



HAL
open science

Élaboration d'une typologie des formes de vallées. Application au bassin de la Maine (plateaux du Nord-Ouest de la France)

Ziad Alhaskeer, Jeannine Corbonnois, François Messner, François Laurent, Claude
Martin

► To cite this version:

Ziad Alhaskeer, Jeannine Corbonnois, François Messner, François Laurent, Claude Martin. Élaboration d'une typologie des formes de vallées. Application au bassin de la Maine (plateaux du Nord-Ouest de la France). *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, 2014, 8, pp.1. <10.4000/physio-geo.4090>. <halshs-01069529>

HAL Id: halshs-01069529

<https://shs.hal.science/halshs-01069529v1>

Submitted on 13 Jan 2022

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.



Distributed under a Creative Commons CC BY-ND 4.0 - Attribution - No Derivative Works - International License



Physio-Géo

Géographie physique et environnement

Volume 8 | 2014

Varia 2014

Élaboration d'une typologie des formes de vallées. Application au bassin de la Maine (plateaux du Nord-Ouest de la France)

Ziad Alhaskeer, Jeannine Corbonnois, François Messner et François
Laurent



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/physio-geo/4090>

DOI : 10.4000/physio-geo.4090

ISBN : 978-2-8218-0427-2

ISSN : 1958-573X

Éditeur

Claude Martin

Édition imprimée

Pagination : 215-230

Ce document vous est offert par Université de Caen Normandie



Référence électronique

Ziad Alhaskeer, Jeannine Corbonnois, François Messner et François Laurent, « Élaboration d'une typologie des formes de vallées. Application au bassin de la Maine (plateaux du Nord-Ouest de la France) », *Physio-Géo* [En ligne], Volume 8 | 2014, mis en ligne le 25 août 2014, consulté le 13 janvier 2022. URL : <http://journals.openedition.org/physio-geo/4090> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/physio-geo.4090>

Ce document a été généré automatiquement le 13 janvier 2022.



Les contenus de *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement* sont mis à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

Élaboration d'une typologie des formes de vallées. Application au bassin de la Maine (plateaux du Nord-Ouest de la France)

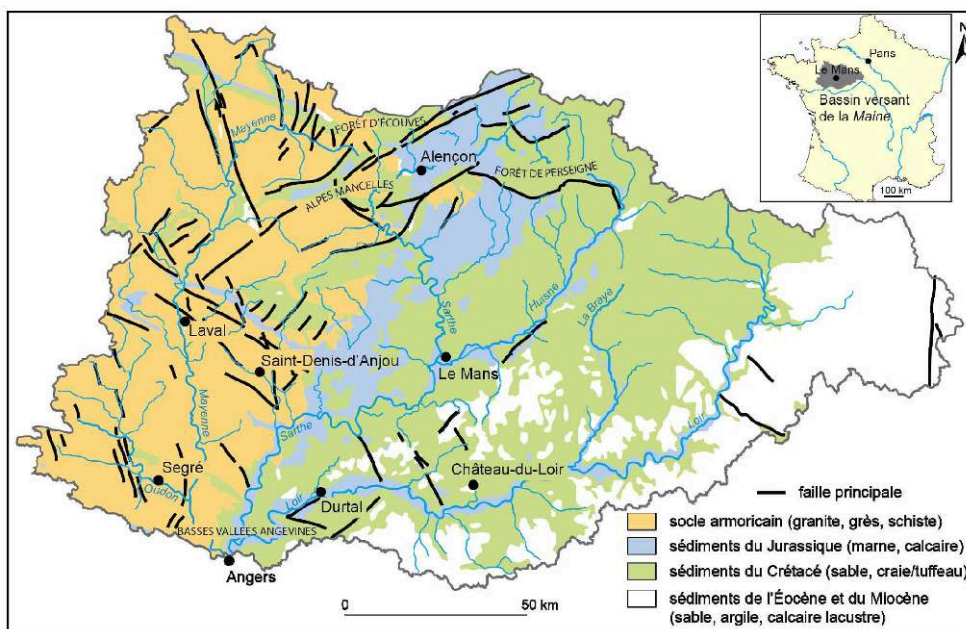
Ziad Alhaskeer, Jeannine Corbonnois, François Messner et François Laurent

I - Introduction

- 1 Les vallées tiennent une place notoire dans les paysages, en particulier dans les régions de plateaux comme ceux de la moitié nord de la France. Elles offrent des ressources multiples : eau, sédiments, espace, biodiversité (A.J. ROLLET *et al.*, 2006 ; S. DUFOUR et H. PIÉGAY, 2006 ; A. GATIEN *et al.*, 2009). Celles-ci sont amplement exploitées pour répondre à une demande économique et sociale (expansion des villes, gestion des inondations, qualité des paysages...), comme à l'exigence d'un environnement de qualité (qualité de l'eau, préservation de la biodiversité, prise en compte des zones humides et des paysages...) (D. MONTEMBAULT, 2002). S'y réfèrent ainsi de nombreux enjeux que la gestion coordonnée des ressources doit permettre de prendre en considération (DRÉAL Centre, 2009). C'est un des objectifs de la Directive européenne sur l'eau (Water Framework Directive, 2000/60/EC).
- 2 À l'échelle régionale qui est celle de notre analyse (plusieurs milliers de km²), les vallées présentent une grande diversité de formes, que nous souhaitons identifier. Le terrain pris en considération est le bassin versant de la Maine (Fig. 1). Suffisamment étendu (22 314 km²) et parcouru par un réseau hydrographique dense, il se prête à l'élaboration d'une typologie des vallées fondée sur le traitement de variables extraites d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT), dans le but de caractériser la forme des vallées. La signification des résultats obtenus à l'issue du traitement des données, est évaluée par rapport aux configurations effectives du terrain, aux conditions

géomorphologiques, mais aussi aux besoins de connaissances dans les domaines de la gestion des paysages et de l'eau.

Figure 1 - Le substratum du bassin versant de la Maine.



Source : carte géologique de la France au 1/1 000 000 (BRGM, 1980).

II - Les données et leur traitement

1) État de l'art

- 3 De nombreux travaux concernent la distinction de types de vallées. Les méthodes sont diverses, selon la nature des données utilisées, et leur précision et selon les modalités de leur traitement.
- 4 Jusqu'à la fin du XX^{ème} siècle, les données, le plus souvent extraites manuellement de cartes ou de photographies aériennes, étaient traitées selon des méthodes statistiques en vue de repérer des types (C.E. CUPP, 1989 ; J. BETHMONT *et al.*, 1996 ; Y. SOUCHON *et al.*, 2000). Depuis, la plupart des objets morphologiques, et les vallées en particulier, sont identifiés et analysés à partir de données extraites automatiquement d'images satellitaires ou de MNT, du moins pour des approches conduites à l'échelle de régions. Ces méthodes nécessitent un repérage préalable des vallées avant la détermination de leurs caractéristiques (une synthèse de l'utilisation de techniques géospatiales et numériques pour la cartographie géomorphologique est présentée dans M.P. BISHOP *et al.*, 2012).
- 5 Nombreuses sont les typologies qui se réfèrent aux paysages, à l'étude des bassins versants ou à des éléments majeurs du relief (G. JORDAN, 2007). J. MINAR et J.S. EVANS décomposent l'espace en unités élémentaires du relief permettant ensuite de recomposer les formes aux échelles choisies (J. MINAR et J.S. EVANS, 2008 ; I.S. EVANS, 2012). D'autres travaux proposent des classements de lits fluviaux ou de fonds de vallée dans un objectif de gestion des formes fluviales (H.G. ORR *et al.*, 2008 ; C. PECHER *et al.*,

2013 ; B. MOURIER *et al.*, 2008 ; A. ALBER et H. PIÉGAY, 2011 ; L. SCHMITT *et al.*, 2011 ; D. LOCZY *et al.*, 2012 ; S. BIZZI et D.N. LERNER, 2012).

- 6 Dans la méthode que nous proposons, les objets morphologiques, les vallées, sont repérés à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT) au pas de 50 m (Institut Géographique National, IGN), par l'indice TPI ("Topographic Position Index") créée par J. JENNESS (2006) d'après les travaux d'A. WEISS (2001) et utilisé également par J. DE REU *et al.* (2013). Nous déterminons la dimension de la fenêtre d'analyse de voisinage à partir de l'ordre des cours d'eau défini selon A.N. STRAHLER (1952). Une typologie des vallées est ensuite obtenue selon des procédures automatisées d'extraction et de traitement statistique de variables (méthodologie élaborée par M.A. GERMAINE et A. PUISSANT, 2008, et M.A. GERMAINE, 2009).
- 7 D'autres approches de cartographie numérique sont employées pour cartographier la morphologie des vallées. J. JASIEWICZ et T.F STEPINSKI (2012) ont développé une nouvelle méthode pour classer les différentes formes du terrain, qui repose sur les principes de la reconnaissance de formes (*pattern recognition*). Plus spécifiquement, la méthode s'appuie sur une analyse de texture du MNT en fonction d'angles d'élévation et directionnels, pour caractériser la variabilité topographique selon une certaine distance de recherche. Les motifs mis en évidence sont résumés en dix grandes unités morphologiques, appelés *geomorphons*.
- 8 L'utilisation d'un MNT de plus haute précision aurait permis de repérer des "objets" comme les lits mineurs (S. BIZZI et D.N. LERNER, 2012) ou les basses terrasses fluviales (A. DEMOULIN *et al.*, 2007) ou encore des marques d'érosion (F. LUCA *et al.*, 2011). Ainsi les données issues du LiDAR (M. CAVALLI *et al.*, 2008 ; V. THORNDYCRAFT *et al.* 2008) apporteraient une plus grande finesse dans la détermination des structures morphologiques à l'intérieur des vallées (J.P. LARUE et R. ÉTIENNE 1997). Mais nous n'avons pas été jusque là, compte tenu du coût élevé des données plus précises et surtout de notre objectif, à savoir : prendre en considération un grand bassin versant et travailler à l'échelle régionale.

2) Caractéristiques du bassin versant de la Maine

- 9 Le bassin de la Maine, d'une superficie de 22 314 km², s'étend pour 3/5 sur les derniers plateaux sédimentaires de l'ouest du Bassin Parisien (partie occidentale du Bassin) et pour 2/5 sur le socle armoricain taillé en creux par l'érosion selon la résistance des roches (partie orientale du massif) (voir Fig. 1) (C.A. SCHULE, 1984). Les altitudes, peu élevées, avoisinent les 150 m. Localement, au droit d'accidents structuraux, elles s'approchent de 400 m (Forêt d'Écouves, Forêt de Perseigne). Le réseau hydrographique est composé de trois cours d'eau principaux, qui drainent des bassins d'un peu moins de 8 000 km² pour le Loir, 7 380 km² pour la Sarthe et 5 430 km² pour la Mayenne. Ils confluent pour former la Maine qui se jette, après un parcours de 11 km, dans la Loire juste en aval d'Angers. Dans ce bassin, les vallées sont généralement peu profondes. Leurs versants, hauts de quelques dizaines de mètres, ont des pentes peu inclinées, de moins de 10 % en moyenne. Leurs fonds, qui ne dépassent qu'exceptionnellement 2 000 m de large, ont d'amont en aval une inclinaison le plus souvent inférieure à quelques pourcents. Il s'agit ainsi de petites unités de relief qui occupent 15 % de la superficie du bassin versant. Dans le détail, on observe cependant de nombreuses variantes. Là où les rivières incisent les roches dures (granites, grès et calcaires), se

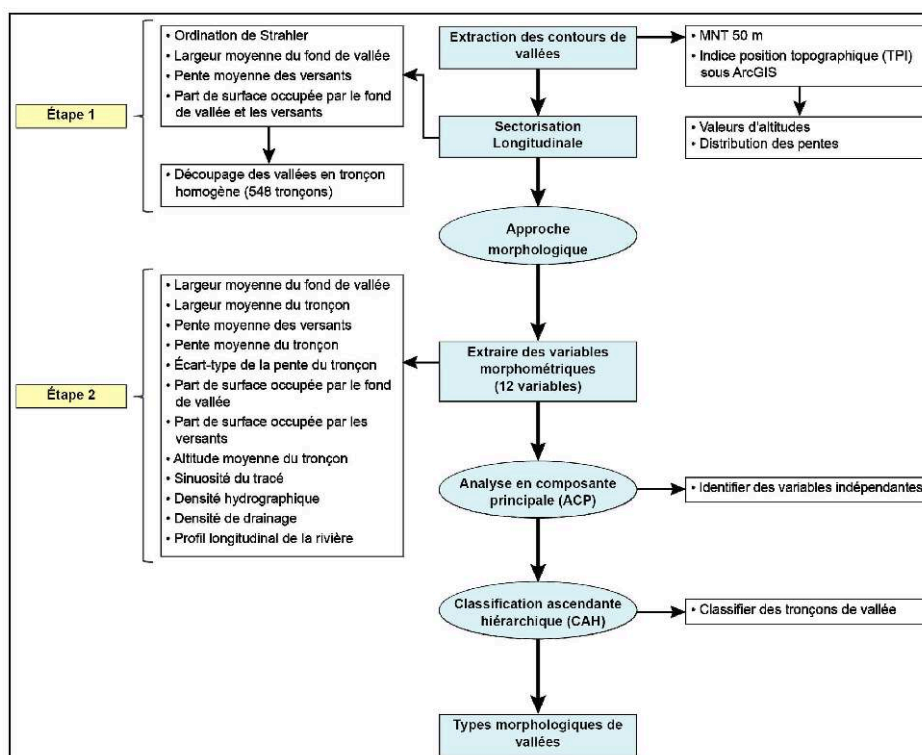
sont formées de véritables gorges, d'ailleurs caractéristiques des paysages des Alpes Mancelles. À l'inverse, des secteurs élargis en bassins localisés ou formant de véritables plaines alluviales, existent localement. L'unité la plus vaste correspond aux basses vallées angevines, formées de la partie aval des vallées du Loir, de la Sarthe et de la Mayenne, prolongées par la vallée de la Maine, au nord d'Angers (D. MONTEBAULT, 2002).

- 10 À l'issue des traitements, la typologie des vallées devra ainsi pouvoir mettre en évidence, avec une précision acceptable compte tenu de la superficie de l'espace d'étude et de la précision du MNT utilisé, toutes les formes de ces vallées.

III - Méthodologie

- 11 Les deux principales étapes de l'extraction des données et de leur traitement aboutissant à la typologie des vallées, sont représentées sur la figure 2.

Figure 2 - Les deux principales étapes de la détermination des types morphologiques.



1) Extraction des vallées et découpage en tronçons homogènes (étape 1)

- 12 Les vallées sont repérées à partir du modèle numérique de terrain (MNT) au pas de 50 m (IGN). La procédure comprend :
- La détermination du réseau hydrographique théorique par la méthode du D8 intégrée dans ArcGIS, pour laquelle la direction d'écoulement d'un pixel d'analyse à un autre dépend de la plus grande pente entre ce pixel et ses huit voisins les plus proches (D. GREENLEE, 1987 ; S.K. JENSONet J.O. DOMINGUE, 1988 ; D.G. TARBOTONet *al.*, 1991).

- L'ordination selon A.N. STRAHLER (1952) réalisée par la méthode décrite par D.G. TARBOTON *et al.* (1991). Cependant les cours d'eau d'ordre 1 ont été exclus de l'étude, compte tenu de leur faible incision dans les plateaux, qui rend leur repérage difficile, et de la précision insuffisante des documents utilisés.
 - Le traitement focal par une fenêtre glissante pour le calcul d'un indice topographique en fonction de l'ordre de STRAHLER.
- 13 Pour traiter les données d'altitude, nous avons donc utilisé l'extension "Topographic Position Index" (TPI) (J. JENNESS, 2006 ; J. JENNESS *et al.*, 2013 ; A.D. WEISS, 2001 ; J. DE REU *et al.*, 2013). La méthode repose sur le calcul de la différence entre l'altitude d'une cellule (pixel) et la moyenne des altitudes des cellules voisines. L'emprise des cellules prises en compte a été définie à partir d'une fenêtre adaptée au contexte paysager de l'étude, dont l'opérateur choisit la forme (circulaire, rectangulaire, annulaire ou en biseau) en fonction du voisinage. Pour la détermination des vallées, une forme circulaire a été retenue, avec un rayon de recherche variant selon l'ordination de STRAHLER, ce qui permet de tenir compte du développement des vallées en fonction de la taille du cours d'eau.
- 14 Une valeur de TPI fortement négative correspond à une zone de fond de vallée, une valeur de TPI proche de 0 correspond à un versant et une valeur de TPI fortement positive représente un espace proche d'une "ligne de crête" (ce qui correspond, dans le bassin versant de la Maine, à un sommet d'interfluve ou de colline). Chaque cellule est ainsi classée en six catégories de formes de relief (A.D. WEISS, 2001), en fonction des valeurs des écarts-types d'indice TPI et des valeurs de pente. Les valeurs des seuils de pente présentées dans le tableau I sont issues d'un calage à partir des secteurs tests de terrain. La valeur du TPI est comparée à l'écart-type de l'altitude pour définir les unités morphologiques. La taille de la fenêtre de voisinage de calcul de l'écart-type est égale à celle du calcul du TPI. Pour des valeurs absolues de TPI inférieures à la moitié de l'écart-type, la pente est introduite pour distinguer les morphologies "Pente faible (surface plane)" ou "Pente moyenne".

Tableau I - Critères de classification des unités morphologiques.

Classe	Critères (TPI standardisé sur toute la zone d'étude)
"Crête" (sommet d'interfluve ou de colline)	TPI > 1 écart-type
Pente très forte (bord de versant)	0,5 écart-type < TPI ≤ 1 écart-type
Pente moyenne (versant)	-0,5 écart-type < TPI < 0,5 écart-type et pente > 5° (ordre 2 et 3) pente > 4° (ordre 4) pente > 3° (ordre 5) pente > 2° (ordre 5 et 6)
Pente faible (surface plane)	-0,5 écart-type < TPI < 0,5 écart-type pente ≤ 5° (ordre 2 et 3) pente ≤ 4° (ordre 4) pente ≤ 3° (ordre 5) pente ≤ 2° (ordre 5 et 6)
Pente très faible (base de versant)	-1 écart-type < TPI ≤ -0,5 écart-type
Vallée	TPI < -1 écart-type

- 15 Les documents de la figure 3 illustrent ces tests à travers l'exemple du petit bassin versant de la Dinan, situé en rive droite du Loir. Le traitement ne prend en considération ici que quatre catégories de formes en lien avec la configuration des

reliefs et la dimension de ce bassin versant. Cet exemple révèle ainsi la sensibilité de la discrétisation spatiale des unités morphologiques au choix de la dimension de la fenêtre pour un cours d'eau d'ordre 2. Il indique également que les classes de formes dépendent étroitement de la dimension de l'objet d'étude. Un rayon (seuil) spécifique a finalement été retenu pour chaque ordre de cours d'eau (Tab. II) et appliqué à toutes les vallées du bassin de la Maine.

Figure 3 - Ordination des cours d'eau selon STRAHLER et exemple de traitement de données appliqué au bassin de la Dinan.

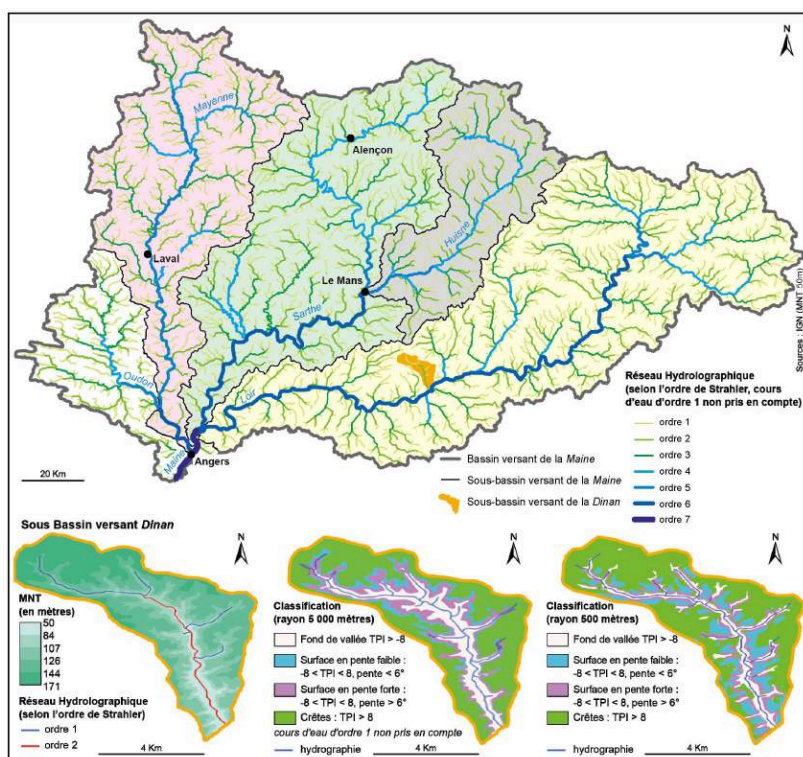


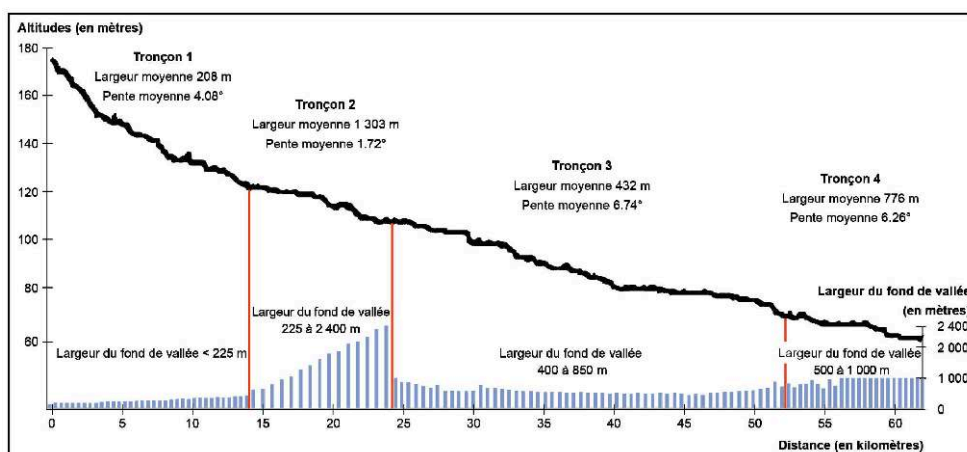
Tableau II - Seuils de voisinage retenus pour chaque ordre de cours d'eau.

Ordre de cours d'eau	Rayon de la fenêtre de voisinage (en m)
Ordre 2	500
Ordre 3	750
Ordre 4	1 500
Ordre 5	3 000
Ordre 6	3 500
Ordre 7	4 000

- 16 Les résultats obtenus pour l'ensemble du bassin de la Maine ont été vérifiés de deux manières. Les fonds de vallée délimités automatiquement ont été superposés aux cartes des zones inondables, produites par la DRÉAL Centre (2009) ; le taux de recouvrement est de 95,5 %. Versants et fonds ont été contrôlés sur le terrain, en 50 points, par des mesures au GPS, ce qui a permis de confirmer les contrastes d'altitude et de forme pour diverses configurations de vallée. Ces points sont localisés le long de la Mayenne en amont de Laval, le long de la Sarthe en amont du Mans et dans les petites vallées d'ordre 2.

- 17 D'autres traitements permettent de découper les vallées en tronçons homogènes. Ceux-ci ont été déterminés à partir de plusieurs critères. En plus de l'ordre des cours d'eau, ont ainsi été pris en compte : l'inclinaison de la pente longitudinale de la vallée, la largeur moyenne du fond de vallée et la pente moyenne des versants (les moyennes sont calculées à partir de mesures de largeur et de pente effectuées tous les 500 m), les parts des superficies occupées dans les vallées par les versants et par le fond. La figure 4 donne un exemple de découpage en tronçons : la Bray (affluent de rive droite du Loir), dont la vallée présente la variété de formes recherchée pour tester notre approche, a été préférée pour cette illustration à celle de la Dinan, trop petite et plus homogène.

Figure 4 - Exemple de découpage en tronçons de la vallée de la Bray (affluent de rive droite du Loir).



2) Détermination des types morphologiques de vallées (étape 2)

- 18 Les types morphologiques de vallées sont issus du traitement des données en deux étapes. Une analyse en composante principale a été effectuée à partir de douze variables sélectionnées, puis une classification ascendante hiérarchique est appliquée sur les trois premiers axes de l'ACP. Ces traitements permettent de faire apparaître trois classes de tronçons. Les classes A (90 tronçons) et E (10 tronçons) comprennent des tronçons aux formes originales, peu répandues (vallées encaissées et basses vallées évasées). La classe centrale contient tous les autres tronçons (448). Pour celle-ci, les résultats des traitements effectués pour obtenir les types morphologiques sont représentés sur les figures 5 et 6.

Figure 5 - Exemple d'Analyse en Composante Principale pour la détermination des types B, C, D et E.

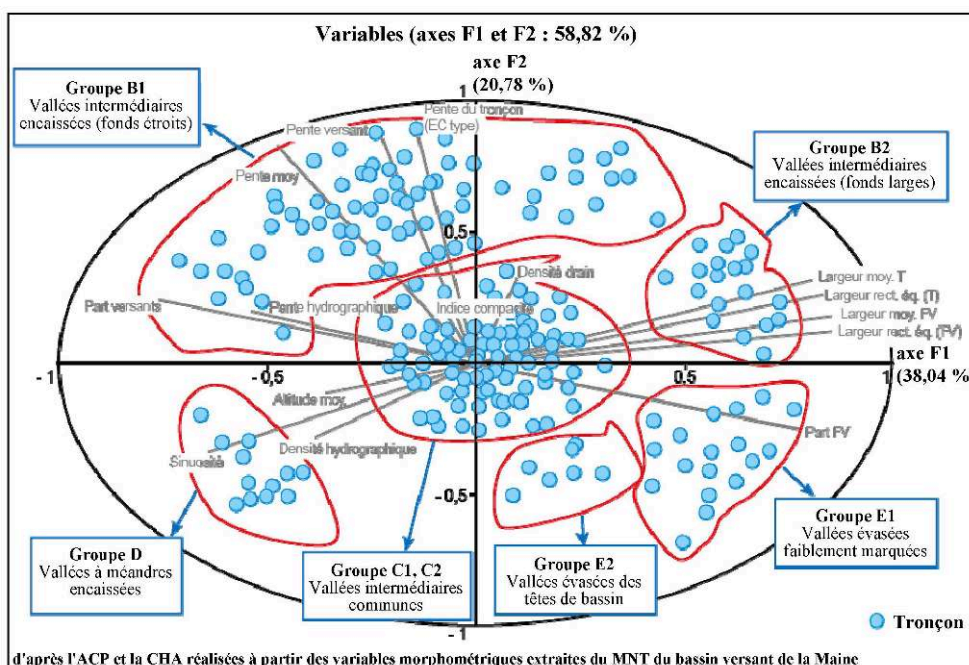
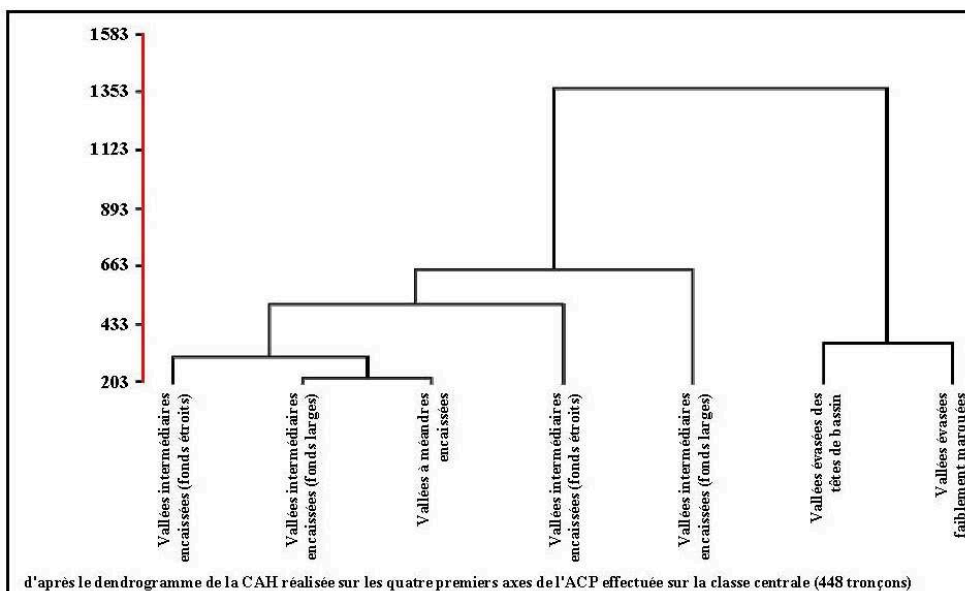


Figure 6 - Classes morphologiques principales reportées sur le dendrogramme de la classification ascendante hiérarchique.



IV - Résultats et discussion

1) Caractéristiques des types

- 19 Ce traitement a permis de définir trois principales classes de vallées : classe A (gorges et vallées très encaissées) et classes B et C (vallées intermédiaires). S'y ajoutent trois classes moins répandues : D (vallées à méandres encaissés), E (vallées évassées) et F

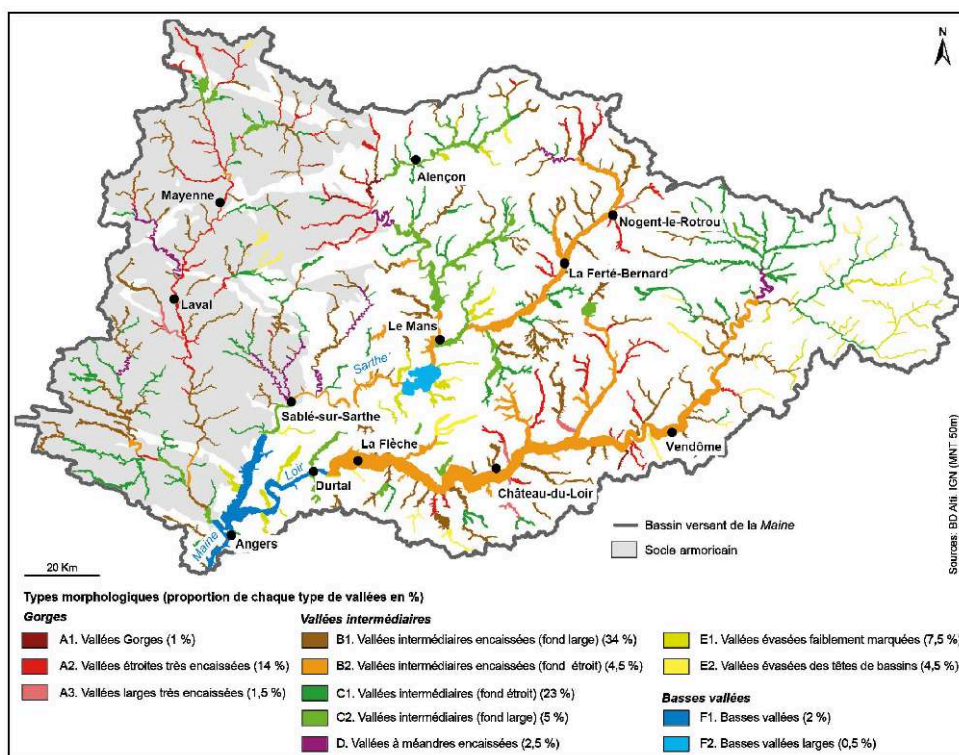
(vallées à fond alluvial très large et aux versants faiblement marqués). Ces premiers résultats sont améliorés par un second traitement portant sur les tronçons de chacune des classes. Le tableau III présente les critères principaux de la définition de chacun des sous-types ainsi obtenus. De cette façon, 548 tronçons d'une longueur moyenne de 10 km sont délimités le long des vallées du bassin versant de la Maine (Fig. 7).

Tableau III - Caractéristiques principales des types de vallées.

		A1	A2	A3	B1	B2	C1	C2	D	E1	E2	F1	F2
Caractéristiques	LF (m)	< 250	< 300	> 300	< 400	> 400	< 400	> 400	< 250	> 300	1000	> 1500	> 2000
	PV (%)	15-20	9-15	9-11	5-12	5-12	0,5-5	0,5-5	>15	0,5 - 4	1-5	2-4	1-3
	PT (m/km)	2-17	0,3-13	0,7-12	0,2-16	0,08-2,6	0,1-7,5	0,07-3,2	3,6-7,6	0,14-5,6	0,2-4,3	0,01	0,01
Fréquence	Nombre	7	75	8	185	26	122	32	14	44	25	9	1
	%	1,3	13,6	1,4	34	4,7	22,3	5,8	2,5	8	4,6	1,6	0,2

A1 : vallées en gorge. A2 : vallées étroites très encaissées. A3 : vallées larges très encaissées. B1 : vallées intermédiaires encaissées (fonds étroits). B2 : vallées intermédiaires encaissées (fonds larges). C1 : vallées intermédiaires (fonds étroits). C2 : vallées intermédiaires (fonds larges). D : vallées à méandres encaissées. E1 : vallées évasées faiblement marquées. E2 : vallées évasées des têtes de bassin. F1 : basse vallée. F2 : basse vallée évasée.
LF : largeur moyenne du fond de vallée. PV : pente moyenne des versants. PT : pente hydrographique.

Figure 7 - Typologie morphologique des vallées du bassin de la Maine.



2) Intérêt de la méthode et signification des résultats

- 20 Les résultats obtenus montrent les caractéristiques des vallées pour une échelle proche du 1/100000, compte tenu des données utilisées. Leur grande diversité et la répartition par types sont déterminées globalement par le substratum encaissant. À l'échelle régionale, c'est lui qui influence la forme des vallées. Ces résultats montrent, comme ceux de S. BIZZI et D.N. LERNER (2012), que l'ordre des cours d'eau n'a pas d'incidence directe sur l'agencement des types dans l'espace.
- 21 Les vallées en gorges et très encaissées (type A) sont fréquentes sur les branches amont des cours d'eau inscrits dans un substratum résistant (roches dures du socle armoricain).
- 22 Les vallées intermédiaires (types B, C et D) regroupent 70 % des tronçons. Les fonds étroits sont les plus nombreux (56,3 % des tronçons). Ils sont fréquents à l'ouest du bassin dégagé dans le socle ancien. Les fonds larges sont plus nombreux à l'est du bassin.
- 23 Les vallées évasées (type E), faiblement marquées et en tête de bassin, regroupent environ 13 % des tronçons. La plupart sont situées là où les conditions sont peu favorables à l'incision : sur les plateaux calcaires et crayeux du Jurassique et du Crétacé, où l'infiltration de l'eau gêne l'approfondissement des vallées, ou sur un substratum trop résistant.
- 24 Les basses vallées (type F) correspondent à des conditions particulières d'élargissement, liées à un encaissant peu résistant, ce qui est une particularité géomorphologique des basses vallées angevines (forte sédimentation alluviale associée à de très fréquents débordements survenant lors des crues de la Maine et de la partie aval de ses principaux affluents).
- 25 Il est possible d'admettre que les sous-bassins versants du Loir, de la Sarthe et de la Mayenne, dont les superficies restent inférieures à 10000 km², ne sont pas suffisamment grands pour que les cours d'eau élaborent des formes strictement fluviales en lien avec la dimension croissante des rivières qui les parcourent. De plus, la nature variée du substratum et sa résistance contrastée à l'érosion sont également des facteurs favorables à l'élaboration de tronçons de vallée aux formes variées. Enfin, la succession des tronçons de vallée peut également avoir été influencée, comme cela a été montré dans d'autres régions proches (centre du Bassin Parisien ☞ selon : J.P. LARUE, 2003 ; E. ROBERT et J.P. LARUE, 2011) par l'évolution géomorphologique récente de l'Ouest de la France.
- 26 Ainsi les influences structurales restent-elles fortes et des tronçons aux caractéristiques variées se succèdent d'amont en aval. Le bassin de la Mayenne, entièrement dégagé dans le socle armoricain, comprend surtout des vallées encaissées et étroites, quel que soit l'ordre des cours d'eau qui les drainent. À l'inverse, les vallées inscrites dans les assises sédimentaires moins résistantes du Bassin de Paris (grès du Crétacé, calcaires et marnes du Jurassique) ont des morphologies un peu plus variées : la vallée du Loir et celle de l'Huisne, drainées par des cours d'eau d'ordre 6 et 4, présentent des morphologies similaires, ce qui montre que l'ordre des cours d'eau ne donne qu'une idée approximative de la forme des vallées.
- 27 Il apparaît finalement que les types morphologiques des vallées, peu reliés aux ordres des cours d'eau, ne suffisent pas à déterminer complètement la caractéristique des

paysages, mais ils fournissent des éléments pour comprendre certaines dynamiques paysagères. Une analyse diachronique de l'occupation du sol (en 1987 et 2004), effectuée à partir des méthodes de la télédétection et pour chaque type de vallée (Z. ALHAASKER, 2012), indique que les paysages les plus stables sont ceux des vallées en gorges et des basses vallées, en lien avec leur intérêt patrimonial, géomorphologique (W. TCHEKPO, 2012) et écologique (les basses vallées contiennent des zones humides d'intérêt européen) valorisé pour le développement local. Les autres types comprennent des mobilités paysagères liées à l'occupation du sol, qui évolue rapidement dans les zones rurales, selon les contextes économiques de la production agricole, ou dans les zones périurbaines, sous la pression des villes et de la demande de paysages de qualité (J. CORBONNOIS et W. TCHEKPO, 2013).

- 28 La typologie des vallées peut servir par ailleurs à la gestion de l'eau, puisqu'elle identifie la variation des formes dans leur succession de l'amont vers l'aval et sur des distances de quelques kilomètres ; dans ce sens, elle peut aider à la gestion des zones inondables (détermination de zones de stockage d'eau en période d'inondation, par exemple) et à celle des zones humides très fréquentes dans les vallées (B. MOURIER *et al.* 2008 ; SAGE de l'Huisne, 2014).

V - Conclusion et perspectives

- 29 La méthode de la typologie morphologique des vallées est une méthode qui utilise des données facilement accessibles. Elle donne des résultats satisfaisants pour les vallées inscrites dans des plateaux aux morphologies peu contrastées et drainées par des cours d'eau de faible énergie. Les résultats contribuent à améliorer les connaissances à l'échelle régionale, notamment pour la réalisation de diagnostics territoriaux. Ils fournissent un premier référentiel de paysages de vallée, préalable aux études multiscalaires par la sélection de secteurs pour la poursuite de l'analyse à d'autres échelles, notamment pour l'étude de la dynamique fluviale et de l'occupation du sol.
- 30 Concernant l'aspect géomatique, de nouvelles perspectives peuvent être envisagées. Les avancées dans le domaine de la cartographie numérique géomorphologique, énumérées dans la synthèse de M.P. BISHOP *et al.* (2012), offrent un large panel de possibilités. Dans le contexte de la géomorphologie fluviale, l'approche utilisant les techniques OBIA (*Object Oriented Image Analysis*) (L. DRAGUT et T. BLASCHKE, 2006 ; A. ANDERSON *et al.*, 2011), combinant la segmentation des unités géomorphologiques selon des critères géomorphométriques puis la classification à partir d'algorithmes issus de l'apprentissage automatique (*machine learning*), est particulièrement prometteuse. La classification s'effectue soit selon une démarche supervisée (S. GOSH *et al.*, 2010 ; T.F. STEPINSKI *et al.*, 2007 ; A. STUMPF et N. KERLE, 2012), soit selon un cheminement non supervisé, où la connaissance experte intervient *a posteriori* pour définir une typologie (A.H. EHSANI et F. QUIEL, 2008 ; B.D. BUE et T.F. STEPINSKI, 2006). Pour la poursuite des travaux, cette approche OBIA pourra être comparée aux résultats obtenus par la méthode décrite dans cet article.
- 31 En définitive, ce travail s'inscrit comme une contribution à la discipline émergente de la cartographie géomorphologique numérique (*digital geomorphological mapping*). Il propose une approche de cartographie automatique des vallées à l'échelle régionale, dont la méthodologie peut être complétée et améliorée par la prise en compte de

méthodes alternatives de traitement numérique, ainsi que par l'emploi de nouvelles données spatiales.

Remerciements : Nous remercions Sébastien ANGONNET, de l'Université du Maine (UMR ESO, Le Mans), pour la mise au net des figures, ainsi que les deux relecteurs de cet article, Jean-Pierre LARUE et un collègue resté anonyme, pour leurs suggestions et critiques constructives.

BIBLIOGRAPHIE

- ALBER A. et PIÉGAY H. (2011) - Spatial disaggregation and aggregation procedures for characterizing fluvial features at the network-scale: Application to the Rhône basin (France). *Geomorphology*, vol. 125, n° 3, p. 343-360.
- ALHAASKER Z. (2012) - *Analyse cartographique de la structure des paysages de vallée - Analyse de la dynamique des paysages de vallée du bassin de la Maine à partir de la télédétection et de SIG*. Thèse de l'Université du Maine, 520 p.
- ANDERS N.S., SEIJMONSBERGEN A.C. et BOUTEN W. (2011) - Segmentation optimization and stratified object-based analysis for semi-automated geomorphological mapping. *Remote Sensing of Environment*, vol. 115, n° 12, p. 2976-2985.
- BETHEMONT J., ANDRIAMAHEFA H., ROGERS C. et WASSON J.G. (1996) - Une approche régionale de la typologie morphologique des cours d'eau, Application de la méthode "morphorégions" au bassin de la Loire et perspectives pour le bassin du Rhône (France). *Revue géographique de Lyon*, vol. 71, n° 4, p. 311-322.
- BISHOP M.P., JAMES L.A., SHRODER Jr J.F. et WALSH S.J. (2012) - Geospatial technologies and digital geomorphological mapping: concepts, issues and research. *Geomorphology*, vol. 137, n° 1, p. 5-26.
- BIZZI S. et LERNER D.N. (2012) - Characterizing physical habitats in rivers using map-derived drivers of fluvial geomorphic processes. *Geomorphology*, vol. 169-170, p. 64-73.
- BRGM (1980) - *Carte géologique de la France à 1/1000000*. Édit. BRGM, Orléans, notice conçue par J. GOGUEL et réalisée par O. DOTIN et J. FOURNIGUET, 102 p.
- BUE B.D. et STEPINSKI T.F. (2006) - Automated classification of landforms on Mars. *Computers & Geosciences*, vol. 32, n° 5, p. 604-614.
- CAVALLI M., TAROLLI P., MARCHI L. et DALLA FONTANA G. (2008) - The effectiveness of airborne LiDAR data in the recognition of channel-bed morphology. *Catena*, vol. 73, n° 3, p. 249-260.
- CORBONNOIS J. et TCHEKPO W. (2013) - Quel devenir pour les ouvrages hydrauliques installés sur les cours d'eau du bassin de la Maine ? *Noréis*, vol. 228, n° 3, p. 27-38.
- CUPP C.E. (1989) - *Stream corridor classification for forested lands of Washington*. Édit. Washington Forest Protection Association, Olympic (Washington, USA), 44 p.
- DEMOULIN A., BOVY B., RIXHON G. et CORNET Y. (2007) - An automated method to extract fluvial terraces from digital elevation models: The Vesdre valley, a case study in eastern Belgium. *Geomorphology*, vol. 91, n° 1-2, p. 51-64.

- DE REU J., BOURGEOIS J., BATS M., ZWERTVAEGHER A., GELORINI V., DE SMEDT P., CHU W., ANTROP M., DE MAEYER P., FINKE P., VAN MEIRVENNE M., VERNIERS J. et CROMBE P. (2013) - Application of the Topographic Position Index to heterogeneous landscapes. *Geomorphology*, vol. 186, p. 39-49.
- DRAGUT L. et BLASCHKE T., (2006) - Automated classification of landform elements using object-based image analysis. *Geomorphology*, vol. 81, n° 3-4, p. 330-344.
- DRÉAL Centre (2009) - *Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux du bassin Loire Bretagne (SDAGE)*. Édit. Agence de l'Eau Loire-Bretagne, 252 p.
- DUFOUR S. et PIÉGAY H. (2006) - Forêt riveraines et ripisylves, spécificités, fonctions et gestion. *Revue Forestière Française*, vol. LVIII, n° 4, p. 339-350.
- EHSANI A.H. et QUIEL F. (2008) - Geomorphometric feature analysis using morphometric parameterization and artificial neural networks. *Geomorphology*, vol.99, n° 1-4, p. 1-12.
- EVANS I.S. (2012) - Geomorphometry and landform mapping: what is a landform ? *Geomorphology*, vol. 137. n° 1, p. 94-106.
- GATIEN A., CORBONNOIS J. et LAURENT F. (2009) - Une analyse de paysage comme préalable à l'étude des systèmes agraires : application à la vallée du Loir. *Norois*, vol. 213, n° 4, p. 89-101.
- GERMAINE M.A. (2009) - *De la caractérisation à la gestion des paysages ordinaires des vallées du Nord-Ouest de la France, Représentations, enjeux d'environnement et politiques publiques en Basse-Normandie*. Thèse de l'Université de Caen, 648 p,
- GERMAINE M.A. et PUISSANT A. (2008) - Extraction d'indices paysagers et analyse quantitative des paysages de "vallées ordinaires" à partir de données images : l'exemple de la Seulles (Calvados, France). *Cybergeo : European Journal of Geography*, en ligne, article 423. URL : <http://cybergeo.revues.org/19123>.
- GOSH S., STEPINSKI T.F. et VILALTA R. (2010) - Automatic annotation of planetary surfaces with geomorphic labels. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 48, p. 175-185.
- GREENLEE D. (1987) - Raster and vector processing for scanned linework. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 53, n° 10, p. 1383-1387.
- JASIEWICZ J. et STEPINSKI T.F. (2012) - Geomorphons as a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. *Geomorphology*, vol. 182, p. 147-156.
- JENNESS J. (2006) - *Topographic Position Index (tpi_jen,avx) extension for ArcView 3.x*, v. 1. 3a, Jenness Enterprises. URL : <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>.
- JENNESS J., BROST B. et BEIER P. (2013) - *Land Facet Corridor Designer: extension for ArcGIS*, Jenness enterprises. URL : http://www.jennessent.com/arcgis/land_facets.htm.
- JENSON S.K. et DOMINGUE J.O. (1988) - Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 54, n° 11p. 1593-1600.
- JORDAN G. (2007) - Adaptive smoothing of valleys in DEMs using TIN interpolation from ridgeline elevations: An application to morphotectonic aspect analysis. *Computers & Geosciences*, vol. 33, n° 4, p. 573-585.
- LARUE J.P. (2003) - L'encaissement inégal de la Seine et la Loire dans le Bassin parisien (France). *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 57, n° 1, p. 21-36.

- LARUE J.P. et ÉTIENNE R. (1997) - Les changements de cours de la Sarthe entre Le Mans et Sablé-sur-Sarthe (France). *Géographie physique et Quaternaire*, vol. 51, n° 3, p. 285-294.
- LOCZY D., PIRKHOFFER E. et GYENIZSE P. (2012) - Geomorphometric floodplain classification in a hill region of Hungary. *Geomorphology*, vol. 147-148, p. 61-72.
- LUCA F., CONFORTI M. et ROBUSTELLI G. (2011) - Comparison of GIS-based gully susceptibility mapping using bivariate and multivariate statistics: Northern Calabria, South Italy. *Geomorphology*, vol. 134, n° 3-4, p. 297-308.
- MINAR J. et EVANS I.S. (2008) - Elementary forms for land surface segmentation: The theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping. *Geomorphology*, vol. 95, n° 3-4, p. 236-259.
- MONTEBAULT D. (2002) - *Les vallées face à l'appropriation urbaine - Des mutations de l'occupation du sol dans les vallées proches d'Angers aux nouveaux paysages*. Thèse de l'Université d'Angers, 409 p.
- MOURIER B., WALTER C. et MEROT P. (2008) - Soil distribution in valleys according to stream order. *Catena*, vol. 72, n° 3, p. 395-404.
- ORR H.G., LARGE A.R.G., NEWSON M.D. et WALSH C.M. (2008) - A predictive typology for characterising hydromorphology. *Geomorphology*, vol. 100, n° 1-2, p. 32-40.
- PECHER C., TASSER E., WALDE J. et TAPPEINER U. (2013) - Typology of Alpine region using spatial-pattern indicators. *Ecological Indicators*, vol. 24, p. 37-47.
- ROBERT E. et LARUE J.P. (2011) - Contribution à l'étude des liaisons Loire-Seine : mise en évidence par l'étude des minéraux lourds de l'antécédence de la Loire en Sologne (Bassin Parisien, France). *Physio-Géo*, vol. 5, p. 269-291. URL : <http://physio-geo.revues.org/2181> (consulté le 27 juin 2014).
- ROLLET A.J., PIÉGAY H. et CITTERIO A. (2006) - Impact des extractions de graviers en lit mineur sur la géométrie des zones humides périfluviales. *Géographie Physique et Quaternaire*, vol. 60, n° 3, p. 259-276.
- SAGE de l'Huisne (2014) - *Révision du SAGE du bassin versant de l'Huisne. État des lieux des milieux et des usages*. Édit. Institution Interdépartementale du Bassin de la Sarthe, Alençon, 138 p.
- SCHMITT L., LAFONT M., TREMOLIÈRE M., JEZEQUEL C., VIVIER A., BREIL P., NAMOUS P., VALIN K et VALETTE L. (2011) - Using hydro-geomorphological typologies in functional ecology: Preliminary results in contrasted hydrosystems. *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 36, n° 12, p. 539-548.
- SCHULE C.A. (1984) - *La Maine, contribution à la connaissance d'un hydrosystème*. Thèse de Doctorat d'État, Université de Nancy, 4 tomes, 1 235 p.
- SOUCHON Y., ANDRIAMAHEFA H., COHEN P., BREIL P., PELLA H., LAMOUREUX N., MALAVOI J.R. et WASSON J.G. (2000) - *Régionalisation de l'habitat aquatique dans le bassin de la Loire, Synthèse*, Agence de l'Eau Loire-Bretagne. Édit. Laboratoire d'Hydroécologie Quantitative, Groupement de Lyon, 297 p.
- STEPINSKI T.F., VILALTA R. et GHOSH S. (2007) - Machine learning tools for automatic mapping of Martian landforms. *Intelligent Systems, IEEE*, vol. 22, n° 6, p. 100-106.
- STRAHLER A.N. (1952) - Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, vol. 63, n° 11, p. 1 117-1 143.
- STUMPF A. et KERLE N. (2012) - Object-oriented mapping of landslides using Random Forests. *Remote Sensing of Environment*, vol. 115, n° 10, p. 2 564-2 577.

TARBOTON D.G., BRAS R.L. et RODRIGUEZ-IRTUBE I. (1991) - On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data. *Hydrological Processes*, vol. 5, n° 1, p. 81-100.

THORNDYCRAFT V., BENITO G., et GREGORY K.J. (2008) - Fluvial Geomorphology: a perspective on current status and methods. *Geomorphology*, vol. 98, n° 1-2, p. 2-12.

WEISS A.D. (2001) - Topographic position and landforms analysis. *ESRI User Conférence "The Nature Conservancy"* (San Diego, Californie), poster. URL : http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf.

RÉSUMÉS

Nous proposons une méthode pour élaborer une typologie morphologique des vallées, fondée sur un traitement de données extraites automatiquement d'un MNT. Les vallées sont repérées à partir des cours d'eau classés selon STRAHLER et dans un espace dont la largeur varie de part et d'autre de ces cours d'eau selon leur ordination. Les données d'altitude ont été traitées à partir de l'outil "Topographic Position Index" (TPI) disponible en tant qu'extension pour les logiciels ArcView et ArcGIS. Les variations de l'inclinaison du fond et des versants, ainsi que la largeur du fond des vallées, sont les critères principaux utilisés pour découper les vallées en tronçons homogènes. Pour chaque tronçon, le traitement statistique de douze variables a permis de les caractériser et de déterminer une typologie. La méthode est appliquée au bassin versant de la Maine (22314 km²), où les vallées sont inscrites dans des plateaux dégagés dans les strates sédimentaires de l'ouest du Bassin de Paris et dans les roches dures du Massif Armoricain. Le traitement des données a permis de déterminer 548 tronçons, regroupés en douze types et sous-types. La carte des vallées par type montre, outre la diversité des formes, leur répartition à l'intérieur du bassin. Celle-ci est peu expliquée par l'ordre des cours d'eau, mais bien davantage par la nature du substratum encaissant. Ces résultats peuvent servir dans diverses approches concernant les paysages, ou encore pour l'étude des zones inondables.

Valleys are rarely studied as specific relief elements. We propose a typology based on morphological data processing from a digital elevation model (DEM). Valleys were extracted from the hydrographic network and STRAHLER stream ordering, as well as a width strip, which varied depending on the ordering. Elevation data were processed using the "Topographic Position Index" (TPI). Changes in the slope at the bottom and on the sides of the valley as well as the width of the valley floor were the main criteria used for segmentation of the valley into homogeneous sections. For each section, twelve variables were statistically analysed to build a typology. The method was applied to the Maine watershed (22,300 km²), which has a high density of valleys in the sedimentary strata in the western part of the Paris Basin as well as in the hard rocks of the Armorican Massif. Data analysis identified 548 sections divided into twelve types and subtypes. Results reveal a wide range of forms whose distribution is not explained by the stream ordering, but is clearly linked to the nature of the substratum rocks. These results can be used in different approaches for the identification of landscape units and to study floodplain areas.

INDEX

Keywords : DEM, GIS, Maine river, morphological analysis, plateau, spatial analysis, topographic index, valley

Mots-clés : analyse morphologique, analyse spatiale, MNT, plateau, rivière Maine, SIG, TPI, vallée

AUTEURS

ZIAD ALHASKEER

UMR CNRS ESO Le Mans, Université du Maine 72085 LE MANS cedex. Ziad ALHASKEER se trouve maintenant en Syrie.

JEANNINE CORBONNOIS

UMR CNRS ESO Le Mans, Université du Maine 72085 LE MANS cedex.
Courriel : jeannine.corbonnois@univ-lemans.fr (auteur correspondant)

FRANÇOIS MESSNER

UMR CNRS ESO Le Mans, Université du Maine 72085 LE MANS cedex.
Courriel : francois.messner@univ-lemans.fr

FRANÇOIS LAURENT

UMR CNRS ESO Le Mans, Université du Maine 72085 LE MANS cedex.
Courriel : francois.laurent@univ-lemans.fr