

UTILISATION DE LA TÉLÉDÉTECTION ET DES SIG DANS LA RÉGIONALISATION HYDROLOGIQUE

LILIANA ZAHARIA¹

Mots-clés : télédétection, SIG, régionalisation hydrologique, débits de pointe, Courbure de l'Arc carpatique.

Introduction

La télédétection et les systèmes d'information géographique (SIG) qui lui sont généralement associés, constituent des outils modernes permettant l'étude complexe des phénomènes environnementaux à l'échelle spatiale et temporelle (H. Da et, G. Giacomel, 2002). Ce sont des techniques très efficaces utilisées de plus en plus pour aider à la gestion des différents problèmes liés à l'environnement.

Parmi les nombreux domaines d'application de la télédétection, l'hydrologie occupe une place importante. Cet article a comme objectif de présenter un exemple où les informations fournies par la télédétection et les techniques des SIG sont valorisés dans la régionalisation hydrologique. Comme méthode de régionalisation nous avons utilisée la régression linéaire multiple qui nous a permis d'obtenir des modèles (équations) servant à estimer les débits de pointe annuels à différents temps de retour dans la région de la Courbure de l'Arc carpatique (Roumanie), pour des bassins versants où il n'y a pas d'observations directes ou celles-ci ne sont pas d'une bonne qualité. Ces estimations sont nécessaires dans la pratique, pour les aménagements de cours d'eau et leur gestion.

1. La région d'étude

La région d'étude est située dans la partie centrale-orientale de la Roumanie et correspond à la partie extérieure de la courbure de l'Arc Carpatique. Elle englobe trois unités morphologiques distinctes: *une zone montagneuse* (appartenant aux Carpates) à l'ouest, une *zone collinaire* (appartenant aux Subcarpates ou Pré-carpates) qui le borde vers l'est, prolongée avec la *zone de plaine* (l'extrémité nord-ouest de la plaine roumaine) (*fig. 1*).

La zone montagneuse (carpatique) occupe à peu près un quart de la région d'étude. Elle est bien fragmentée par des vallées et de petites dépressions. Les altitudes y se situent entre 1600 et 1800 m dans la partie centrale et orientale, tandis qu'à l'ouest elles dépassent 1900-2000 m, culminant à 2505 m (les monts Bucegi). Vers le contact avec la région collinaire les altitudes s'abaissent jusqu'à 600-800 m. (Collectif, 1987). La région collinaire (subcarpatique) détient environ 40% de la zone d'étude. Elle se caractérise par une alternance de collines (dont les altitudes sont fréquemment entre 600 et 700 m, mais par endroits elles dépassent 900-1000 m), de dépressions très variables comme dimensions et des vallées au caractère soit transversal soit longitudinal par rapport à la disposition générale des collines. Un glacis de piémont fait le raccord avec la plaine où les altitudes s'abaissent progressivement de 300-350 m (au contact avec les Subcarpates) à moins de 50 m dans les secteurs de subsidence.

¹ Université de Bucarest, Faculté de Géographie, Département de Météorologie et Hydrologie, zaharialil@yahoo.com

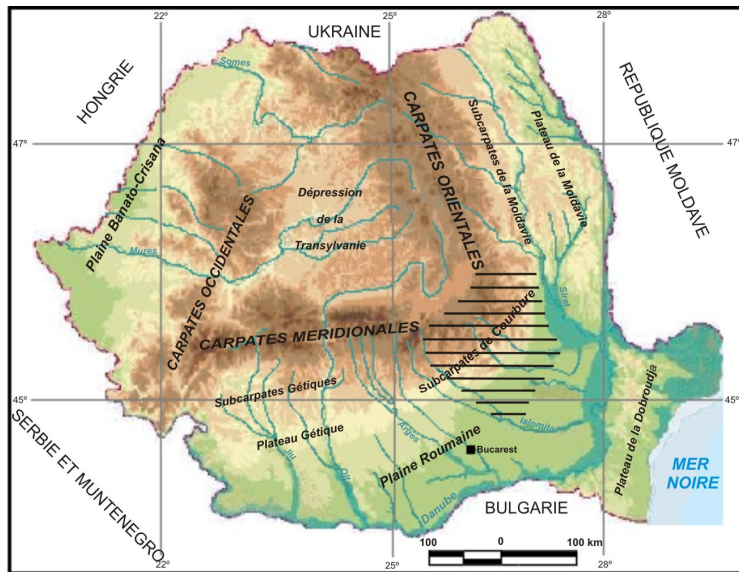


Fig. 1. Localisation de la région d'étude (en hachure)

Les températures moyennes annuelles dans la région montagneuse varient de moins de -2°C , au-dessus de 2000 m d'altitude, à $4-5^{\circ}\text{C}$ ailleurs. Dans la zone collinaire, ces températures sont de 8 à 10°C et dans celle de plaine, de $10-11^{\circ}\text{C}$. Lors de la circulation atmosphérique d'ouest, la région est affectée par le phénomène de föehn en raison duquel les précipitations sont généralement plus faibles par rapport à d'autres régions d'altitude similaire (à l'exception de l'extrémité occidentale de la zone d'étude, moins affectée par le föehn). Les quantités moyennes annuelles de précipitations sont généralement de 700 à 1000 mm dans la zone carpatique, de 600 à 700 mm dans celle subcarpatique et de moins de 600 mm dans la région de plaine (Collectif, 1983). Le régime pluviométrique sur l'ensemble de la région est caractérisé par de précipitations importantes durant la période chaude de l'année (notamment l'intervalle mai-juillet) alors qu'en hiver et en automne les précipitations sont plus faibles. Un aspect important de la pluviométrie est constitué par la fréquence importante des pluies torrentielles estivales (surtout en montagne) qui engendrent des crues fortes et rapides (Bordei, 1988).

Les débits spécifiques moyens annuels ont dans la zone montagneuse des valeurs de 10 l/s.km² à 16 l/s.km². Dans la zone collinaire ceux-ci peuvent varier de 3 à $11-12$ l/s.km², tandis que dans la région de plaine ils ne dépassent pas 7 l/s.km². Les rivières transportent les quantités d'eau les plus importantes durant le printemps (41-43% du volume moyen annuel) et l'été (24-30%). Les périodes de baisses eaux surviennent en hiver (environ 15% pour les rivières de la région montagneuse) et en automne (14-15% pour les zones collinaire et de plaine). Les débits maximum annuels et les crues surviennent le plus fréquemment en été et au printemps (Zaharia *et al.*, 2001).

2. Données utilisées

Dans la région d'étude nous avons considéré initialement 43 bassins versants (fig. 2). Les données utilisées peuvent être groupées en trois catégories majeures: données hydrologiques, données météorologiques et données spatiales.

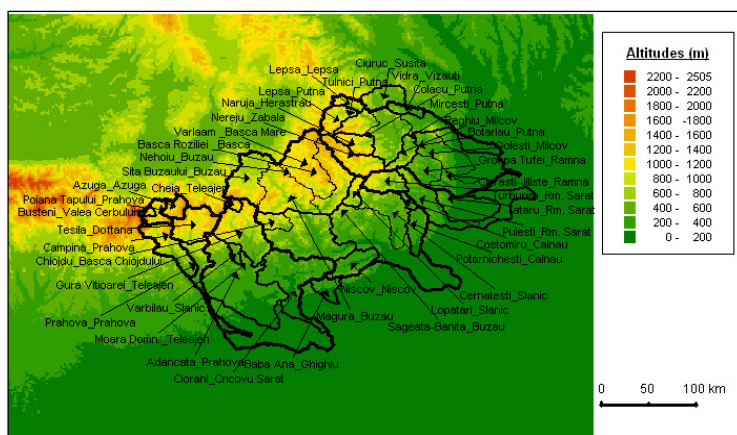
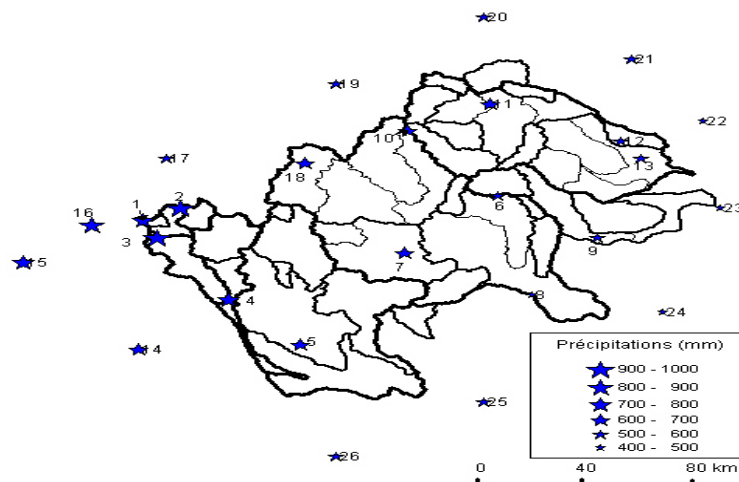


Fig. 2. Les bassins versants analysés et leur position par rapport à l'altimétrie.
Le premier nom correspond à la station de jaugeage et le deuxième à la rivière

Les données hydrologiques correspondent aux débits annuels de pointe, fournis par l'Institut National d'Hydrologie et Gestion des Eaux (I.N.H.G.A) de Bucarest. Les longueurs des séries varient entre 13 et 40 ans. Pour les rivières dont le régime hydrologique est influencé par l'aménagement des barrages réservoirs, seules les données de périodes antérieures à la mise en fonction des barrages ont été valorisées. C'est le cas de la rivière Buzau à Nehoiu, à Magura et à Banita et de la rivière Teleajen à Gura Vitioarei et à Moara Domneasca où les retenues de Siriu (sur le Buzău) et de Măneciu (sur le Teleajen) ont conduit à la diminution des débits après leur mise en fonction. Cette diminution a été mise en évidence par de tests graphiques et statistiques (le test de Wilcoxon).

Comme données climatiques nous avons utilisé les précipitations moyennes annuelles de 26 stations météorologiques situées dans la région d'étude et à sa proximité (fig. 3). Les longueurs des séries varient de 16 à 40 ans. Ces données (obtenues auprès de l'Administration Nationale de Météorologie de Bucarest – A.N.M.) ont servi au calcul des pluies annuelles moyennes pour les bassins versants. Les données spatiales correspondent aux différents caractéristiques géographiques des bassins versants: surface, altitude moyenne, pente moyenne, coefficient de forme, occupation des sols (la proportion des terres couvertes par des forêts et la proportion de terres cultivées).

Dans la section 4 nous présenteront la manière où les différentes données utilisées dans les modèles de régression ont été déterminées.



Index	Station météorologique	Index	Station météorologique	Index	Station météorologique
1	Vf. Omu	10	Lacauti	19	Targu Secuiesc
2	Predeal	11	Tulnici	20	Targu Ocna
3	Sinaia	12	Odobesti	21	Adjud
4	Campina	13	Focsani	22	Tecuci
5	Ploiesti	14	Targoviste	23	Maicanesti
6	Bisoca	15	Campulung Muscel	24	Faurei
7	Patarlagele	16	Fundata	25	Urziceni
8	Buzau	17	Brasov	26	Bucuresti-Baneasa
9	Rm. Sarat	18	Intorsura Buzaului		

Fig. 3. Les stations météorologiques dont les précipitations annuelles moyennes ont été utilisées comme données de base dans la régression multiple

3. La régression linéaire multiple comme méthode de régionalisation hydrologique

La régionalisation est une méthode utilisée en hydrologie qui a pour but d'étendre les informations disponibles dans un certain nombre limité de points d'un domaine, à l'ensemble du domaine. Par le biais des approches statistiques ou empiriques, la régionalisation permet d'offrir des réponses aux problèmes pratiques, comme l'estimation d'une variable hydrologique d'intérêt (par exemple le débit de pointe) d'un bassin versant pour lequel on ne dispose d'aucune observation (bassin versant non jaugé). Elle peut fournir aussi, une estimation des variables hydrologiques à différents temps de retour pour des sites jaugés où les données sont de quantité insuffisante ou de qualité incertaine, tout en réduisant les incertitudes. Le principe de base d'une méthode de régionalisation d'ajouter à l'information locale une information spatiale provenant de bassins versants ayant un régime hydrologique similaire à celui du bassin cible, c'est à dire appartenant à la même région homogène (Hosking and Wallis, 1997). La régionalisation hydrologique permet ainsi la consolidation des observations en un certain site en valorisant les observations réalisées sur l'ensemble d'une région considérée homogène à laquelle le site appartient.

La régression multiple est une technique statistique fréquemment utilisée dans la régionalisation hydrologique pour estimer les débits de pointe à différents temps de retour. Elle se base sur la relation existante entre les débits et les caractéristiques géographiques des bassins versants. Ainsi, pour une région considérée, le quantile du débit spécifique maximum de période de retour T ($q_{p(T)}$) peut être estimé avec la relation (Rasmussen *et al.*, 1994) :

$$q_{p(T)} = e^{\alpha_0} C_1^{\alpha_1} C_2^{\alpha_2} \dots C_i^{\alpha_i}, \quad (1)$$

où C_1, \dots, C_i sont des caractéristiques géographiques des bassins versants (variables explicatives); $\alpha_0, \dots, \alpha_i$ sont des paramètres de la régression (à estimer).

La transformation logarithmique de la relation précédente donne la forme linéaire du modèle :

$$\log(q_{p(T)}) = \alpha_0 + \alpha_1 \log C_1 + \alpha_2 \log C_2 + \dots + \alpha_i \log C_i. \quad (2)$$

La méthode de régression multiple présente l'avantage de n'être pas fortement dépendante de l'hétérogénéité de la région, mais elle a l'inconvénient d'être plus sensible aux fluctuations d'échantillonnage, notamment pour des débits de temps de retour élevé. De plus, une relation doit être établie pour chaque temps de retour considéré. Cette méthode est largement utilisée surtout pour estimer des variables hydrologiques d'intérêt dans le cas des sites non-jaugés. La littérature de spécialité abonde d'approches liées à ce type de méthode de régionalisation : Benson (1962, 1964), Gingras and Adamowski (1993), Stănescu și Oancea (1993), Pittlick (1994), GREHYS (1996 a, b), etc....

Nous avons appliqué la méthode de régression multiple des quantiles des débits de pointe pour l'ensemble de la région de la courbure de l'Arc Carpatique, en considérant 41 bassins versants. Des 43 bassins versants initiaux nous avons éliminé 2 – Mircești sur Putna et Moara Domnească sur Teleajen – à cause de leur discordance par rapport à l'ensemble du group. La mesure de la discordance a été calculée en appliquant le teste de la discordance, proposé par Hosking and Wallis (1993, 1997).

Comme nous l'avons déjà mentionné, les caractéristiques des bassins versants, considérées comme variables explicatives dans les modèles de régression sont : la surface, l'altitude moyenne, la pente moyenne, la forme (exprimé à l'aide de l'indice de compacité de Gravelius), la proportion des terres couvertes par des forêts, la proportion de terres cultivées, la pluie annuelle moyenne au niveau du bassin versant.

4. L'apport des sig et de la télédétection

Les techniques spécifiques aux SIG et les informations fournies par la télédétection nous ont été très utiles pour déterminer les données spatiales et climatiques introduites dans les modèles de régression multiple.

4.1. Utilisation des SIG

Les SIG ont été utilisés pour déterminer les caractéristiques géographiques des bassins versants: la surface, l'altitude moyenne, la pente moyenne, la forme.

Les limites des bassins versants et leurs surfaces ont été établies sur la base des cartes hydrographiques (à l'échelle 1:100 000) de *Atlasul Cadastrului apelor din Romania* (1992) (*l'Atlas du cadastre des eaux de Roumanie*), en utilisant le logiciel MapInfo (version 6.5.). Pour le calcul des altitudes moyennes et des pentes moyennes des basins versants nous avons eu comme base altimétrique le modèle numérique de terrain (MNT) GLOBE de *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), avec une résolution spatiale de 1 km. Le modèle a été téléchargé du site web <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/topo/globe.html>. Les calculs ont été réalisés avec la routine Vertical Mapper (version 3.0.).

La forme du bassin versant a été exprime à l'aide de l'indice de compacité de Gravelius (ICG), défini comme le rapport entre le périmètre du bassin versant et le périmètre du cercle ayant la même surface (Musy et Laglaine, 1992):

$$ICG = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}, \quad (3)$$

où P = le périmètre du bassin versant (en km) et A = la surface du bassin versant (en km²). Les paramètres P et A ont été calculés pour chaque bassin versant sur la base des cartes hydrographiques de *Atlasul Cadastrului apelor din Romania* en utilisant le logiciel MapInfo (version 6.5.).

Les pluies annuelles moyennes tombées au niveau des bassins versants ont été obtenues par l'interpolation des pluies annuelles moyennes des 26 stations météorologiques météorologiques, plus précisément l'interpolation des résidus des pluies, en logarithmes naturels, par la méthode de "Voisinage naturel" de la routine Vertical Mapper (version 3.0.).

4.2. Utilisation de la télédétection

Parmi les facteurs influençant les débits de pointe, l'occupation des sols joue un rôle important. Par conséquent, nous avons introduit dans les modèles de régression deux paramètres concernant l'occupation des sols : la proportion des terres couvertes de forêts et la proportion de terres cultivées. Ces paramètres ont été déterminés sur la base de l'*Eurasia Land Cover Database* (EDC) téléchargé du site web <http://edcdaac.usgs.gov/glcc/glcc.html>. Les données d'EDC correspondent à une résolution spatiale de 1 km et sont le résultat du balayage des satellites durant la période avril 1992-mars 1993. Pour estimer les pourcentages des deux types d'occupation des sols considérés, nous avons utilisé la classification de l'*International Geosphere Biosphere Programme's* (IGBP) qui contient 17 classes d'occupations du sol. Ces classes sont (d'après *Global Land Cover Characteristics Data Base*): 1 – forêts à feuillage persistant en aiguilles ; 2 – forêts à feuillage persistant déployé ; 3 – forêts de feuillus à feuillage en aiguilles ; 4 – forêts de feuillus à feuillage déployées ; 5 – forêts mixtes ; 6 – végétation arbustive haute ; 7 – végétation arbustive basse ; 8 – savane ligneuse ; 9 – savane herbeuse ; 10 – prairies ; 11 – marécages permanents ; 12 – cultures agricoles ; 13 – surfaces urbanisées et construites ; 14 – surfaces mosaïquées ; 15 – surfaces couvertes de neige et glace ; 16 – surfaces au sol nu et rocheuses ; 17 – surfaces aquatiques.

En croisant les informations fournies par la carte des occupations des sols de l'EDC avec la carte des bassins versants (délimités en MapInfo), à l'aide de la routine Vertical Mapper nous avons obtenu pour chaque bassin versant le nombre de pixels correspondant aux classes d'occupation des sols à l'intérieur des bassins versants. Nous avons estimé ensuite les pourcentages correspondant à chaque type d'occupation considérés de la manière suivante :

- proportion des terres couvertes par forêts: 90 % des classes de 1 à 5 + 50 % de la classe 6 + 50 % de la classe 7 + 20 % de la classe 9 + 30 % de la classe 14 ;
- proportion des terres cultivées : classe 12 + 30 % de la classe 14 .

Les caractéristiques géographiques des bassins versants, déterminées dans la manière montrée en haut sont présentées dans le *tableau 1*.

5. Les modèles de régression

Les modèles de régression ont été construits sur la base des matrices de corrélations entre les débits de pointe spécifiques à différents temps de retour et les caractéristiques géographiques des bassins versants. Les modèles initiaux ont été faits de telle sorte qu'aucune variable n'ait un coefficient de corrélation supérieur à 0,6 (en valeur absolue) avec une autre variable comprise dans le modèle (Zaharia, 2004, 2005).

Les débits de pointe spécifiques de divers temps de retour utilisés dans les régressions ont été estimés en ajustant aux données observées de chaque bassin versant une loi de PARETO généralisée dont les trois paramètres ont été déterminés par la méthode de L – moments (conformément à Hosking and Wallis, 1997). Nous avons choisi cette distribution locale sur la base des ajustements faits sur les séries de données observées et sur la base du diagramme des L – moments $\tau_3 - \tau_4$ (Meylan et Musy, 1999). Les paramètres des modèles de régression testés ont été estimés par la méthode «Stepwise Regression Procedure» effectuée avec le logiciel Splus (fonction « Stepwise »).

Pour estimer le débit spécifique de pointe annuel moyen (q_{pmoy}), équivalent à $q_{p2,33}$ nous avons créé cinq modèles initiaux (*tableau 2*). Les valeurs des coefficients de détermination indiquent que les meilleures équations sont celles qui englobent comme variables des bassins versants la surface, l'altitude moyenne et la pente moyenne. Nous avons retenu finalement le modèle où q_{pmoy} est estimé en fonction de la surface et de l'altitude moyenne du bassin versant et pas celui où q_{pmoy} est estimé en fonction de la surface et de la pente moyenne (les coefficients de détermination étant à peu près les mêmes), car les utilisateurs

disposent généralement des valeurs des altitudes moyennes des bassins versants, tandis que les pentes moyennes s'obtiennent plus difficilement.

Tableau 1

Caractéristiques géographiques des bassins versants analysés

Index	Station hydrométrique/Rivière	A (km ²)	ALT (m)	P (degré)	FOR	CUL	ICG	PA (mm)
1.	Lepșa/Putna	148	1051	5,9	0,46	0,27	1,38	639
2.	Lepșa/Lepșa	69	1034	4,4	0,60	0,17	1,48	651
3.	Tulnici/Putna	365	1014	5,6	0,54	0,21	1,32	650
4.	Nereju/Zăbala	251	1203	5,6	0,40	0,22	1,54	635
5.	Herăstrau/Naruja	140	1085	6,4	0,34	0,30	1,32	651
6.	Șita Buzăului/Buzău	354	887	3,3	0,61	0,17	1,54	667
7.	Nehoiu/Buzău	1559	1031	4,6	0,54	0,20	1,43	664
8.	Bășca Roziliei/Bășca Unita	759	1142	4,6	0,43	0,25	1,44	658
9.	Varlaam/Bășca Mare	434	1140	4,2	0,41	0,27	1,61	660
10.	Cheia/Teleajen	39	1276	7,0	0,74	0,11	1,26	749
11.	Poiana Tapului/Prahova	208	1282	6,1	0,66	0,15	1,46	914
12.	Azuga/Azuga	90	1334	5,8	0,72	0,14	1,33	921
13.	Bușteni/Valea Cerbului	25	1429	9,9	0,66	0,08	1,2	836
14.	Teșila/Dofțana	285	1162	5,4	0,65	0,17	1,34	852
15.	Ciuruc/Șușița	172	556	2,6	0,74	0,12	1,37	637
16.	Colacu/Putna	1096	954	5,0	0,47	0,23	1,32	639
17.	Vidra/Vizăuți	73	460	3,0	0,46	0,27	1,38	626
18.	Reghiu/Milcov	116	599	4,2	0,66	0,16	1,64	606
19.	Groapa Tufei/Ramna	171	411	3,3	0,71	0,14	1,22	590
20.	Tulburea/Râmnicu Sărat	177	790	4,5	0,58	0,18	1,31	564
21.	Măgura/Buzău	2281	914	4,6	0,57	0,19	1,61	666
22.	Chiojdu/Bășca Chiojdului	110	898	4,7	0,83	0,07	1,31	711
23.	Lopătari/Slănic	88	920	4,8	0,71	0,12	1,5	599
24.	Cernătești/Slănic	422	524	3,8	0,47	0,31	1,82	542
25.	Niscov/Niscov	191	321	3,5	0,86	0,06	1,36	606
26.	Costomiru/Calnău	39	494	2,9	0,60	0,17	1,57	540
27.	Potârnichești/Calnău	194	338	2,2	0,27	0,52	1,93	545
28.	Câmpina/Prahova	484	1124	5,5	0,58	0,20	1,86	892
29.	Gura Vitioarei/Teleajen	494	897	4,8	0,63	0,17	1,42	737
30.	Vărbilău/Slănic	42	503	4,0	0,49	0,22	1,4	734
31.	Botârlău/Putna	2485	505	3,3	0,45	0,27	1,46	620
32.	Mircești/Putna	1432	779	4,2	0,45	0,26	1,82	633
33.	Golești/Milcov	406	422	3,1	0,55	0,23	1,68	618
34.	Ciorăști-Jiliste/Ramna	334	308	2,6	0,50	0,29	1,49	577
35.	Puiești/Râmnicu Sărat	482	469	3,0	0,50	0,27	1,87	556
36.	Tătaru/Râmnicu Sărat	1007	181	1,0	0,32	0,45	1,73	536
37.	Martinești/Cotatcu	297	93	0,5	0,19	0,60	1,25	517
38.	Săgeata-Banița/Buzău	3992	633	3,7	0,49	0,29	1,7	642
39.	Baba Ana/Ghighiu	114	283	2,5	0,21	0,56	1,46	630
40.	Prahova/Prahova	984	1034	4,9	0,60	0,21	2,2	854
41.	Adâncata/Prahova	3708	382	2,3	0,43	0,37	1,69	696
42.	Moara Domnească/Teleajen	1456	427	2,4	0,45	0,34	1,65	715
43.	Cioranii de Sus/Cricovu Sărat	596	275	2,5	0,40	0,37	1,99	647

A = surface du bassin versant ; ALT = altitude moyenne du bassin versant ; P = pente moyenne du bassin versant ; FOR = proportion des forêts ; CUL = proportion des terres cultivées ; ICG = indice de compacité de Gravelius ; PA = pluie annuelle moyenne.

Tableau 2

Les modèles initiaux de régression multiple pour estimer le débit spécifique de pointe annuel moyen

Modèles initiaux	Equation du modèle	R ²
$q_{pmoy} = f(A, ALT, FOR, ICG)$	$\log(q_{pmoy}) = -2,3386 - 0,2523\log(A) + 0,3975\log(ALT)$	0,55
$q_{pmoy} = f(A, ALT, CUL, ICG)$	$\log(q_{pmoy}) = -2,3386 - 0,2523\log(A) + 0,3975\log(ALT)$	0,55
$q_{pmoy} = f(A, P, FOR, ICG)$	$\log(q_{pmoy}) = -0,5518 - 0,2299\log(A) + 0,5005\log(P)$	0,56
$q_{pmoy} = f(A, PA, FOR, ICG)$	$\log(q_{pmoy}) = 0,6236 - 0,2474\log(A) + 0,5586\log(FOR)$	0,46
$q_{pmoy} = f(A, PA, CUL, ICG)$	$\log(q_{pmoy}) = -0,4523 - 0,2223\log(A) - 0,3360\log(CUL)$	0,44

q_{pmoy} = débit spécifique de pointe annuel moyen [$m^3/s/km^2$] ; A = surface du bassin versant [km^2] ; ALT = altitude moyenne du bassin versant [m] ; FOR = la proportion des terres couvertes de forêts ; CUL = proportion des terres cultivées ; ICG = l'indice de compacité de Gravelius ; P = pente moyenne du bassin versant [degré] ; PA = pluie annuelle moyenne [mm] ; R² = coefficient de détermination.

Pour estimer les débits de pointe de temps de retour de 10, 20, 30, 50 et 100 ans nous avons considéré deux modèles de régression pour chaque temps de retour :

1. $q_{p(T)} = f(A, ALT, CUL, ICG)$ et
2. $q_{p(T)} = f(A, ALT, FOR, ICG)$,

La procédure « Stepwise » appliquée pour les deux modèles, pour chaque temps de retour nous a donné les mêmes équations.

Les modèles retenus finalement pour estimer les débits de pointe spécifique annuels à différents temps de retour sont synthétisés dans le *tableau 3*.

Tableau 3

Les modèles de régression linéaire multiple retenus pour estimer les débits de pointe annuels de temps de retour $T(q_{p(T)})$ ¹

Temps de retour (ans)	Formule d'estimation de $q_{p(T)}$
2,33	$q_{p2,33} = 0,096 \cdot A^{-0,2523} \cdot ALT^{0,3975}$
10	$q_{p10} = 0,443 \cdot A^{-0,2830} \cdot ALT^{0,3059}$
20	$q_{p20} = 0,69 \cdot A^{-0,3137} \cdot ALT^{0,3038}$
30	$q_{p30} = 0,85 \cdot A^{-0,3312} \cdot ALT^{0,3062}$
50	$q_{p50} = 1,07 \cdot A^{-0,3527} \cdot ALT^{0,3117}$
100	$q_{p100} = 1,39 \cdot A^{-0,3813} \cdot ALT^{0,3219}$

¹ D'après Zaharia, 2004.

Conclusions

Les informations fournies par la télédétection et les SIG (qui assurent souvent leur traitement) ont des applications extrêmement variées aidant à la résolution de plusieurs problèmes environnementaux.

L'hydrologie est un des nombreux domaines où ces techniques modernes s'avèrent très utiles. A travers cet article nous avons montré un exemple où des données obtenues par télédétection et les SIG ont été valorisées dans des modèles de régression linéaire multiple qui permettent l'estimation des débits de pointe à différents temps de retour dans la région de la courbure de l'Arc carpatique pour des bassins versants ou il n'y a pas d'observations directes ou elles ne sont pas d'une bonne qualité. Les modèles doivent être utilisés avec précaution en tenant compte des incertitudes reliées aux erreurs

intervenant dans les diverses étapes de la régionalisation. Quant à la qualité des informations fournies par télédétection et utilisées dans la régionalisation hydrologique, elle pourrait être améliorée en utilisant des images avec une bonne résolution et des techniques adéquates pour les traiter et valoriser.

Remerciements

Nous adressons nos remerciements à Markus Niggli d'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Laboratoire HYDRAM) pour le support méthodologique. Nous remercions également à l'Administration Nationale de Météorologie et à l'Institut National d'Hydrologie et Gestion des Eaux de Bucarest pour l'amabilité de nous avoir gentiment fourni les données hydro-météorologiques valorisées dans le travail.

Note

L'article représente la matérialisation de la communication orale présentée à la *Réunion d'animation scientifique du Réseau Télédétection de l'Agence Universitaire de la Francophonie*, avec le thème général *L'apport de la télédétection à l'étude de l'environnement*, déroulée à Bucarest, du 25 au 26 avril 2005.

USE OF REMOTE SENSING AND GIS IN THE HYDROLOGICAL REGIONALIZATION

Summary

Hydrology is one of the various fields where the remote sensing and GIS are very useful for solving different practical problems. This paper presents an application of informations acquisitioned by remote sensing and of GIS techniques in regionalization of the annual peak discharges of catchments in Carpathian Curvature area (Romania). The multiple-regression procedure was the applied as regionalization method. The remote sensing and GIS has been used for obtain the variables of the regression models (physiographic characteristics of catchments): area, mean elevation, mean slope, index of form, mean annual precipitation, proportion of forest, and proportion of croplands. The two last variables were determined from the Eurasia Land Cover Database (EDC), with 1 km nominal spatial resolution, and based on 1 km AVHRR data spanning April 1992 through March 1993. We used the classification of the International Geosphere Biosphere Programme's (IGBP) containing 17 land cover classes.

The obtained regression models can be used to estimate the annual peak discharges with different interval of recurrence in the study area, from catchments no-gauged or from catchments where the measured data have not a good quality.

Key words: remote sensing, GIS, hydrological regionalization, peak discharge, Carpathian Curvature area

REFERENCES

- AQUAPROIECT (1992), *Atlasul Cadastrului apelor din România*, 1:100 000, București.
- BENSON, M. (1962), „Evolution of Methods for Evaluating the Occurrence of Floods”, *Geological Survey Water-Supply Paper* 1580-A, Washington, 30 p.
- BENSON, M. (1964), „Factors Affecting the Occurrence of Floods in the Southwest”, *Geological Survey Water-Supply Paper* 1580-A, Washington, 72 pp.
- BORDEI-ION, N. (1988), *Fenomene meteoclimatice induse de configurația Carpaților în Câmpia Română*, Edit. Academiei, București, 175 p.
- COLLECTIF (1983), *Geografia României*, vol. I, Ed. Academiei R.S.R., București, 662 p.
- COLLECTIF (1987) *Geografia României*, vol. III, Ed. Academiei R.S.R., București, 655 p.
- DAO, H., GIACOMEL, G. (2005), *Cours de télédétection*, Université de Genève, <http://www.unige.ch/ses/geo/cours/td/>
- GINGRAS, D., ADAMOWSKI, K. (1993), „Homogeneous Regional Delineation Based on Annual Flood Generation Mechanisms”, *Hydrol. Sci. J.*, no. 38 (2), p. 103-121.
- GREYHS (1996a), „Presentation and Review of Some Methods for Regional Flood Frequency Analysis”, *Journal of Hydrology*, 186, no. 1-4, p. 63-84.
- GREYHS (1996b), „Inter-Comparison of Regional Flood Frequency Procedures for Canadian Rivers”, *Journal of Hydrology*, 186, no. 1-4, p. 85-103.
- HOSKING, J. R. M., WALLIS, J. R. (1993), „Some Statistics Useful in Regional Frequency Analysis”, *Water Resour. Res.*, no. 29 (2), p. 271-281.
- HOSKING, J. R. M., WALLIS, J. R. (1997), *Regional Frequency Analysis*, Cambridge, University Press, 224 p.
- MEYLAN, P., MUSY, A. (1999), *Hydrologie fréquentielle*, Ed. H.G.A., Bucarest, 413 p.
- MUSY, A., LAGLAINE, V. (1992), „Hydrologie générale”, *Cours polycopie*, EPF Lausanne, 534 p.
- NGDC, 2005, *The Global Land One-Km Base Elevation (GLOBE) Project*, <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/topo/globe.html>
- PITLICK, J. (1994), „Relation Between Peak Flows, Precipitations, and Physiography for Five Mountainous Regions in the Western USA”, *Journal of Hydrology*, no. 156, p. 219-240.
- RASMUSSEN, P. F., BOBÉE, B., BERNIER, J. (1994), „Une méthodologie générale de comparaison de modèles d'estimation régionale de crue”, *Revue des Sciences de l'eau*, no. 7, p. 23-41.
- STANESCU, V. A., OANCEA, V. (1993), „Procedures for Hydrological Regionalization Applied in Romania”, *International Conference of FRIEND*, Braunschweig (Allemagne), 11-15 Oct. 1993, AISH no. 221, p. 519-525.
- USGS (2005), *Global Land Cover Characterization*, <http://edcsns17.cr.usgs.gov/glcc/>.
- USGS (2005), *Global Land Cover Characteristics Data Base*, http://edcsns17.cr.usgs.gov/glcc/globdoc2_0.html
- ZAHARIA, L. (2004), „Estimarea scurgerii lichidelor maxime din regiunea Curburii externe a Carpaților prin metoda regresiei liniare multiple”, *Comunicări de Geografie*, vol. VIII, București, p. 161-166.
- ZAHARIA, L., 2005, „Matricea de corelații între parametrii scurgerii lichide maxime și caracteristicile geografice ale bazinelor hidrografice”, *Comunicări de Geografie*, vol. IX, București, sous presse.
- ZAHARIA, L., DIACONU, D., PETRACHE, R. (2001), „Evaluarea cantitativă a resurselor de apă ale râurilor din regiunea Curburii Externe (în limitele județelor Prahova, Buzău, Vrancea)”, *Comunicări de Geografie*, vol. V, București, p. 313-316.