

Classification orientée objet de la perméabilité des sols en zone urbaine à l'aide d'imagerie très haute résolution et de données laser scanner à Curitiba (Brésil)

■ Anne KARSENTY

En zone urbanisée, disposer d'outils permettant de prévoir les écoulements occasionnés par les pluies, est indispensable à la prévention des risques et au dimensionnement d'ouvrages. Depuis plus de 30 ans, les spécialistes en hydrologie et en télédétection unissent leurs connaissances pour modéliser le comportement des bassins versants et cartographier la perméabilité des sols. Dans ce domaine, le développement de l'imagerie THR, du laser scanner et de l'approche orientée objet est très prometteur. Cette étude se propose donc d'associer ces trois techniques et d'évaluer la fiabilité avec laquelle, elles permettent d'extraire les données nécessaires à la modélisation hydrologique.

■ mots clés

Modélisation hydrologique, Imagerie THR, Laser scanner, Segmentation, Logique floue

Introduction

■ Problématique de la perméabilité des sols

L'urbanisation entraîne la modification de la topographie, de la morphologie... mais surtout de la couverture du sol d'un bassin versant. Ces changements influent sur le cycle naturel de l'eau. L'imperméabilisation des sols, en particulier, entraîne une augmentation importante des ruissellements de surface. Ce phénomène a diverses répercussions environnementales : accroissement de l'érosion et de la production de sédiments, diminution de la qualité de l'eau, assèchement des nappes d'eau souterraines qui ne sont plus alimentées par l'infiltration, recrudescence de la fréquence des crues et des dégâts matériels, écologiques et humains.

La modélisation hydrologique des bassins versants est donc un outil indispensable, dès lors que l'on s'intéresse à des problèmes relatifs à la gestion des ressources en eau, à l'aménagement du territoire ou à l'un des différents aspects du risque hydrologique. Elle est sensée pouvoir décrire de façon fidèle les différentes étapes de la transformation pluie débit, en particulier les processus liés à la formation des crues.

Pour modéliser le comportement des bassins versant, les hydrologues disposent d'outils mathématiques complexes,

intégrant une grande quantité de données, dont la perméabilité du sol. Or une approche courante pour estimer la perméabilité, est de délimiter diverses catégories d'occupation des sols grâce à une carte, des photographies aériennes ou des images satellitaires.

■ Télédétection et hydrologie

Depuis son apparition dans les années 70, les hydrologues exploitent l'imagerie satellitaire pour cartographier la perméabilité des sols. Cette technique présente en effet des avantages incontestables par rapport aux méthodes classiques : en terme de coût, mais aussi de superficie couverte, de rapidité et de facilité de mise à jour. Aussi chaque évolution technologique dans ce domaine est suivie avec intérêt et de nouvelles solutions sont sans cesse à l'étude, pour obtenir des données plus fiables.

L'imagerie très haute résolution (THR), présente un niveau de détail bien meilleur que l'imagerie classique, c'est donc un outil puissant pour déterminer l'impact de l'urbanisation sur l'hydrologie des bassins versant. Cependant, les techniques de classification classiques, dites "par pixel", conviennent mal au traitement d'images aussi riches en informations ; elles aboutissent à un effet "poivre et sel", qui rend difficile l'interprétation de l'image. Pour pallier le problème, de nouvelles approches ont été développées, telles que la classification orientée objet. Dans le même temps, le développement du laser scanner aéroporté permet aujourd'hui de générer des modèles numériques de terrain et d'élévation de grande qualité ; ainsi, en zone urbaine, peut-on extraire les bâtiments de manière très précise.

■ Objectifs

L'objectif de l'étude résumée ici réside en l'exploitation des dernières avancées technologiques en télédétection, pour réaliser une classification de l'occupation des sols sur le site de L'UFPR (en périphérie de Curitiba) et en déduire la perméabilité des sols. Les classes définies sont basées sur le modèle du "Curve Number", développé par le "Natural Resources Conservation Service" (agence du "United States Department of Agriculture"). Ce modèle comporte en effet une table associant à chaque type d'occupation des sols un coefficient de perméabilité, permettant de calculer la perméabilité globale d'un bassin versant.

Cette recherche se fonde sur la classification orientée objet simultanée d'une image Quickbird et de données laser scanner.

Cette étude est réalisée à l'aide du logiciel eCognition, développé par Definiens Imaging en Allemagne, pionnier dans le domaine de l'analyse orientée objet. Elle vise à tester l'efficacité de l'approche orientée objet pour la classification d'image THR et l'apport des données laser scanner dans la détermination de l'occupation des sols en zone urbaine.

Classification de la perméabilité des sols

■ Matériel et méthodes

Les données Quickbird et laser scanner ont été traitées avant utilisation pour faciliter l'étude. Au final, les données intégrées au projet sont :

- Une image hybride Quickbird, fusion de l'image multispectrale et panchromatique, composée des bandes spectrales rouge, verte, bleue et proche infrarouge.
- Une image laser, issue de données laser scanner, représentant l'élévation des objets par rapport au sol.
- Le tout ayant été ramené à une résolution spatiale de 0,7 mètres. Pour diminuer les temps de calcul, l'étude a été réalisée sur deux zones découpées dans les images : une "Zone 1" très verte et de forme urbaine simple et une "Zone 2" de densité urbaine plus élevée.

■ Démarche

Choix des classes

L'objectif premier de l'étude est de classer l'image pour en tirer des classes d'occupation des sols intégrables à un modèle hydrologique, ici le modèle du Curve Number. Huit classes ont ainsi été déterminées :

- "Toits" : bâtiments
- "Imperméable" : sol imperméable (béton, bitume)
- "Perméable" : sol perméable (terre, gravier)
- "Végétation urbaine" : végétation dans un cadre urbain
- "Végétation rurale" : forêt
- "Herbe" : pelouse
- "Ombre sur bâti" : ombre projetée sur de l'imperméable
- "Ombre sur végétal" : ombre projetée sur de la végétation

La classification orientée objet sous eCognition se divise ensuite en deux étapes :

- Une segmentation multirésolution
- Une classification supervisée basée sur la logique floue

Segmentation

La segmentation de l'image consiste à diviser l'image en régions homogènes, de manière à faire ressortir les objets réels du terrain. Les objets sont créés par croissance de région, c'est-à-dire, par fusion de pixels adjacents. Un "paramètre d'échelle" ou "critère d'hétérogénéité" est fixée par l'utilisateur, pour stopper le processus : il intègre la couleur et la forme des objets. La forme prend

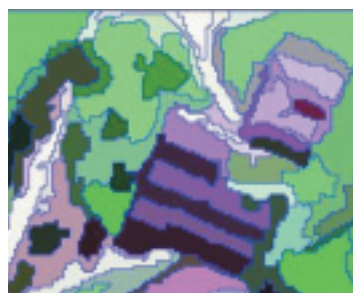
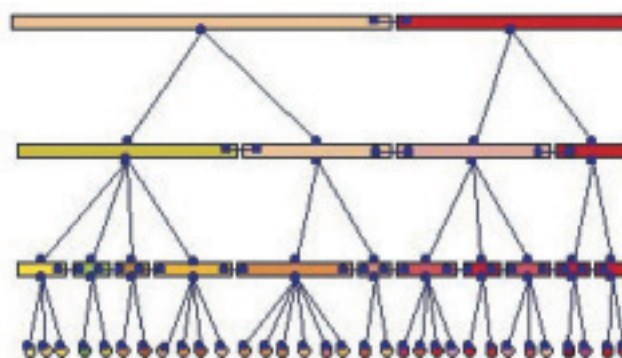


Figure 1 : segmentation et réseau hiérarchique de l'image



elle-même en compte deux paramètres : compacité et lissage. Ce critère est en fait une valeur abstraite qui permet d'influencer la taille et la forme de l'objet suivant la pondération accordée à chaque paramètre.

En segmentant successivement l'image à différentes résolutions on obtient un réseau hiérarchique d'objets qui représente différents niveaux de réalité sur le terrain. Dans ce réseau, chaque objet "connaît" son contexte, c'est à dire ses voisins, ses sous-objets et son super-objet. (Figure 1). L'avantage de travailler avec des objets plutôt que des pixels, est qu'en plus de caractéristiques spectrales, un objet possède des caractéristiques géométriques (longueur, périmètre...), topologique (position dans l'image et par rapport aux autres objets) et sémantiques (liée à sa signification).

Les classes choisies correspondent à différents niveaux de détail sur le terrain. Aussi, trois niveaux de segmentation ont été définis. Un premier avec un "critère d'hétérogénéité" de

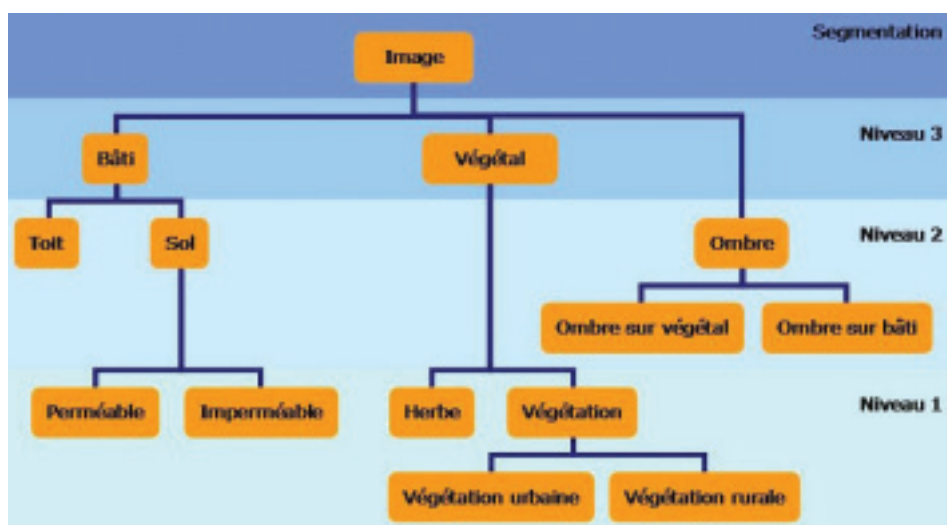


Figure 2 : Répartition des classes dans les niveaux de segmentation définis

10 pour distinguer les petits objets, un de 25 pour mettre en valeur la structure urbaine, notamment les bâtiments et un de 40 qui représente le découpage global de l'image. (Figure 2)

Le but étant de distinguer des structures urbaines, le poids accordé à la forme était élevé (0,3) dans les niveaux 1 et 2. Il a été diminué à 0,2 pour le niveau 3, afin d'éviter un amalgame excessif des objets. Pour extraire les bâtiments la compacité des objets a aussi été prise en compte à hauteur de 0,6. Néanmoins la pondération de la segmentation reste empirique et son appréciation visuelle. Aucune segmentation n'est parfaite.

Classification

La classification se base sur la théorie des ensembles flous. Ce concept utilise, pour définir un ensemble, des valeurs graduées entre 0 et 1 et non strictement vraies ou fausses. Un ensemble flou est défini par une fonction d'appartenance, qui décrit le degré avec lequel un élément x appartient à l'ensemble. La logique floue permet ainsi de représenter des modèles vagues; elle convient bien à la description des dépendances entre différents types d'informations et à la représentation des données géographiques.

Dans une classification floue, une classe est définie par une combinaison de fonctions floues, portant sur différentes caractéristiques des objets. Chaque objet se voit attribuer, selon ces fonctions, un degré d'appartenance à chaque classe: cette valeur n'est pas une probabilité mais une possibilité admise. Généralement, l'objet est au final attribué à la classe pour lequel il a le plus haut degré d'appartenance.

La méthodologie utilisée pour cette étude se base essentiellement sur la hiérarchie des classes et l'opérateur logique "NON". La séparation de deux classes se base sur le choix d'une classe "A" facile à décrire grâce à une fonction floue simple, la définition des autres est défini comme étant "Non A". On peut associer à la classification toutes les données disponibles: relations hiérarchiques, sémantiques, données laser... On crée ainsi une structure où chaque classe est définie dans un niveau donné et où toutes les classes sont liées. La structure peut être sauvegardée et appliquée à une autre image (Figure 3). Cette méthode permet donc d'intégrer directement les connaissances de l'opérateur et la classification obtenue est transparente et facilement adaptable d'une image à une autre, c'est-à-dire dans cette étude, d'une zone à l'autre.

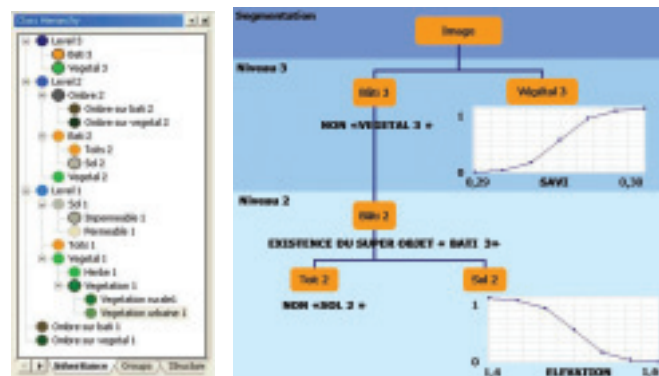


Figure 3 : Structure de la classification et extrait de la définition des classes

Résultats et analyse

Résultats

La classification aboutit à trois niveaux de classification, du plus large au plus détaillé, ce dernier représentant la carte de l'occupation des sols. (Figure 4)

Analyse

La première constatation pouvant être faite est que la segmentation préalable de l'image améliore significativement la lecture de l'information géographique, puisque l'effet "poivre et sel" est inexistant.

L'analyse de la classification à travers une matrice de confusion ayant pour référence la monorestitution des zones d'étude permet de quantifier la fiabilité ou "précision pour l'utilisateur" de

Classes	Précision pour l'utilisateur (%)	
	Zone 1	Zone 2
Toits	84,75	71,47
Imperméable	84,76	82,75
Perméable	51,24	2,11
Végétation	88,09	39,84
Herbe	81,57	57,07
Précision Totale (%)	77,21	59,79

Figure 5 : Matrice de confusion



Figure 4 : trois niveaux de classification obtenus

la classification. Plusieurs remarques peuvent être faites (Figure 5):

- La classification de la "Zone 1" donne de meilleurs résultats que celle de la "Zone 2", ce qui était prévisible puisque la forme urbaine de la deuxième zone était beaucoup plus complexe.
- Dans les deux cas, on obtient une très bonne fiabilité en ce qui concerne les zones imperméable, c'est-à-dire les structures urbaines.
- Au contraire la classe "perméable" donne à chaque fois des résultats inférieurs aux autres classes. Une étude supplémentaire pourrait consister à améliorer la définition de cette classe. Cependant plusieurs sources d'erreur peuvent expliquer les résultats mitigés de la seconde zone:
- L'angle de prise de vue de l'image Quickbird était médiocre, ce qui entraîne d'une part des ombres, en particulier en zone très urbanisée, d'autre part l'apparition des façades, qui englobe une plage d'altitude entre toits et sol et qui sont donc parfois classifiées de manière erronée.
- Un problème de concordance des données a aussi fait apparaître des erreurs. En effet les données satellitaires dataient de mars 2002 et les données laser de mai 2003 certains bâtiments apparaissaient donc sur un type de données et pas l'autre.
- L'imperfection de la segmentation implique parfois des erreurs de classification au niveau de la classification la plus large, qui sont transmises au niveau le plus fin qui a été évalué.
- Les résultats doivent enfin être relativisés car la monorestitution est considérée comme une référence 100 % exacte, alors que la restitution de limites nettes comme celle du bâti est beaucoup plus fiable que celle de forme floue telle que du sol nu.

Conclusion et perspectives

L'objectif de cette étude était de valider l'utilisation de nouveaux outils pour la détermination de la perméabilité des sols en zone urbaine. En développant une classification pertinente on parvient à extraire des catégories d'occupation des sols avec une bonne fiabilité pour la majorité des paramètres évalués. En particulier les zones perméables qui ont une importance essentielle en hydrologie.

Les résultats concernant la méthode sont quant à eux très prometteurs. La segmentation facilite de beaucoup l'interprétation thématique de l'image en se rapprochant du mode de fonctionnement de la vision humaine, qui ne perçoit pas une image en pixel mais en zones homogènes. Elle met aussi à la disposition de l'opérateur des notions géométriques, topologiques et sémantiques qui enrichissent significativement la classification.

La logique floue permet ensuite de construire une classification, qui est le reflet de nos connaissances et de notre perception du monde réel; puisqu'elle permet d'intégrer directement nos connaissances scientifiques et intuitives. La lecture des informations géographiques, contenues dans la classification est donc très naturelle.

L'introduction des données laser améliore la segmentation mais facilite surtout la classification. L'élévation, qui permet intuitivement de distinguer le sol des constructions, n'apparaît pas sur une image satellitaire. En l'intégrant, au travers des données laser, on dispose d'un outil puissant pour mettre

en évidence certaines classes de sol, qui habituellement se confondent, tel que sol et toits.

Aux vues des résultats, cette étude donne des perspectives très encourageantes, concernant l'utilisation des dernières avancées de la télédétection en hydrologie. De plus, les techniques et méthodes utilisées pour ce projet sont en constante évolution. Cette approche, combinant image THR, données laser et classification orientée objet pourrait donc être une solution d'avenir pour la classification de la perméabilité des sols et sa fiabilité sera amenée à s'améliorer.

De plus, bien que notre étude soit liée à la problématique de l'hydrologie, les conclusions de ce projet présentent un intérêt dans de nombreux autres domaines utilisant la télédétection comme outil de travail. Particulièrement dans les secteurs où l'extraction des bâtiments est utile, comme l'urbanisme ou l'aménagement du territoire.

La classification orientée objet a aussi le potentiel de fournir des bases de données extrêmement riches pour les systèmes d'informations géographiques. Les objets classifiés possèdent en effet des caractéristiques géométriques, topologiques et sémantiques, qui peuvent être assimilées à une table d'attributs. Cette possibilité est d'autant plus attractive qu'avec l'imagerie satellitaire, la mise à jour des données est simple et rapide. ●

Bibliographie

■ Ouvrages et revues

Azevedo, F. et al. [2000], Redes neurais com aplicações em controle e em sistemas especialistas, Capítulo 3: Sistemas "Fuzzy". Edition Bookstore, Bresil, p 49-68.

Baatz, M. & Schöpe, A. [2000], Multiresolution segmentation - an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation; Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII, Edition Herbert Wichmann, Karlsruhe, p 12-23.

<http://www.definiens-imaging.com/documents/reference2000.htm>

Blaschke, T. & Strobl, J. [2001], What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS; GIS 6/2001, Hüthig GmbH & Co. KG, Heidelberg.

<http://www.definiens-imaging.com/documents/gis.htm>.

Blaschke, T. et al. [2000], Object-oriented image processing in an integrated GIS/remote sensing environment and perspectives for environmental applications; Environmental information for Planning, Politics and the Public, Edition Metropolis, Marburg, Vol.2, p. 555-570.

Congalton R. G. et al. [1994], Remote sensing thematic accuracy assessment: a compendium. American society for Photogrammetry and Remote Sensing, Lynn K. Fenstermaker Edition, Las Vegas, EUA. ISBN 1-57 083-002-9, p. 257-272.

De Kok, R. et al. [1999], Object-based classification and applications in the alpine forest environment; International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Valladolid, Espagne, Vol. 32, Part. 7-4-3 W6, Juin.

Eastman, J. [2001], Decision Rule Uncertainty, IDRISI Guide to GIS and Image Processing, Vol. 2, Chap. 2, p. 29-39.

- ■ ■ **Mansor, S. et al.** [2002], Object-oriented classification for land cover mapping; Conference proceedings of Map Asia, www.gisdevelopment.net, Thailand, 7-9 Aout.
- Metternicht, G.** [1999], Change detection assessment using fuzzy sets and remotely sensed data: an application of topographic map revision, Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, ISPRS, EUA, No. 54, Elsevier Sciences, p. 221-233.
- Mohd, M. & Mansor, M.** [1999], Flood prediction from Landsat Thematic Mapper data and hydrological modeling; Proceedings of the Asian Conference on Remote Sensing, www.gisdevelopment.net, China, 22-25 Novembre.
- Puissant, A.** [2003], Information géographique et images à Très Haute Résolution: utilité et applications en milieu urbain. Thèse de Doctorat, ULP, Strasbourg, p. 255-300/325. <http://imaville.u-strasbg.fr/perso/aprec.html>
- Ragan, R. & Jackson, T.** [1975], Use of satellite data in urban hydrologic model; Journal of the Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers, EUA, Vol. 101, No. HY12, Decembre, p. 1469-1475.
- Ragan, R. & Jackson, T.** [1980], Runoff synthesis using Landsat and SCS Model; Journal of the Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers, EUA, Vol. 106, No. HY5, Mai, p. 667-678.
- Schiewe, J. et al.** [2001], Potential and problems of multi-scale segmentation methods in remote sensing; GIS 6/2001, Hüthig GmbH & Co. KG, Heidelberg. <http://www.definiens-imaging.com/documents/gis.htm>.
- Wang, F.** [1990], Fuzzy supervised classification of remote sensing images, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, IEEE, Vol. 28, No. 2, Mars, p. 194-201.
- Willhauck, G.** [2000], Comparison of object-oriented classification techniques and standard image analysis for the use of change detection between SPOT Multispectral satellite images and aerial photos, International Archive of Photogrammetry and Remote Sensing, Pays Bas, Vol. XXXIII, Part. B3, p. 214-221.

■ Documents de formation

- Baatz, M. et al.** [2002], eCognition 3 Trial Version User Guide, Allemagne. Disponible sur: <http://www.definiens-imaging.com/down/index.htm>
- Gabriel, P.** [2001], Introduction à la logique floue et à la commande floue, Cours à l'université de Liège, Département d'Electricité, d'Electronique et d'Informatique. Disponible sur: <http://elap.montefiore.ulg.ac.be/fuzzy/>
- Gonzalez, R. C.** [2000], Processamento de Imagens, Capítulo 7: Segmentação de Imagens, Curso na Universidade de Brasília. Disponible sur: <http://www.ene.unb.br/~juliana/cursos/pimagens/aulas.html>
- Lachowski, H.** [1994], Guidelines for use of digital imagery for vegetation mapping, Chapter 7: Accuracy assessment, USDA Forest Service, Salt Lake City, EUA.
- Musy, A.** [2003], Hydrologie générale, Cours à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Laboratoire d'Hydrologie et d'Aménagements. Disponible sur: <http://hydram.epfl.ch/e-drologie/>
- Thiran, J. P.** [2004], Reconnaissance des formes, Cours 2: Segmentation, Cours à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Laboratoire de Traitement des Signaux. Disponible sur: <http://ltswww.epfl.ch/~coursrf/rf-cours2.pdf>

■ Sites internet

- DEFINIENS Imaging@[2004], eCognition elements. URL <http://www.definiens-imaging.com>
- NRCS@[2004], US Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Hydrolics and Hydrology. URL <http://www.wcc.nrcs.usda.gov/hydro>

Remerciements

A Jorge Centeno et Alzir Felipe Antunes, professeurs en cartographie à L' Université Fédérale du Paraná. A toute l'équipe enseignante de l'INSA Strasbourg, notamment Tania Landes, professeur de télédétection.

Contact

Anne KARSENTY

A l'I.N.S.A. Strasbourg, filière topographie.
E-mail : annekarsenty@yahoo.fr

Curriculum Vitae

Anne KARSENTY

2005 : MASTER professionnel "Architecture, ville et projet urbain". Université de Marseille Luminy.

2004 : Diplôme d'Ingénieur Géomètre Topographe. I.N.S.A. Strasbourg (formation ENSAIS).

Projet de Fin d'Etude. "Classification orientée objet de la perméabilité des sols en zone urbaine à l'aide d'imagerie très haute résolution et de données laser scanner". Universidade Federal do Paraná (Curitiba - Brésil).

1999 : BAC Scientifique. Lycée C. N. Ledoux Besançon

ABSTRACT

Key words : Hydrological modelling, VHR Imagery, Laser scanner, Segmentation, Fuzzy logic

Urban watershed runoff estimation is an essential information for risk prevention and structure design. Hydrologist and remote sensing specialists have been working together for more than 30 years in order to predict and model the runoff behavior and product soil imperviousness' maps. High resolution imagery, laser scanning and object oriented classification seems to be promising tools for this field of study. This project objective is to gather those three new techniques for data extraction needed for hydrological modeling.