

Bonjour à toutes et tous,

J'ai le plaisir de vous inviter à ma soutenance de thèse intitulée
"Observations et modélisations de la recharge des aquifères dans le Grand Est de la France à l'aide de données lysimétriques".

La soutenance aura lieu le vendredi 23 juin 2023 à 14h en Salle Froidevaux (314), au laboratoire de géologie de l'ENS, 24 rue Lhomond, 75005, Paris.

Un lien zoom sera également disponible :

<https://cnrs.zoom.us/j/93059307613?pwd=eHEXNjdaRG9pc01kWE5oZ2lBT0pZZz09>
(cliquer sous *Join from Your Browser* depuis un pc de Météo-France)

ID reunion : 930 5930 7613

Code secret : dCt8CA

Résumé :

Le premier objectif de cette thèse est d'analyser des données lysimétriques (mesurant les flux écoulés dans le sol à 2 m de profondeur) afin de comprendre les mécanismes qui contrôlent la recharge des aquifères, en particulier lors d'événements intenses. Le second objectif est d'améliorer la modélisation de cette recharge dans le modèle de surface ISBA qui est utilisé dans les applications opérationnelles françaises hydrométéorologique SIM et AQUI-FR, qui réalisent le suivi et la prévision saisonnière des sécheresses et des crues mais aussi pour la projection de la ressource en eau sur la France face au changement climatique.

Pour ce faire, dix-sept lysimètres issus de trois sites (GISFI, OPE, Fagnières) localisés dans la région du Grand-Est ont été utilisés. Ces lysimètres donnent accès à la recharge locale des aquifères et à sa dynamique via des mesures de drainage sur une période allant jusqu'à 50 ans, les chroniques, les sites du GISFI et de l'OPE disposant en plus de teneurs en eau et de pressions matricielles ainsi que la masse totale. Sur ces lysimètres, la dynamique du drainage est analysée en fonction des types d'occupations de sols, puis en sélectionnant des événements de précipitations intenses et de sécheresse. Une méthode reposant sur de l'apprentissage automatique a été utilisée pour évaluer l'impact de ces processus sur le drainage. Les principaux résultats montrent une diminution de la recharge des nappes depuis plus de 50 ans avec plus de sécheresses ces dernières années. Un des résultats non intuitif est que les précipitations intenses n'engendrent que très peu d'écoulements car ils apparaissent surtout en période estivale. Il est possible cependant que ce résultat soit associé à des valeurs de pluies considérées comme intenses bien qu'elles restent modérés en comparaison à d'autres régions de France (moins de 40mm/jour).

Ces observations ont permis d'évaluer le modèle de surface ISBA et sa capacité à bien simuler la dynamique de l'hydrologie des sols et de la recharge. Ce modèle résout l'équation de Richards et utilise l'approche de Brooks and Corey (1966) comme relations de fermeture de cette équation qui relie teneur en eau, pression matricielle et conductivité hydraulique. Cette version d'ISBA simule bien la recharge quand les paramètres hydrodynamiques et les forçages météorologiques sont connus. Cependant, les mesures in-situ montrent que les relations de fermeture de Van Genuchten (1980) majoritairement utilisées en hydrologie semblent plus appropriées. Ces équations engendrent néanmoins des problèmes numériques bien connus pour des sols argileux et dégradent donc les simulations sur ces lysimètres. Des approches qui corrigent ce défaut ont ensuite été intégrées et évaluées avec succès sur les mêmes lysimètres montrant même une amélioration de la dynamique simulée du drainage, en particulier lors d'événements de drainage intense. Ces lysimètres nous ont permis de distinguer les paramètres hydrodynamiques les plus influents et nous ont apportés des informations sur la variabilité des paramètres hydrodynamiques sur le profil vertical des sols. Les fonctions de pédotransferts

usuelles basées sur les textures des sols utilisées dans ISBA échouent à restituer les paramètres estimés in-situ, et donc dégradent fortement les recharges simulées. La fonction de pédotransferts de Wosten et al. (1999) qui prend en compte la densité et la matière organique des sols apparaît prometteuse pour limiter ce problème.

Dans une dernière partie, les connaissances acquises localement ont été testées à l'échelle régionales. Ainsi, les nouvelles relations de fermeture évaluées dans ISBA sur les lysimètres ont été testées dans les modèles SIM et AQUI-FR. Les débits des rivières et les niveaux piézométriques des aquifères ont été simulés puis comparés à des observations in-situ. Les résultats sont contrastés, avec une part d'amélioration et de dégradation des résultats. Si les nouvelles relations de fermetures n'apportent pas d'améliorations significatives, cela est sans doute lié aux incertitudes dépendant à la fois des forçages météorologiques (surtout les pluies), et des fonctions de pédotransferts, mais aussi à une possible sur-calibration du ruissellement de surface dans ces modèles. De fait, avec une observation intégrée comme un débit, il peut être équivalent pour un modèle de simuler un écoulement de subsurface rapide ou un ruissellement de surface. La comparaison à la piézométrie peut aider à distinguer ces flux, mais, la méconnaissance des paramètres hydrodynamiques des aquifères ne permet pas de trancher aisément.

Cette thèse suggère qu'il est primordial d'améliorer à la fois la représentation des précipitations, notre connaissance verticale des sols, et d'intégrer de nouveaux concepts, comme la prise en compte de l'effet de la matière organique/densité des sols pour modéliser encore plus précisément la dynamique de la recharge à l'échelle de la France. La combinaison d'observations lysimétriques, piézométriques, débitométriques peut y aider.

Mots clés : Infiltration, Lysimètres, ISBA, Événements intenses.

Le jury est composé de :

Rapporteurs :

- Valérie Plagnes (Professeure, Sorbonne Université)
- Thierry Pellarin (Directeur de Recherche, CNRS)

Examineur/trice :

- Yvan Caballero (Chef de Projet, BRGM)
- Isabelle Braud (Directrice de Recherche, INRAE)
- Sarah Feuillet (Responsable Planification, AESN)
- Jérôme Fortin (Directeur de recherche, CNRS)

Directeur/trice de thèse :

- Florence Habets (Directrice de Recherche, CNRS)
- Bertrand Decharme (Directeur de Recherche, CNRS)

La soutenance sera en français.

En espérant vous y voir nombreux.

In English :

Hello everyone,

I am pleased to invite you to my phd defense entitled "**Observations and modelling of aquifer recharge in eastern France using lysimetric data**".

The defense will take place on Friday June 23 2023 at 2pm in Salle Froidevaux (314), at the ENS Geology Laboratory, 24 rue Lhomond 75005.

A zoom link will also be available:

<https://cnrs.zoom.us/j/93059307613?pwd=eHEXNjdaRG9pc01kWE5oZ2lBT0pZZz09>

ID reunion : 930 5930 7613

secret code : dCt8CA

Abstract :

The first objective of this thesis is to analyze lysimetric data in order to understand the mechanisms that control aquifer recharge, especially during intense events. The second objective is to improve the modelling of this recharge in the surface model ISBA which is used in the French operational hydrometeorological applications SIM and AQUI-FR, dedicated to the monitoring and seasonal forecasting of droughts, floods and for the projection of the French water resource according to climate change scenarios.

To do this, 17 lysimeters from 3 sites (GISFI, OPE, Fagnières) located in the Grand-Est region were used. These lysimeters give access to the local aquifer recharge of aquifers and their dynamics through drainage measurements on a period up to 50 years, with 2 sites measuring also total mass, water content and matrix pressure.

On these lysimeters, the dynamics of drainage were analysed according to several types of land use over the full chronicles, then selecting events of intense precipitation and drought. A method based on machine learning was used to evaluate the impact of these processes on drainage. A decrease in groundwater recharge over the last 50 years is found, with more droughts in recent years. Intense precipitation events generate very little drainage as they occur mainly in the summer period.

This version of ISBA simulates recharge well when hydrodynamic parameters and meteorological forcings are known. We have evaluated the closure relations of Van Genuchten (1980) mostly used in hydrology. However, these equations generate well-known numerical problems for clay soils and therefore degrade the simulations on these lysimeters. Approaches that correct this weakness were then successfully validated on the same lysimeters showing even an improvement of the simulated drainage dynamics, in particular during intense drainage events. Such result might although be associated to a moderate intensity of these events, with less than 40 mm/year.

These lysimeters helped to distinguish the most influential hydrodynamic parameters and gave information on the variability of the hydrodynamical parameter on the vertical profile in the soils. Usual pedotransfer functions based on soil textures used in ISBA fail to reproduce the parameters estimated in-situ, and thus strongly degrade the simulated recharges. The pedotransfer function of Wosten et al (1999), which takes into account the density and organic matter of soils, appears promising to limit this problem.

Finally, the new closure relationships in ISBA validated on lysimeters were used at the regional scale in the SIM and AQUI-FR models. River flows and aquifer piezometric levels were simulated and compared to in-situ observations. The new closure relationships do not significantly improve the models due to uncertainties related to meteorological forcing (especially rainfall), pedotransfer functions, and possible over-calibration of surface runoff in these models. Indeed, to represent an integrated observation as riverflow, it might be similar for such model to estimate fast subsurface flow or surface runoff. The simulation of piezometric level might help to disentangle this fluxes, however, this depends on hydrodynamic parameters of the aquifers that are badly known.

Keywords: Infiltration, Lysimeters, ISBA, Intense events.

The jury is composed of :

Rapporteurs :

- Valérie Plagnes (Professor, Sorbonne University)
- Thierry Pellarin (Research Director, CNRS)

Examiner :

- Yvan Caballero (Project Manager, BRGM)
- Isabelle Braud (Research Director, INRAE)
- Sarah Feuillet (Planning Manager, AESN)
- Jérôme Fortin (Research Director, CNRS)

Thesis supervisor :

- Florence Habets (Research Director, CNRS)
- Bertrand Decharme (Research Director, CNRS)

The defense will be in French.

I hope to see many of you there.