

MODÉLISATION DES APPORTS DIFFUS DE NUTRIMENTS (PHOSPHORE) DANS LE LÉMAN

MODELLING OF DIFFUSE NUTRIENT (PHOSPHORUS) INPUTS IN LAKE GENEVA

CAMPAGNE 2021

Marc FASEL, Jean-Luc LOIZEAU et Anthony LEHMANN

UNIVERSITÉ DE GENÈVE, INSTITUT DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT
ET DPT. F.-A. FOREL DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'EAU,
BD. CARL-VOGT 66, 1205 GENÈVE

Résumé

Le Conseil scientifique de la CIPEL s'efforce d'identifier les tendances futures concernant les apports nutritifs au Léman, dans le contexte de la préparation du plan d'actions 2021-2030. Pour ce faire, une première étude a consisté à faire le bilan des apports domestiques, et à tracer des projections à 50 ans en fonction de scénarios incluant principalement l'évolution démographique dans le bassin versant du lac, et différentes hypothèses sur les taux de collecte et les rendements d'épuration. La deuxième étape de la démarche concerne les apports diffus. Elle a été scindée en deux parties : la première consiste à faire le bilan des flux de phosphore dans les principaux affluents du lac (Rhône, Dranse, Aubonne, Venoge, Versoix). La deuxième partie, objet de ce rapport, aborde la dimension prospective des apports diffus par modélisation avec le logiciel SWAT¹⁹.

Dans ce modèle, le bassin versant du Léman a été divisé en 1'284 sous-bassins, eux-mêmes composés de 25'583 unités de réponse hydrologique (HRUs). Les HRUs représentent des combinaisons uniques de classes de sol, de couverture de sol et de pente. Les calculs du bilan hydrique ainsi que des processus de surface sont effectués de manière journalière au niveau de chaque HRU et les résultats agrégés à l'échelle des sous-bassins ou diffusés au segment de rivière principal du sous-bassin. Les sous-bassins sont connectés entre eux par le réseau de rivières. Les processus aquatiques tels que le dépôt des sédiments et le transfert des nutriments sont également simulés le long des rivières.

Les principaux composants du cycle du phosphore (P) sont modélisés par SWAT premièrement au niveau des sols. Le phosphore peut se trouver dans les sols sous forme organique (P_o) ou inorganique (P_i); ces formes diffèrent entre elles en termes de stabilité et de solubilité. SWAT reproduit la répartition du P dans les différentes formes à l'aide des algorithmes de décomposition, de minéralisation et d'immobilisation (Figure 1). SWAT transfère ensuite le P aux eaux de surface par les phénomènes d'érosion, de ruissellement, de lessivage et de lixiviation. Du P organique et inorganique peut également être introduit dans les eaux de surface par les stations d'épuration domestique ou des rejets industriels. Une fois dans la rivière, les processus liés au P sont modélisés pour les formes organique et inorganique. La décomposition des algues transforme le P des algues en P organique. Le P organique peut également être retiré/ajouté aux eaux de la rivière par déposition/remise en suspension des sédiments. Le P organique est ensuite minéralisé en P soluble disponible pour les algues.

¹⁹ Soil and Water Assessment Tool : <https://swat.tamu.edu>

Abstract

The CIPEL Scientific Council strives to identify the future trends concerning the nutrient inputs to Lake Geneva, in the preparation the 2021–2030 action plan. In this context, a first study assessed the domestic inputs and drew up the 50-year projections in relation to the scenarios including mainly the demographic changes in the lake's catchment area and different hypotheses on the collection rates and removal efficiencies. The second stage of the process concerns the diffuse inputs. It was divided into two parts: the first consists in assessing the phosphorus fluxes in the main tributaries of the lake (the Rhone, Dranse, Aubonne, Venoge and Versoix rivers). The second part, the subject of this report, addresses the prospective dimension of the diffuse inputs using a modelling approach with SWAT software.

In this model, Lake Geneva's watershed is divided into 1284 sub-watersheds, which are made up of 25,583 hydrological response units (HRUs). The HRUs represent unique combinations of soil, soil cover and slope classes. Hydric assessment as well as surface processes are calculated daily for each HRU and the results are aggregated at the sub-watershed scale or diffused to the main river segment of the sub-watershed. The sub-watersheds are connected by river networks. The aquatic processes such as sediment deposit and nutrient transfer are also simulated along the rivers.

The main components of the phosphorus (P) cycle are modelled using SWAT, first at the soil level. Phosphorus can be found in soils in its organic form (P_o) or inorganic form (P_i); these forms differ in terms of stability and solubility. SWAT reproduces the distribution of P between its different forms using decomposition, mineralisation and immobilisation algorithms (Figure 1). SWAT then transfers P to the surface waters by erosion, runoff, leaching and lixiviation phenomena. Phosphorus can also be introduced into surface water by domestic wastewater treatment plants or industrial discharges. Once in the river, the processes related to P are modelled for the organic and inorganic forms. The decomposition of algae transforms the P from algae into organic P. Organic P can also be removed/added to river water by deposit/resuspension of sediments. Organic P is then mineralised into soluble P available for algae.

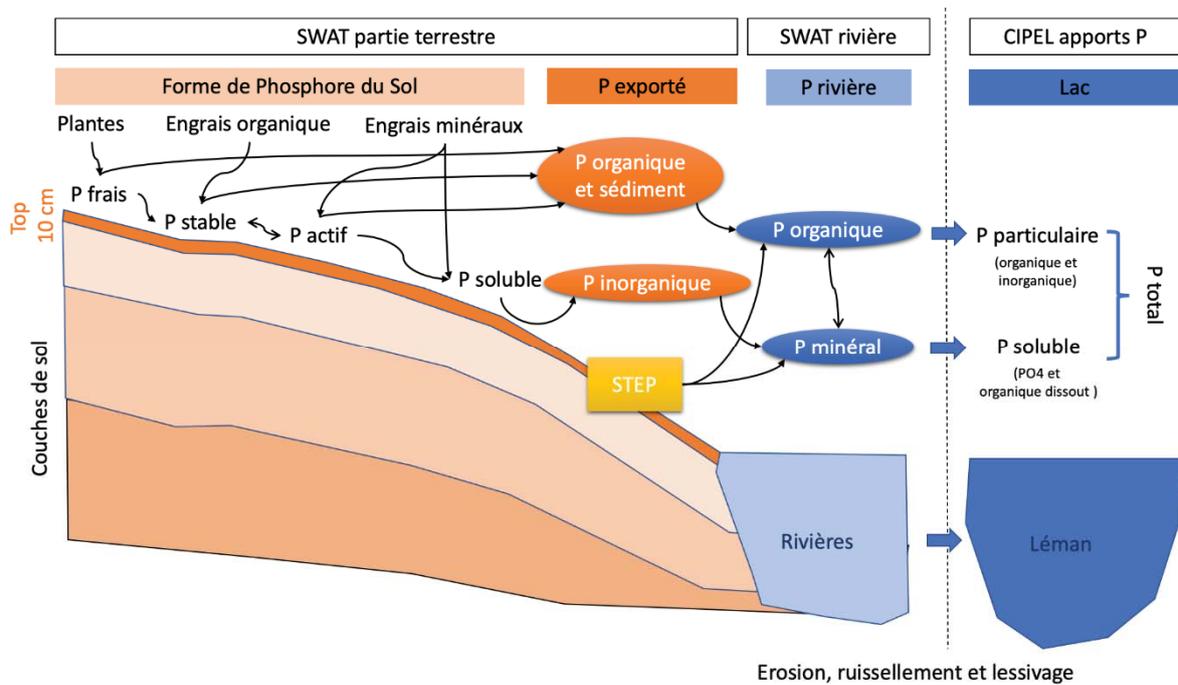


Figure 1 : Cycle du phosphore de la partie terrestre et rivières de SWAT vers le Léman (source ²⁰)

Figure 1: Phosphorus cycle of the land part and rivers from SWAT towards Lake Geneva (source ²¹)

Les données d'entrée du modèle SWAT (topographie, météorologie, propriétés hydrologiques des sols, utilisation du sol, réseau hydrographique, mesures hydrologiques, pratiques agricoles, stations d'épuration, dépôts atmosphériques) nécessaires à la construction et la calibration du modèle ont été acquises auprès des institutions fédérales suisses, des agences gouvernementales françaises, de la CIPEL, des offices cantonaux, de divers organismes ou de la littérature scientifique. La calibration du modèle a été effectuée sur la période 2000-2015. Les résultats issus du modèle calibré reproduisent de manière satisfaisante la somme des moyennes annuelles des cinq principaux affluents en termes de débits (196 m³/s simulé vs. 207 m³/s observé) (Tableau 1) et de phosphore soluble (38 tonnes simulées vs. 43 observées) (Tableau 2).

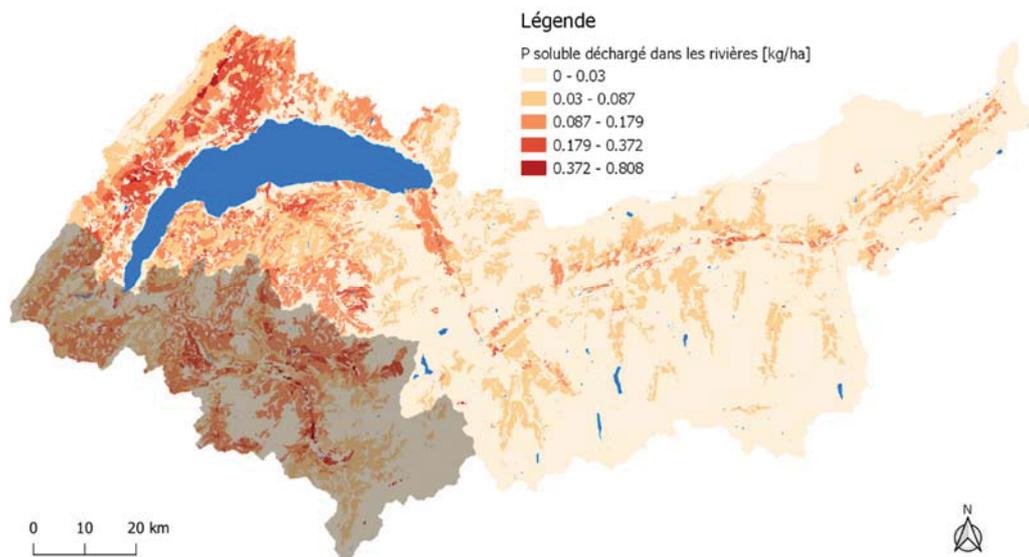


Figure 2 : Décharge mensuelle de P soluble des HRUs [kg/ha].

Figure 2: Monthly discharge of soluble P from HRUs [kg/ha].

²⁰ [http://graham.umich.edu/media/files/How SWAT models P.pdf](http://graham.umich.edu/media/files/How_SWAT_models_P.pdf)

Tableau 1 Débits moyens annuels simulés et observés pour les principaux bassins versants et à l'exutoire
 Table 1: Mean annual runoff, simulated and observed, for the main watersheds and at the outlet

Affluent	Débit moyen simulé [m ³ /s]	Débit moyen observé [m ³ /s]	Période
Rhône	167.1	179.2	2005-2015
Aubonne	3.3	4.8	2005-2015
Dranse	20.3	16.7	2005-2015
Venoge	3.2	3.5	2005-2015
Versoix	2.0	2.7	2011-2015
Somme 5 affluents	195.9	206.9	

Tableau 2 : Apports en Phosphore soluble moyens annuels simulés et observés pour les principaux bassins versants
 Table 2: Mean soluble phosphorus inputs, simulated and observed, for the main watersheds

Affluent	P _i soluble annuel moyen simulé [tonnes]	P _i soluble annuel moyen observé [tonnes]	Période
Rhône	30.9	32.5	2005-2015
Aubonne	0.9	1.6	2005-2015
Dranse	3.0	3.9	2005-2015
Venoge	1.8	2.9	2005-2015
Versoix	1.0	2.1	2011-2015
Somme 5 affluents	36.7	41.0	

Une fois le modèle SWAT calibré, quatre scénarios combinant les changements climatiques du GIEC (RCP 2.6 et 8.5) et d'utilisation du sol et de fertilisation (Agriculture extensive - LAP - et intensive - LIB -) ont été développés pour simuler les changements possibles de quantité d'eau et de phosphore entrant dans le Léman à l'horizon 2050. Le scénarios LIB se base sur des apports de fertilisants similaires à ceux connus actuellement alors que le scénarios LAP prévoit une diminution de moitié.

Afin d'évaluer l'effet potentiel des mesures de réduction des apports externes en P des sources diffuses du bassin versant, une simulation dynamique de l'évolution des teneurs en P dans le Léman est effectuée. Le modèle simple se base sur une simulation dynamique (par bilan de masses) dans le Grand-lac, développée dans le logiciel STELLA²². Les compartiments considérés du lac sont l'épilimnion (0-30 m), l'hypolimnion supérieur (30-150 m) et l'hypolimnion inférieur (150-309 m). Les débits et concentrations en P modélisés par SWAT sont transmis en données d'entrée du modèle STELLA afin d'estimer les effets de leurs variations sur les concentrations en P dans le lac.

En fonction des résultats obtenus avec l'application des données issues des scénarios climatiques et d'utilisation du sol au modèle hydrologique, nous pouvons conclure les points suivants :

- Les changements climatiques pourraient aboutir à des changements marqués sur la quantité d'eau arrivant au Léman avec une diminution des débits dans les scénarios RCP2.6 de -16% en 2050 et une augmentation dans les scénarios RCP8.5 de +19% en 2050 (Figure 3);
- Les changements d'utilisation du sol n'auront pas d'effet marqué sur les débits et la qualité des eaux.
- Seule la réduction de 50% d'utilisation des fertilisants associée au scénario d'agriculture extensive (LAP) a un impact significatif (Figure 4).

²² Systems Thinking, Experimental Learning Laboratory with Animation : <https://www.iseesystems.com>

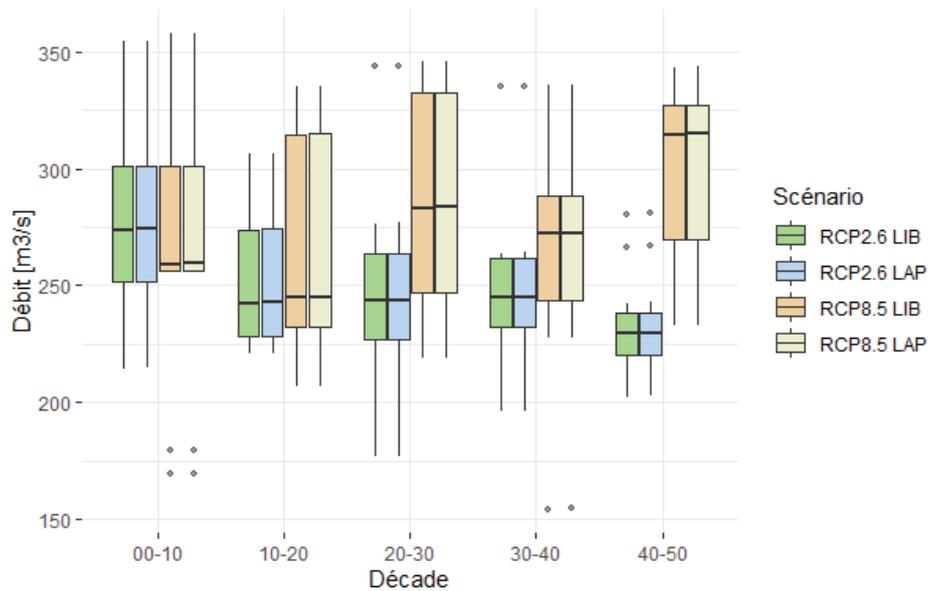


Figure 3 : Débit annuel moyen par décennie entrant dans le lac [m³/s].

Figure 3: Mean annual runoff per decade entering the lake [m³/s].

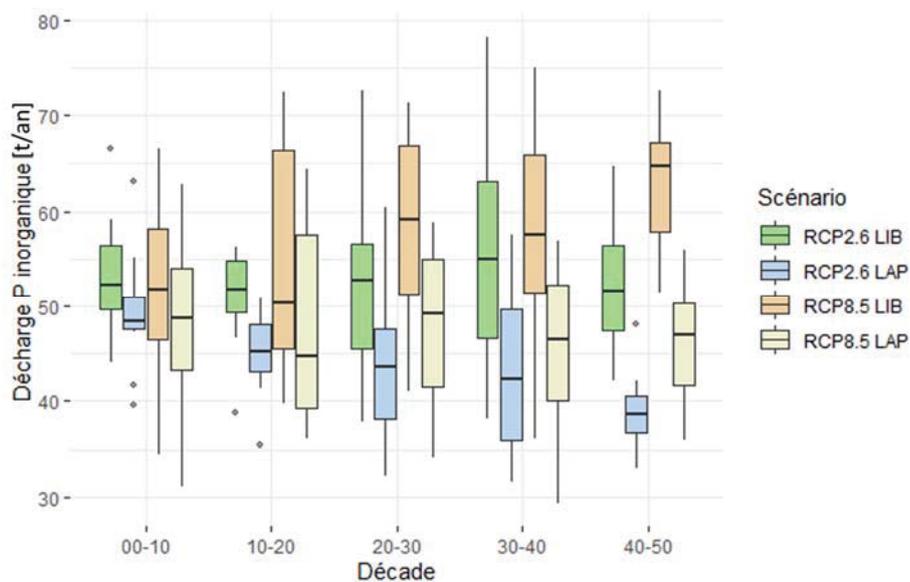


Figure 4 : Apports annuels moyens de P soluble par décennie entrant dans le lac [t/an].

Figure 4: Mean annual inputs of soluble P per decade entering the lake [t/an].

De plus, la modélisation dynamique de l'évolution des concentrations de P_{tot} dans le Léman, permet de conclure que :

- A l'horizon 2050, les concentrations moyennes en P_{tot} dans le lac seraient d'environ 14 $\mu\text{g/L}$ et 13 $\mu\text{g/L}$ pour le scénario climatique RCP2.6 avec les pratiques de fertilisation LIB et LAP, respectivement ;
- Ces concentrations seraient d'environ 13 et 12 $\mu\text{g/L}$ pour le scénario climatique RCP8.5 et ces mêmes pratiques de fertilisation ;
- En supposant une réduction de la fertilisation suivant le modèle LAP le maintien de la concentration moyenne de P_{tot} à 10 $\mu\text{g/L}$ impliquerait de réduire les apports actuels ponctuels de P (i.e. principalement les STEP, actuellement de 102 t/an) de 20% dans le scénario climatique RCP 2.6 et de moins de 7% dans le scénario climatique RCP 8.5.

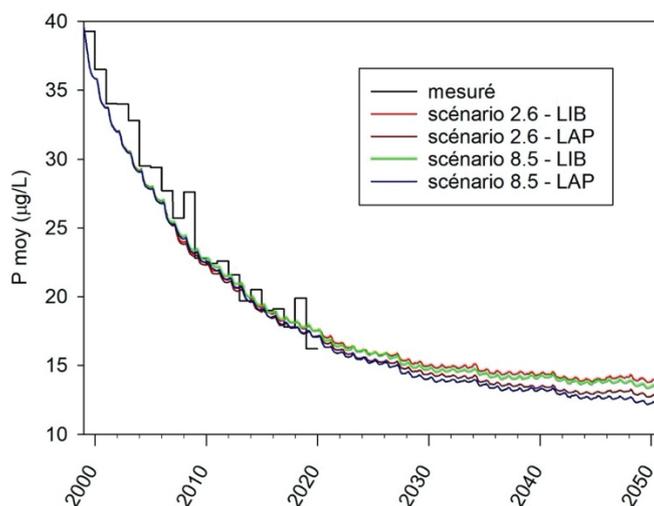


Figure 5 : Evolution des concentrations moyennes en P_{tot} dans le Grand-lac en fonction des quatre scénarios (2.6 et 8.5 ; LIB et LAP).

Figure 5: Mean concentrations of P_{tot} in the Grand-lac as a function of four scenarios (2.6 and 8.5; LIB and LAP).

Notons finalement que les différences de température et de précipitation entre les deux scénarios RCP s'accroissent particulièrement après 2050 suggérant des impacts plus importants sur les débits et potentiellement la pollution diffuse à l'horizon 2100.

BIBLIOGRAPHIE

FASEL, A., LOIZEAU, J.-L., LEHMANN A. 2021. Modélisation des apports diffus de nutriments (phosphore) dans le Léman. Rapp. Comm. Int. Prot. Eaux Léman contre pollut.