaître :

- Le mode de transfert de l'eau jusqu'à l'atmosphère : celui ci peut se faire selon trois modèles de circulation : phase liquide, phase vapeur et phase liquide-vapeur.
- La quantité d'eau évaporée par le sol ce paramètre étant très important pour une bonne connaissance des ressources en eau souterraines.

Estimation de la recharge

Deux méthodes sont utilisées en hydrologie isotopique et ont été appliquées dans plusieurs régions au monde pour l'estimation de la recharge (infiltration efficace) : L'une isotopique basé sur utilisation du tritium et l'autre géochimique basé sur l'utilisation du bilan des chlorures.

Méthode géochimique

L'utilisation du bilan des chlorures pour l'estimation de l'infiltration efficace repose sur la connaissance du rapport de concentration en ions conservatifs entre l'eau des pluies et l'eau du sol, en admettant que l'apport en chlorures provienne uniquement des précipitations et qu'après évaporation, tous les chlorures restent dans l'eau interstitielle de la zone non saturée. Ce rapport est directement imputable à la reprise évaporante qui s'effectue sans départ des ions. Les chlorures apparaissent comme l'élément conservatif le plus approprié pour de telles mesures.

Méthode isotopique: Pic du tritium thermonucléaire

L'estimation de l'infiltration efficace par la localisation du pic du tritium provenant des explosions thermonucléaires atmosphériques du début des années 60 (pic de 1963) a été efficacement utilisée pendant une vingtaine d'années. L'estimation quantitative des teneurs en tritium (^3H) utilise la distribution de ces teneurs dans les précipitations (fonction entrée) à laquelle sont comparées les teneurs mesurées sur les eaux prélevées

Cependant, cette méthode n'avait de chance de fonctionner que pour les climats arides où les flux nets infiltrés annuellement sont très faibles et où la surface piézométrique est suffisamment profonde pour que l'on espère retrouver la trace du pic de 1963 dans la zone non saturée.

RESULTATS

Afrique du nord : Bassin sédimentaire Saharien

Les travaux entrepris depuis une vingtaine d'année sur le grand bassin sédimentaire du Sahara septentrional (Algérie et Tunisie) dans le domaine de l'application des techniques isotopiques à la déterminations des taux évaporatoires et de recharge des nappes ont permis d'obtenir les résultats suivants :

Taux d'évaporation à travers la zone non saturée des nappes dont la profondeur est < à 20 m variant de ***1 mm à 10 mm/ an***.
Taux de recharge (méthode isotopique et géochimique) des valeurs variant entre ***5 et 10 mm/an***
Ces taux sont conformes aux valeurs déterminés ailleurs dans le monde en zone aride (Australie, Niger, Arabie, Sénégal, Égypte)

CONCLUSION :
La modélisation isotopique d'un sol soumis à l'évaporation fait appel à un grand nombre de paramètres tels que : la température, la valeur de la composition du réservoir, la tortuosité (structure du sol), la valeur de la composition isotopique du front d'évaporation, la profondeur du front d'évaporation, et la profondeur de la nappe. Si l'un de ces paramètres est mal estimé cela induit une influence sur l'ajustement du profil isotopique simulé au profil isotopique expérimental et/ou sur la valeur calculée du flux évaporatoire..
Les résultats des taux d'évaporation déterminés à travers le bassin sédimentaire du Sahara septentrional varient entre ***1 et 10 mm.an***$^{-1}$ *et s'inscrivent sur la courbe de tendance générale déterminée pour plusieurs sites à travers le monde (climat aride et semi aride).*
La méthode du bilan des chlorures constitue actuellement une des plus prometteuses dans la détermination de l'infiltration efficace et cela pour la simplicité de sa mise en œuvre. Son application à travers le monde en zone aride et semi aride a permis d'obtenir des résultats très représentatifs du taux de recharge dans ces zones.

BIBIOGRAPHIES

1. DEVRIES, D.A. KRUGER, A. J., (1967): On the value of the diffusion coefficient of water vapour in air. In « Phénomènes de transport avec changements de phases dans les milieux poreux ou colloïdes . Colloques Internationaux. CNRS, Symp. Paris : pp. 61-72
2. ERIKSSON, E., (1976) The distribution of salinity in groundwater of the Delhi region and recharge rates of groundwater (*In interpretation Environmental Isotope and hydrochemical Data in groundwater Hydrology).* AIEA, 17-171-177
3. GUENDOUZ, A., MOULLA, A.S., REGHIS, Z., (1993) Etude de la remontée des eaux de la nappe phréatique de la région de Oued-Souf (Erg Oriental, Sahara nord-est Septentrional) par les méthodes isotopiques et hydrochimiques. Deuxièmes Journées de Géologie Appliquée. Actes du Séminaire, Sfax, Tunisie (17-19 Mai 1993), pp. 289-299.
4. GUENDOUZ, A., MOULLA, A.S.; (1999) : Application des Techniques Isotopiques en Zone Aride (cas des aquifères du Sahara nord est septentrional, Algérie). *Colloque International sur l'Apport de la Géochimie Isotopique dans l'Etude du Cycle de l'Eau. Prof. J. Ch. Fontes' Memorial.* Hammamet, Tunisia (06-08 April 1999).
5. GRUNBERGER, O., (1989) Etude géochimique et isotopique de l'infiltration sous climat tropical contrasté- Massif du Piton des neiges- Ile de la réunion. *Thèse Doct. es Sciences. Univ. Paris-Sud. Orsay, 269p.*
6. HELLWIG D.H.R., (1973) Evaporation of water from sand ; The influence of the depth of the water-table and the particle size distribution of the sand. J. Hydrol., 21: 101-110
7. MOULLA, A.S., GUENDOUZ, A., CHERCHALI, M.E.H., (2002) : Contribution des isotopes à l'étude des ressources en eau transfrontalières en Algérie. International Workshop on Internationally Shared (Transboundary) Aquifer Resources Management in Africa, held under the auspices of IHP/UNESCO in Tripoli, Libya, 02-04/06/2002.