



Doctoral Thesis

Application of numerical modelling, isotope studies and streamflow observations for quantitative description of hydrogeology of the Kouris catchment (Cyprus)

Author(s):

Boronina, Anastasia Vladimirovna

Publication Date:

2003

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004674388> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr 15338

Application of numerical modelling, isotope
studies and streamflow observations for
quantitative description of hydrogeology of the
Kouris catchment (Cyprus)

A dissertation submitted to the
Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zuerich
for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by
Anastasia Vladimirovna Boronina

Dipl. Mining Engineer
Saint-Petersburg State Mining Institute (Russia)
born 09 January 1970
citizen of Russia

Accepted on the recommendation of
PD Dr. Werner Balderer, examiner
Prof. Dr. Simon Loew, co-examiner
Dr. Philippe Renard, co-examiner
Prof. Dr. Jean-Luc Michelot, co-examiner

2003

SUMMARY

The Kouris catchment in Cyprus is experiencing water scarcity problems due to semi-arid conditions in its southern part and an increase in ground- and surface water extraction. Thus, quantification of the regional water balance is essential. But, due to rock heterogeneity and high spatial and temporal variability of water balance components, this is also a difficult scientific task.

The catchment is composed by two main geological zones: an ophiolitic complex in the North that contains the major groundwater resources of the island and overlying sedimentary rocks in the South with few water resources. The area is drained by three rivers - Kouris, Krios and Limnatis. Their valleys are filled with alluvium.

In this study, steady state and transient groundwater flow and transport numerical modelling was applied to quantify the regional water balance. Main input data (transmissivities, aquifer boundaries, storativity, recharge) were obtained from field investigations and historical records. During the years 1998-2002, 176 water samples (surface water, groundwater, precipitation) were analyzed for tritium and 224 – for stable isotopes. Additionally, all water samples were analysed for the major ions concentrations. These data allowed to validate model assumptions. The numerical models were calibrated by piezometric measurements in boreholes, baseflows, spring discharges and isotope data. During the calibration procedure sensitivity to boundaries, transmissivity, storativity and recharge were characterized. Recharge was additionally calibrated by deuterium data, while porosities were estimated from simulation of tritium transport.

Stable isotope data in the precipitation over the Kouris catchment allowed to construct a Local Regression Line described by the equation: $\delta D = 6.6 * \delta^{18}O + 10.9$. Seasonal and altitude variations of isotope content in the precipitation appeared to be different from those in the groundwaters. This fact can be explained by evaporation during infiltration. Thus, the deuterium altitude effect in recharge had to be derived from the data of 33 springs (rather than from precipitation) and was described by a linear regression equation. That equation allowed to calculate the altitudes of recharge for all sampling points and to understand the groundwater origin. It was demonstrated,

that the ground water in the alluvium originates mainly from the ophiolites, whereas, the groundwaters in consolidated rocks originate from local recharges.

The tritium input function for the precipitation in Cyprus was constructed to study tritium distribution in the aquifer. The groundwater residence times were calculated by the PMPATH advective transport model with input velocities from 3-D transient groundwater flow model of the Kouris catchment. The groundwaters of the ophiolitic aquifer discharging from springs had residence times of 1-25 years; the "young" waters appeared in wet seasons. Residence times of the groundwater in the sedimentary aquifer were estimated to be higher than 45 years.

Combination of the tritium input function in the precipitation and PMPATH residence times resulted in the calculations of the transient tritium concentrations in the aquifer. Finally, the calibration of the PMPATH model by observed tritium concentrations allowed to establish the optimal distribution of the porosity between 0.04 and 0.06 for the ophiolitic aquifer.

Numerical modelling under the steady state assumptions allowed to quantify the regional water balance for the hydrological year 1988/89. It was calculated that all recharged water from precipitation (30.2 Mm^3) was discharging via springs (4.1 Mm^3) and the rivers Kouris (10.4 Mm^3), Kryos (1.3 Mm^3) and Limnatis (12.7 Mm^3). Groundwater outflow to the Mediterranean sea was estimated to be lower than $10^5 \text{ m}^3/\text{year}$. The model results also included the calibrated set of hydrogeological properties and transient groundwater balance for 1984-2000. Actual evapotranspiration from the alluvial aquifer during dry season was estimated using continuous streamflow records and was at the range of $1.7\div 3.3 \text{ Mm}^3$.

Combination of numerical simulations and isotope studies resulted in quantitative estimates of steady state recharge (90-140 mm/year).

Finally, a map of the areas endangered in case of increase of groundwater extraction was proposed.

RESUME

Le bassin du Kouris présente des problèmes de sécheresse du fait de conditions climatiques semi-arides dans sa partie sud et d'une exploitation croissante des ressources en eau du sol et du sous-sol. Par conséquent, la quantification du bilan hydrique régional est une question essentielle. Mais en raison de l'hétérogénéité géologique du sous-sol et de la grande variabilité spatiale et temporelle de tous les paramètres contrôlant ce bilan, cette question pose de nombreux problèmes scientifiques.

Le bassin versant est constitué de deux grands ensembles géologiques. Sa partie nord consiste en un complexe ophiolitique qui contient la majeure partie des ressources en eau de l'île. Dans sa partie sud les formations sédimentaires qui recouvrent les ophiolites ne présentent pas de réserves importantes. La zone est drainée par les trois rivières Kouris, Krios et Limnatis. Le remplissage des vallées est constitué d'alluvions.

Dans cette étude, la modélisation numérique à l'équilibre puis en système transitoire de l'écoulement et du transport a été utilisée pour quantifier le bilan hydrique régional. Les principales données entrées dans le modèle (transmissivité, limites des aquifères, storativité, recharge) proviennent d'une part grâce des études de terrain et d'autre part de données publiées. De 1998 à 2002, 176 échantillons d'eau (eau de surface, eau souterraine et précipitations) ont été analysés pour le tritium et 224 pour les isotopes stables. Ces données ont permis de valider les concepts sous-tendant les modèles. De plus, les modèles ont été calbrés à partir de mesures piézométriques dans les sondages, les nappes phréatiques et les résurgences, ainsi que par des données isotopiques. Pendant la procédure de calibrage, la sensibilité du modèle aux limites géographiques, à la transmissivité, à la storativité et à la recharge ont été analysées. La recharge a de plus été calibrée à partir des données sur le deutérium, alors que les porosités étaient estimées à partir de simulations de transport du tritium.

Les compositions des isotopes stables ont permis de calculer une Droite de Régression Locale décrite par l'équation : $\delta D = 6.6 * \delta^{18}O + 10.9$. Il est apparu que les variations saisonnières et en fonction de l'altitude différaient dans les eaux souterraines et les précipitations. Ceci peut s'expliquer par un processus

d'évaporation pendant l'infiltration de l'eau. Pour cette raison, il a été nécessaire de déduire l'effet d'altitude sur le deutérium à partir de l'étude de 33 sources. Cet effet peut être décrit par une équation de régression linéaire. Cette équation a permis de recalculer l'altitude de la recharge pour tous les échantillons, et de déduire son origine. Il a ainsi été démontré que l'eau souterraine dans les alluvions provient essentiellement du complexe ophiolitique, alors que la recharge est locale dans les formations indurées.

La fonction d'entrée du tritium a été élaborée pour étudier la distribution du tritium dans les aquifères. Les temps de résidence ont été calculés par le modèle de transport advectif PMPATH en utilisant les valeurs de vitesse utilisées dans la modélisation 3D en régime transitoire des écoulements dans le bassin versant du Kouris. Dans le complexe ophiolitique, les eaux souterraines au niveau des sources ont un temps de résidence variant de 1 à 25 ans, les eaux les plus « jeunes » apparaissant pendant la saison humide. Dans l'aquifère sédimentaire, les temps de résidences calculés sont supérieurs à 45 ans.

La combinaison d'entrée du tritium dans les précipitations et des temps de résidences calculés par le modèle PMPATH a permis de calculer la concentration transitoire du tritium dans l'aquifère. Enfin, le calibrage du modèle PMPATH par les données de tritium mesurées a permis d'établir une distribution optimale de la porosité entre 0,04 et 0,06 pour l'aquifère ophiolitique.

La modélisation numérique à l'équilibre a permis de quantifier le bilan hydrique pour l'année hydrologique 1988-89. Il est apparu que toute l'eau rechargée ($30,2 \text{ Mm}^3$) s'écoule par les sources ($4,2 \text{ Mm}^3$) et les rivières Kouris ($10,4 \text{ Mm}^3$) Kryos ($1,3 \text{ Mm}^3$) et Limnatis ($12,7 \text{ Mm}^3$). L'écoulement souterrain vers la Méditerranée est estimé inférieur à $10^5 \text{ m}^3/\text{an}$. Les résultats du modèle incluent également un ensemble de propriétés hydrogéologiques et le bilan hydrique pour la période 1984-2000.

L'évapotranspiration réelle à partir de l'aquifère alluvial pendant la saison sèche a été estimée entre $1,7$ et $3,3 \text{ Mm}^3$ en se basant sur des enregistrements en continu du débit des rivières. La combinaison des simulations numériques et des études isotopiques a permis une estimation quantitative de la recharge à l'équilibre entre 90 et 140 mm/an . Enfin, une carte des zones à risque est proposée dans le cas où l'exploitation des ressources en eau viendrait à augmenter.