

Projet soutenu par :



Le projet bénéficie également du soutien de :



Resp<sup>haies</sup>

# Manuel d'utilisation du modèle LASCAR

Mai 2023

*Action 2.2*

Livrable n°1

Auteurs : Romain Reulier, Daniel Delahaye, Mathilde Guillemois  
Université de Caen Normandie, laboratoire IDEES UMR 6266 CNRS





# Sommaire

<b>Avant-propos .....</b>	<b>5</b>
<b>Remerciements.....</b>	<b>7</b>
<b>Liens utiles.....</b>	<b>9</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>11</b>
<b>Notions fondamentales et définitions de base dans LASCAR .....</b>	<b>13</b>
Les agents .....	13
Les actions des Agentgouttes sur les Occpatches .....	14
<b>Les données utilisées en entrée du modèle.....</b>	<b>15</b>
Accès au modèle et aux dossiers de sauvegarde.....	22
<b>Utilisation du modèle LASCAR.....</b>	<b>23</b>
L'interface LASCAR .....	23
Chargement des données SIG .....	24
Paramètres initiaux : .....	26
Vue .....	27
Boutons de simulation / Jouer une simulation .....	28
Panneaux d'information.....	28
Afficher les résultats.....	28
Exporter les résultats.....	31
Modifier paysage.....	31
Répertoires des données SIG .....	32
Graphique .....	32
<b>Messages d'erreurs potentiels .....</b>	<b>33</b>
<b>Mise en forme des données sous SIG .....</b>	<b>34</b>
<b>Interprétation des données exportées.....</b>	<b>34</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>37</b>



# Avant-propos

Le modèle LASCAR (LandscApe StruCture And Runoff) a été développé à l'université de Caen Normandie au sein du laboratoire IDEES-Caen par Romain Reulier (Reulier, 2015 ; Reulier *et al.*, 2016, 2017, 2019) puis réactualisé dans le cadre du projet RESP'HAIES (L'Homme, 2020).

Le modèle LASCAR vise à aider les décideurs et gestionnaires en étudiant le rôle de l'organisation spatiale des entités du paysage (haie, route, fossés, parcelles agricoles, etc.) sur les transferts hydro-sédimentaires. Le modèle ne permet pas d'estimer les taux d'érosion. Il offre en revanche des indices simples permettant d'évaluer les capacités d'un paysage à limiter la connectivité des flux hydrologiques aux cours d'eau. La représentation cartographique de ces indices offre ainsi un support de discussion et d'aide à la décision pour les acteurs de l'aménagement du territoire. LASCAR s'avère en effet pertinent pour livrer des diagnostics, et ce, à toutes les échelles spatiales. Depuis l'échelle globale, où la mise en place d'un indice de connectivité permet d'évaluer la prégnance de la structure paysagère sur la connectivité au cours d'eau en tout point de l'espace, jusqu'aux échelles fines, où le modèle permet de mettre en évidence les espaces qui, au sein d'un bassin versant, participent à la (dé)connectivité des écoulements entre les zones de production (les parcelles cultivées) et le cours d'eau. Les simulations, en plus de reconstruire fidèlement les trajectoires des écoulements de surface, permettent d'identifier (i) les haies et les prairies favorisant les piégeages intermédiaires, (ii) les parcelles cultivées hydrologiquement connectées, (iii) une hiérarchisation des parcelles en fonction de leur niveau de connectivité, (iv) les réseaux de fossés qui se connectent au cours d'eau, (v) les points de passage entre un écoulement de parcelle à un écoulement de réseau. Outils encore en phase d'amélioration, le didacticiel présenté ici est ainsi susceptible d'être modifié dans les mois à venir.

Le présent didacticiel comprend un tutoriel d'utilisation du modèle LASCAR. Trois autres tutoriels accompagnent celui-ci. Il s'agit des tutoriels pour l'acquisition des données, leur préparation et leur valorisation sous Qgis, Arcmap et ArcGis Pro.

*Parce qu'il reste tant à faire pour protéger nos hydrosystèmes et limiter les altérations des milieux par les sociétés, le modèle LASCAR est un outil supplémentaire à destination de l'ensemble des acteurs qui œuvrent à la protection de l'environnement. Puisse ce modèle contribuer à l'aménagement raisonné de nos territoires.*



# Remerciements

Nous remercions les structures publiques (syndicats des eaux, collectivités) qui, en acceptant de tester le modèle LASCAR sur leur territoire, ont contribué à l'amélioration de celui-ci. Nous remercions tout particulièrement le syndicat mixte Evres-Thau-Saint-Denis, le syndicat mixte du Bas-Léon, la collectivité de MoraliX Communauté et la Communauté d'Agglomération du Cotentin. Que les différents étudiants ayant contribué à ces travaux soient également chaleureusement remerciés. Merci à Romain Quigneaux, Mathilde Guillemois, Laurine Ansart, Elsa Fougeray et Solène Lecrosnier pour le sérieux de leur travail qui a grandement servi au projet RESP'HAIES. Les différents mémoires de recherche et rapports de stage sont disponibles dans les livrables du projet.





# Liens utiles

Le modèle LASCAR fonctionne sous la plateforme Netlogo version 6.1, téléchargeable gratuitement ici <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/download.shtml>

**Qu'est-ce que Netlogo ?** → <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

**Qu'est-ce qu'un système multi-agent ?** →

[https://www.researchgate.net/publication/242623967\\_Les\\_systemes\\_multi-agents\\_un\\_aperçu\\_general](https://www.researchgate.net/publication/242623967_Les_systemes_multi-agents_un_aperçu_general)

<http://cormas.cirad.fr/fr/demarch/sma.htm>



# Introduction

Une attention grandissante est portée aux écoulements hydro-sédimentaires de versant dans les hydrosystèmes du Nord-Ouest de la France à cause des conséquences néfastes dont ils sont responsables : perte en terre, pollution, diminution de la fertilité des sols, inondation, crues turbides.... Cependant, quantifier l'impact d'une haie ou d'un fossé sur le parcours des écoulements hydro-sédimentaires est illusoire, sauf si on se trouve à proximité du réseau linéaire au moment même où le processus est en cours. En mesurant les débits entrants et sortants, l'observateur pourrait avoir une idée bien précise du fonctionnement hydrologique de ce linéaire (Ouvry *et al.*, 2012) mais cette connaissance, aussi fine soit-elle, ne pourra pas être dupliquée simultanément sur tous les linéaires du bassin versant étudié. Connaître l'impact de chaque objet du paysage sur la réponse hydrologique globale d'un bassin versant devient alors rapidement compliqué, voire impossible. Les conditions de genèse du ruissellement dans les parcelles agricoles sont aujourd'hui bien établies (Boiffin, 1984 ; Auzet, 1987 ; Boiffin *et al.*, 1988 ; Delahaye, 1992 ; Souchère *et al.*, 1998, Le Bissonnais *et al.*, 2002) mais le parcours des écoulements de surface (dès que ces derniers quittent la parcelle) est bien plus difficile à appréhender, notamment en contexte bocager où la structure paysagère tend à complexifier ce phénomène (Mérot *et al.*, 1998 ; Delahaye *et al.*, 2000, 2002 ; Delahaye, 2002 ; Hauchard *et al.*, 2002 ; Gascuel-Oudoux *et al.*, 2009 ; Viel *et al.*, 2014). Plusieurs travaux ont déjà mis en évidence le rôle des réseaux linéaires d'origines anthropiques tels que les réseaux de haies, de fossés et de routes (Jones *et al.*, 2000 ; Duke *et al.*, 2003 ; Carluet et De Marsily, 2004 ; Viaud, 2004 ; Branger, 2007 ; Le Gouée et Delahaye, 2008 ; Wohlfahrt *et al.*, 2010 ; Viel, 2012 ; Viel *et al.*, 2014). Mérot *et al.* (1998) montrent par exemple que les haies sur talus et perpendiculaires à la pente tendent à bloquer les flux de surface car ils favorisent l'infiltration en pied de talus. Carluet et De Marsily (2004) et Moussa (2002) ont appréhendé les réseaux de fossés comme des vecteurs d'écoulement, tout comme Duke *et al.* (2003) l'ont fait pour les réseaux routiers. Le Gouée et Delahaye (2008) repris par Viel *et al.* (2014) proposent une typologie selon la connectivité au réseau hydrographique : espaces directement connectés grâce à la proximité à un cours d'eau, espaces déconnectés par les haies sur talus ou espaces indirectement connectés *via* les réseaux viaires et de fossés. Ces travaux mettent en évidence la variabilité de l'efficacité hydrologique du bocage et soulignent le rôle fondamental de la densité de drainage (qu'il soit naturel ou anthropique) qui permet une connexion rapide du ruissellement au cours d'eau et des entrées de champs qui permettent le passage d'un ruissellement de surface vers un écoulement de réseau. Il faut donc intégrer l'ensemble des entités composant la structure paysagère pour suivre les dynamiques spatiales des transferts hydro-sédimentaires de versant (Viel *et al.*, 2014).

Au-delà des connaissances empiriques acquises, les gestionnaires et les chercheurs ont aujourd'hui besoin d'outils capables de reconstruire l'ensemble de ces dynamiques et de mesurer le rôle de la structure paysagère (actuelle, passée ou même future) sur les transferts hydro-sédimentaires de versant (Baudry et Jouin, 2003 ; Delahaye, 2008 ; Gascuel-Oudoux *et al.*, 2009 ; Wohlfahrt *et al.*, 2010 ; Delahaye et Douvinet, 2013). Plusieurs modèles intégrant les réseaux linéaires d'origines anthropiques ont été développés ces dernières années. Certains sont d'ores et déjà opérationnels et tous ont prouvé leur efficacité dans leur contexte d'application (Moussa, 2002 ; Duke *et al.*, 2003 ; Carluet et De Marsily, 2004 ; Tortrat, 2005 ; Bocher, 2005 ; Charlier, 2007 ; Doray, 2008 ; Levavasseur, 2012, Landemaine, 2016). Si ces modèles intègrent très bien le rôle hydrologique des réseaux linéaires et proposent des simulations (débits de matières à l'exutoire par exemple) proches de la réalité, ils restent peu adaptés pour mettre en évidence la dynamique spatiale des processus d'écoulement. Et c'est précisément cette dynamique spatiale, souvent fortement impactée par les objets du paysage, que l'on cherche ici à appréhender par la simulation.

Ainsi, face à ces différents constats, un outil de modélisation a été conçu et développé sous-système multi-agents (SMA) pour recréer les dynamiques de ruissellement. Ce système a été choisi pour sa capacité à appréhender un système complexe par l'implémentation de règles d'interactions simples et faciles à comprendre. Le développement de plateformes facilement accessibles telle que *NetLogo* (Wilensky, 1999) ou *MAGéo* (Blanpain *et al.*, 2013) a rendu populaire l'utilisation des SMA en sciences humaines et sociales, et notamment en géographie environnementale (Caillault, 2011, Rebaudo *et al.*, 2011, Vannier, 2011, Schwarz, 2012, Caillault *et al.*, 2013, Anselme *et al.*, 2014). Dans l'étude des processus physiques des écoulements de surface, l'approche par système multi-agents est encore assez récente mais trouve son intérêt dans sa capacité à offrir de l'information spatiale à la fois sur l'origine des écoulements mais aussi sur leur variabilité spatiale et temporelle (Servat, 2000 ; Crave *et al.*, 2001 ; Darboux *et al.*, 2002 ; Reaney, 2008, Rakotoarisoa, 2014). Dans une approche similaire, Delahaye *et al.* (2001) ont montré la pertinence des automates cellulaires pour mettre en évidence le poids de

l'organisation spatiale et de la morphologie des bassins sur les processus de ruissellement érosif (Langlois et Delahaye, 2002 ; Delahaye 2002, 2010 ; Douvinet, 2013). Néanmoins, les automates cellulaires restent peu efficaces pour mettre en évidence l'impact des réseaux linéaires, chose plus facile à appréhender avec les systèmes multi-agents. En prenant en compte l'organisation des objets dans l'espace, le modèle présenté ici cherche à obtenir des indices permettant de quantifier l'impact de la structure paysagère sur les transferts hydro-sédimentaires afin de dépasser les indices classiques de densité de linéaires et d'occupation du sol couramment utilisés dans la caractérisation de la sensibilité des bassins versants aux processus de transferts hydro-sédimentaires.

### **Objectifs du modèle**

Le modèle cherche à reconstruire les écoulements de surface par une approche agent, c'est-à-dire par discrétisation de l'élément dynamique, l'eau, en plusieurs agents (Treuil *et al.*, 2008). Les agents se déplacent en fonction de la pente jusqu'à atteindre l'exutoire de l'environnement de simulation (le cours d'eau ou l'exutoire du bassin versant). Au cours de leur déplacement, les agents sont amenés à interagir avec différents éléments de la structure paysagère que sont les haies et les fossés. Il n'y a pas de prise en compte des vitesses d'écoulement : les agents se déplacent en fonction des itérations dites "machine" (appelée tick). D'autres simplifications ont été opérées pour avoir un modèle le plus simple possible (pas de prise en compte de la pédologie, des formations superficielles, de la géologie ou des flux sédimentaires par exemple).

### **Pourquoi un SMA pour étudier les processus de transfert hydro-sédimentaire ?**

La discrétisation des écoulements (en agents) permet de prendre en compte les trajectoires et les historiques de chaque agent au sein d'un système. Cette caractéristique intègre explicitement les comportements individuels et permet d'obtenir de l'information sur l'origine des écoulements et sur leur variabilité spatiale et temporelle. Chaque agent étant relié à une cellule de départ, il est ainsi possible de connaître cette information pour chaque cellule composant l'environnement de simulation.

Tout comme les automates cellulaires, les SMA considèrent l'espace de manière explicite et à un niveau de détails élevé. De cette manière, il est possible d'identifier les structures spatiales qui dictent la dynamique des écoulements de surface. Les SMA sont ainsi un bon outil pour l'étude de l'organisation de l'espace géographique et des dynamiques qui y sont observables.

Les SMA sont à même de mettre en évidence les propriétés émergentes d'un système qui apparaissent à un niveau macro sans être observables, ni prévisibles au niveau des entités qui constituent le système. Un bassin versant peut être vu comme un système complexe à l'intérieur duquel des interactions entre processus et entités paysagères impulsent une dynamique globale. Cette caractéristique est particulièrement intéressante pour mettre en évidence la connectivité hydrologique au cours d'eau. Cela va dans le sens de Bracken *et al.* (2013) : *"We propose that to do so well, modelling should enable hydrological connectivity to emerge due to the operation of processes laws, rather than be defined as a concept that is put into the model in the first place"*. Par ailleurs, la modélisation des processus d'écoulement à base d'agents apparaît comme très souple pour étudier les interactions processus-paysages. Cette souplesse résulte de la simplicité de la formulation des règles de déplacement des agents ainsi que de la prise en compte de la structure spatiale sous-jacente.

Grâce à leur modularité, les SMA sont également de bons outils pour mettre en place et évaluer les conséquences sur les écoulements de scénarios d'aménagements.

Toutes ces raisons ont conduit au développement d'un modèle dédié à ces questions sous-système multi-agents : le modèle LASCAR (Landscape StruCTure And Runoff). Initié au cours d'un travail de thèse par Romain Reulier (2015), le modèle LASCAR a, ensuite, pu être amélioré dans le cadre du projet CASDAR RESP'HAIES (2018–2021). Le modèle a, par ailleurs, fait l'objet de plusieurs publications scientifiques (Reulier *et al.*, 2016, 2017, 2019 ; Cossart *et al.*, 2018) et communications auprès des acteurs du territoire.

# Notions fondamentales et définitions de base dans LASCAR

## Les agents

Reposant sur le principe de la simulation multi-agents, deux catégories d'agents sont utilisées dans le modèle :

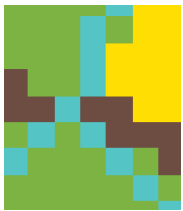
### Les **Agentgouttes**



Ces agents mobiles, appelés tortues sous NetLogo et *Agentgouttes* dans le présent modèle, représentent les écoulements d'eau de surface sous une forme discrétisée. Les *Agentgouttes* sont des entités individuelles qui se déplacent, telle "une portion d'écoulement", dans l'environnement de simulation. A la différence des gouttes de pluie, l'existence d'un *Agentgoutte* se poursuit au-delà même du contact avec le sol. Par conséquent, chaque *Agentgoutte* contient un volume d'eau discret (variable *volume*). Les *Agentgouttes* se déplacent dans un environnement qui est constitué d'*Occpatches* (voir ci-après) et avec lesquels ils interagissent. Par conséquent les

*Agentgouttes* sont situés dans l'espace (attributs *xcor* et *ycor*) et connaissent l'identifiant de l'*Occpatch* sur lequel ils se trouvent au début de la simulation (*d\_startingpatch*) et à chaque instant (*m\_path*). Le déplacement des *Agentgouttes* dans l'espace de simulation est conditionné par la variable altitude (*altitude*) des *Occpatches*.

### Les **Occpatches**



Ces agents spatialisés représentent chacun une portion de l'espace d'étude (patch étant le nom donné aux cellules dans NetLogo). Les *Occpatches* sont des agents non mobiles formant l'environnement de simulation. Les *Occpatches* sont des entités spatialisées et situées (attributs : *pxcor* et *pycor*) de forme carrée, caractérisées par différents attributs (*occupation*, *pcolor*, etc.) et variables (*altitude*). Les attributs et variables propres aux *Occpatches* sont issus d'un travail préparatoire sous SIG (cf tutoriels SIG). C'est notamment le cas de l'occupation du sol qui est réduite en 6 classes. L'information d'occupation du sol est renseignée dans le modèle par une

valeur numérique comme suit :

- herbe (occupation = 3000) pour les prairies, bois, forêts, bosquets, etc. ;
  -
- culture (5000) pour toutes les parcelles cultivées ;
  -
- bâti (1000) pour les surfaces artificialisées (maison, corps de ferme, places publiques, etc.) ;
  -
- cours d'eau (100) correspond au tracé du cours d'eau ;
  -
- haies (10). Il est possible de modifier la hauteur des talus de toutes les haies *via* le slider « *Hauteur\_talus* » présent dans l'interface de simulation. Attention, dans cette première version de LASCAR, il n'est pas possible de modifier individuellement les hauteurs de chaque talus. Le slider « *Hauteur\_talus* » modifie les hauteurs de tous les talus.
  -
- fossés (20). Cette catégorie "fossés" intègre également le réseau routier que l'on considère comme étant encaissé dans les versants. Nous reviendrons sur les conséquences d'un tel degré de simplification. Il est possible de modifier la profondeur des talus de tous les fossés *via* le slider « *Profondeur\_fosse* » présent dans l'interface de simulation. Attention, dans cette première version de LASCAR, il n'est pas possible de modifier individuellement les profondeurs de chaque fossé. Le slider « *Profondeur\_fosse* » modifie les profondeurs de tous les fossés.
  -
- 
- Le terme de "patch linéaire" sera utilisé dans la suite pour désigner les patches ayant pour occupation un fossé ou une haie, et les "patches neutres" désigneront les patches non linéaires (patches en "herbe", "culture", etc.).

## Les actions des Agentgouttes sur les Occpatches

Deux fonctions régissent les Agentgouttes : mouvoir, mourir.

### *Se mouvoir*

Les *Agentgouttes* se déplacent itérativement d'*Occpatch* en *Occpatch* en suivant la plus grande pente obtenue grâce à la variable « *altitude* » des *Occpatches*. Ce déplacement synchrone des *Agentgouttes* intègre pleinement la nature du patch sur lequel se trouve l'agent. Ainsi, si un *Agentgoutte* se trouve sur un *Occpatch* identifié comme "fossé", il suivra la pente imposée par le fossé. Une fois à l'exutoire du linéaire fossé l'*Agentgoutte* se déplace sur l'*Occpatch* voisin de plus petite altitude (si celui-ci est un fossé alors l'agent reste dans un écoulement de réseau, si ce n'est pas le cas alors l'agent reprend un écoulement topographique). La circulation des agents peut également être modifiée par la présence de haies qui ont un rôle d'obstacle que les *Agentgouttes* doivent franchir, soit en le détournant (lorsque la haie est orientée obliquement), soit en formant une accumulation d'eau (à partir de la variable *volume*) qui pourra éventuellement leur permettre de trouver un exutoire (si l'accumulation finit soit par rejoindre l'extrémité de la haie, soit par atteindre la hauteur sommitale du talus).

### *Mourir*

Les *Agentgouttes* meurent lorsque :

1. ils n'ont plus d'eau à transporter (variable *volume*)
2. ils ont atteint soit une bordure (limite menant hors du terrain modélisé), soit l'exutoire du bassin versant simulé.

## Les données utilisées en entrée du modèle

Le recours à un grand nombre de données dans les modèles, tel que l'intensité des précipitations, les réserves utiles, le taux de matières organiques ou la rugosité du sol, rend très rapidement les opérations de prétraitements complexes à mettre en place et augmente les temps de calcul. Contrairement à de nombreux modèles (Stream, LISEM, ACRU, Ruicells), LASCAR s'appuie sur un nombre de données d'entrée limité. Il s'agit, en effet, de se concentrer uniquement sur la dynamique spatiale des écoulements de surface. La fonction de production de ruissellement est ainsi ici réduite à la plus simple des conceptualisations, de nature binaire : ruisselle, ruisselle pas (ON/OFF).

**Pour fonctionner, le modèle a besoin de quatre fichiers de données au format .ascii :**

- **Un Modèle Numérique de Terrain (mnt)** qui donne une valeur d'altitude unique à chaque Occpatch
- **Un fichier d'occupation du sol (mos)** qui donne une occupation du sol à chaque Occpatch
- **Un fichier numéro de parcelle d'appartenance (name)** qui donne un identifiant unique à chaque parcelle (soit un numéro arbitraire, soit un nom d'agriculteur ou de propriétaire)
- **Un fichier identifiant les réseaux de routes et de fossés ceinturés de haies de part et d'autre (routebordee)**

La préparation de ces fichiers est présentée dans les trois tutoriels qui accompagnent ce didacticiel. Cette préparation doit être réalisée sous un SIG et les tutoriels ont été réalisés pour les plateformes suivantes : Arcmap, ArcGis Pro et Qgis. Nous présentons ici sommairement la nature de ces quatre fichiers, pour plus d'information il faut se reporter aux trois tutoriels.

### Disponibilité des données

*Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2021, l'IGN met librement à disposition une gamme importante de données produites par ses services. À ce titre, plusieurs données peuvent être téléchargées et utilisées afin d'alléger le travail de digitalisation. Les tableaux suivants (tableau 1A et 1B) présentent les données librement téléchargeables auprès de l'IGN depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2022.*

### Données sur le relief : le modèle numérique de terrain (fichier mnt)

Dans la modélisation des processus hydrologiques, la topographie est généralement représentée par les modèles numériques de terrain (MNT). Les modèles numériques de terrain présentent une description de la forme et de la position de la surface du sol (Rousseaux, 2004). Ces données numériques des altitudes sont agrégées au sein d'une matrice d'informations spatiales définie dans un système de coordonnées géographiques. De nombreux travaux ont été menés sur l'utilisation des MNT notamment sur leur intérêt pour la reproduction des écoulements de surfaces (O'Callaghan et Mark, 1984 ; Jenson et Domingue, 1988 ; Kirkby, 1990 ; Desmet et Govers, 1996 ; Desmet, 1997 ; Hutchinson et Gallant, 2000). C'est à partir des techniques classiquement utilisées que reposera la base du modèle d'écoulement.

Le maillage carré de l'espace présente, quant à lui, un double intérêt. Tout d'abord il correspond à la discrétisation utilisée par la majorité des données sources : images aériennes, MNT fournis par les organismes publics et privés, etc. Aucun traitement géomatique complexe n'est donc nécessaire pour la transformation des données. Ensuite, il s'agit du découpage de l'espace adopté par la plateforme NetLogo, ce qui facilite la préparation et l'intégration des données. La résolution des cellules de notre maillage raster a été fixée à 10 mètres, ce qui offre un bon compromis entre un trop grand nombre de cellules, ce qui augmenterait les temps de calcul, et une surreprésentation spatiale des entités paysagères. Le recours à un maillage plus fin (5 mètres) a été testé, mais augmente de manière significative le nombre de cellules à intégrer dans le modèle, aboutissant à des temps de simulation trop longs rendant finalement le modèle peu opérationnel.

Les modèles numériques de terrain peuvent être obtenus auprès de l'IGN (voir tableau). Des traitements géomatiques spécifiques permettent de modifier la résolution initiale des MNT à 10 mètres (voir les tutoriels SIG).

## **Données sur l'occupation du sol (fichier mos)**

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.), les réseaux (fossés, haies, etc.) et les entités ponctuelles (mares notamment). Le tracé des tronçons du réseau hydrographique est également intégré dans le modèle. L'intégration de cette couche est importante car elle permet 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, chemin d'écoulement, etc.).

**Les données d'occupation du sol peuvent être obtenues par un travail de photo-interprétation et de digitalisation des images aériennes produites par les services de l'IGN. Une digitalisation au 1/2000<sup>ème</sup> - 1/3000<sup>ème</sup> est requise pour un découpage fin permettant une précision optimale. Les données étant ensuite converties en raster on acceptera cependant une approximation relative (l'usage de la BD parcellaire permet d'obtenir un premier découpage parcellaire\* au format vectoriel). Les données nécessaires à la reconstitution des usages du sol peuvent provenir également de sources locales (inventaires des structures, des fédérations ou associations). Ces ressources, encore rares mais qui tendent à se généraliser, devront systématiquement faire l'objet d'une réactualisation sur le terrain.**

\*par parcelle agricole, nous entendons ici l'unité de production c'est-à-dire la parcelle dont l'uniformité culturelle se distingue dans le paysage.

La digitalisation concerne les entités suivantes :

Les parcelles agricoles dont il est nécessaire de relever le type de culture en place.

- cultivées, en herbe (prairies permanentes et temporaires), jachères, etc.

Les surfaces bâties :

- zones d'habitations, jardin attenant, parking, zones d'activités, industrielles, etc.

Les surfaces sous couvert boisés

- les bois, bosquets, forêt, etc.

Les plans d'eau

- lac, étangs, mare, bassin de rétention, etc.

Le réseau routier

Le réseau de fossé

- la profondeur du fossé n'est pas utile, le modèle considère que tous les fossés ont la même profondeur

Le réseau de haie

- présence ou non de talus (la hauteur du talus n'est pas utile, le modèle considère que tous les talus ont la même hauteur)

**Quelle que soit l'origine des données recueillies, un inventaire terrain est ensuite indispensable afin d'actualiser la nature de l'occupation du sol, de vérifier les propriétés géométriques des parcelles, d'obtenir les réseaux de fossés et de talus notamment ainsi que toute autre entité du paysage n'ayant pu être identifiée par photo-interprétation.**

## **Numéro de parcelle (fichier name)**

Cette donnée permet de pouvoir appréhender certains résultats de simulation à l'échelle de la parcelle (et/ou de son ou sa propriétaire) et non plus de l'Occpatch. Cet identifiant peut être affecté aléatoirement sous SIG (cf tutoriels).

## **Route et fossé ceinturés de haies (fichier routebordee)**

Cette donnée permet une reproduction fidèle des entités linéaires route ou fossé qui sont ceinturées de haies. Un fichier spécifique doit être créé afin de s'assurer d'une représentation correcte de ces entités du



paysage à l'emprise spatiale réelle inférieure au 10 mètres de résolution utilisés dans le modèle. Afin d'éviter que certaines haies de bord de route ou fossé ne soit pas prises en compte, le fichier routebordee doit être créé.

Données recherchées	Base de données	Producteur	Résolution initiale (Mètre)	Format		Avantages	Limites	Taille
MNT	RGE ALTI 1M	IGN	-	Raster	Pixel	Exactitude altimétrique entre 0,2m et 0,5m	MNT non strictement conforme à la réalité, surtout où il y a peu de densité de point (zone plate). Dossier très lourd (Plusieurs Go)	46,7 Go
	RGE ALTI 5M	IGN	-	Raster	Pixel	Exactitude altimétrique entre 0,2m et 0,5m	MNT non strictement conforme à la réalité, surtout où il y a peu de densité. Dossier très lourd (Plusieurs Go)	1,76 Go
	BD ALTI 25M	IGN	-	Raster	Pixel	Peu lourd	Imprécis avec le modèle LASCAR et peu pertinent au regard des données hautes résolutions désormais gratuites	138 Mo
	BD ALTI 75M	IGN	-	Raster	Pixel	Peu lourd	Résolution trop grossière, non adaptée au modèle LASCAR	
Haie	BD TOPO	IGN	1/ 10 000	Vecteur	ligne	Donnée pérenne	Délimitation grossière du houppier (l'ombre portée est souvent intégrée)	2,13 Go
	BOCAGE	IGN	1/10 000	Vecteur	ligne	Fusion RPG+GFOR (BDTOPO). Délimité par l'emprise au sol	-	102 Mo
Route	BD TOPO	IGN	1/10 000	Vecteur	ligne	Précision / mise à jour continue / Plusieurs sources/ Division par département	Sources diverses mais précision hétérogène	2,13 Go
	ROUTE 500	IGN	1/50 000	Vecteur	ligne	Aucun	Obsolète face aux autres sources gratuites (BD TOPO/BD CARTO)	1.67 Go
	BD CARTO	IGN	1/50 000	Vecteur	ligne	Division par région	Actualisation fixe, la qualité des mesures géométriques varie entre les thèmes (15 à 50m)	144 Mo

Tableau 1A : Inventaire des données SIG libres et téléchargeables gratuitement auprès de l'IGN

Données recherchées	Base de données	Producteur	Résolution initiale (Mètre)	Format		Avantages	Limites	Taille
Occupation du sol	RPG	IGN	1/50 000	Vecteur	Polygone	Ensemble des parcelles agricoles avec les cultures majoritaires, données anonymisées, version SQL et géopackage, fiabilité, déclarées par les exploitants, résolution centimétrique	Actualisation très peu fréquente (Normalement annuel mais de 2019), Peu d'informations dans les DOM-TOM	471 Mo
	BD TOPO	IGN	1/ 10 000	Vecteur	Polygone	Zone estran	Manque d'information (Privilégier le RPG).	2,13 Go
	BD CARTO	IGN	1/50 000	Vecteur	Polygone	Nature du sol définie	Manque d'information (Privilégier le RPG).	144 Mo
Réseau Hydrographique	BD TOPO	IGN	1/ 10 000	Vecteur	Ligne/polygone/point	Beaucoup d'informations en rapport avec l'eau	Disparité des explications sur la création des données, mélange BD topages et information des agences de l'eau.	2,13 Go
	BD CARTO	IGN	1/ 50 000	Vecteur	Ligne/polygone/point	Largeur, origine, sens découlement	Peu précis.	144 Mo
Fossé	RGE ALTI 1M	IGN	[3000-20000]	Raster	Pixel	Limite le terrain sur les grands espaces	Géotraitements lourds et longs depuis un MNT payant à un mètre de résolution.	46,7 Go

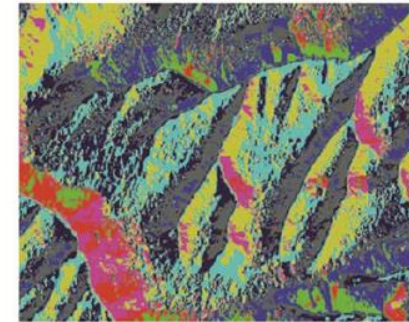
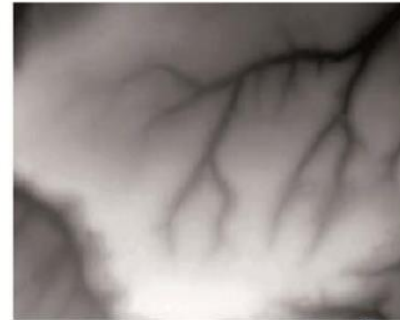
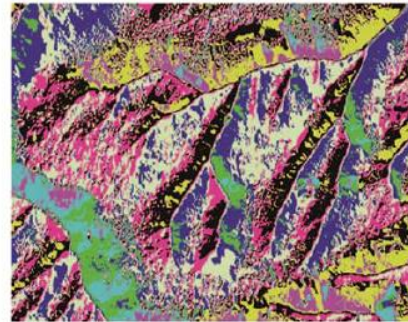
Tableau 1B : (suite) Inventaire des données SIG libres et téléchargeables gratuitement auprès de l'IGN

# Préparation des données issues d'un Modèle Numérique de Terrain



Données "brutes"

Traitements  
préalables  
Ré-échantillonnage  
à 10 mètres  
(convolution cubique)  
Statistiques focales  
(Voisinage: cercle, Rayon:  
3, Unité: cellule, Type:  
mean)



Direction de flux

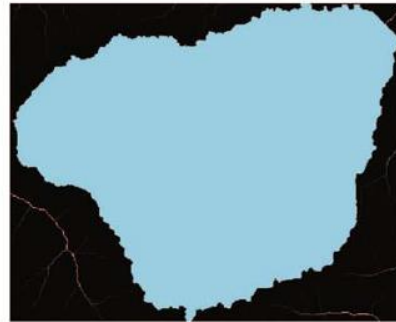
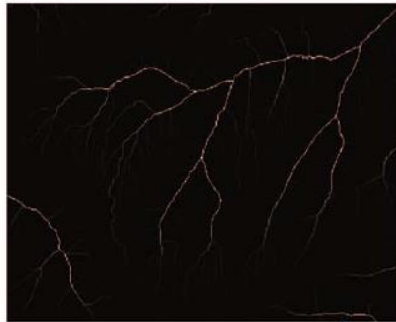
Cuvette

Remplissage

Direction de flux

Fichier altitude

Fichier direction  
de flux



Accumulation de flux

Bassin versant

Conversion polygone

Fichier cours  
d'eau

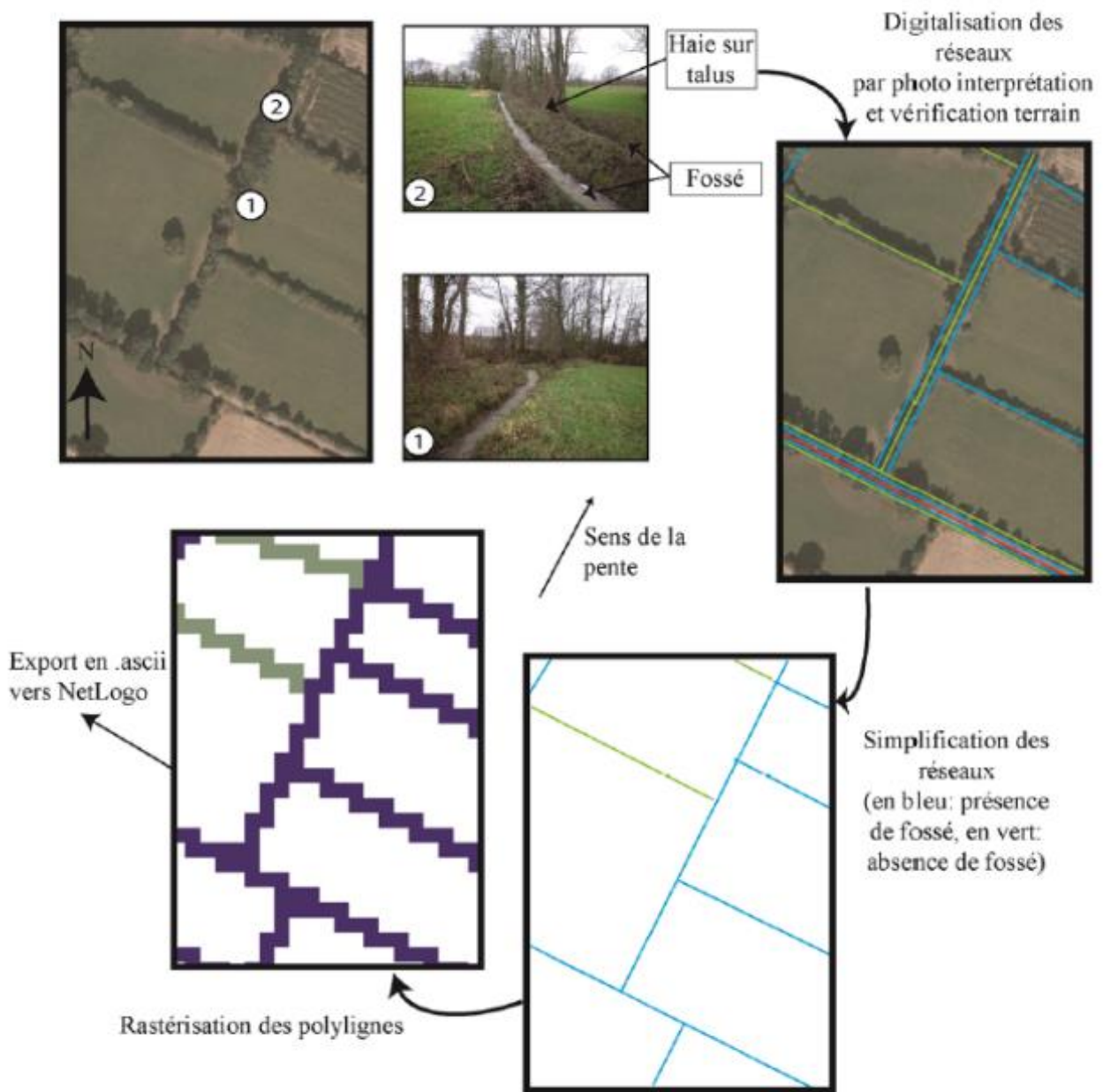
Extraction par masque

Conversion en .asci

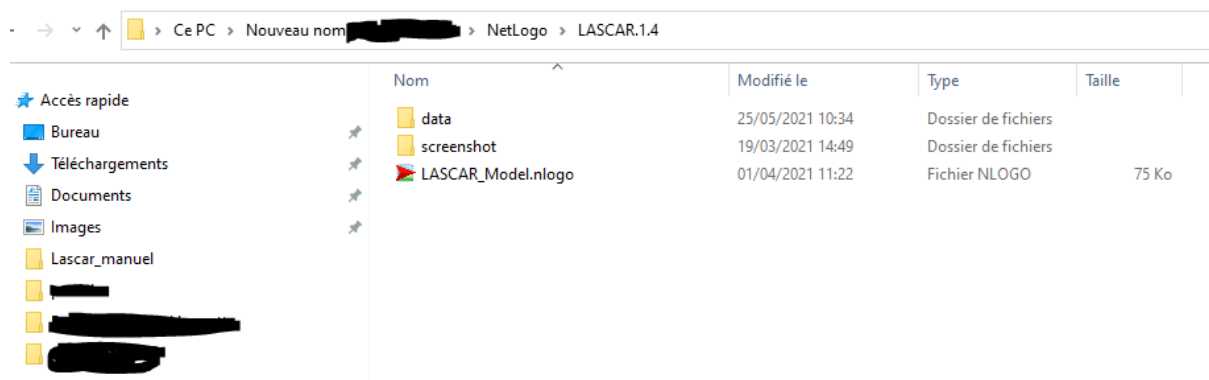


Données utilisables  
dans NetLogo

L'ensemble des géotraitements nécessaires à la préparation des données est disponible dans les tutoriels. Ces tutoriels ont été créés pour les logiciels Qgis, Arcmap et Arcgis pro.



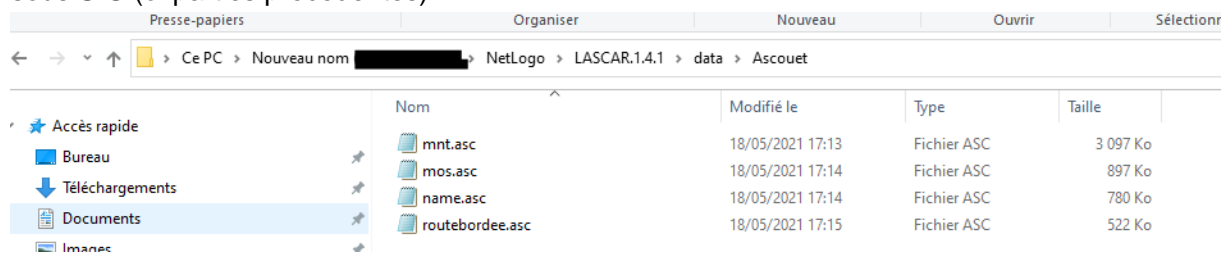
## Accès au modèle et aux dossiers de sauvegarde



Le modèle LASCAR est accessible en double-cliquant sur *LASCAR\_Model.nlogo*.

Le dossier « screenshot » contient les captures d'écran qu'il est possible d'effectuer à partir de l'interface du modèle (cf Bouton de simulation).

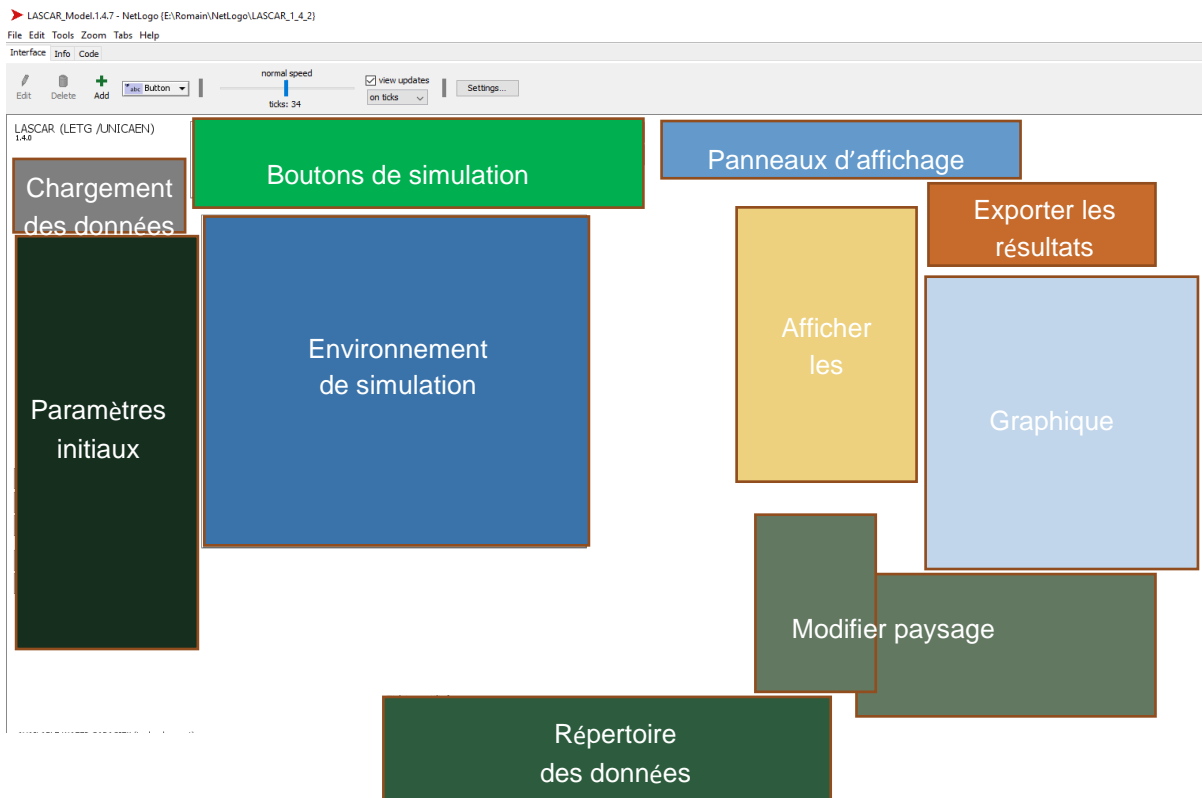
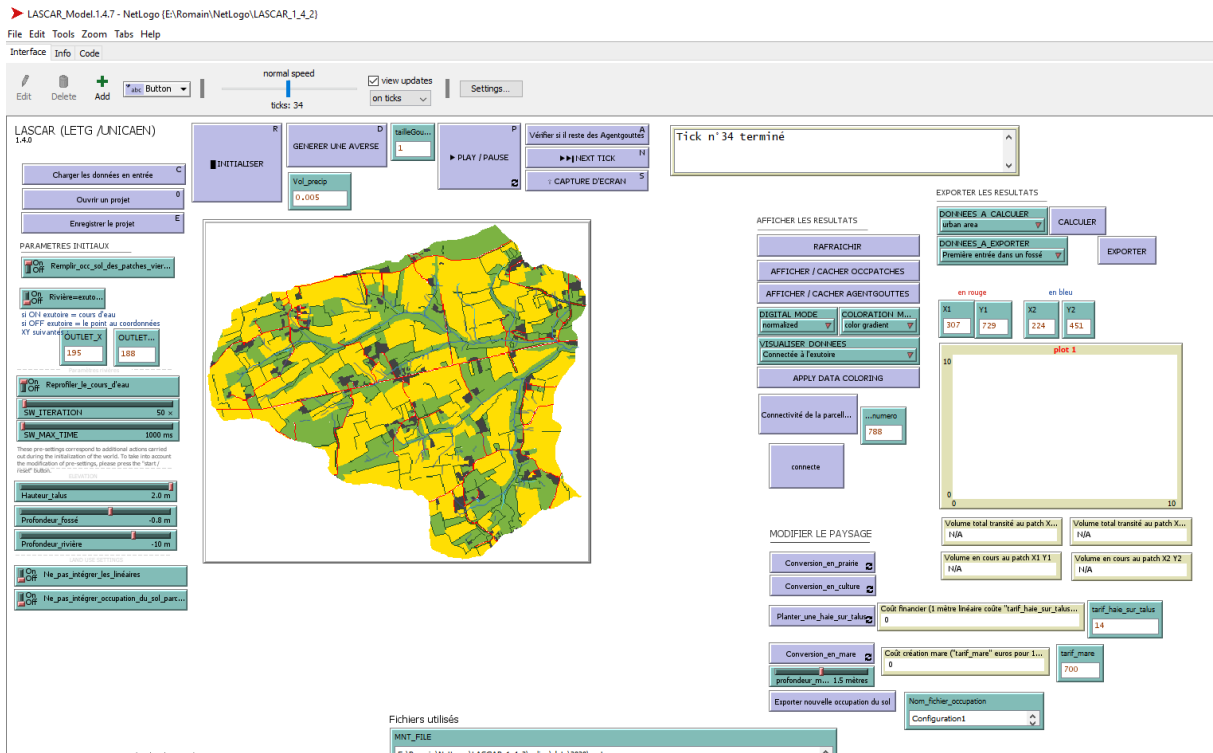
Le dossier data contient autant de dossiers que de terrains d'étude à analyser. Chaque dossier « Terrains d'étude » contient quatre fichiers de données .asc (mnt, mos, name, routebordee) préparées sous SIG (cf parties précédentes).



# Utilisation du modèle LASCAR

## L'interface LASCAR

L'interface du modèle peut être découpé en 9 groupes d'éléments : vue, boutons, commutateurs, etc. (cf figure ci-dessous).

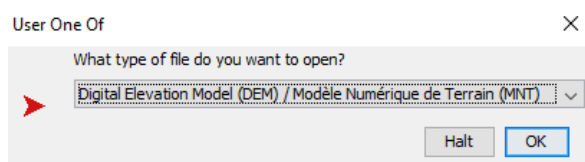
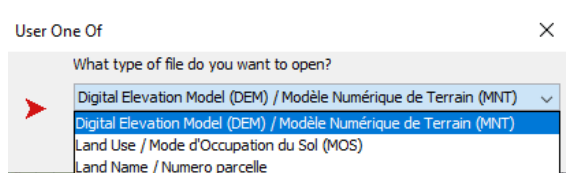


## Chargement des données SIG

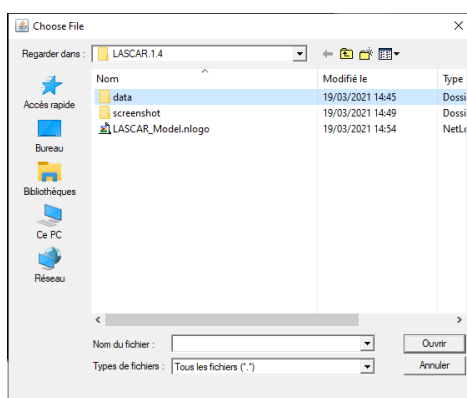
Charger les données en entrée

Bouton permettant le chargement des fichiers *.ascii* : modèle numérique de terrain (MNT), occupation du sol (MOS), numéro de parcelle (NAME) et routebordée (ROUTEBORDEE). Une fenêtre s'ouvre et permet d'accéder au répertoire dans lequel sont enregistrées les données permettant de caractériser l'environnement de simulation.

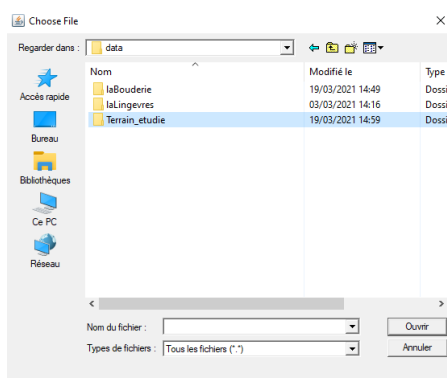
Sélection de la donnée à charger (ici MNT)



Sélection du dossier data.

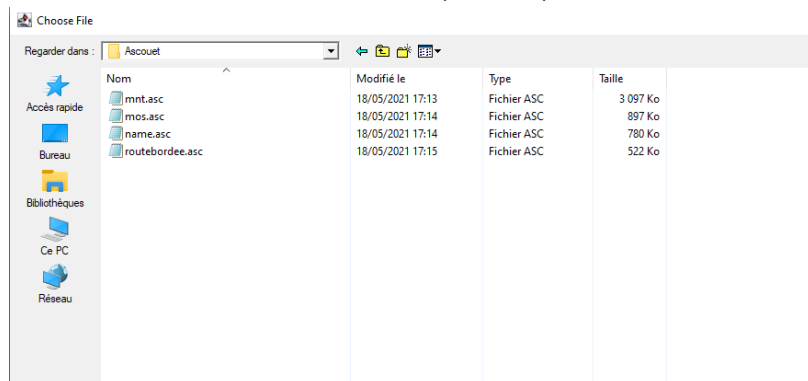


Sélection du dossier contenant les données du terrain d'étude.

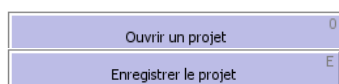




## Sélection du fichier.asc recherché (MNT ici).

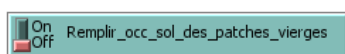


Faire les mêmes manipulations pour l'ajout de l'occupation du sol (mos) et des numéros de parcelles (name)

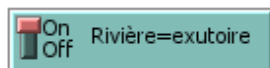


Bouton permettant d'ouvrir un projet préalablement enregistré.  
Bouton de sauvegarde d'un projet.

## Paramètres initiaux :



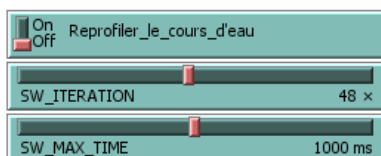
Permet d'affecter une occupation du sol aux *Occpatches* pour lesquels aucune information n'est connue (cela peut être fréquent lors de la conversion des données vectorielles en raster au cours de la préparation des données sous SIG). Le patch est alors affecté de l'occupation du sol dominante dans son environnement immédiat (huit *Occpatches* voisins).



Permet de choisir le cours d'eau comme exutoire. Pour un travail à l'échelle d'un territoire dont les limites ne sont pas celles d'un bassin versant ou pour un travail sur un bassin de superficie supérieure à 10km<sup>2</sup>, on recommandera de mettre le commutateur sur ON. L'exutoire de la simulation correspondra dès lors au cours d'eau et tous les indices seront calculés à partir du linéaire du cours d'eau.



Pour un travail à l'échelle d'un bassin versant, on recommandera d'indiquer les coordonnées XY d'un *Occpatch* « exutoire » (on notera ici les coordonnées du patch). La recherche du point exutoire peut demander quelques minutes. Pour cela, il suffit de faire un « clic-droit » dans l'environnement de simulation afin de zoomer pour identifier les attributs (*xcor*, *ycor*) de l'*Occpatch* concerné.



These pre-settings correspond to additional actions carried out during the initialization of the world. To take into account the modification of pre-settings, please press the "start / reset" button.

Bouton et commutateurs permettant d'éviter la stagnation des *Agentgouttes* dans les cours d'eau. De telles stagnations sont susceptibles d'apparaître si le modèle numérique de terrain initial n'est pas de qualité optimale. Il est conseillé de mettre le commutateur sur ON pour un « nettoyage » du MNT lors de l'initialisation.



Ce module permet de définir la hauteur ou la profondeur des linéaires de route/fossé, de haie et de cours d'eau.

Par défaut les valeurs sont les suivantes :

**Profondeur d'un fossé** : - 0,7 mètre (profondeur moyenne observée)

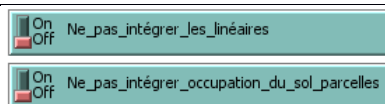
**Hauteur d'un talus de haie** : + 0,7 mètre (hauteur moyenne observée,

attention selon les terrains d'études les talus peuvent être inexistantes ou il peut exister de grandes différences de hauteur)

**Profondeur du cours d'eau** : - 10 mètres (profondeur exagérée permettant d'être certain que le cours d'eau présente bien une altitude inférieure aux cellules avoisinantes).

### Commentaires :

Idéalement il faudrait mettre les hauteurs et profondeurs de chaque entité linéaire du paysage. Cependant ces données sont impossibles à obtenir sans un lourd travail de terrain. Affecter une valeur moyenne à l'ensemble des linéaires reste néanmoins une approche satisfaisante au regard des objectifs du modèle.



Commutateurs permettant d'intégrer ou non les entités paysagères linéaires et l'occupation du sol des parcelles. La non prise en compte des entités du paysage est intéressante pour certaines simulations

(cf **partie suivante**).



Ce commutateur permet de prendre en compte l'infiltration réalisée par les *Occpatches* en fonction de leur nature. Ce module est encore en phase de calibrage mais peut être utilisé, les résultats devront être interprétés avec beaucoup de vigilance. Par défaut, une réserve utile unique à 100 mm est affectée à chaque *Occpatches*. Les valeurs des paramètres d'infiltration sont les suivantes : vitesse d'infiltration des prairies et bois : 50mm/h ; vitesse d'infiltration des habitats (bâti et jardin) : 0mm/h ; vitesse d'infiltration des cultures : 0 mm/h (dans cette simulation, les parcelles agricoles cultivées sont considérées comme complètement

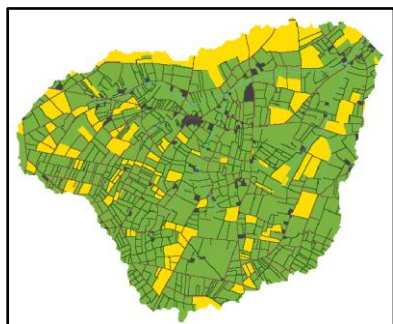
battantes ou tassées, en période hivernale). Ces paramètres sont actuellement en cours de perfectionnement et devraient être ajoutés dans une prochaine version du modèle.

## Vue

Lors de l'ouverture d'un nouveau projet, la fenêtre centrale appelée « Vue » affiche un écran noir car aucune donnée n'a été chargée. Pour charger des données, il faut appuyer sur le bouton « Charger les données en entrées » (voir **1. Chargement des données SIG**).

Une fois les données chargées, le bouton « Initialiser » (voir **4. Boutons de simulation**) permet

d'afficher les Occpatches différenciés par leur couleur (voir **Partie préparation des données**) :



Jaune : parcelles cultivées

Vert clair : prairie, verger, bois, lande

Blanc : zone bâtie

Vert foncé : haie

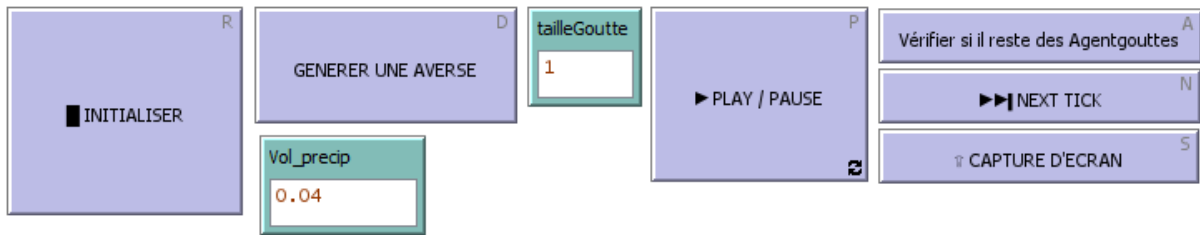
Rouge : fossé

Bleu : cours d'eau

Blanc : patches sans valeur (hors de la zone d'étude telle que définie

dans les traitements SIG)

## Boutons de simulation / Jouer une simulation



**INITIALISER** : Bouton d'initialisation des paramètres et variables de simulation (voir [Liste des variables utilisées dans le modèle](#))

**GENERER UNE AVERSE** : Bouton permettant de faire apparaître les Agentgouttes dans la simulation. La variable « Vol\_precip », exprimée en mètres, est par défaut de 0,04 soit une pluie de 40 mm tombant d'un seul coup.

**PLAY/PAUSE** : Permet de lancer / mettre sur pause la simulation.

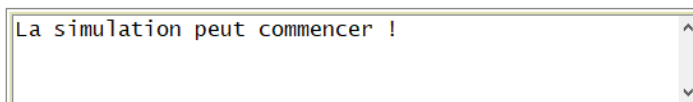
**Vérifier s'il reste des Agentgouttes**: Bouton permettant de voir s'il reste des *Agentgouttes* encore sur le bassin. Il n'est pas utile que les *Agentgouttes*, qui semblent rester stagner sur les versants alors que le nombre d'itération est important et la majorité des écoulements a rejoint l'exutoire, soient tous à l'exutoire pour arrêter la simulation. En effet, il s'agit bien souvent d'accumulation d'eau dans les réseaux de fossés ou de chemins agricoles. Dès lors, on peut considérer que ces *Agentgouttes* forment une flaque d'eau.

**NEXT TICK** : Permet de simuler itération par itération.

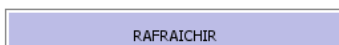
**CAPTURE D'ECRAN** : Possibilité d'exporter l'environnement de simulation au format .png

## Panneaux d'information

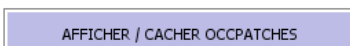
Cet écran d'affichage permet d'informer le modélisateur de diverses informations (calculs en cours, erreurs à vérifier, état d'avancé de la simulation, etc.).



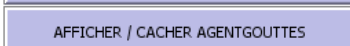
## Afficher les résultats



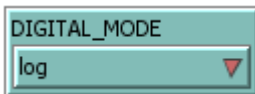
Bouton permettant de supprimer le visuel des résultats.



Boutons permettant d'afficher ou de cacher les *Occpatches* ou les *Agentgouttes*.



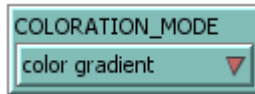
Choix de la représentation des données : normalisée / logarithmique / binaire.



Binaire : équivalent à dire « est/n'est pas connecté »

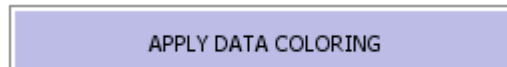
- Normal : affiche un dégradé de couleur entre la valeur min et la valeur max.

Logarithme : *idem* que Normal mais on applique la fonction log sur les valeurs.



Choix des couleurs pour l'affichage des résultats

Choix des variables de sorties à afficher :



- "*Altitude*" : Représentation de la variable altitude des *Occpatches*
- "*Chemin d'écoulement préférentiel*" : Identification des trajectoires des écoulements préférentiels empruntés par les *Agentgouttes*.
- "*Première entrée dans un fossé*" : identification des *Occpatches* fossés dans lesquels des *Agentgouttes* sont entrés pour la première fois depuis leur mise en mouvement (avant ça, les *Agentgouttes* ne s'étaient pas déplacés sur un *Occpatch* fossé). Interprétation des résultats : plus la couleur de l'*Occpatches* est foncée, plus le volume d'eau transité par les *Agentgouttes* est important.
- "*Porte d'entrée d'un fossé*" : identification des *Occpatches* « fossés » sur lesquels des *Agentgouttes* sont entrés en venant d'un *Occpatches* de natures différentes. Interprétation des résultats : plus la couleur de l'*Occpatches* est foncée, plus le volume d'eau transité par les *Agentgouttes* est important.
- "*Distance à un fossé*" : calcul, pour chaque *Occpatches*, de la distance hydrologique au fossé le plus proche.
- "*Haie bloquante (inside)*" : Permet d'identifier les *Occpatches* « haies » entrés en interaction avec des *Agentgouttes*, autrement dit les *Occpatches* haies ayant contraint la dynamique topographique de déplacement des *Agentgouttes*. Interprétation des résultats : plus la couleur de l'*Occpatches* est foncée, plus le volume d'eau ayant interagi avec l'*Occpatch* « haie » est important.
- "*Haie bloquante (outside)*" : Permet l'identification des *Occpatches* situés à proximité d'une haie entrés en interaction avec des *Agentgouttes*, permet d'identifier le côté de la haie (côté amont) par lequel sont arrivés les *Agentgouttes*.
- "*Haie traversée*". Permet l'identification des *Occpatches* « haies » ayant été traversés par des *Agentgouttes*. Ce phénomène peut arriver lorsque le volume d'eau transporté par les *Agentgouttes* est capable de combler la différence d'altitude liée à la présence d'une haie sur talus. Interprétation des résultats : plus la couleur de l'*Occpatches* est foncée, plus le volume d'eau ayant traversé une haie est important.

- "*Connectée à l'exutoire*". Identification des *Occpatches* hydrologiquement connectés à l'exutoire. Autrement dit, les *Agentgouttes* issus des *Occpatches* hydrologiquement connectés à l'exutoire ont réussi à rejoindre l'exutoire.
- "*Distance à l'exutoire*". Mise en évidence des distances hydrologiques (en nombre de patches) des *Occpatches* hydrologiquement connectés à l'exutoire.
- "*Cuvettes (présentes à l'initialisation)*" : Identification des cuvettes présentes à l'initialisation de la simulation.
- "*Cuvettes (actuellement présentes)*" : Identification des cuvettes présentes actuellement dans l'environnement de simulation.

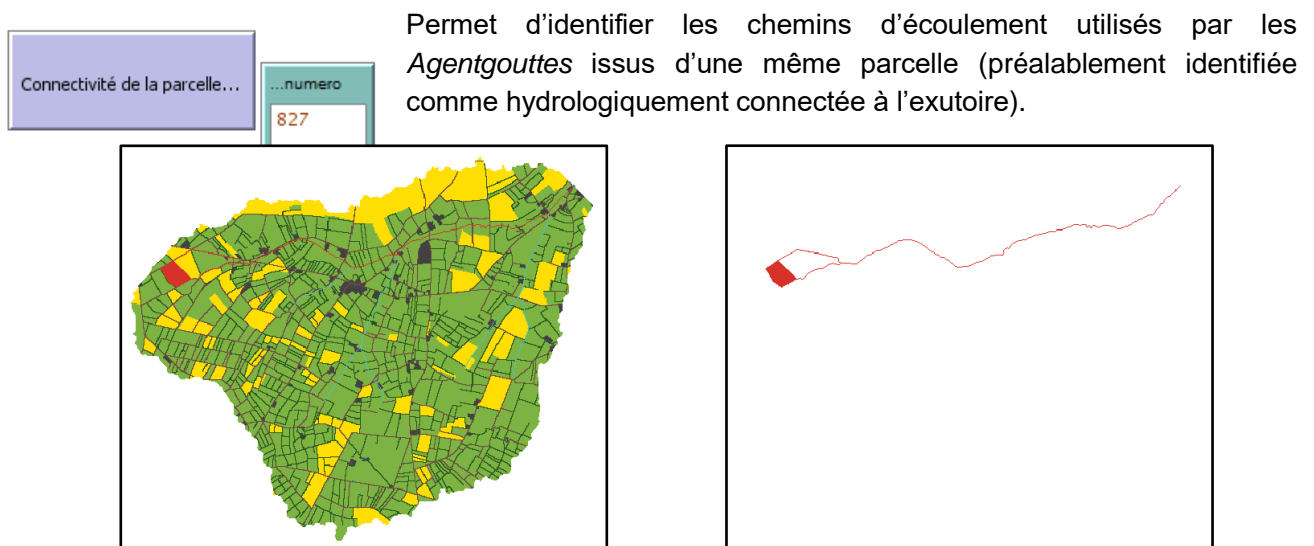
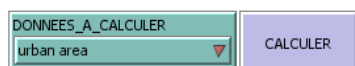


Figure : Exemple de représentation des chemins d'écoulement empruntés par les *Agentgouttes* issus d'une même parcelle

## Exporter les résultats

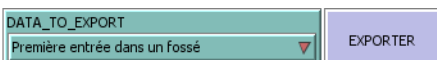


Les données affichées graphiquement dans la Vue (couleur des *Occpatches*) peuvent être calculées puis affichées dans le centre de commande (en bas de page) :



Exemple ici : 3302 *Occpatches* correspondent à des zones bâties, soit 2% des *Occpatches* de la zone étudiée.

L'exportation des données vers un Système d'Information Géographique :



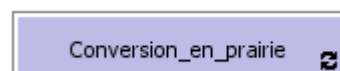
L'ensemble des variables précédemment exposées (cf Choix des variables de sorties à afficher) peut être exporté. Il suffit de choisir la variable puis de cliquer sur Exporter.

## Modifier paysage

Ce bloc de commande permet de modifier le paysage par ajout/suppression d'entités du paysage. L'utilisation de ces boutons ne peut se faire qu'après avoir initialisé les données.

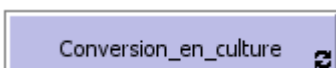
**Attention l'utilisation du bouton « initialiser » supprime les conversions réalisées.**

Ainsi, les boutons suivants permettent :



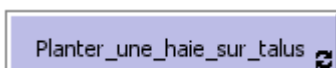
1/ de convertir les *Occpatches* d'une même parcelle en prairie. Pour cela, il suffit de cliquer sur ce bouton puis sur n'importe quelle parcelle que l'on souhaite transformer en prairie. Attention, aucune restriction n'a été

implémentée, il est ainsi possible de convertir des zones urbaines en prairie, ce qui reste extrêmement rare.

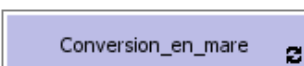
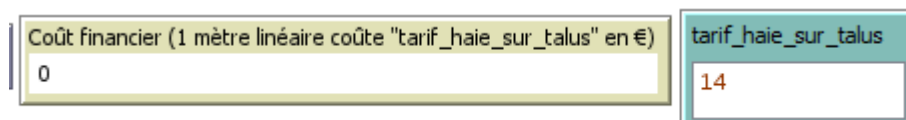


2/ de convertir les *Occpatches* d'une même parcelle en culture. Pour cela, il suffit de cliquer sur ce bouton puis sur n'importe quelle parcelle que l'on souhaite transformer en prairie. Attention, aucune restriction n'a été

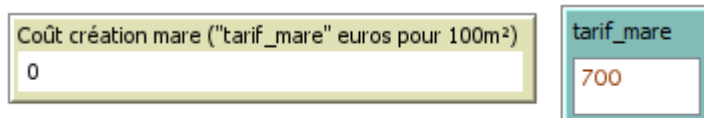
implémentée, il est ainsi possible de convertir des zones urbaines en culture, ce qui reste extrêmement rare.



3/ de planter des haies (sur talus en fonction de la hauteur indiquée dans le slider Hauteur\_talus). Par défaut, un tarif de 14 euros par mètre linéaire est paramétré afin d'estimer le coût total d'implantation.



4/ De convertir des *Occpatches* en mare. Pour cela, il suffit de cliquer sur l'*Occpatch* de son choix. Par défaut, la création d'une mare est estimée à 700 euros pour 100m<sup>2</sup>.



## Répertoires des données SIG

Lors du chargement des données en entrées, le chemin d'accès à la donnée s'affiche ici.

Fichiers utilisés

MNT\_FILE

E:\Romain\NetLogo\LASCAR\_1\_4\_2\celina\data\2020\mnt.asc

MOS\_FILE

E:\Romain\NetLogo\LASCAR\_1\_4\_2\celina\data\2020\mos.asc

NAME\_FILE

E:\Romain\NetLogo\LASCAR\_1\_4\_2\celina\data\2020\name.asc

ROUTEBORDEE\_FILE

E:\Romain\NetLogo\LASCAR\_1\_4\_2\celina\data\2020\border.asc

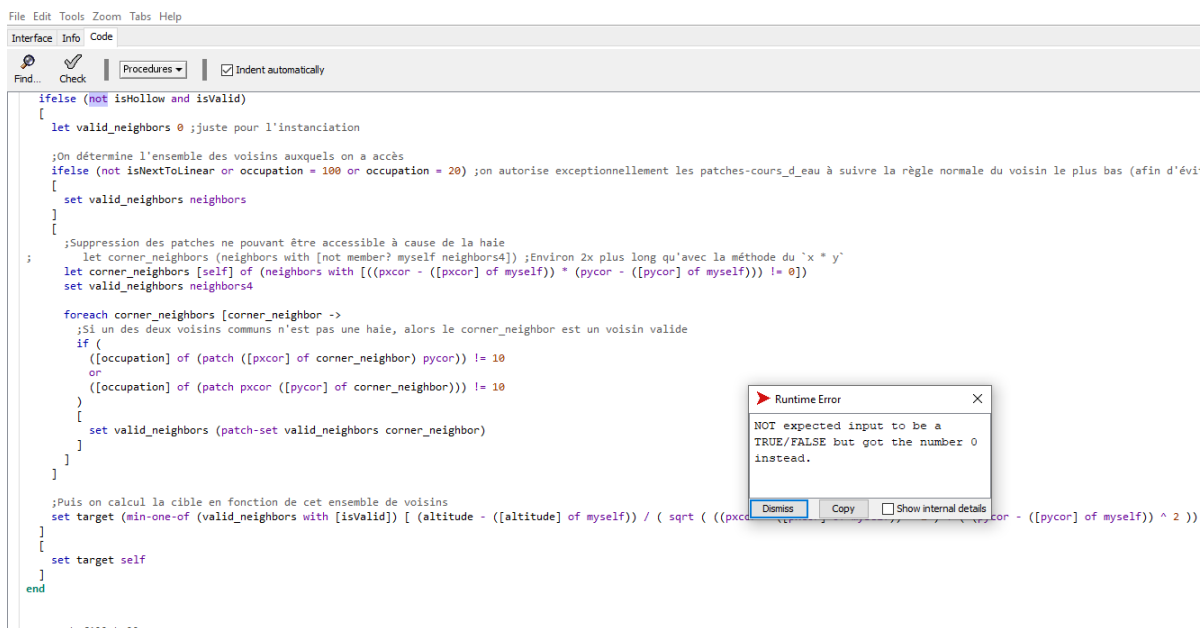
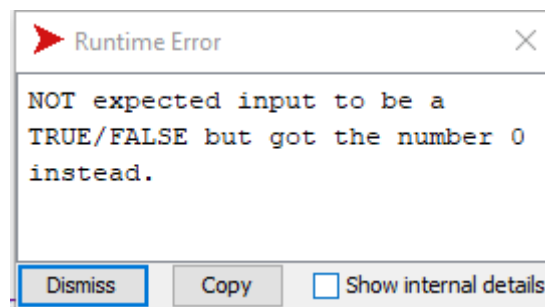
## Graphique

Il est possible ici d'afficher certains résultats sous forme graphique comme par exemple le nombre d'*Agentgoutte* passés par un *Occpatch* bien précis.



## Messages d'erreurs potentiels

Au cours d'une simulation des messages d'erreurs peuvent s'afficher. Cela peut être le cas notamment si le modélisateur s'aventure dans le code qui est facilement accessible (onglet code). Nous invitons les utilisateurs de LASCAR à ne pas aller dans la partie code du modèle car il est très facile de modifier celui-ci et d'impacter le bon fonctionnement du modèle. Si de tels messages d'erreurs (*cf* ci-dessous) apparaissent à l'écran, il faut fermer l'application NetLogo sans enregistrer puis redémarrer le modèle.



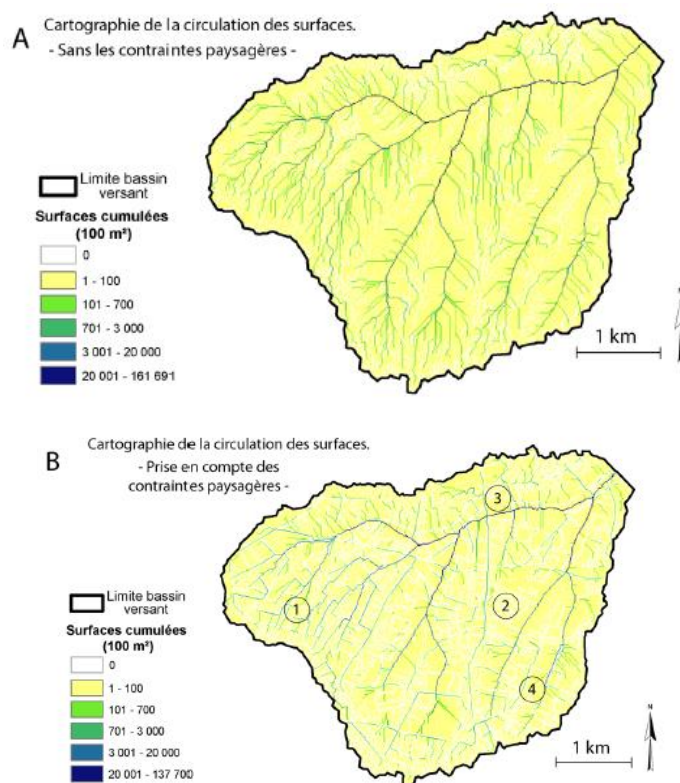
## Mise en forme des données sous SIG

L'ensemble des géotraitements nécessaires à la mise en forme des données est disponible dans les tutoriels annexes dédiés aux SIG.

## Interprétation des données exportées

Une fois la simulation terminée, il est possible d'exporter différents indices au format *.ascii* valorisables ensuite sous un système d'information géographique (*cf* tutoriel) :

- A) Chemins d'écoulement préférentiel** : Identification des trajectoires des écoulements préférentiels empruntées par les *Agentgouttes*. Cela permet d'obtenir les chemins d'écoulement préférentiels des eaux de surface. On obtient ainsi un fichier montrant les trajectoires des écoulements au sein du territoire étudié. Cette donnée est utile pour voir comment s'organise la réponse hydrologique dans l'espace. Elle permet notamment d'identifier l'impact des réseaux linéaires sur les trajectoires d'écoulements. Pour mieux appréhender ces impacts, il est possible de générer le même fichier de sortie à partir d'une simulation sans intégration des réseaux linéaires. Pour ce faire, les commutateurs « Ne\_pas\_intégrer\_les\_linéaires » et « Ne\_pas\_intégrer\_occupation\_du\_sol\_parcelles » doivent être sur ON.



- B) Distance hydrologique à un fossé** : Distance hydrologique de chaque *Occpatch* à un fossé. Permet de prendre en compte le rôle de la pente sur la proximité à un fossé (et non plus la seule distance euclidienne).

**C) Identifier les points d'entrée dans les fossés :** Le fichier permet d'obtenir la localisation des points d'entrées dans un fossé (utiles pour 1/ vérifier la cohérence terrain 2/ guider les acteurs sur le terrain en vue d'aménager au mieux leur territoire). Pour exploiter ces données, il est important d'identifier les principaux points d'entrée (20 ou 30) et vérifier la cohérence sur le terrain. Si les points sont corrects, il s'agit de les valider, sinon d'expliquer pourquoi le modèle s'est trompé (rôle important du sens du travail du sol, paysage amont modifié récemment, etc.).

**D) Identification des haies bloquantes :** Permet d'identifier quelles sont les haies bloquantes. Autrement dit, tous les Occpatches haies qui ont, au cours de la simulation, bloqués les écoulements sont identifiés et exportés. Attention, les haies qui ont seulement détourné les écoulements sortiront également comme bloquantes.

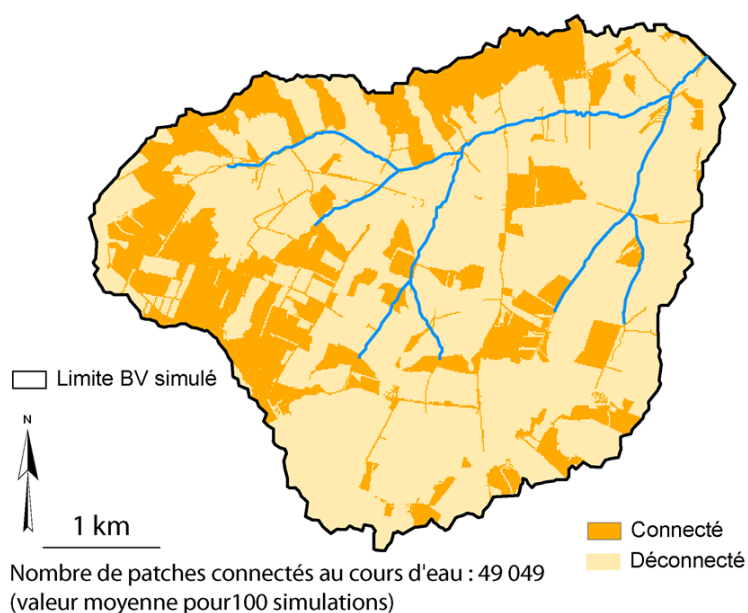
**E) Identification des haies franchies :** Permet d'identifier qu'elles sont les haies franchies au cours de la simulation. Je procède de la même façon que dans le point précédent pour traiter les données.

**F) Identification cuvette :** Identification de patches ayant été une cuvette au moins une fois au cours de la simulation. Sous SIG, le mieux est de convertir en point le fichier .ascii.

**G) Espace hydrologiquement connecté :** permet d'exporter les patches hydrologiquement connectés au cours d'eau ou à l'exutoire (selon le choix opéré à l'initialisation du modèle). Deux possibilités ici pour mettre en forme les données.

La plus simple : cartographier directement les données en modifiant la symbologie du fichier .ascii obtenu (cf figure ci-après)

Cartographie de la connectivité au cours d'eau d'après les simulations

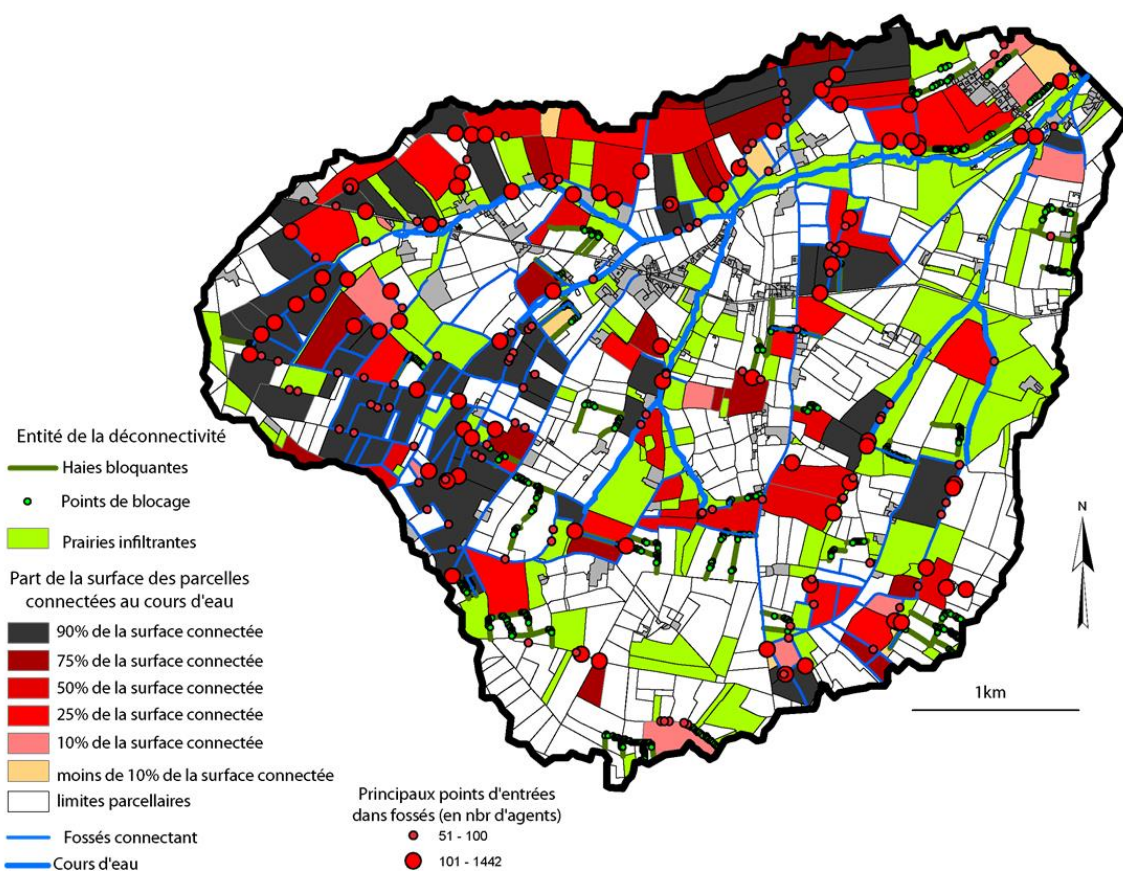


La seconde, plus poussée, s'obtient de la façon suivante :

- Convertir les données en points. Chaque point correspond à une unité spatiale (un patch) et vaut donc 100m<sup>2</sup>. Créer un champ « superficie » dans la table attributaire et mettre (= 100)
- Pour chaque parcelle (au format polygone), ajouter un champs « superficie » et calculer la superficie puis faire jointure spatiale et sélectionner les points contenus dans chaque parcelle

et récupérer la somme de chaque attribut du fichier point (on récupérera donc la somme totale des surfaces des points contenus dans chaque parcelle).

- Ensuite un simple calcul de surface connectée rapportée à la surface totale de la parcelle permet d'obtenir une carte similaire à celle présentée ci-dessous.



**H) Distance hydrologique à l'exutoire :** Distance hydrologique à l'exutoire de chacun des *Occpatch* de la simulation (correspond à la distance à un fossé si exutoire = fossé).

# Bibliographie

- Anselme B., Beck E., Marilleau N., Rousseaux F., Schmitt C., Vannier C. (2014)** – Modèle Bestiole. *Fiche pédagogique, collectif MAPS*, 20 p.
- Auzet A.V. (1987)** – L'érosion des sols cultivés en France sous l'action du ruissellement. *Annales de Géographie*, 537, pp. 529-556.
- Baudry J., Jouin A. (2003)** – De la haie aux bocages. Organisation, dynamique et gestion. *Inra Editions*. 435 p.
- Blanpain B., Langlois P., Daudé E. (2013)** – **MAGéo, a user-friendly platform for agent-based modeling and simulation**, 18<sup>th</sup> European Colloquium on Theoretical & Quantitative Geography, 5-9 sept. 2013, Dourdan, France.
- Bocher E. (2005)** – *Impact des activités humaines sur le parcours des écoulements de surface dans un bassin versant bocager : essai de modélisation*. Thèse de Doctorat, Université de Rennes 2, 337 p.
- Boiffin J. (1984)** – *La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies*. Thèse, Sciences Agronomiques, INA-PG, 320 p. + annexes.
- Boiffin J., Papy F., Eimberck M. (1988)** – Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré. I) Analyse des conditions de déclenchement de l'érosion. *Agronomie*. Vol. 8, n°8, pp. 663-673.
- Caillault S. (2011)** – *Le feu, la brousse et la savane. Modélisation spatiale des dynamiques de paysages soudaniens (Burkina Faso)*. Thèse de doctorat de l'Université de Caen Basse-Normandie. 378 p.
- Caillault S., Mialhe F., Vannier C., Delmotte S., Kédovidé C., Amblard F., Etienne M., Bécu N., Gautreau P., Houet T. (2013)** – Influence of incentive networks on landscape changes: A simple agent-based simulation approach. *Environmental Modelling & Software*, 45, pp. 64-73.
- Carluer N., Marsily G. (2004)** – Assessment and modelling of the influence of man-made networks on the hydrology of a small watershed: implications for fast flow components, water quality and landscape management. *Journal of Hydrology*, 285, pp. 76-95.
- Cossart E., Viel V, Lissak C., Reulier R., Fressard M., Delahaye D. (2002)** – How might sediment connectivity change in space and time? *Land Degradation and Development, Wiley, 2018, 29 (8), pp. 2595-2613*.
- Crave A. et Davy P. (2001)** – A stochastic 'precipiton' model for simulating erosion/sedimentation dynamics. *Computer & Science* 27, pp. 815-827.
- Darboux F., Davy P., Gascuel-Oudou C. (2002)** – Effect of depression storage capacity on overland-flow generation for rough horizontal surfaces: water transfer distance and scaling. *Earth Surface Processes and Landforms* 27, pp. 177-191.
- Delahaye D. (1992)** – *Approches spatialisées et analyses expérimentales des phénomènes de ruissellement et d'érosion des sols. Application aux systèmes de production agricole du Calvados*. Thèse de doctorat, Université de Caen Basse-Normandie, 427 p.
- Delahaye D., Guermond Y., Langlois P. (2001)** – « Spatial interaction runoff process », **Cybergeo : European Journal of Geography** [En ligne], Dossiers, 12<sup>e</sup> Colloque Européen de Géographie Théorique et Quantitative, St-Valéry-en-Caux, France, 7-11 septembre 2001, document 213, mis en ligne le 10 mai 2002, consulté le 05 novembre 2014. URL : <http://cybergeo.revues.org/3795> ; DOI : 10.4000/cybergeo.3795
- Delahaye D. (2002)** – Apport de l'analyse spatiale en géomorphologie. Modélisation et approche multiscalaire des risques, *Mémoire HDR*, Vol. 1, Université de Rouen, 259 p.
- Doray T. (2008)** – Mise en œuvre d'un modèle de spatialisation du ruissellement dans un objectif d'évaluation des transferts de matières en suspension. Mémoire de master 2, 96 p.
- Douvinet J., Delahaye D., Langlois P. (2013)** – Measuring surface flow concentrations using a cellular automaton metric : a new way of detecting potential impacts of flash floods in sedimentary context. **Géomorphologie : relief, processus, environnement**, n°1, pp. 27-46.

- Duke G.D., Kienzle S.W., Johnson D.L., Byrne J.M. (2003)** – Improving overland flow routing by incorporating ancillary road data into Digital Elevation Models. *Journal of Spatial Hydrology*, Vol 3, n° 2.
- Gascuel-Oudoux C., Arousseau P., Cordier M-O., Durand P., Garcia F., Masson V., Salmon-Monviola J., Tortrat F., Trepos R. (2009)** – A decision-oriented model to evaluate the effect of land use and agricultural management on herbicide contamination in stream water. *Environmental Modelling & Software* 24, pp. 1433-1446.
- Jones J.A., Swanson F.J., Wemple B.B., Snyder K.U. (2000)** – Effects of Roads on Hydrology, Geomorphology, and Disturbance Patches in Stream Networks. *Conservation Biology*. Vol. 14, n° 1, pp. 76-85.
- Langlois P. et Delahaye D. (2002)** – RuiCells, Automate cellulaire pour la simulation du ruissellement de surface. *Revue Internationale de Géomatique*. Vol. 12, n°4, pp. 461-487.
- Le Bissonnais Y., Torette J., Bardet C., Daroussin J. (2002)** – *L'érosion hydrique des sols en France*, Rapport INRA – IFEN, 109 p. (disponible sur <http://erosion.orleans.inra.fr/rapport2002/>).
- Lendemain V. (2016)** – *Erosion des sols et transferts sédimentaires sur les bassins versants de l'Ouest du Bassin de Paris : analyse, quantification et modélisation à l'échelle pluriannuelle*. Thèse de doctorat. Normandie Université, 2016.
- Levavasseur F. (2012)** – *Structure du paysage et fonctionnement hydrologique : application aux réseaux de fossés en zone viticole méditerranéenne*. Thèse de doctorat du Centre international d'études supérieures en sciences agronomiques Montpellier SupAgro. 188 p.
- Mérot Ph., Gascuel-Oudoux C., Walter C., Zhang X., Molenat J. (1998)** – Influence du réseau de haies des paysages bocagers sur le cheminement de l'eau de surface. *Revue des sciences de l'eau*. 12/1, pp. 23-44.
- Moussa R., Voltz M., Andrieux P. (2002)** – Effect of the spatial organization of agricultural management on the hydrological behaviour of a farmed catchment during flood events. *Hydrological Processes*. 16, pp. 393-412.
- Ouvry J.F., Richet J.B., Bricard O., Lhériveau M., Bouzid M., Saunier M. (2012)** – Fascines & haies pour réduire les effets du ruissellement érosif. Caractérisation de l'efficacité et conditions d'utilisation. *Document de l'AREAS*. 68 p.
- Rakotoarisoa M., Fleurant C., Amiot A., Ballouche A., Communal P-Y., Jadas-Hécart A., La Jeunesse I., Landry D., Razakamanana T. (2014)** – Système multi-agent pour la modélisation des écoulements de surface sur un petit bassin versant viticole du Layon. **Revue Internationale de Géographie**. 24/3, pp. 307-333.
- Reaney S.M. (2008)** – The use of agent based modeling techniques in hydrology: determining the spatial and temporal origin of channel flow in semi-arid catchments. *Earth Surface Processes and Landforms* 33, pp. 317-327.
- Rebaudo F., Crespo-Pérez V., Silvain J-F., Dangles O. (2011)** – Agent-Based Modeling of Human-Induced Spread of Invasive Species in Agricultural Landscapes: Insights from the Potato Moth in Ecuador. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 14 (3), 7.
- Reulier R. (2015)** – *Structure paysagère et dynamiques spatiales des transferts hydro-sédimentaires. Approche par simulation multi-agents*. PhD diss., University of Caen Normandy, France. 350 p.
- Reulier R, Delahaye D, Caillault S, Viel V, Douvinet J, Bensaid A. (2016)** – Mesurer l'impact des entités linéaires paysagères sur les dynamiques spatiales du ruissellement : une approche par simulation multi-agents. *Cybergeo: European Journal of Geography*. 26 p., DOI: 10.4000/cybergeo.27768
- Reulier R, Delahaye D, Viel V, Davidson R. (2017)** – 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-Agents. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*. 15 p., DOI:10.4000/geomorphologie.11857
- Reulier R., Delahaye D., Viel V. (2019)** – Agricultural landscape evolution and structural connectivity to the river for matter flux, a multi-agents simulation approach. *CATENA*, Elsevier, 174, pp. 524-535.



- Souchère V., King D., Daroussin J., Papy F., Capillon A. (1998)** – Effects of tillage on runoff directions: consequences on runoff contributing area within agricultural catchments. *Journal of Hydrology*, 206, pp. 256-267.
- Schwarz N., Kahlenberg D., Haase D., Seppelt R. (2012)** – ABMLand- a Tool for Agent-Based Model Development on Urban Land Use Change. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 15(2), 8.
- Tortrat F. (2005)** – *Modélisation orientée décision des processus de transfert par ruissellement et subsurface des herbicides dans les bassins versants agricoles*. Thèse de doctorat de l'Agrocampus Rennes. 174 p + annexes.
- Treuil J.P., Mullon C., Perrier E., Piron M. (2001)** – Simulations multi-agents de dynamiques spatialisées. Dans *Modèles en analyse spatiale sous la direction de Lena Sanders*. pp. 105-125.
- Servat D. (2000)** – *Modélisation de dynamiques de flux par agents. Application aux processus de ruissellement, infiltration et érosion*. Thèse de doctorat de l'Université de Paris 6, 186 p.
- Vannier C. (2011)** – *Observation et modélisation spatiale de pratiques agricoles territorialisées à partir de données de télédétection. Application au paysage bocager*. Thèse de doctorat de l'Université de Rennes 2 Haute-Bretagne, 307 p.
- 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*, 13 p.
- Wilensky U. (1999)** – Netlogo. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling. Northwestern University, Evanston. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>.
- Wohlfahrt J., Colin F., Assaghir Z., Bockstalle C. (2010)** – Assessing the impact of the spatial arrangement of agricultural practices on pesticide runoff in small catchments: Combining hydrological modeling and supervised learning. *Ecological Indicators* 10, pp. 826-839.

Pour citer ce document :

REULIER, Romain, DELAHAYE Daniel, GUILLEMOIS Mathilde. Manuel d'utilisation du modèle LASCAR, 2023, 40p.

### En savoir plus sur Resp'haies :

Le projet de recherche et développement RESP'HAIES (RESilience et Performances des exploitations agricoles liées aux HAIES) s'est déroulé de 2019-2022, avec la participation de onze organismes de la recherche, du développement et de l'enseignement dans l'objectif est de renforcer les connaissances sur la thématique des haies autour de quatre axes :

- **Action 1** - productivité et de cubage des haies et apports de la géographie pour caractériser les haies,
- **Action 2** - services écosystémiques liés aux haies : biodiversité, ruissellement, carbone,
- **Action 3** - performances technico-économiques des exploitations agricoles liées aux haies
- **Action 4** - conceptions et tests de séquences pédagogiques sur les haies.

Retrouvez tous les résultats du projet (à partir de mai 2023) sur <https://afac-agroforesteries.fr/resphaies/>

Projet soutenu par :



Le projet bénéficie également du soutien de :



Partenaires du projet :

