

# L'analyse des dynamiques spatiales de ruissellement avec le système multi-agents LASCAR (Landscape StruCture And Runoff) Une approche pertinente à l'heure de la GEMAPI ?

## AUTEURS

Romain REULIER, Daniel DELAHAYE, Vincent VIEL

## RÉSUMÉ

De nombreux enjeux socio-économiques et environnementaux sont associés aux processus de ruissellement érosif des sols (pertes en sol, diminution de la fertilité des sols, pollution diffuse, crues turbides, etc.). Le développement récent d'outils de simulation spatiale offre aujourd'hui des moyens efficaces pour mieux appréhender cette problématique complexe et donner aux collectivités des clés de compréhension et de gestion de ce phénomène complexe. La communication propose de présenter le modèle de simulation multi-agents LASCAR (Landscape StruCture And Runoff) développé spécifiquement pour appréhender les effets de la structure paysagère sur les processus d'écoulement de surface. Après avoir présenté le modèle et ses principaux apports, nous développerons notre propos autour de deux axes : tout d'abord une discussion sur les choix de conceptualisation opérés au cours du processus de modélisation, ensuite sur l'influence de ces choix de modélisation sur la validité des résultats.

## MOTS CLÉS

Simulation multi-agents, ruissellement de surface, paysage, analyses spatiales

## ABSTRACT

Many socio-economic and environmental issues are associated with erosive soil run-off (soil losses, decreased soil fertility, diffuse pollution, turbulent floods, etc.). The recent development of spatial simulation tools offers effective means in order to better understand this complex issue. The communication proposes to present the LASCAR multi-agent simulation model (Landscape StruCture and Runoff) specifically developed to understand the effects of landscape structure on surface flow processes. After presenting the model and its main contributions, we will develop our subject around two axes: first, a discussion on the conceptualisation choices made during the modelling process; then, the influence of these modelling choices on the validity of the results.

## KEYWORDS

Multi-agent simulation, Runoff, Landscape, Spatial analysis

## INTRODUCTION

De nombreux enjeux socio-économiques et environnementaux sont associés aux processus de ruissellement érosif des sols (pertes en sol, diminution de la fertilité des sols, pollution diffuse, crues turbides, etc.). Au sein de l'Union européenne, les pertes en terre liées à l'érosion hydrique des sols sont estimées à 970 millions de tonnes par an (Panagos *et al.*, 2015). L'érosion est un processus certes naturel mais qui est exacerbé par les pratiques anthropiques. Les terres agricoles, qui couvrent 46,7 % du territoire européen, sont à ce titre les plus vulnérables avec 663 millions de tonnes de terre érodées par an (*ibid.*). Si les

connaissances abondent sur la genèse du processus (Auzet, 1987; Le Bissonnais *et al.*, 2002), les dynamiques d'écoulement qui s'ensuivent sur les versants restent mal connues, et ce particulièrement dans les petits hydrosystèmes du nord-ouest de la France où la mosaïque paysagère, principalement modelée par l'activité agricole (haies, fossés, prairies, surfaces cultivées, etc.), contraint la dynamique purement topographique des écoulements (Delahaye, 2002 ; Viel *et al.*, 2014 ; Reulier *et al.*, 2016). La compréhension des dynamiques spatiales de ces transferts étroitement liés à l'aménagement des territoires agricoles est donc un enjeu majeur pour la communauté scientifique qui plaide pour une gestion intégrée et raisonnée des ressources environnementales. Parallèlement, avec la mise en place de la GEMAPI<sup>1</sup>, compétence obligatoire au 1<sup>er</sup> janvier 2018, la gestion des milieux aquatiques et la prévention des inondations est désormais à la charge des communes et leurs groupements. Pour autant, les outils à disposition des collectivités dans la lutte contre le ruissellement et ses effets néfastes restent rares. Le développement récent d'outils de simulation spatiale offre pourtant aujourd'hui des moyens efficaces pour mieux appréhender cette problématique et donner aux collectivités des clés de compréhension et de gestion de ce phénomène complexe. Le recours à l'analyse spatiale et notamment à la notion de connectivité s'avère ainsi particulièrement pertinent<sup>2</sup>.

## 1. PRÉSENTATION DU MODÈLE LASCAR

La communication propose de présenter le modèle de simulation multi-agents LASCAR (Landscape Structure And Runoff) développé spécifiquement pour appréhender les effets de la structure paysagère sur les processus d'écoulement de surface (Reulier *et al.*, 2016 ; 2017). Le modèle, développé sur la plateforme Netlogo, s'appuie sur la capacité de déplacement d'agents « goutte d'eau » (*agentgouttes*) pour reproduire la dynamique spatiale des écoulements de surface. Pour ce faire, les agents se déplacent en suivant la pente, donnée par un modèle numérique de terrain (MNT), tout en interagissant avec les entités du paysage présentes dans l'environnement de simulation (haies, fossés, prairies, etc.). Les *agentgouttes* se déplacent de cellule en cellule à chaque itération du modèle, sans prise en compte des vitesses. À l'initialisation du modèle, chaque agent est affecté d'un volume d'eau qu'il pourra utiliser pour s'affranchir de certaines contraintes (obstacle que représente une haie<sup>3</sup>, seuil d'infiltration joué par une prairie). Le terrain d'étude est représenté par une grille de cellule de 10x10 mètres calquée sur la résolution du MNT. Chaque cellule contient ainsi des informations sur sa localisation spatiale (x, y), son altitude (z), et son occupation du sol (prairies, cultures, fossés, haies, etc.)<sup>4</sup>. En plus de reconstruire fidèlement les écoulements de surface, les simulations réalisées avec le modèle LASCAR permettent d'identifier 1) les haies et les prairies bloquantes ainsi que 2) les parcelles cultivées hydrologiquement connectées au cours d'eau, de 3) hiérarchiser les parcelles en fonction de leur niveau de connectivité, 4) d'appréhender

---

1 GEstion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations.

2 Le concept de connectivité, d'abord introduit en écologie du paysage, a été largement développé en hydrologie et géomorphologie ces dernières années (Bracken *et al.*, 2013 ; Wainwright *et al.*, 2011). Cette notion permet de décrire les liens qui existent entre les zones de production sédimentaire (source) et leur localisation dans l'espace avec le comportement global du bassin qui résulte de l'organisation de ces liens.

3 L'altitude des cellules « haies » est artificiellement augmentée de 50 cm (hauteur correspondant à la hauteur moyenne des talus situés au pied des haies) et celle des cellules « fossés » diminuée de 50 cm (profondeur moyenne des fossés).

4 L'attribution des caractéristiques d'occupation du sol est réalisée sous un SIG (digitalisation et rasterisation à 10 mètres).

les réseaux de fossés qui connectent au cours d'eau, et 5) d'isoler les points de passage entre un écoulement de parcelle et un écoulement de réseau. Les données d'analyses spatiales qu'il est ainsi possible d'obtenir présentent un intérêt majeur pour une gestion intégrée des espaces agricoles. En effet, elles offrent une vision à la fois synthétique et hiérarchisée des entités de la connectivité et facilitent la priorisation des actions à mener au sein d'un bassin. Les simulations peuvent ainsi guider la réflexion des gestionnaires dans leur approche de la problématique du ruissellement érosif sur leur territoire. Plus encore, elles permettent de mieux comprendre les interactions paysages/processus de ruissellement et montrent le poids des actions locales (à l'échelle d'une entité paysagère) sur le fonctionnement global du bassin versant. Enfin, les résultats cartographiques offrent un support de communication indéniable auprès des élus et de la population.

Après avoir présenté le modèle et ces principaux apports, nous développerons notre propos autour de deux axes. Tout d'abord une discussion sur les choix de conceptualisation opérés au cours du processus de modélisation. Il sera surtout question des simplifications nécessaires à la reconstruction et à l'intégration des données d'entrées dans le modèle. Contrairement à de nombreux modèles, LASCAR s'appuie sur un nombre de données d'entrée limité. Puisqu'il s'agit de se concentrer uniquement sur la dynamique spatiale des écoulements de surface, la fonction de production de ruissellement dans le modèle est réduite à la plus simple des conceptualisations : « ruisselle »/« ruisselle pas » (*on/off*).

## **2. DONNÉES UTILISÉES EN ENTRÉE ET INFLUENCE SUR LES SORTIES DU MODÈLE**

Ainsi seuls deux types de données principales sont utilisés dans le modèle : la topographie (+ le réseau hydrographique) et l'occupation du sol. La topographie, parce que c'est elle qui imprime la dynamique de mouvement des flux, et l'occupation du sol parce que c'est elle qui modifie le parcours des écoulements à la surface du sol. Dans la modélisation des processus hydrologiques, la topographie est généralement représentée par les modèles numériques de terrain (MNT). Dans le cadre de notre travail, quatre MNT, produits par différents opérateurs, ont donc été testés et comparés en vue d'obtenir le jeu de données représentant le plus fidèlement la réalité du terrain, c'est-à-dire le MNT dont les axes d'écoulement correspondent le mieux aux observations de terrain. Le réseau hydrographique est également intégré comme donnée d'entrée dans le modèle. Sa prise en compte est primordiale pour d'identifier les cellules du système à partir desquelles différents indices peuvent être obtenus (connectivité/déconnectivité hydrologique, distances aux zones de productions potentielles de sédiments, chemins d'écoulement, etc.). L'occupation du sol est le deuxième type de données intégrées dans le modèle. Il s'agit des entités du paysage que sont les surfaces (parcelles cultivées, enherbées, zones bâties, etc.) et les réseaux (fossés, haies, etc.). Ces données ont pu être obtenues à partir d'inventaires de terrain, leur qualité est ainsi considérée comme optimale. Cependant, compte tenu de la lourdeur de la démarche, du temps nécessaire pour leur acquisition et dans une volonté de généraliser la démarche à d'autres contextes paysagers, d'autres sources ont été consultées (IGN, Corine Land Cover, RPG, télédétection, recensements locaux, etc.), que nous présenterons. Une discussion sur nos choix de conceptualisation (représentation de la donnée dans le modèle) viendra compléter notre propos. Il s'agira ainsi de présenter la réflexion menée au cours du processus de modélisation sur la représentation des territoires pour une meilleure compréhension des dynamiques spatiales de ruissellement. Outre la nécessaire question de la disponibilité des données, cette présentation permettra également de discuter de la qualité des données actuellement exploitables.

Dans un second temps, la discussion portera sur l'influence des choix de modélisation sur la validité des résultats. Pour cela, nous présenterons les résultats d'une étude géomorphologique ayant permis de quantifier les flux hydrosédimentaires au cours de plusieurs épisodes de ruissellement. Menée sur un petit bassin versant bocager du nord-ouest de la France, cette étude a permis de mettre en évidence le rôle de l'intensité de l'épisode pluvieux déclenchant, de la position de cet événement dans l'année hydrologique, de la nature des sols mais aussi de l'organisation spatiale de toutes les entités du paysage. Cette approche de terrain a ainsi mis en évidence les effets d'échelles spatiales et de seuils de fonctionnement ayant permis de compléter et d'enrichir l'approche par modélisation. La relation terrain-modélisation ne s'est cependant pas résumée à un simple processus de validation post-modélisation. En effet, ce ne sont pas deux approches parallèles qui ont été développées mais deux approches imbriquées qui se sont complétées et enrichies mutuellement au cours du processus de modélisation. Ce point sera exposé, puis ce second temps dans la présentation se terminera par la présentation des perspectives de recherche. La généralisation du modèle à différents contextes agricoles (de territoires très bocagers à des territoires plus ouverts) et l'intégration de données physiques dans le modèle seront notamment exposées.

Enfin, au-delà des résultats encourageants, l'étude questionne les échelles spatiales dans les outils de gestions environnementales. Si le bassin versant reste l'échelle de référence dans la gestion des processus hydrologiques, l'efficacité des sous-unités hydrologiques montre que l'approche par bassin versant doit être complétée par des approches à même de mettre en évidence les processus aux échelles inférieures. À l'inverse, l'étude pose également la question du passage à des échelles plus larges (temps de simulations, nécessité d'agrégation des données, pertinence des résultats, etc.). En cela, les outils de l'analyse spatiale et notamment les systèmes multi-agents et automates cellulaires apparaissent tout à fait pertinents.

## RÉFÉRENCES

- Auzet A.V., 1987, « L'érosion des sols cultivés en France sous l'action du ruissellement », *Annales de géographie*, n° 537, p. 529-556.
- Bracken L.J., Wainwright J., Ali G.A., Tetzlaff D., Smith M.W., Reaney S.M., Roy A.G., 2013, « Concepts of hydrological connectivity: Research approaches, pathways and future agendas », *Earth Science Reviews*, n° 119, p. 17-34 [en ligne : [doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.02.001](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.02.001)].
- Delahaye D., 2002, *Apport de l'analyse spatiale en géomorphologie. Modélisation et approche multiscalaire des risques*, HDR, vol. 1, Université de Rouen.
- Le Bissonnais Y., Torette J., Bardet C., Daroussin J., 2002, *L'érosion hydrique des sols en France*, rapport INRA-IFEN [en ligne : [erosion.oreans.inra.fr/rapport2002](http://erosion.oreans.inra.fr/rapport2002)].
- Panagos P., Borrelli P., Poesen J., Ballabio C., Lugato E., Meusburger K., Montanarella L., Alewell C., 2015, « The new assessment of soil loss by water erosion in Europe », *Environmental Science & Policy*, n° 54, p. 438-447.
- Reulier R., Delahaye D., Caillault S., Viel V., Douvinet J., Bensaïd A., 2016, « Mesurer l'impact des entités linéaires paysagères sur les dynamiques spatiales du ruissellement : une approche par simulation multi-agents », *Cybergeo*, document 788 [en ligne : [cybergeo.revues.org/27768](http://cybergeo.revues.org/27768) consulté le 06/04/17].
- Reulier R., Delahaye D., Viel V., Davidson R., à paraître, « Connectivité hydrosédimentaire dans un petit bassin versant agricole du nord-ouest de la France : de l'expertise de terrain à la modélisation par système multi-agent », *Géomorphologie : relief, processus, environnement* [en ligne : [journals.openedition.org/geomorphologie/11857](http://journals.openedition.org/geomorphologie/11857) consulté le 15/01/18].

Viel V., Delahaye D., Reulier R., 2014, « Impact de l'organisation des structures paysagères sur les dynamiques de ruissellement de surface en domaine bocager. Étude comparée de trois petits bassins versants bas-normands », *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 20(2), p. 175-188.

Wainwright J., Turnbull L., Ibrahim T.G., Lexartza-Artza I., Thornton S.F., Brazier R.E., 2011, « Linking environmental régimes, space and time: Interpretations of structural and functional connectivity », *Geomorphology*, n° 126, p. 387-404 [en ligne : [doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.07.027](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.07.027)].

## LES AUTEURS

### Romain Reulier

Université de Caen Normandie  
LETG

[reulier.romain@gmail.com](mailto:reulier.romain@gmail.com)

### Daniel Delahaye

Université de Caen Normandie  
LETG

[daniel.delahaye@unicaen.fr](mailto:daniel.delahaye@unicaen.fr)

### Vincent Viel

Université Paris Diderot  
Prodig

[vincent.viel@univ-paris-diderot.fr](mailto:vincent.viel@univ-paris-diderot.fr)