

Modélisation de la dynamique potentielle d'un bassin versant et mesure de son efficacité structurelle

Johnny Douvinet, Daniel Delahaye, Patrice Langlois

▶ **To cite this version:**

Johnny Douvinet, Daniel Delahaye, Patrice Langlois. Modélisation de la dynamique potentielle d'un bassin versant et mesure de son efficacité structurelle. Cybergeo : Revue européenne de géographie / European journal of geography, 2008, 10.4000/cybergeo.16103 . hal-01369242

HAL Id: hal-01369242
https://hal.science/hal-01369242

Submitted on 21 Sep 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Cybergeo : European Journal of Geography

Systèmes, Modélisation, Géostatistiques

Johnny Douvinet, Daniel Delahaye et Patrice Langlois

Modélisation de la dynamique potentielle d’un bassin versant et mesure de son efficacité structurelle

Avertissement
Le contenu de ce site relève de la législation française sur la propriété intellectuelle et est la propriété exclusive de l'éditeur.
Les œuvres figurant sur ce site peuvent être consultées et reproduites sur un support papier ou numérique sous réserve qu'elles soient strictement réservées à un usage soit personnel, soit scientifique ou pédagogique excluant toute exploitation commerciale. La reproduction devra obligatoirement mentionner l'éditeur, le nom de la revue, l'auteur et la référence du document.
Toute autre reproduction est interdite sauf accord préalable de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France.

Revues.org est un portail de revues en sciences humaines et sociales développé par le Cléo, Centre pour l'édition électronique ouverte (CNRS, EHESS, UP, UAPV).

Référence électronique
Johnny Douvinet, Daniel Delahaye et Patrice Langlois, « Modélisation de la dynamique potentielle d’un bassin versant et mesure de son efficacité structurelle », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 412, mis en ligne le 15 février 2008, consulté le 20 septembre 2016. URL : http://cybergeo.revues.org/16103 ; DOI : 10.4000/cybergeo.16103

Éditeur : CNRS-UMR Géographie-cités 8504
http://cybergeo.revues.org
http://www.revues.org

Document accessible en ligne sur :
http://cybergeo.revues.org/16103
Document généré automatiquement le 20 septembre 2016.
© CNRS-UMR Géographie-cités 8504

Johnny Douvinet, Daniel Delahaye et Patrice Langlois

Modélisation de la dynamique potentielle d'un bassin versant et mesure de son efficacité structurelle

Introduction

1 Les indices morphométriques classiques ont été les toutes premières mesures créées par les géomorphologues afin de quantifier l'influence théorique de la morphologie des bassins versants sur leur réponse hydrologique de surface. La plupart des méthodes se trouvent encore aujourd'hui dans les ouvrages d'hydrologie de référence (Llamas, 1993 ; Lambert, 1996 ; Cosandey et Robinson, 2000). Les apports de ces indices sont considérables puisqu'ils ont constitué les premières formes de réflexion menées sur le *« transfert d'échelle »* en géomorphologie (Hauchard, 2001). Ils ont aussi posé les bases théoriques de tout un courant de pensée en hydrologie, notamment à la suite des travaux d'Horton (1945) qui montrent la tendance naturelle à la concentration de l'écoulement (Cosandey, 2003). Veltri *et al.* (1996) confirment que « *Les indices morphométriques sont un important sujet d'investigation dans la compréhension du dynamisme d'une rivière, tout comme l'hydrologie l'est pour l'analyse d'un bassin versant* ».

2 De manière précoce, certains géomorphologues français vont souligner plusieurs lacunes et limites d'utilisation (Birot, 1955 ; Baulig, 1957). Le caractère statique et cloisonné des indices calculés ne permet pas de prédire la réponse hydrologique des bassins versants (Hirsch, 1960). Le fait que les indices décrivent de manière séparée les composantes morphologiques (forme, pente, réseaux) n'est pas non plus apte à donner une image synthétique de l'influence de la morphologie sur la réponse hydrologique théorique de surface. Afin de pallier les lacunes des méthodes classiques, nous proposons d'utiliser une nouvelle méthode de simulation distribuée de type automate cellulaire (*RuiCells*). Les objectifs sont d'aboutir à la construction d'indices synthétiques traduisant la dynamique potentielle d'un bassin versant.

3 Les indices morphométriques ne peuvent être critiqués sans être replacés dans le contexte dans lequel ils ont été créés. Ce sera l'objet de la première partie. Une synthèse des limites actuelles dresse ensuite la liste des problèmes auxquels nous avons tenté de répondre à travers cette nouvelle méthode basée sur des simulations numériques. Les résultats obtenus sur trois bassins versants de taille similaire sont présentés à deux échelles spatiales indissociables : à l'échelle globale, celle du « *bassin versant* », les simulations confirment la présence de lois d'échelles ; à l'échelle locale, cellulaire, des indices pour mesurer l'efficacité morphologique structurelle des bassins versants sont proposés puis discutés.

Place et importance des indices morphométriques en hydrologie

Emergence des premiers indices

4 Alors que les premières mesures des formes terrestres ont été sporadiquement utilisées par les Egyptiens[1], ce n'est qu'au XIX^{ème} siècle que les premières mesures morphométriques vont voir le jour. L'apparition des cartes topographiques en 1870 puis les progrès de la science au XX^{ème} siècle vont initier pléthore de méthodes avec des applications diverses et nombreuses. Très rapidement, le besoin se fait sentir d'unifier les nombreuses méthodes dans une seule discipline qui aurait ses propres notions, son propre vocabulaire et ses propres paradigmes. La mesure des formes, que l'on appelle la *morphométrie*, devient d'une grande importance pour toutes les sciences qui étudient les formes du monde naturel. La biologie, l'anthropologie, la zoologie, la minéralogie, la médecine, la géographie (et bien d'autres domaines…) vont ainsi développer de nombreuses méthodes de mesures des formes. Certains courants de pensée en géographie physique vont créér leurs propres termes pour se démarquer de cette *morphométrie*

au sens large. La *géomorphométrie* (terme cité par Morisawa,1962) regroupe l'ensemble des méthodes mesurant la forme de la croûte terrestre ; *l'hydromorphométrie* caractérise la taille et la forme d'un chenal d'écoulement avec des paramètre quantifiant les débits liquides ou solides (Bravard et Petit, 2000).

5 Les premières utilisations de la *morphométrie* en hydrologie datent de la fin du XIX^{ème} siècle (fig. 1). Les premiers travaux ont pour objectif de voir en quoi la forme d'un bassin versant (allongement, compacité, circularité) influence le régime des cours d'eau. En 1884, Kestlin emploie une formule pour déterminer le débit pour des petits bassins versants dans laquelle les variables sont la surface du bassin et un coefficient dépendant de la longueur du drain principal. La première carte avec des isolignes représentant le débit moyen spécifique est attribuée à Newell en 1892 (cité par Anon, 1854, *in* Zavoianu, 1985).

6 Les travaux de l'Ecole d'Hydrologie de Russie vont marquer un tournant important : la surface, l'altitude moyenne et la longueur du cours d'eau principal suffisent désormais pour caractériser les écoulements à partir de formules empiriques[2]. Les indices morphométriques deviennent de plus en plus utilisées pour corroborer des hypothèses scientifiques. En utilisant des indices morphométriques, Jovanovic (1940) veut par exemple quantifier l'influence de différents facteurs sur l'allure du profil en long. Mais les données sommaires sur lesquelles Jovanovic s'appuie, et le fait qu'on ignore à l'époque les modalités de transport des sédiments, expliquent pourquoi ses résultats sont passés pour « *irréalistes* » (Zavoianu, 1985).

7 D'autres travaux tentent de connaître les lois d'organisation qui régissent un bassin versant comme l'encaissement ou la distribution des réseaux (Delahaye, 2005). Les hydrologues vont parallèlement tirer profit de la morphométrie pour comprendre la dynamique des processus hydrologiques, notamment par le biais du système d'indexation des réseaux hydrographiques et des lois de développement des cours d'eau établis par Horton (1932, 1945). Dans les années 1950, l'utilisation de la méthode d'ordination hortonienne se généralise (Pinchemel, 1950) et elle porte sur des réseaux aux formes et aux hiérarchies diversifiées. La *morphométrie* est considérablement enrichie par les travaux de bon nombre de chercheurs américains : Strahler (1952), Schumm (1956), Leopold et Miller (1956), Hack (1957), Melton (1957), Morisawa (1958), Scheidegger (1966), Shreve (1966), Smart (1968)… Les recherches de Strahler sont sans doute les plus importantes car, après avoir amélioré la classification d'Horton, Strahler fournit des fondements théoriques (concepts et lois) basées sur la physique, les mathématiques et les statistiques. Les travaux des anglo-saxons se démarquent des travaux américains tout en cherchant toujours à dégager des lois universelles ; leurs recherches portent sur les relations entre les indices morphométriques et sur l'application conjointes de modèles mathématiques et de méthodes statistiques (Doornkamp, 1968 ; Chorley, 1969 ; Gregory et Walling, 1973).

8 L'utilisation des indices dans les études géographiques va dès lors se généraliser en ayant pour but la mise en évidence de caractéristiques hydrologiques à l'échelle régionale. Dans son ouvrage de 1958, Strahler dénombre pas moins de 36 indices pour définir la géométrie des formes des cours d'eau, et 16 autres pour caractériser le comportement dynamique des bassins versants. Christofoletti (1970) présente dans ses premiers travaux les indices, les méthodes et les résultats obtenus sur une dizaine de bassins brésiliens, mais il calcule surtout une matrice de corrélations entre tous les indices. Vérifiant la signification des indices morphométriques tout en interprétant les valeurs par rapport à l'évolution géomorphologique et la lithologie de la région étudiée, l'approche de Christofoletti marque un bouleversement sur les études morphométriques futures qui vont systématiquement relier les indices aux caractéristiques du milieu (Milton, 1966 ; Abrahams, 1984 ; Zavoianu, 1985).

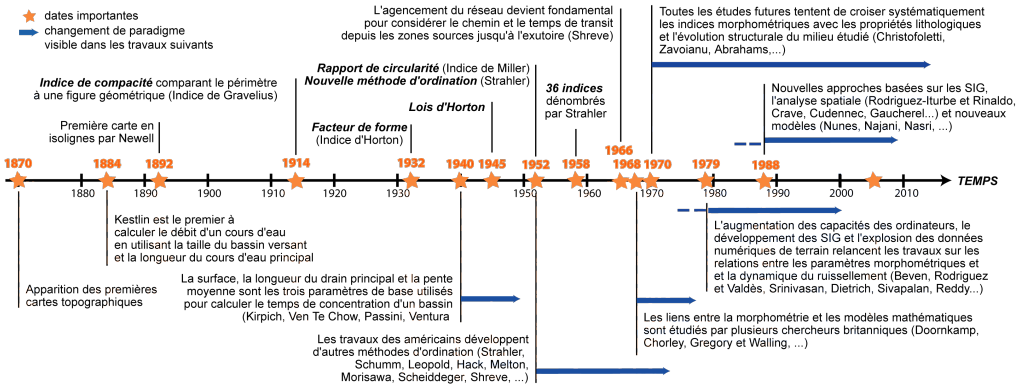


Figure 1 : Place et importance des indices morphométriques en hydrologie

9 L'agencement du réseau devient tout autant fondamental pour considérer le chemin et le temps de transit depuis les zones sources vers l'exutoire. La fonction-largeur (*width function*) de Shreve (1966), aussi désignée sous le nom « *fonction aire-distance* » par Rodriguez-Iturbe et Valdès (1979), reste encore aujourd'hui l'un des outils les plus pertinents (Moussa, 1991) pour relier la forme d'un bassin, son réseau hydrographique, et la réponse hydrologique qui découle de cette organisation. Les utilisations de nouvelles méthodes d'analyse comme les Systèmes d'Information Géographique (SIG) ou les outils dérivés de l'Intelligence Artificielle comme les Systèmes Multi-Agents (SMA) et les automates cellulaires (AC), bouleversent les utilisations de la morphométrie tout comme l'acquisition de données numériques de terrain et l'explosion des capacités de calcul des ordinateurs (Douvinet *et al.*, 2006). Plusieurs travaux gardent comme objectif la régionalisation de paramètres physiographiques (Gaucherel, 2003 ; Reddy et al., 2004) mais la plupart des études s'en démarquent. Certaines recherches tentent de reconstituer le développement des drains d'ordre 1 (Srinivasan et al., 1988 ; Dietrich et al., 1993). D'autres travaux portent sur les modes de propagation des crues (Beven et al., 1988 ; Serrat et Depraetere, 1997 ; Cudennec, 2000), sur la non linéarité des processus à l'origine de cette relation complexe entre la morphologie et la réponse hydrologique (Rodriguez-Iturbe and Rinaldo, 1997; Sivapalan *et al.*, 2002) ou sur la dimension fractale de certains indicateurs morphométriques (Breyer et Snow, 1992 ; Bendjoudi et Hubert, 2002).

Typologies des indices et composantes morphologiques associées

10 Ce rapide historique montre finalement à quel point les indices ont fait – et font toujours – l'objet d'application dans des travaux alliant des contextes et des problématiques différentes. S'ils ont été utilisés pour leur capacité à être appliqués en hydrologie, ces indices sont surtout devenus des outils de référence car ils sont simples et faciles à calculer (Gaucherel, 2003). Un état de l'art sur les indices les plus couramment utilisés en hydrologie (Delahaye *et al.*, 2005) a permis de voir que l'on peut les dissocier en quatre catégories bien distinctes (fig. 2): indices de forme, indices de volume (indices de pente), indices de réseaux et indices croisés.

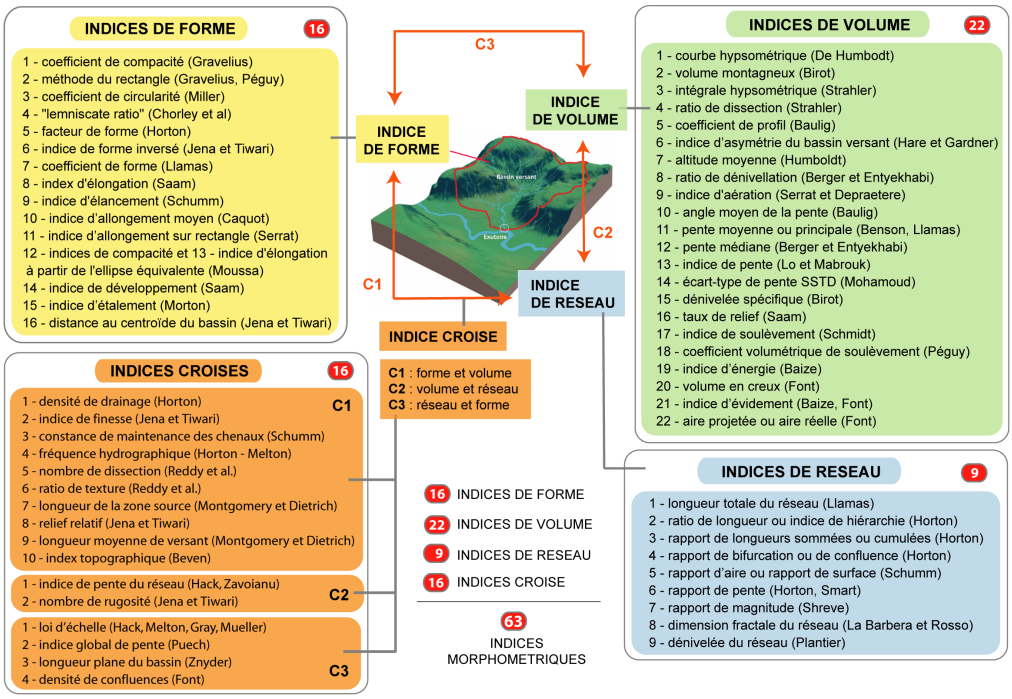


Figure 2 : Typologies des indices morphométriques couramment utilisés en hydrologie

d'après Delahaye et al. (2005)

11 Les *indices de forme s*'attachent à décrire la forme prise par le périmètre d'un bassin. Les *indices de volume* servent à décrire le relief d'un bassin et à analyser la répartition des altitudes (Delcaillau, 2004). Les *indices de réseaux* sont utilisés pour mesurer l'organisation hiérarchique et structurelle d'un réseau hydrographique. Quant aux indices croisés, ils ont une vocation plus synthétique en croisant deux des trois variables morphologiques : par exemple, la densité de drainage (Horton, 1932) rapporte une valeur de longueur (la longueur cumulée des cours d'eau) à une surface (l'aire du bassin) ; l'index topographique *Ti* de Beven (1997) fait, lui, le ratio entre l'aire du bassin et une mesure de volume (la pente moyenne). Au final ce sont plus de 57 indices qui ont été recensés (Delahaye *et al.*, 2005).

Lacunes et limites d'utilisation des méthodes classiques

12 Créant leurs propres mesures et outils d'analyse, les chercheurs ont tous apporté leur contribution pour quantifier chacune des variables morphologiques. « *Chacun a appliqué sa méthode en attendant que d'autres la reprennent* » souligne Baulig (1957). Malgré leur importance, ces indices restent cependant inadéquats lorsque l'on veut mesurer l'influence dynamique de la morphologie pour plusieurs raisons :

13 a) Certains problèmes sont inhérents à la date de construction des indices. Les morphologues ont imaginé des méthodes de plus en plus ingénieuses pour mesurer la forme d'un bassin, son volume, et la structuration d'un réseau hydrographique. Pourtant, la plupart des outils, créés dans les années 1930-1950, témoignent d'une morphométrie profondément ancrée dans une géomorphologie structurale essentiellement descriptive. Cette dernière s'est ensuite écartée de la morphométrie en se concentrant au suivi des processus érosifs élémentaires à petite échelle (Maire, 1996). Les méthodes appréhendent finalement les caractères statiques des bassins versants, dans un espace plan à deux dimensions (2D) où il est plus facile de les décrire face à la complexité des processus hydrologiques qui s'y passent. Gaucherel (2003) confirme que ces indices n'ont jamais considéré la dynamique hydrologique qui reste difficile à mesurer.

14 b) Chacune des trois composantes morphologiques (forme, volume, réseau) est décrite avec un indice spécifique. Cependant, cette approche « *cloisonnée* » limite considérablement l'intérêt des résultats si on veut mesurer l'influence de la morphologie dans sa globalité (Delahaye, 2002 ; Delahaye *et al.,* 2007). La forme d'un bassin peut par exemple être compensée par l'organisation du réseau hydrographique ou par le système de pentes. Pour des bassins ayant une compacité ou une circularité identiques, le système de pentes ou la structuration des cours

d'eau ont plus d'importance. Deux bassins peuvent également avoir une forme différente mais occuper un espace identique : l'indice de compacité Kf (Gravelius, 1914), sera similaire alors que le temps de concentration Tc est différent (fig. 3). De manière conjointe, les indices d'allongement ou d'élongation abordent la forme du bassin versant dans une dimension plane qui ne prend pas en compte le dynamisme imposé par le relief. A l'opposé, un réseau très hiérarchisé peut avoir une réponse potentielle amoindrie par de faibles pentes ou une forme allongée du bassin.

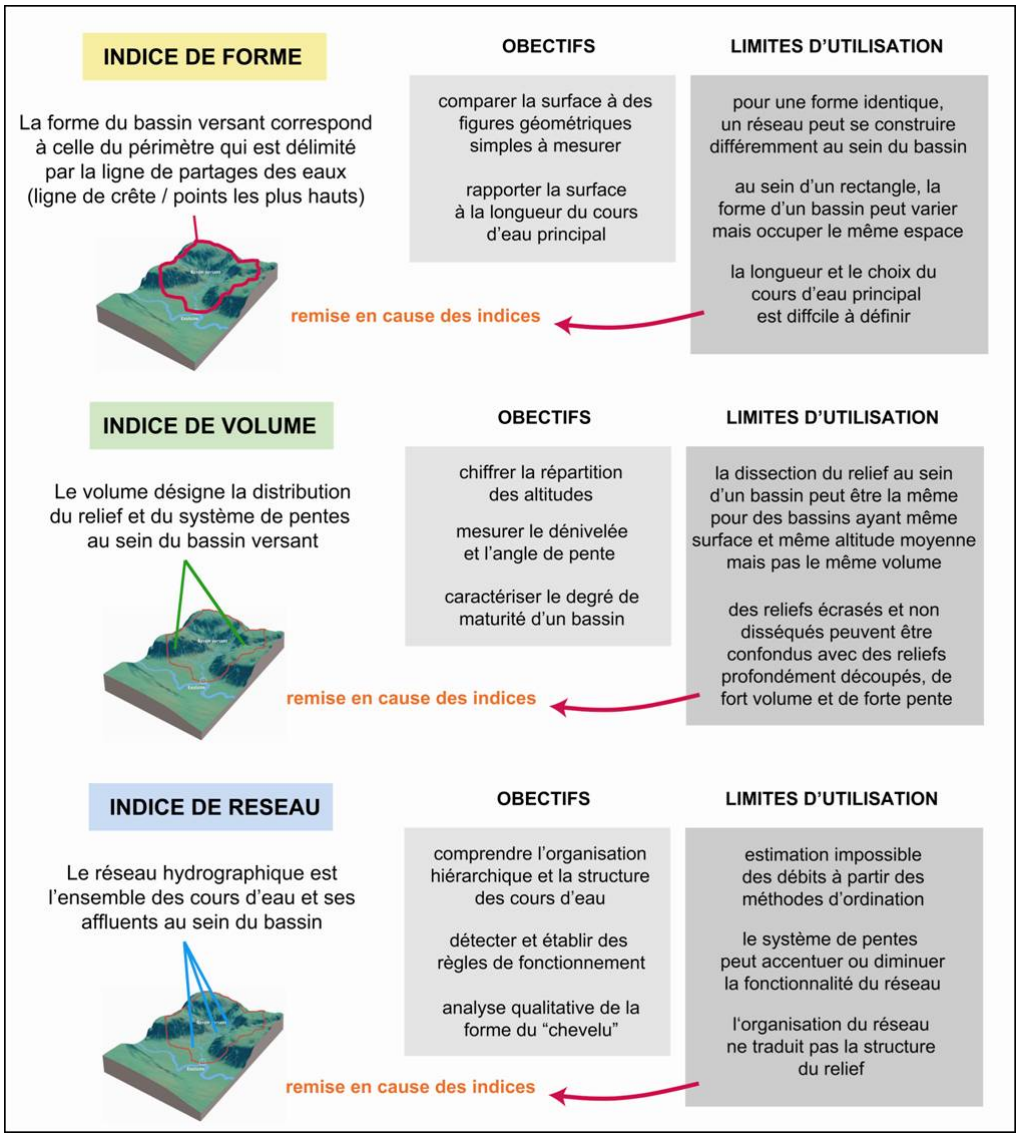


Figure 3 : Objectifs et limites d'utilisation des indices de forme et indices de réseaux.

15 c) Concrètement, chaque indice manque de pertinence lorsqu'il est appréhendé de manière séparée. Le *système morphologique* [perçu ici comme la combinaison spatiale entre la forme d'un bassin, son système de pentes et l'organisation de son réseau hydrographique] doit désormais être caractérisé par une méthode plus globale (Delahaye, 2002).

16 d) Plusieurs études récentes soulignent le faible apport des indices dans l'analyse des processus hydrologiques, lié justement au fait que les indices soient *« séparés », « statiques »* et « *non synthétiques* ». Les géographes français se sont rapidement écartés en restant à la marge des travaux américains, russes et britanniques dans les années 1950. Baulig (1959) souligne que les indices sont d'un grand secours à condition que leur utilisation s'applique sur des bassins simples et connus. Afin de vérifier les lois hortoniennes sur un certain nombre de cours d'eau français, Hirsch (1962) effectue une analyse des relations morphométriques mais il ne trouve pas de lien direct entre le débit et la surface d'un bassin. Des auteurs vont jusqu'à critiquer très violemment la morphométrie : pour Birot (1955), les indices d'Horton ne font que confirmer

certaines « *lapalissades géométriques* » ; Tricart (1991) qualifie, lui, les lois de réseaux de « *banales* » ; Lambert (1996) va même encore plus loin : pour lui, « *il s'agit de géométrie, de géométrie plane, et non de géographie* ».

17 e) Les indices sont aussi fortement dépendants de l'échelle de mesure. Prenons l'exemple des indices de formes : en raison de sa dimension fractale, la valeur du périmètre varie suivant l'échelle d'observation (Bardossy et Schmidt, 2002 ; Bendjoudi et Hubert, 2002), ce qui peut jouer par la suite sur la valeur de l'indice de compacité, qui du coup, perd de son objectivité.

18 f) À force de vouloir être applicable sur tous les bassins, on remarque que la morphométrie a perdu une partie de son objectivité. Les indices sont vérifiés pour de nombreuses régions et ils ne sont utilisés aujourd'hui qu'à des fins de comparaison. Ces méthodes morphométriques restent d'autant plus éloignées de la réalité car les indices traduisent un comportement général moyen du bassin versant (Llamas, 1996). Ils sont devenus de simples outils de présentation, et la place qu'occupent ces indices au sein des ouvrages hydrologiques de référence et dans les études hydrologiques est à cet égard très révélatrice.

19 S'il ne prétend pas à l'exhaustivité, ce constat s'avère donc particulièrement négatif : il n'existe pas de moyens pour mesurer de manière synthétique l'organisation spatiale de ces combinaisons ni même leur dynamique potentielle (Delahaye, 2002). En s'appuyant sur la théorie des systèmes complexes et notamment les automates cellulaires, le travail présenté propose de développer de nouvelles méthodes permettant de quantifier de manière synthétique et dynamique la réponse potentielle du système spatial complexe nommé « *bassin versant* » (Delahaye, 2005 ; Douvinet *et al.*, 2006).

Développements méthodologiques

Présentation de *Ruicells*, un Automate Cellulaire Géographique

20 Dans le cadre d'un premier travail, l'automate cellulaire *RuiCells* avait été utilisé pour simuler l'influence dynamique de l'organisation spatiale des composantes morphologiques sur la formation du ruissellement érosif. Le format restreint de cette présentation ne permet pas de décrire de manière détaillée l'automate ni même de montrer l'ensemble des applications possibles (Delahaye *et al.,* 2001 ; Langlois et Delahaye, 2002 ; Delahaye *et al.,* 2007).

21 Le concept classique d'Automate Cellulaire tel que défini par Wolfram (2002) a dû être généralisé pour pouvoir modéliser à la fois la structure variable des éléments de terrain et la connectique entre les cellules. Les liens d'écoulements ne sont plus guidés uniformément par la topologie de voisinage du réseau cellulaire, mais par les liens structurant la surface. La démarche s'appuie donc sur un automate cellulaire dont les cellules sont de formes et de dimensions variables (point, ligne, surface) et dont les liens traduisent directement la structure morphologique de la surface (Delahaye *et al.*, 2001). La principale difficulté était de relier les variables topographiques (l'altitude et ses dérivées) aux variables hydrauliques tels que la direction et le sens des écoulements sur le maillage triangulaire. Dès lors se pose le problème de savoir si cet automate peut encore être considéré comme un Automate Cellulaire. Modifié pour répondre à une problématique géographique, nous considérons que *RuiCells* fait partie de la catégorie des Automates Cellulaires Géographiques (ACG), terme récemment utilisé par Ménard et Marceau (2006), et qu'il répond toujours à certaines règles de bases des ACs.

22 L'automate *RuiCells* provoque la transition des surfaces de cellule en cellule via les axes de circulation qui s'auto-organisent en fonction de la morphologie du terrain, en suivant le même principe que pour un écoulement. A chaque itération, les cellules se vidangent dans les cellules qui sont connectées en aval et reçoivent les surfaces venant de celles situées en amont (fig. 4). Les entrées et les sorties sont comptabilisées pour chaque cellule en mode synchrone, c'est-à-dire au même moment. Le processus itératif est discret, et les itérations dépendent de la résolution du Modèle Numérique de Terrain (MNT) qui définit la taille du maillage.

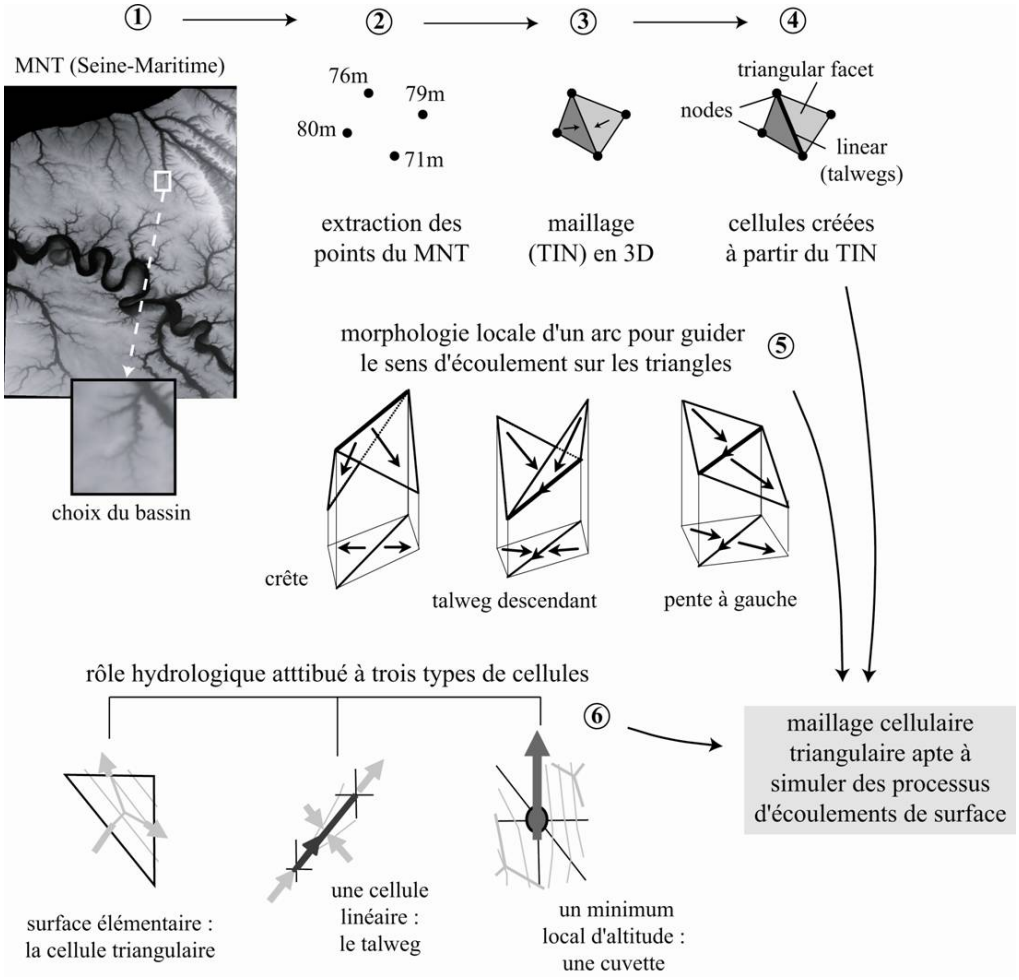


Figure 4 : Construction du maillage topologique cellulaire sur l'automate RuiCells

d'après Delahaye et al. (2001) ; Langlois et Delahaye (2002) ; Delahaye et al. (2007)

Création d'indices morphométriques à partir des simulations numériques

23 Deux types de simulations sont alors possibles : soit les surfaces sont cumulées au fur et à mesure des itérations ; soit la pente est introduite par le biais d'un modèle hydrologique où les surfaces sont considérées comme un volume d'eau d'une hauteur unitaire. Cette double approche permet d'analyser le poids de chaque composante sur la réponse hydrologique de surface. Nous nous limiterons au premier type de simulation qui prend en compte les surfaces ainsi que le réseau. Une cartographie des surfaces passées dans chacune des cellules présente la structuration des axes pris par les écoulements. Un graphique (« *surfaçogramme* ») cumule les surfaces passées à l'exutoire à chaque itération (Fig. 5). On améliore considérablement la *fonction largeur* puisqu'on considère toute la surface du bassin versant et non plus seulement le nombre de drains situés à équidistance de l'exutoire (Shreve, 1966).

24 Des indices sont proposés à partir des graphiques résultant des simulations numériques. Les points de mesure sont choisis par l'utilisateur ; les simulations sont donc possibles en tout point de l'espace et sur n'importe quel type de cellule. Le débit moyen de surface (Qmoy) correspond à la surface du bassin divisée par la distance nécessaire pour que la cellule la plus éloignée se vidange à l'exutoire (Dv). Cette valeur s'apparente au temps de concentration. Le débit maximum de surface (Qmax), que l'on peut considérer ici comme la *pointe de débit*, mesure la longueur maximale de la bande de cellules équidistantes de l'exutoire. Qmax est de la dimension d'une surface mais, en fait, il mesure la variabilité d'une longueur (la longueur de cellules) au sein de la forme donnée par le périmètre du bassin versant. On mesure aussi la distance pour atteindre cette pointe de débit (DQmax) et un coefficient (Cc) pour quantifier l'intensité de la montée en rapportant Qmax par DQmax.

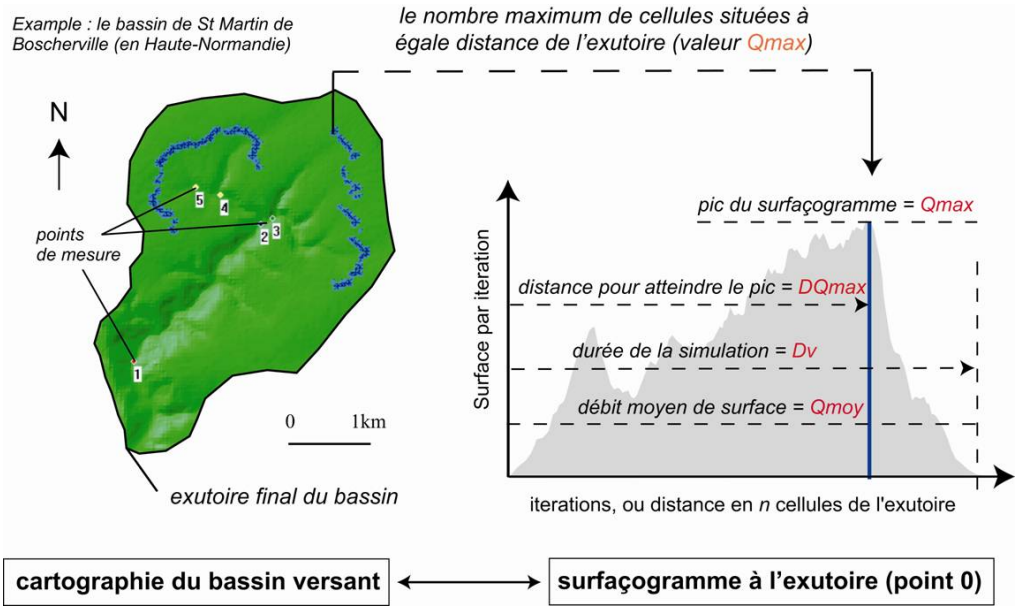


Figure 5 : Indices créés à partir de la réponse théorique d'un bassin (surfaçogramme).

d'après Douvinet et al. (2007a) et logiciel RuiCells.

25 Ces indices sont simples et rapides à calculer. Ils ressemblent aux paramètres de base souvent utilisés comme référentiels en hydrologie (temps de concentration, temps de montée, pic de crue). On retrouve des similitudes dans un hydrogramme unitaire (Llamas, 1993) ou dans un « *hydrogramme géomorphologique impulsionnel* » (Serrat et Depraetere, 1997).

Résultats à l'échelle globale des bassins :Effets de taille et lois d'échelle

26 Les simulations des écoulements surfaciques ont été effectuées sur 422 bassins de petite et moyenne taille (<60km²) présentant des formes, pentes et réseaux hydrographiques différents. Les premiers résultats obtenus à l'exutoire des bassins, soit à une échelle globale, montrent l'influence de la taille des bassins versants. La relation entre le débit maximum de surface (Qmax) et la surface des bassins (r^2=0,83) donne une loi puissance de type $Qmax=\alpha A^{\beta}$ avec α=0,32 et β=0,54. Les valeurs du débit moyen Qmoy (r^2=0,90) et la distance de vidange Dv (r^2=0,88) augmentent elles aussi lorsque les bassins s'agrandissent. Ces trois relations ne sont pas linéaires : les équations traduisent à chaque fois des *lois puissances (scaling laws) avec* $^{\beta}$ proche de 0,5 qui deviennent des droites sur des graphiques *log-log*.

27 Les indices augmentent de manière non proportionnelle avec la taille des bassins versants. Ces relations confirment la présence d'une loi d'échelle déjà bien connue en hydrologie. Elle est notamment évoquée sous la forme d'une relation asymptotique dans plusieurs travaux (Menabde *et al.*, 2001 ; Mantilla *et al.*, 2005). Les résultats obtenus pour la relation distance de vidange Dv v.s. la taille des bassins A sont à rapprocher de la loi de Hack (1957) qui est de type $Lmax=1,4A^{0,5}$ avec Lmax la longueur du drain principal. On peut directement faire le lien avec la loi de Hack (1957) où la longueur du drain principal et la surface sont reliées par une loi puissance. L'ensemble des travaux postérieurs ayant appliqué la loi de Hack (Gray, 1961 ; Mueller, 1973 ; Crave, 1995) vérifient la présence de cette loi d'échelle.

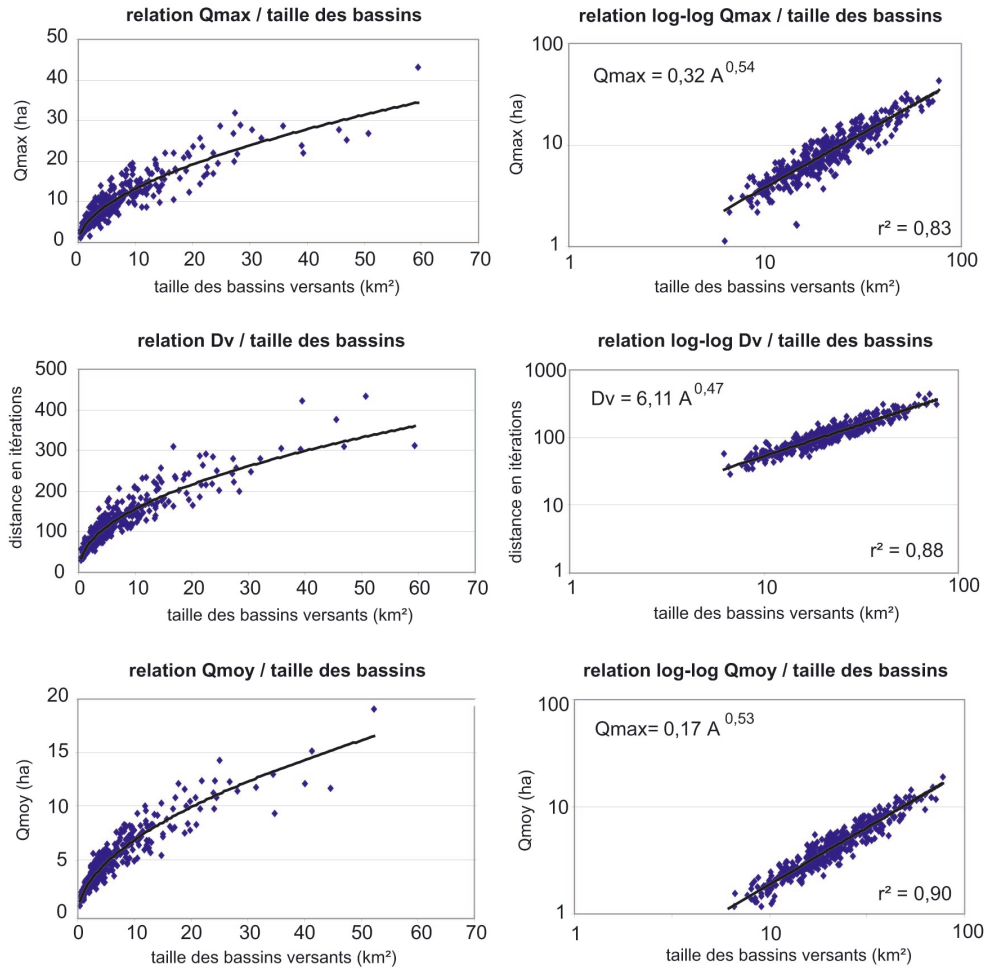


Figure 6 : Relations entre Qmax, Dv et Qmoy versus la taille des bassins versants.

d'après Douvinet et al. (2007b)

28 Les relations sont pourtant loin d'être aussi simples : les écarts entre des bassins de même taille vont parfois du simple au double sur les graphiques. Plus la taille des bassins augmente, plus les formes et les configurations internes du réseau hydrographique présentent une grande diversité ; par conséquent les écarts se creusent lorsque la taille s'accroît. Cela paraît somme toute assez logique : une arrivée en phase, ou à l'inverse, un décalage dans les apports des surfaces, ne vont pas générer les mêmes surfaçogrammes. Une structure chaotique du réseau donnera une allure plus ramassée qu'un bassin compact et présentant une forte homothétie interne (fig. 7), où la réponse sera à la fois plus forte et plus courte (Douvinet *et al.*, 2006).

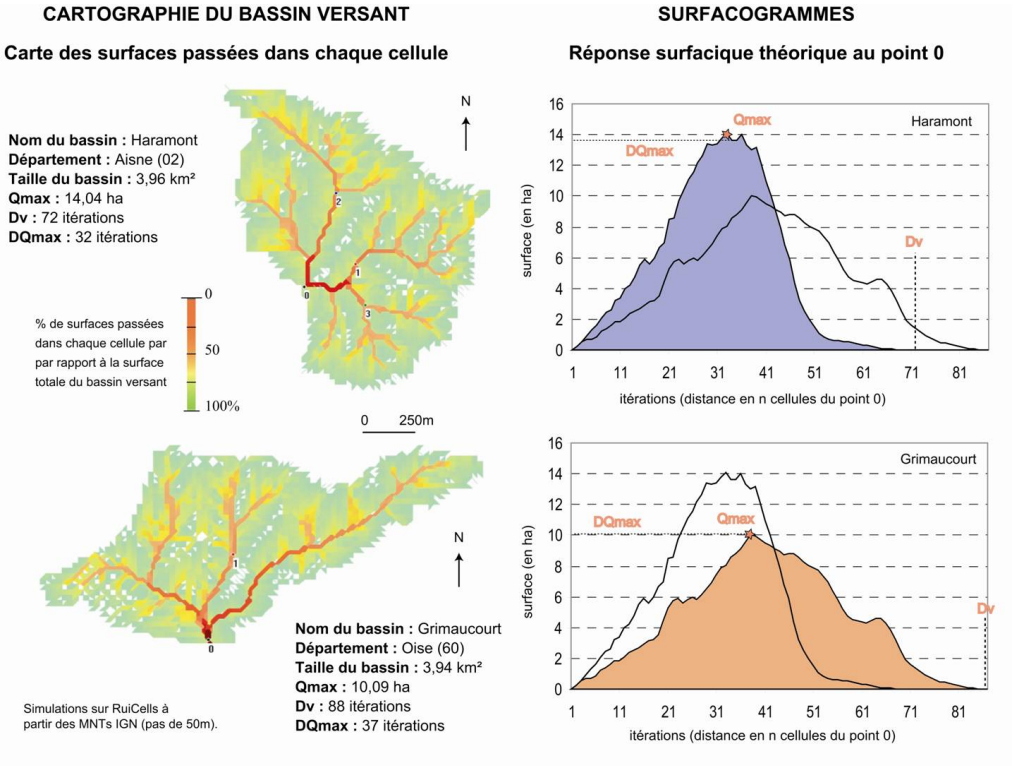


Figure 7 : Importance de l'organisation spatiale des surfaces et des réseaux au sein des bassins versants : Deux surfaçogrammes différents pour des bassins de taille similaire

Mesure de l'efficacité morphologique structurelle à l'échelle locale

A la recherche d'indicateurs synthétiques

29 Afin de détecter les configurations spatiales les plus efficaces tout en s'affranchissant de l'effet de taille, nous proposons un indice P [1] rapportant la pointe de débit Qmax, mesurée sur chaque cellule, à la surface A en amont de cette cellule (Delahaye, 2002) :

$$P = \frac{Q\max}{A} * 100$$

[1]

30 La taille des bassins et P ont évidemment une forte relation non linéaire (r^2=0,78) mais cette fois-ci, l'effet d'échelle est inverse ($^{\beta}$ = -0,46). Plus la taille du bassin augmente, plus la valeur P diminue car la surface augmente plus vite que Qmax (Fig. 8). Le plus intéressant est surtout de suivre la chute de cet indice P au sein d'un bassin versant. En effet, si le réseau reste hiérarchisé, P va diminuer lentement, alors que si le réseau est chaotique ou si la forme du bassin s'allonge, P risque de chuter très rapidement puisque la valeur Qmax reste la même. En fonction des configurations internes des bassins, des différences s'observent ainsi depuis les zones sources vers les exutoires des bassins.

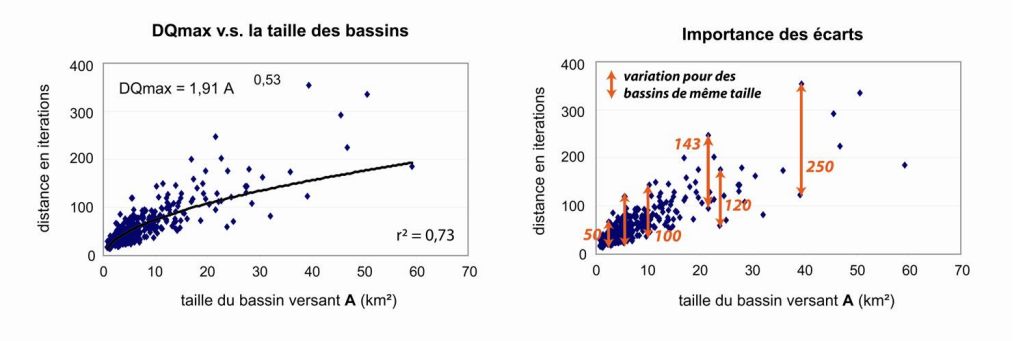


Figure 8 : L'indice P v.s. la taille des bassins et écarts pour des bassins de même taille.

d'après Douvinet et al. (2007) – modifié.

31 La trajectoire de P est différente d'un bassin à un autre. Pour illustrer notre propos, nous avons suivi l'évolution de P au sein de trois bassins versants de même taille (Fig. 9). Les apports simultanés des drains secondaires dans la partie amont de St Martin donne un indice P élevé, tout comme en amont du bassin de Milleville, même si le nombre de drains y est moins important. Les confluences au sein des deux bassins ont des indices élevés par rapport à la tendance générale observée sur les autres bassins. Les parties amont y sont structurellement efficaces, mais la forme allongée des bassins fait en revanche chuter la valeur P aux deux exutoires, Qmax n'augmentant plus. L'échelle globale masque donc l'efficacité locale de certaines sous unités. Dans ce cas, l'échelle du « *bassin versant* » proprement dite ne convient pas pour l'analyse de l'efficacité morphologique structurelle (Delahaye et al., 2007).

32 Bien que de taille similaire, le bassin de la Lézarde ne réagit pas de la même manière que les deux autres bassins. Aucun indice supérieur à 3 n'est détecté au sein du bassin ; la valeur P tend à rester constante malgré l'augmentation de la taille du bassin versant. Les contributions croissantes et régulières des sous bassins donnent un débit de pointe important uniquement à l'exutoire. Un tel comportement se caractérise par une forte *homothétie interne* (Rodriguez-Iturbe et Rinaldo, 1997).

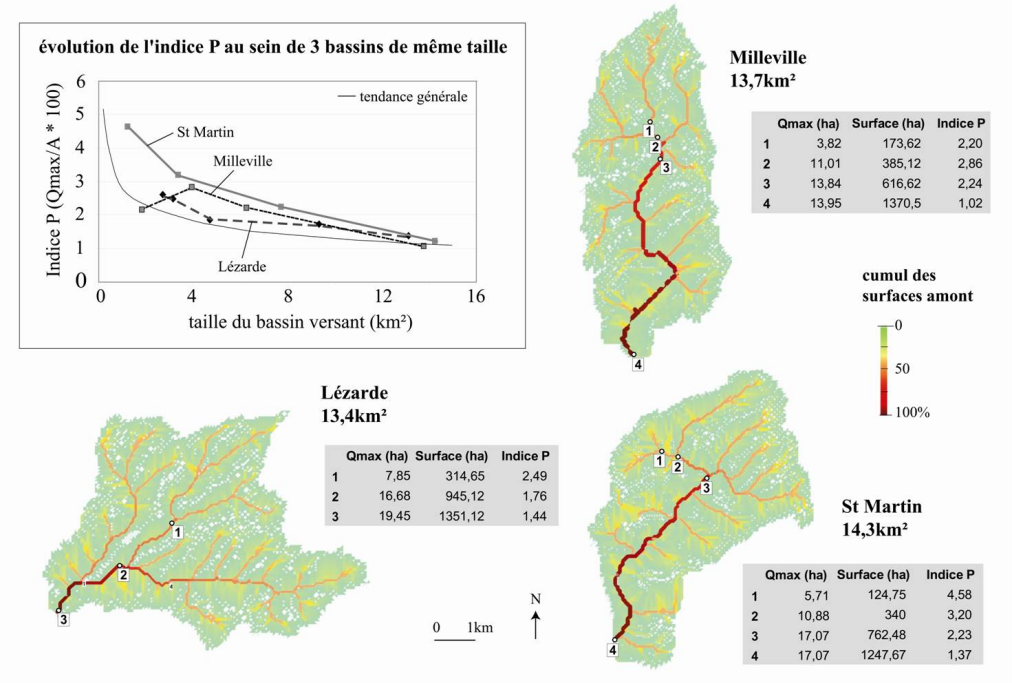


Figure 9 : Trajectoires de l'indice P au sein de 3 bassins versants de taille similaire.

33 L'indice P met finalement en évidence des « *anomalies* » dans la structuration hiérarchique interne des bassins versants (forme et réseaux). Les valeurs P chutent rapidement et sont très disparates dans les parties amont des bassins versants. En revanche, l'indice P semble se stabiliser à partir de 10 km². Les résultats obtenus prouvent aussi que l'échelle globale d'un

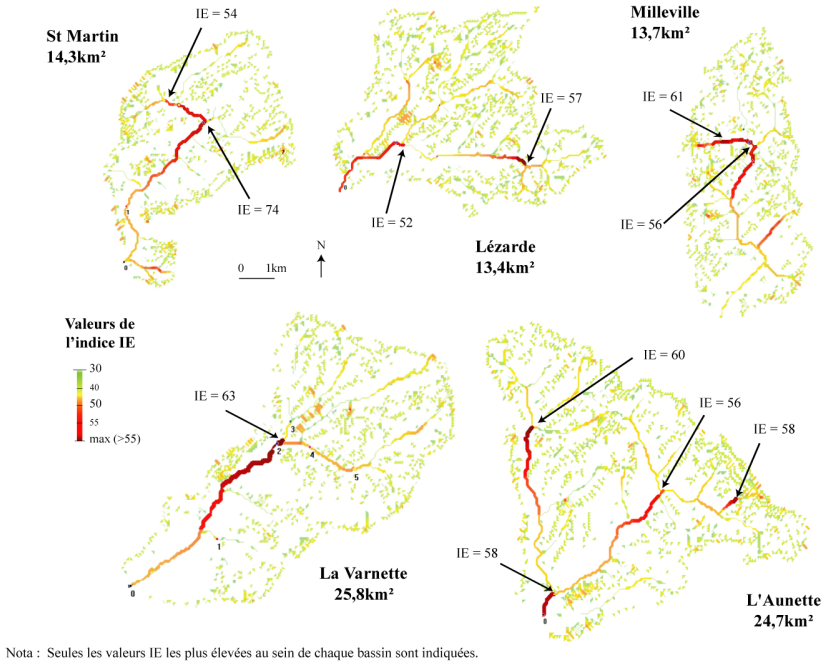
bassin peut masquer l'efficacité locale de sa structuration interne. P perd toutefois une partie de son objectivité pour les grands bassins (la valeur étant trop faible pour pouvoir en dégager une quelconque information) et pour les lignes de crête où les valeurs fortes sont dues à des irrégularités du maillage numérique de terrain). Une cartographie de l'indice P ne représente pas grand intérêt car les valeurs sont trop faibles (fig. 9).

34 Afin d'améliorer la mesure de l'efficacité structurelle, nous proposons de recalculer pour chaque cellule du bassin un nouvel indice, noté IE (abréviation d'un Indice d'Efficacité). On rapporte cette fois-ci la valeur Qmax à la racine carrée de la surface en amont de la cellule [2]. La racine carrée corrobore les relations puissances trouvées précédemment (Fig. 6). Qmax étant rapporté à une longueur (puisque la racine carrée équivaut au diamètre moyen de la surface amont), l'indice IE devient totalement adimensionnel.

$$IE = \frac{Q\max}{\sqrt{A}} * 100 \quad [2]$$

L'indice d'efficacité IE, un nouvel outil analyse ?

35 Les fortes valeurs soulignent que Qmax, qui est la longueur maximale de cellules situées à égale distance de l'exutoire, est élevé eu regard du diamètre moyen du bassin. Ces valeurs identifient en fait les points de convergence en amont desquels le réseau est bien hiérarchisé au sein d'une forme compacte (Fig. 10). Afin de montrer les apports de cet indice, nous avons repris les trois bassins précédemment choisis. Les valeurs très fortes (en rouge) identifient les points névralgiques à l'intérieur du bassin où le réseau est très efficace vis-à-vis de la forme dans laquelle il s'insère. Sur le bassin de St Martin, la partie amont ressort bel et bien comme une zone de forte efficacité d'un point de vue morphologique. Les autres bassins présentent aussi des convergences qui s'individualisent, soit au sein du bassin versant, soit à son exutoire. Ces points n'avaient auparavant jamais été identifiés comme ayant un réseau qui spatialement serait si fonctionnel, d'où le grand intérêt de descendre à l'échelle locale ou cellulaire.



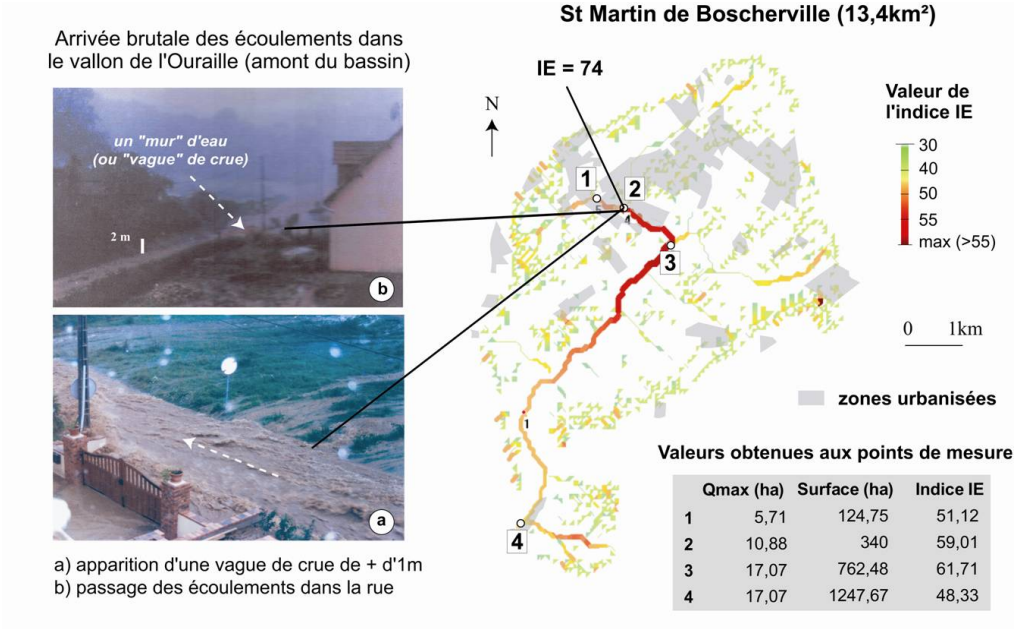
Nota : Seules les valeurs IE les plus élevées au sein de chaque bassin sont indiquées.

Figure 10 : Cartographie de l'indice d'efficacité IE et émergence de points névralgiques en amont desquels le réseau est structurellement efficace.

36 Ces résultats montrent qu'il est plus important de quantifier l'efficacité structurelle du réseau plutôt que de s'attacher aux formes prises par les bassins versants. L'indice IE étant adimensionnel, les valeurs mentionnées permettent de mesurer et comparer la réactivité des

différentes entités spatiales en tout point de l'espace. La partie en amont de Saint Martin de Boscherville a ainsi un potentiel aussi important que l'amont des bassins de Milleville ou de la Lézarde. Par contre, la partie amont de St Martin, déjà identifiée par l'indice P, ressort bel et bien comme une structure morphologique *« hyper efficace »* avec un indice IE de 74. Sur la totalité des 422 bassins testés, aucun n'atteint l'efficacité de cette sous entité. La cartographie de cet indice d'efficacité IE peut par conséquent être proposée comme nouvel outil d'analyse de l'inscription d'un réseau au sein d'une forme (Douvinet, 2006 ; Delahaye et al., 2007).

37 De façon surprenante, les cellules où les valeurs IE sont les plus élevées sur le bassin de St Martin correspondent exactement à la zone qui a été touchée par des écoulements violents lors de la crue rapide du 16 juin 1997 (Delahaye, 2002). De forts cumuls de pluie (80mm en 6h) ont produit d'importantes quantités de ruissellement en surface et les dégâts ont été importants dès l'amont du bassin. Cet indice permettrait-il alors de dégager des secteurs potentiellement réactifs lors de violents écoulements de surface ? En comparant l'efficacité structurelle d'un réseau avec les secteurs urbanisés, potentiellement vulnérables, serait-il aussi envisageable de définir des zones à risque (Douvinet *et al.,* 2007b) et mieux comprendre les zones touchées en cas de fortes pluies (Douvinet, 2006) ?



	Qmax (ha)	Surface (ha)	Indice IE
1	5,71	124,75	51,12
2	10,88	340	59,01
3	17,07	762,48	61,71
4	17,07	1247,67	48,33

Figure 11 : Comparaison entre l'efficacité structurelle des bassins versants et les zones urbanisées potentiellement vulnérables : une nouvelle méthode d'évaluation du risque ?

d'après Douvinet et al. (2007b), modifié.

Conclusion

38 De nouveaux indices morphosynthétiques sont donc proposés pour mesurer l'influence de la morphologie sur la dynamique de la réponse hydrologique en tout point de l'espace. Des indices simples se basent sur la simulation théorique des écoulements (Qmax, Qmoy, Dv). Un effet d'échelle induit par la taille des bassins versants est confirmé. Les autres indices sont définis afin de détecter le potentiel et l'efficacité des réseaux au sein de bassins versants d'une grande variété (Indice P, Indice IE). L'indice P nous montre que le potentiel d'une surface a tendance à s'homogénéiser lorsque la taille des bassins augmente, notamment au-delà du seuil de 10km². Par contre, les variations pour des surfaces amont plus petites (<10km²) peuvent devenir importantes. Elles traduisent directement le rôle joué par l'inscription d'un réseau au sein d'une forme spécifique plus contraignante. On retrouve très bien cette influence à travers la cartographie de l'indice IE où l'efficacité morphologique est même quantifiable.

39 Par rapport aux indices morphométriques classiques, notre approche prend en compte la dynamique spatiale induite par l'organisation des surfaces et des réseaux au sein même des bassins versants. Alors que les indices classiques ont toujours été créés pour voir si la forme d'un bassin versant (allongement, compacité, circularité) influençait le régime des cours d'eau,

ou si des lois d'organisation comme l'encaissement ou la distribution des réseaux (homothétie interne) régissaient l'organisation d'un bassin versant, ces nouveaux indices tentent de traquer les « *anomalies* » qui déterminent des comportements originaux. Le but n'est donc plus de chercher des lois universelles mais d'identifier des particularités à l'échelle locale, d'autant que l'échelle globale, traduisant la combinaison de toutes les interactions locales efficaces ou non, masque très souvent des sous unités très fonctionnelles…

Bibliographie

Abrahams A.D. – 1984: Channel networks: a geomorphological perspective. *Water Resources Research,* vol. 20, 161-168.

Bardossy A., Schmidt F. – 2002 : GIS approach to scale issues of perimeter-based shape indices for drainage basins. *Hydrological Sciences*, vol. 47, n° 6, 931-942.

Baulig H. – 1957 : Les méthodes de la morphologie d'après P. Birot. *Annales de Géographie, Bulletin de la Société de Géographie*, vol. 66, n° 354, 97-124.

Baulig H. – 1959 : Morphométrie. *Annales de Géographie, Bulletin de la Société de Géographie*, vol. 68, n° 369, 285-408.

Bendjoudi H., Hubert P. – 2002 : Le coefficient de compacité de Gravelius : analyse critique d'un indice de forme des bassins versants. *Revue des sciences hydrologiques – Hydrological sciences*, vol. 47, n° 6, 921-930.

Beven K., Woods E.F., Sivapalan M., "On hydrological heterogenity – catchment morphology and catchment response", *Journal of hydrology*, vol. 100, 1988, pp. 353-375.

Birot P. – 1955 : *La méthode de la morphologie*. Editions Orbois, Collection PUF, 180 p.

Bravard J. et Petit F. – 2000 : *Les cours d'eau ; Dynamique du système fluvial*. Editions Armand Colin, Collection U, Paris, 222 p.

Breyer, S.P. et Snow, R.S. – 2002 : Drainage basin perimeters: A fractal significance, in Snow R. S., Mayer L. (eds.), *Special issue on "Fractals in Geomorphology"*, *Geomorphology*, vol. 5, 143-157.

Chorley R. J. – 1969 : *Water, Earth and Man: a synthesis of hydrology, geomorphology and socio-economic geography*, Meuten and Company Ltd (eds), London, 590 p.

Christofoletti A. – 1970 : *Análise morfométrica das bacias hidrográficas do Planalto de Poços de Caldas (MG),* Tese de Livre Docência, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Rio Claro, Brasil, 1970.

Cosandey C. et Robinson M. – 2000 : *Hydrologie continentale*, Armand Colin, Paris, 360p.

Cosandey C. – 2003 : *Les eaux courantes*, Editions Belin, Collection Géographie, Paris, 240 p.

Crave A. – 1995 : Quantification de l'organisation des réseaux hydrographiques, Thèse de Doctorat, Université de Rennes 1, 210 p.

Cudennec C. – 2000 : *Description mathématique de l'organisation du réseau hydrographique et modélisation hydrologique,* Thèse de Doctorat, ENSAR, Rennes 1, 260 p.

Dietrich W. E., Wilson C. J., Montgomery D. R. et McKean J. – 1993 : Analysis of erosion threshold, channel network and landscape morphology using a digital terrain model. *Journal of Geology*, vol. 3, 161-180.

Delahaye D. – 2002 : *Apport de l'analyse spatiale en Géomorphologie. Modélisation et approche multiscalaire des risques.* Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Rouen, 2 tomes, 471 p.

Delahaye D. – 2005 : Modélisation d'un système spatial complexe : le bassin versant. In Guermond Y. (Eds), *Modélisations en géographie – Déterminismes et complexités*. Collection IGAT, Paris, Hermès-Lavoisier , 235 - 259.

Delahaye D., Guermond Y., Langlois P. – 2001: Spatial interaction in the runoff process. *Proceedings of the12th ECTG2001,European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography*, St Valéry en Caux, France, 2001, http://www.cybergeo.eu/index3795.html.

Delahaye D., Douvinet J., Langlois P. – 2005 : Rapport à mi-parcours du programme ACI Systèmes Complexes en SHS. *Actes des Journées Systèmes Complexes en SHS*, Paris, 61-69.

Delcaillau B. – 2004 : *Reliefs et tectonique récente*, Ed. Vuibert, Paris, 259 p.

Doornkamp, J. C. – 1968 : The role of inselbergs in the geomorphology of southern Uganda. *Transactions of the Institute of British Geographers*, vol. 44, 151–162.

Douvinet J. – 2006 : Intérêts et limites des données « CatNat » pour un inventaire des inondations : l'exemple des crues rapides liées à de violents orages (Bassin Parisien, Nord de la France). *Norois*, n ° 201, 2006/4, 17-30.

Douvinet J., Delahaye D., Langlois P. – 2007a : De la morphométrie à un champ de mesure de l'efficacité structurelle d'un bassin versant. *Actes du colloque international de Géomatique et d'Analyse Spatiale SAGEO'2007*, Clermont-Ferrand, CD-ROM, 16 p.

Douvinet J., Delahaye D., Langlois P. – 2007b : Use of Cellular Automata in Physical Geography. *Proceedings of the XIVth European Colloquium of Theoretical and Quantitative Geography, ECTQG, 7-11 sept.*, Montreux, Suisse, 4 p.

Douvinet J., Delahaye D., Langlois P. – 2006 : Application of cellular automata modelling to analyse the dynamics of hyper-concentrated stream flows on loamy plateaux (Paris Basin, North-western France). *Proceedings of the 7th International Conference on HydroInformatics, "Innovate and share", HIC2006,* 4 – 8 Septembre 2006, Nice, Volume 2, 1088-1094.

Gaucherel C. – 2003 : Pertinence de la notion d'indicateur pour la caractérisation du bassin versant, *Espace Géographique*, vol. 3, 265-281.

Gray M. – 1961 : Interrelationship of watershed characteristics. *Journal of Geophysical Research*, vol. 66, 1215–1223.

Gregory, K. J. et Walling D.E. – 1973 : *Drainage Basin form and process – A geomorphological approach.* Edward Arnold Ltd (eds), London, 458 pp

Hack, J.T. – 1957 : Studies in longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland. *Union Society of Geological Survey*, Prof. Pap. 249-B, 45–97.

Hauchard E. – 2001 : *De la dynamique non linéaire à la dynamique du relief en géomorphologie – Application aux bassins versants de la marge Nord-occidentale du Bassin de Paris*, Thèse de Doctorat, MTG, Université de Rouen, 3 Volumes, 730 p.

Hirsch M. – 1962 : Méthode de prévision des débits des cours d'eau par l'analyse morphométrique des réseaux fluviatiles. *Revue de Géomorphologie* Dynamique, vol. 13, 97-108.

Horton R.E. – 1932 : Drainage basins characteristics. *Transaction American Geophysical Union(TAGU),* vol. 13, 350-361.

Horton R.E. – 1945 : Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America*, vol. 56, 275–370.

Jovanovic, P. S. – 1940 : Les Profils Fluviatiles en Long, leurs Formes et leur Genèse : Essai de méthodes morphogénétiques nouvelles, in Zavoianu I, *Morphometry of drainage basins*. Developments in water science, vol. 20, 1985, 238p.

Lambert R. – 1996 : *Géographie du cycle de l'eau*, Editions Presses Universitaires du Mirail (PUM), Toulouse, 439 p.

Langlois P. et Delahaye D. – 2002 : Ruicells, automate cellulaire pour la simulation du ruissellement de surface », *Revue Internationale de Géomatique*, vol. 12, n° 4, 461-487.

Leopold L. B. et Miller R. L. – 1956 : Ephemeral stream-hydraulic factors and their relation to the drainage network". *USGS Professional Paper*, n° 282-A, 1956.

Llamas J. – 1993 : *Hydrologie générale. Principes et application*, Gaétan Morin (eds), Québec, 2ème édition, 527 p.

Maire M. – 1996 : L'éclatement actuel de la géographie physique en France : relations avec la Nouvelle Géographie et les sciences de la Terre depuis 1968. *Géomorphologie, risques naturels et aménagement. Hommage à M. Julian*., Revue d'Analyse spatiale Quantitative et Appliquée, n° 38-39, 289-300.

Mantilla R., Gupta V.K. et Mesa O.J. – 2006 : Role of coupled dynamics and real network structures on Hortonian scaling of peak flows. *Journal of Hydrology XX*, 1-13.

Menabde M., Veitzer S., Gupta V.K. et Sivapalan M. – 2001 : Test of peak flow scaling in simulated self-similar river networks*", Advances in Water Resources*, vol. 24, 991-999.

Ménard A. et Marceau D.J. – 2006 : Simulating the impact of forest management scenarios in an agricultural landscape of southern Quebec, Canada, using a geographic cellular automata. *Landscape and Urban Planning* (in press), 13 p.

Melton M. A. – 1957 : An analysis of the relations among elements of climate, surface properties, and geomorphology", Office of Naval Research, technical report n°11, 15 p.

Milton, L. E. – 1966 : The geomorphic irrelevance of some drainage net laws, *Australian Geographical Studies*, vol. 4, 89-95.

Morisawa M. – 1958 : Measurement of drainage-basin outline form, *Journal of Geology*, vol. 66, 587–91.

Mueller J.E. – 1973 : Re-evaluation of the relationship of master streams and drainage basins reply. *Bulletin of the Geological Society of America (BGSA)*, vol. 84, n° 9, 3127-3130.

Pinchemel Ph. – 1950 : L'étude des réseaux hydrographiques, Bulletin de l'Association de Géographes Français ; BAGF, 1-10.

Reddy G. P. O., Maji A. K.et Gajbhiye K. S. – 2004 : Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, Central India – a remote sensing and GIS approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo-information*, vol. 6, 1-16.

Rodriguez-Iturbe I, et Valdès J.B. – 1979 : The geomorphologic structure of hydrologic response, *Water Resources Research*, vol. 15, n° 6, 409–1420.

Rodriguez-Iturbe I., et Rinaldo A. – 1997 : *Fractal river basins, chance and self-organization*, Cambridge University Press, Cambridge, , 547 p.

Scheidegger, A. E. – 1966 : Stochastic branching processes and the law of stream orders", *Water Resources Researches*, vol. 2, n° 2, 199-203.

Schumm, S.A. – 1956 : The evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey", *Bulletin of Geological Society of America*, vol. 67, 597–646.

Serrat P. et Depraetere C. – 1997 : Incidences de facteurs géomorphologiques dans le fonctionnement d'un bassin en situation de crue : l'exemple de l'Agly (Pyrénées Orientales) », *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° 1, 73-88.

Shreve R.L. – 1966 : Statistical law of stream numbers, *Journal of Geology*, vol. 74, 17-37.

Sivapalan M., Johjtyangkoon C. et Menabde M. – 2002 : Linearity and nonlinearity of basin response as a function of scale: discussion of alternative definitions. *Water Resources Research*, vol. 38, n° 2, 41–45.

Smart J. S. – 1968 : Statistical properties of stream lengths. *Water Resources Research*, vol. 4, n° 5, 1001-1014.

Srinivasan, V. S., Gomes, H. P., Leprun, J. C. et Silva I.G. – 1988 : Erosion studies in Surne – a semiarid region in the northeast of Brazil", In Bordas M.P. et Walling E. D. (eds). *Sediment BudgetsProc. Porto Alegre Symp. Porto Alegre,* IAHS Publ. n° 174, 307-314.

Strahler A.N. – 1952 : Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography, *Bulletin of the Geological Society of America (BGSA)*, vol. 63, 117-142.

Tricart J. – 1991 : Cent ans de géomorphologie dans les annales de géographie, *Annales de Géographie*, vol. 561-562, 578-619.

Veltri M., Veltri P. et Maiolo M. – 1996 : On the fractal dimension of natural channel network. *Journal of Hydrology*, vol. 187, 137-144.

Wolfram S. – 2002 : *A New Kind of Science*, Wolfram Media Inc. (eds), 1197 p.

Zavoianu I. – 1985 : *Morphometry of drainage basins*. Developments in water science (eds), vol. 20, 238 p.

Notes

1 . Les premières mesures sont apparues chez les Egyptiens qui étaient soucieux de délimiter les surfaces régulièrement inondées par les caprices du Nil. Ces mesures, concomitantes à l'édification des temples et des Pyramides, forment sans doute les prémices de la géométrie comme le soulignent par ailleurs les livres anciens grecs (Zavoianu, 1985).

2 . Ces trois indicateurs physiques sont des paramètres auxquels on fait référence encore aujourd'hui pour présenter un bassin versant. Ils servent de base aux formules empiriques définissant le temps de concentration d'un bassin versant (Kirpich, Ventura, Passini, etc.).

Pour citer cet article

Référence électronique

Johnny Douvinet, Daniel Delahaye et Patrice Langlois, « Modélisation de la dynamique potentielle d'un bassin versant et mesure de son efficacité structurelle », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 412, mis en ligne le 15 février 2008, consulté le 20 septembre 2016. URL : http://cybergeo.revues.org/16103 ; DOI : 10.4000/cybergeo.16103

À propos des auteurs

Johnny Douvinet
GEOPHEN LETG UMR 6554 CNRS- Université de Caen Basse-Normandie, Esplanade de la Paix, 14032 Caen Cedexjohnny.douvinet@unicaen.fr
Daniel Delahaye
GEOPHEN UMR LETG 6554 CNRS - Université de Caen Basse-Normandie, Esplanade de la Paix, 14032 Caen Cedex
Patrice Langlois
MTG UMR IDEES 6228 CNRS - Laboratoire MTG IDÉES 2795 CNRS, Université de Rouen, 1 rue Thomas Becket 76821 Mont-Saint-Aignan

Droits d'auteur

© CNRS-UMR Géographie-cités 8504

Résumés

Les indices morphométriques ont été les toutes premières mesures créées en géomorphologie pour comparer les caractéristiques morphologiques des bassins versants et pour quantifier leur comportement hydrologique potentiel. Alors que toutes ces méthodes se retrouvent aujourd'hui en préambule de nombreux ouvrages d'hydrologie, plusieurs auteurs en soulignent toutefois les limites. Le caractère statique et cloisonné des indices calculés ne permet pas notamment de prédire la réponse hydrologique des bassins. Il nous semblait ainsi nécessaire de créer des indices plus pertinents. Pour cela, nous nous sommes tournés vers une nouvelle méthode de simulation distribuée de type automate cellulaire. Les expériences numériques portant sur 422 bassins d'une grande variété apportent des éléments nouveaux, en particulier le rôle des organisations spatiales morphologiques sur les réactivités locales et globales des bassins versants. La structure de l'automate RuiCells permet également de calculer des indices synthétiques à partir d'expériences numériques en tout point de l'espace. Un indice d'efficacité IE est proposé afin de quantifier l'efficacité structurelle du réseau sur chaque cellule : les plus fortes valeurs identifient les points potentiellement les plus réactifs.

Simulating the dynamic hydrological potential of a catchment and evaluating its structural efficiency

Classical morphometric indexes have been the first quantitative methods created by geomorphologists to compare the morphometric characteristics of many catchments and to quantify their theoretical hydrologic behaviour. Even if many indices still remain quoted in numerous hydrologic books, a few authors have recently underlined the drawbacks of such methods. They are mainly static and not synthetics, and so, they are not sufficient to predict the hydrological response. So we choose creating relevant indexes basing our approach on new distributed simulation tools as cellular automata (RuiCells) to calculate synthetic indexes based on numerical experiences. Simulations on 422 varied catchments lead a few interesting results. Some efficient spatial configurations are detected at a local scale while at the global scale such behaviour was not observed. An index of spatial efficiency is proposed on each cell in order to quantify the efficiency of the network structure in every point within the catchment. The greater values identify the points with the stronger theoretical response.

Entrées d'index

Mots-clés : indice morphométrique, bassin-versant, forme, réseau, automate cellulaire, efficacité structurelle
Keywords : morphometric indexe, catchment, shape, network, cellular automata, structural efficiency

Notes de l'auteur Les auteurs remercient le laboratoire GEOPHEN et le Ministère de la Recherche National et Technologique (MNRT) pour leur soutien dans le cadre du programme ACI « *Systèmes Complexes en SHS* » (2004-2007) intitulé *« Analyse de la structure et de la dynamique de systèmes spatiaux complexes : les bassins versants sensibles aux crues rapides* ».