

## Indice de qualité des sols : un outil d'aide à la décision pour la prise en compte de la qualité des sols pour la régulation hydrique d'un territoire.

Soil quality index: a decision-making tool for taking into account soil quality for water regulation in a territory.

Favre Boivin<sup>1</sup> F., Gondret<sup>2</sup> K., Matteodo<sup>1</sup> M., Bullinger<sup>1</sup> G., Boivin<sup>2</sup> P.

1. HES-SO, Haute Ecole d'ingénierie et d'architecture de Fribourg, Institut des technologies de l'environnement construit (iTEC), Boulevard de Pérolles 80, 1700 Fribourg

2. Haute Ecole du Paysage, d'Ingénierie et d'Architecture de Genève (HEPIA), Institut Terre-Nature-Environnement (inTNE), 150 route de Presinge 1254 Jussy, Suisse.

### RÉSUMÉ

Les fonctions de régulations hydriques fournies par les sols sont très reconnues aujourd'hui et sollicitées pour contenir le ruissellement, en milieu urbain ou agricole. L'indice de qualité des sols (IQS) a pour ambition de pouvoir estimer et représenter spatialement les fonctions des sols, dont celle de régulation hydrique, sur la base de l'analyse de propriété des sols. Cependant, la quantification des fonctions des sols n'est pas aisée principalement en raison du manque de données sur les propriétés des sols ou du coût de leur acquisition. La démarche IQSM ici présentée, résout cette difficulté en s'affranchissant de l'étape de campagne de mesure à l'échelle d'un territoire entier mais en tirant partie des informations géoréférencées existantes sur le territoire. De ces informations territoriales, des estimations de qualité des propriétés des sols sont attribuées par avis d'expert. Les informations analytiques sur les sols qui seraient déjà acquises sont intégrées. Un logigramme définit la prédominance d'une information sur une autre. Pour tenir compte des différents niveaux de fiabilités des informations délivrées, une note de fiabilité est associée à l'estimation, dont le calcul est lié au logigramme. Une représentation de la qualité fonction de régulation hydrique des sols est ainsi estimée à l'échelle d'un aménagement ou du territoire et permet l'aide à la décision quant aux aménagements futurs ou le renseignement d'un modèle hydrologique en l'absence de données d'infiltration ou de ruissellement.

### ABSTRACT

The water regulation functions provided by soils are very well recognised today and are called upon to contain runoff in urban and agricultural environments. The soil quality index (SQI) aims to record and spatially represent soil functions, including water regulation, on the basis of soil property analysis. However, the quantification of soil properties is not easy, mainly because of the lack of data on soil properties or the cost of acquiring them. The IQSM approach presented here solves this difficulty by avoiding the stage of a measurement campaign on the scale of an entire territory but by taking advantage of existing georeferenced information on the territory. From this territorial information, quality estimates of soil properties are assigned by expert opinion. Analytical soil information which has already been acquired is integrated. A flow chart defines the predominance of one piece of information over another. In order to take into account the different levels of reliability of the information provided, a reliability score is associated with the estimate, the calculation of which is linked to the flowchart. A representation of the quality function of soil water regulation is thus quantified at the scale of a development project or territory and allows decision support for future developments. It also allows coupling to a hydrological model in the absence of infiltration or runoff data

### MOTS CLÉS

Aide à la décision, indice de qualité des sols, fonction des sols, propriétés des sols, régulation hydrique.

---

## 1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

Les services écosystémiques des sols ont été révélés comme la clé de voûte des écosystèmes terrestre par le *Millenium assessment* (Hooper et al., 2005). Les services reposent sur la capacité du sol à assurer ses fonctions. Puis de récentes synthèses ont relevé la dégradation des sols (Montanarella et al., 2016) et les menaces que cela faisait peser sur le climat (IPBES, 2018; IPCC, 2019). Ces alertes génèrent une prise de conscience et une forte demande pour des outils de gestion de la qualité des sols. Par qualité du sol, on entend capacité du sol à fonctionner (Karlen et al., 1997). Elle se réfère principalement à leurs propriétés influencées par la gestion du sol (Bünemann et al., 2018), par opposition à la notion de *capability* du sol (Bouma et al., 2017) qui reflète le potentiel de qualité à travers des caractéristiques invariantes. Ces dernières sont évaluées en cartographie ou pour la classification d'un profil. La qualité des sols est donc définie par sa gestion, dans des limites définies par son potentiel. Différentes méthodes d'évaluation de la qualité des sols ont émergé, soit utilisant des grandes bases de données institutionnelles (Andrews et al., 2004), soit se basant sur des critères visuels sur le terrain (Mueller et al., 2014). Pour les planificateurs, disposer de cartes de qualité des sols peut permettre de tenir compte des usages actuels et futurs envisagés, et de fournir une aide à la décision d'affectation d'un sol, en choisissant de mettre en adéquation service écosystémique visé, par exemple « régulation du cycle de l'eau » et qualité des sols à disposition. Cette perspective se heurte à deux difficultés : d'une part les informations territoriales sur les sols sont très lacunaires et hétérogènes, d'autre part la mise en balance de différents projets d'aménagement nécessite un outil interactif. A la demande de l'agglomération Morgienne et avec le soutien de différentes institutions, ces deux défis ont été relevés par la mise au point d'un outil de cartographie de la qualité des sols (IQSM) semi automatisé, prenant en compte la gestion des sols via les informations d'usage et d'affectation territoriales des sols, le potentiel des sols via les informations cartographiques, et ajustant localement la qualité prédite lorsque des données sont fournies. Un module de projection permet aux planificateurs de comparer des scénarii d'aménagement. La méthodologie employée s'inspire de celle d'une cartographie des sols, la structure permet de porter ce système sur tout le territoire à moindre frais.

## 2 METHODE DE DEVELOPPEMENT DE L'IQSM

Le système d'information géographique (SIG) d'estimation de la qualité des sols a été développé sur une zone mixte rurale et urbaine dans le canton de Vaud, en Suisse, dans l'agglomération Morgienne. Le lien avec les couches territoriales existantes et les données pédologiques permet une actualisation semi-automatisée de la cartographie de la qualité des sols. L'estimation des propriétés des sols fait appel à l'expertise collective de spécialistes des sols. Des fonctions de pédotransfert permettent de définir les services écosystémiques des sols à partir des propriétés. La structure est modulable : des propriétés, des services écosystémiques ou de nouvelles fonctions de pédotransfert peuvent aisément être introduites.

Dans un premier temps, les couches existantes du SIG décrivant le territoire suisse ont été organisées en couches hiérarchisées et imbriquées décrivant l'ensemble de la zone avec une résolution croissante (Figure 1). Par exemple, la zone urbaine a été divisée en zone : construite, non construite, verte, non verte, puis en les différents types de végétations référencées dans le système d'information géographique concernant l'entretien des espaces verts. Une stratégie similaire a été appliquée aux zones agricoles. En outre, des couches d'images aériennes ont été utilisées, par exemple pour détecter les toits végétalisés en utilisant la bande proche infrarouge. À la fin de ce processus, la zone entière a été divisée en polygones appartenant à des catégories d'utilisation des sols (par exemple, zone à bâtir, verte, massif d'ornement). Ensuite, les propriétés du sol pertinentes pour les fonctions du sol ciblées (par exemple la régulation hydrique) et leurs incertitudes ont été estimées pour chacune de ces catégories sur la base des connaissances des experts. Enfin, le calcul de la qualité du sol pour un service donné par polygone, se fait sur la base d'une fonction de pédotransfert sélectionnée qui est une équation utilisant les propriétés du sol qui quantifient la fonction visée. Celle-ci permet de noter la fonction visée dans un référentiel numérique choisi, ici de 1 à 6 avec 1, la plus mauvaise note. Le processus complet est décrit à la Figure 2.



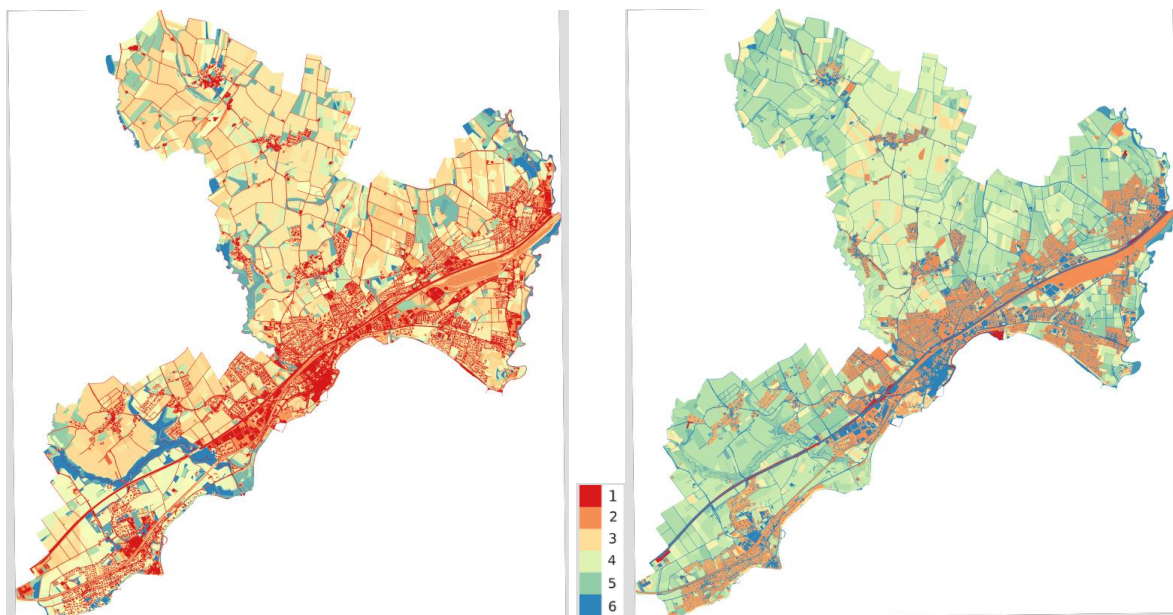


Figure 3: Carte de représentation de la qualité des sols pour la fonction régulation hydrique (gauche) et sa carte de fiabilité (droite). 1 représente la moins bonne note et 6 la meilleure.

### Exemple d'estimation de la qualité des sols pour la fonction régulation hydrique à l'échelle d'un quartier existant et pour son projet de réhabilitation

L'outil IQSM peut être utilisé pour prédire l'effet d'un aménagement sur la fonction régulation des crues. La Figure 4 illustre cet usage.

L'aménagement actuel est une aire d'exploitation maraîchère sous serres. L'aménagement futur prévoit la suppression de cette zone de serres et l'implantation de bâtiments d'habitation. Le calcul mené sur la zone actuelle indique une valeur pour la perméabilité de surface de 1.41/6 avec une fiabilité de 4.26. La perméabilité est utilisée pour calculer la fonction régulation hydrique. L'aménagement futur, qui intègre les choix d'aménagements extérieurs et d'implantation de bâtiments, évalue la propriétés perméabilité du sol, à 2.27/6 avec une fiabilité de 2.83/6.

L'exercice montre une augmentation de la valeur de régulation hydrique liée à une désimperméabilisation par le retrait des serres. La diminution de la fiabilité est liée au fait qu'il y a plus d'incertitude sur la qualité des sols dans un aménagement extérieur que sur une surface imperméable que représente une serre.





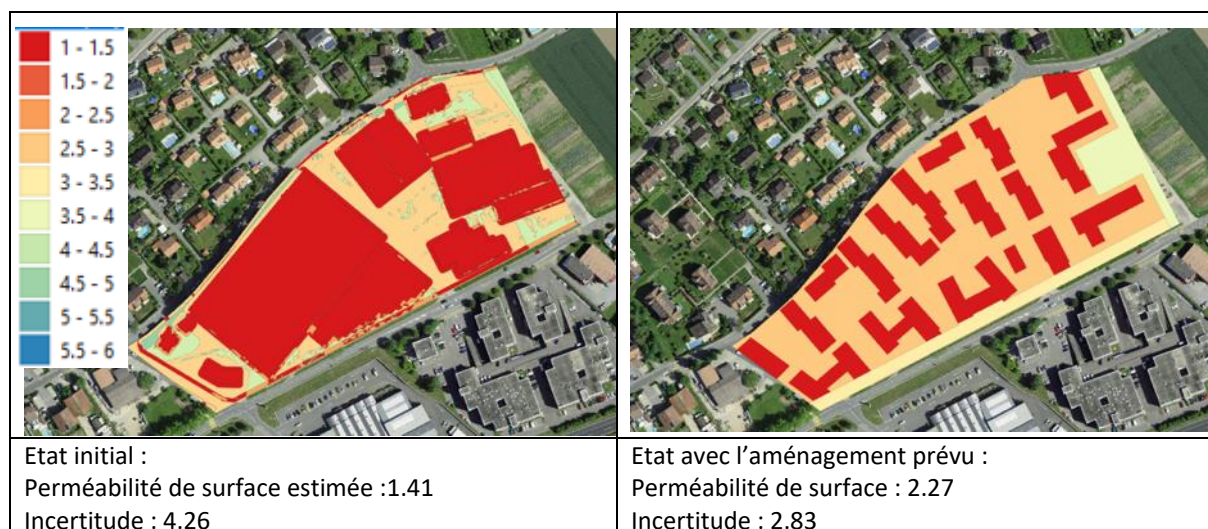


Figure 4 : Etat actuel à gauche et état futur à droite. Première ligne, occupation du sol. Deuxième ligne, estimation des valeurs.

## Evolution de l'outil

La régénération de l'outil IQSM est prévue avec les mises à jour des différentes bases de données sur lesquelles il est construit. Lors d'ajout de données ponctuelles additionnelles, l'outil les intègre et les attribue au polygone auquel elles appartiennent selon les règles hiérarchiques préétablis, et la fiabilité de la note en est augmentée.

## Conclusions

L'acquisition de données analytiques sur le sol à la bonne échelle spatiale et couvrant tout un territoire est une démarche extrêmement longue et coûteuse. C'est également un défi en termes de rafraîchissement : la structure du sol peut être détruite en quelques minutes. Le pH, la teneur en matière organique, évoluent régulièrement sur des échelles de tempos de quelques années. L'outil IQSM apporte une réponse à cette problématique. En utilisant l'expertise pédologique communément mobilisée dans les cartographies des sols et en l'appliquant aux couches territoriales, il permet de ne pas attendre une hypothétique documentation complète des sols pour prendre des décisions de gestion, tout en intégrant l'information de terrain lorsqu'elle est présente. Il permet ainsi de soutenir la décision très tôt dans les processus d'aménagement tout en ayant une vision territoriale globale. Les informations locales obtenues sur la fonction régulation de crue des sols, peuvent par exemple être utilisées pour déterminer le comportement d'un bassin versant, en couplant celles-ci à un modèle hydrologique en l'absence d'un réseau de mesure d'infiltration et de ruissellement suffisant. La possibilité de travailler à l'échelle d'un quartier, et d'identifier les sols favorables à la fonction de régulation des crues, permet d'optimiser les aménagements ou d'orienter les planifications avec un but quantifié de la fonctionnalité à atteindre.

## BIBLIOGRAPHIE

- Lee, S.E., Jenkin, D., Koopman, B.L. and Lewis, R. (1982). *The effect of aeration basin configuration on activated sludge bulking at low organic loading*. *Wat. Sci. & Tech.*, 14(6/7), 407-427.
- Abell, B.C., Tagg, R.C. and Push, M. (1974). *Enzyme catalyzed cellular transaminations*. In: *Advances in Enzymology*, A.F. Round (Ed.), Vol.2, 3rd ed. Academic Press, New York, 125-247.
- Grady, C.P.L. and Lim, H. (1980). *Biological Wastewater Treatment: Theory and Application*. Marcel Dekker, New York.
- Andrews, S.S., Karlen, D.L., Cambardella, C.A., 2004. *The soil management assessment framework: a quantitative soil quality evaluation method*. *Soil Science Society of America Journal* 68, 1945–1962.
- Bouma, J., Ittersum, M.K. van, Stoorvogel, J.J., Batjes, N.H., Droogers, P., Pulleman, M.M., 2017. *Soil Capability: Exploring the Functional Potentials of Soils*, in: *Global Soil Security, Progress in Soil Science*. Springer, Cham, pp. 27–44. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-43394-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-43394-3_3)
- Bünemann E.K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R.E., De Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper,

- 
- T.W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J.W. & Brussaard, L. 2018. *Soil quality - Acritical review*. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105–125
- Hooper, D.U., Chapin, F.S., Ewel, J.J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J.H., Lodge, D.M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A.J., Vandermeer, J., Wardle, D.A., 2005. *Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge*. *Ecological Monographs* 75, 3–35. <https://doi.org/10.1890/04-0922>
- IPBES, 2018. *Media Release: Worsening Worldwide Land Degradation Now ‘Critical’, Undermining Well-Being of 3.2 Billion People* | IPBES [WWW Document]. URL <https://www.ipbes.net/news/media-release-worsening-worldwide-land-degradation-now-%E2%80%98critical%E2%80%99-undermining-well-being-32> (accessed 3.27.18).
- IPCC, 2019. *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press.
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., Schuman, G.E., 1997. *Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation*. *Soil Science Society of America Journal* 61, 4–10.
- Montanarella, L., Pennock, D.J., McKenzie, N., Badraoui, M., Chude, V., Baptista, I., Mamo, T., Yemefack, M., Singh Aulakh, M., Yagi, K., Young Hong, S., Vijarnsorn, P., Zhang, G.-L., Arrouays, D., Black, H., Krasilnikov, P., Sobocká, J., Alegre, J., Henriquez, C.R., de Lourdes Mendonça-Santos, M., Taboada, M., Espinosa-Victoria, D., AlShankiti, A., AlaviPanah, S.K., Elsheikh, E.A.E.M., Hempel, J., Camps Arbestain, M., Nachtergaele, F., Vargas, R., 2016. *World’s soils are under threat*. *SOIL* 2, 79–82. <https://doi.org/10.5194/soil-2-79-2016>
- Mueller, L., Schindler, U., Shepherd, T.G., Ball, B.C., Smolentseva, E., Pachikin, K., Hu, C., Hennings, V., Sheudshen, A.K., Behrendt, A., Eulenstein, F., Dannowski, R., 2014. The Muencheberg Soil Quality Rating for Assessing the Quality of Global Farmland, in: Mueller, L., Saporov, A., Lischeid, G. (Eds.), *Novel Measurement and Assessment Tools for Monitoring and Management of Land and Water Resources in Agricultural Landscapes of Central Asia*, Environmental Science and Engineering. Springer International Publishing, Cham, pp. 235–248. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-01017-5\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-01017-5_13)