

LA DYNAMIQUE HYDRO-SEDIMENTAIRE DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE JIU

APPROCHE SYSTEMIQUE ET MULTI-ECHELLE

GABRIELA ADINA MOROȘANU

**LA DYNAMIQUE HYDRO-SEDIMENTAIRE
DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE JIU**

APPROCHE SYSTÉMIQUE ET MULTI-ÉCHELLE



EDITURA UNIVERSITARĂ
București, 2020

Colecția PĂMÂNTUL – CASA NOASTRĂ

Referenți științifici: Liliana Zaharia, prof. Univ. Dr. Faculté de Géographie, Université de Bucarest
Philippe Belleudy, prof. Univ. Dr. Emerit, Université Grenoble Alpes, Institut des Geosciences de l'Environnement

Redactor: Gheorghe Iovan
Tehnoredactor: Ameluța Vișan
Coperta: Monica Balaban

Editură recunoscută de Consiliul Național al Cercetării Științifice (C.N.C.S.) și inclusă de Consiliul Național de Atestare a Titlurilor, Diplomelor și Certificatelor Universitare (C.N.A.T.D.C.U.) în categoria editurilor de prestigiu recunoscut.

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

MOROȘANU, GABRIELA ADINA

**La dynamique hydro-sédimentaire du bassin de la rivière Jiu :
approche systémique et multi-échelle / Gabriela Adina Moroșanu. -**

București : Editura Universitară, 2020

Conține bibliografie

ISBN 978-606-28-1203-4

556

DOI: (Digital Object Identifier): 10.5682/9786062812034

© Toate drepturile asupra acestei lucrări sunt rezervate, nicio parte din această lucrare nu poate fi copiată fără acordul Editurii Universitare

Copyright © 2020
Editura Universitară
Editor: Vasile Muscalu
B-dul. N. Bălcescu nr. 27-33, Sector 1, București
Tel.: 021.315.32.47
www.editurauniversitara.ro
e-mail: redactia@editurauniversitara.ro

Distribuție: tel.: 021.315.32.47 / 0745 200 718/ 0745 200 357
comenzi@editurauniversitara.ro
www.editurauniversitara.ro

Dédicace à ma mère

If the earth is a mother, then rivers are her veins
(Amit Kalantri)



La Jiu dans le secteur des gorges (Moroşanu, octobre 2017)

AVANT-PROPOS

La recherche menée dans ce travail porte sur une problématique d'un vif intérêt, aussi théorique, que pratique: la dynamique hydro-sédimentaire dans le cadre d'un bassin versant. C'est une étude au caractère systémique, à plusieurs échelles spatiales et temporelles pouvant aider, d'une part, à la meilleure connaissance et compréhension du fonctionnement hydro-sédimentaire du bassin étudié (dans ce cas, le bassin de la rivière Jiu), sous l'action de l'ensemble des facteurs naturels et anthropiques qui lui sont spécifiques et d'autre part, à la gestion adéquate des ressources hydriques, des sédiments et des processus fluviaux.

Le travail est le résultat d'une grosse et rigoureuse recherche, menée dans le cadre d'une thèse de doctorat en co-tutelle franco-roumaine, qui apporte des résultats précieux et des contributions originales, voire innovantes, aussi du point de vue scientifique que méthodologiques. L'originalité de ce travail réside, en principal, de deux aspects majeurs : 1) son caractère transdisciplinaire (en intégrant des approches et méthodes d'analyse spécifiques à plusieurs domaines scientifiques : géographie, hydrologie, géomorphologie, hydro-géomorphologie, hydraulique, sédimentologie, géochimie etc.) et 2) l'utilisation de certains éléments chimiques spécifiques au territoire du bassin versant de la rivière Jiu (charbon, métaux lourdes et lanthanides) comme traceurs naturels pour identifier les trajectoires des flux liquides et solides. L'intégration des analyses portant sur le charbon, ainsi que sur les métaux lourdes et lanthanides, basées sur des méthodes géochimiques et de pétrologie organique peut être considérée comme une approche novatrice dans l'étude de la dynamique hydro-sédimentaire, au moins en Roumanie.

Prof. univ. dr. Liliana Zaharia

ABSTRACT

The present book, titled “**The Hydro-sedimentary dynamics of the Jiu River Watershed. A systemic and multi-scale approach**” sets about to investigate the dynamics of liquid and solid flows in a challenging watershed represented by the Jiu River Basin. The Jiu River (with a length of 339 km) is one of the main tributaries of the Danube in its Romanian sector, and its watershed stretches over an area of 10,080 km², in SW Romania.

Jiu River Basin is defined by complex geographical features, determined by a variety of natural and socio-economic factors. From an economic standpoint, the element that makes Jiu's watershed stand out among other comparable rivers is the presence and exploitation of coal in its upper sector (bituminous coal) and middle sector (lignite), as these activities have left their mark on the quality of the water and the quantity and origins of fine sediments. In this study, we relied upon the existence of coal resources in order to investigate the hydro-sedimentary dynamics in the Jiu River Basin and identify the fine sediment sources, by performing an analysis of coal particles found in the fine sediments, which was carried out through different laboratory methods.

By means of a cross-disciplinary approach, we sought to answer two major questions related to the hydro-sedimentary dynamics of our watershed:

(i) Which are the natural and human factors that contribute to the production and transfer of the solid and liquid fluxes within the Jiu River basin?

(ii) What is the importance of spatial and temporal scales in the analysis of the hydro-sedimentary dynamics with regards to sediment sources, extreme hydrological events, transfer paths and the most favorable accumulation areas?

In the first part, we carried out an analysis at the scale of the entire basin, in order to highlight the physical-geographical and anthropic factors controlling the liquid and solid flows. We focused on issues such as the connectivity between sources – transfer – accumulation areas, the hydrological variability and the relationship between the solid and the liquid discharge, as well as a preliminary geomorphological mapping of alluvium-generating processes.

In the second part, we shifted from the systemic perspective towards smaller spatial and temporal scales, which we saw as being able to reflect the role of extreme hydrological events (the largest floods recorded in Jiu River Basin) in the hydro-sedimentary dynamics and the contribution of the main sub-catchments in the sediment transfer. The methodological approach integrated hydrological techniques (performed using flood indices), field research (which sought to identify a sediment deposition site) and various laboratory investigations (namely colorimetric tracing, geochemistry, organic petrology).

The results of our research managed to connect the elements and factors behind the hydro-sedimentary dynamics in the study area, as seen at various spatial and temporal scales, into a systemic vision. The laboratory analyses (performed at micron scale of the sediment sample), the study of flood events (at daily, seasonal and annual timescales and at the level of the sub-catchments), as well as the hydrological, geographical and geomorphological investigations of Jiu watershed's particularities have all contributed to a better understanding of the hydro-sedimentary dynamics, offering original insight into potential alluvial sources, the composition and quantity of sediments and the transfer paths they follow.

Key words: Jiu River Basin, systemic analysis, coal, hydro-sedimentary dynamics, spatial and temporal scales, flash floods, fine sediments.

RESUME

La rivière Jiu est un affluent du Danube en Roumanie. Son bassin versant, d'une surface 10 080 km² se caractérise par des particularités géographiques complexes, en raison notamment de facteurs physiques très diversifiés.

Ce travail se propose de répondre aux questions suivantes :

(i) Quels sont les facteurs naturels et anthropiques contribuant à la production et au transfert des flux de matière liquide et solide au niveau du bassin de la rivière Jiu et quel est leur rôle dans la dynamique hydrosédimentaire ?

(ii) Quelle est l'importance des échelles spatiales et temporelles dans l'analyse de la dynamique hydrosédimentaire en ce qui concerne les sources de sédiments, les événements hydrologiques extrêmes, les voies de transfert et les zones favorables à l'accumulation ?

Un traceur hydrosédimentaire original a été utilisé par cette recherche. Le bassin versant draine en particulier deux gisements de charbon, de la houille à l'amont et du lignite dans le secteur moyen de piémont.

La démarche méthodologique a suivi une optique allant du général vers le particulier.

Dans la première partie du travail, les analyses sont réalisées à l'échelle du bassin entier, afin de mettre en évidence les facteurs physiques et anthropiques qui contrôlent les flux liquides et solides. Les résultats montrent la connectivité entre les zones de production sédimentaire, les zones d'accumulation intermédiaires et le transfert vers l'aval. Une cartographie des processus géomorphologiques génératrices de sédiments est établie.

Dans la deuxième partie, on passe de la perspective systémique sur l'ensemble du bassin de la Jiu à d'autres échelles spatiale et temporelle. L'approche méthodologique originale utilise une analyse statistique des séries hydrologiques, qui permet de classer les différentes crues majeures des dernières décennies (dans quels bassins versants ont-elles été générées?). D'autre part une batterie de techniques de laboratoire (colorimétrie, analyses géochimiques et de pétrologie organique) permettent d'analyser la teneur des deux espèces de charbon dans les sédiments collectés dans les principaux affluents ainsi que dans les dépôts sédimentaires à l'aval. Le travail met finalement en relation les sédiments déposés en couches successives à l'aval avec les différentes crues et leur provenance.

On identifie le rôle des crues majeures enregistrées dans le bassin de la Jiu, dans la dynamique hydrosédimentaire ainsi que la contribution des sous-bassins au transfert des sédiments fins à l'occasion de ces crues.

Cette recherche a mis en relation les facteurs de la dynamique hydrosédimentaire à des diverses échelles spatiales et temporelles dans une approche systémique. Ce travail appliqué au bassin de la rivière Jiu s'appuie sur les particularités de ce bassin, et en particulier sur la présence des exploitations de charbon qui offrent un marqueur sédimentaire fort. Cette combinaison originale de méthodes peut être développée pour d'autres rivières, avec d'autres caractéristiques, et contribuer à une connaissance de la dynamique hydrosédimentaire dans leur bassin versant.

Mots-clefs: analyse systémique, le bassin versant de la rivière Jiu, charbon, la dynamique hydrosédimentaire, échelles spatiales et temporelles, crues.

REMERCIEMENTS

A l'issu de ce travail de thèse, je tiens à remercier à toutes les personnes qui m'ont donné un coup de pouce ou qui, par un heureux hasard, m'ont positivement influencé et inspiré.

En premier lieu, je rends grâce à mes deux directeurs de thèse qui constitue le fondement de ce travail : Liliana Zaharia (professeur à l'Université de Bucarest) et Philippe Belleudy (prof. émérite à l'Université Grenoble Alpes), pour la confiance que vous avez investie en moi et pour tout le support scientifique et moral que vous m'avez donné.

Mme Liliana Zaharia, c'est avec vous que j'ai grandi comme scientifique et que j'ai découvert la passion pour les rivières. C'est une reconnaissance que je vous partage ici pour m'avoir acceptée et guidée tout au long de mon parcours universitaire, de la licence jusqu'à la thèse de doctorat, pour les projets communs, à des fins de recherche, didactiques ou administratives. Tous ces situations de travail ensemble ont confirmé votre qualité professionnelle et humaine et notre compatibilité. Je vous remercie pour les conseils toujours pertinents, pour votre encouragement, pour l'esprit éthique, pour votre télépathie autant sur le plan professionnel que personnel.

M. Philippe Belleudy, je vous remercie pour avoir sacrifié une partie précieuse de votre temps au cours des dernières années de votre carrière, pour mener au but une thèse assez compliquée, surtout du point de vue de la "compatibilité" de pensée et entre les systèmes d'éducation roumain et français. Nous avons eu des entretiens féconds, qui m'ont enrichie et m'ont conduit vers la réponse ou, au moins, vers une hypothèse. Je vous remercie également pour le soin que vous avez pris de moi pendant mes séjours à Grenoble, pour les voyages dans les Alpes, pour les délicieux pique-niques, pour les livres empruntés.

Je suis fortement reconnaissante de l'appui de la part des directeurs des Ecoles Doctorales au sein desquelles ma thèse s'est déroulée, au personnel administratif des deux institutions de la Roumanie et de la France et aux membres du jury de la soutenance qui a eu lieu le 19 décembre à Bucarest : prof. Iuliana Armaş (du côté roumain), de la part de l'Ecole Doctorale « Simion Mehedinți – Nature et Développement Durable » et profs. Guy Delrieu et Emmanuel Cosme du côté français, de la part de l'Ecole Doctorale « Terre, Univers, Environnement ». J'exprime aussi mon gré aux secrétaires de ces deux écoles doctorales, qui m'ont accompagné au long des lourdes démarches administratives. Mme Alexandrina Razaei, Mme Oana Puia, Mme Florence Thomas, Mme Christine Bigot et beaucoup d'autres personnes chargées scientifiques et administratives des deux établissements.

J'adresse aussi mes remerciements aux membres du jury, pour l'effort d'évaluation de mon mémoire : Prof. Laura Comănescu (présidente), Prof. Pierre – Gil Salvador, Acad. Dan Bălțeanu et Prof. Iuliana Armaş (rapporteurs).

La thèse de doctorat qui fait le contenu de ce livre a été soutenue financièrement par la Bourse Ministérielle Roumaine et par la Bourse du Gouvernement Français et à cette occasion, j'aimerais remercier tous les gestionnaires de la part de l'Université de Bucarest (Bureaux de Rectorat et du Doyen), de l'Institut Français à Bucarest, du Campus France – Grenoble et de l'Université Grenoble Alpes, pour avoir assuré la bonne organisation des formalités que j'ai dû accomplir.

Certains des chapitres n'auraient pas pu exister sans l'apport méthodologique des collaborateurs que j'ai trouvés le long de ma recherche constante pour des moyens nécessaires (stages

de fin de master, pendant le doctorat, travail dans les laboratoires, conseils scientifiques): Mme le prof. Magdalena Misz-Kennan (Université de Katowice, Faculté de Sciences de la Terre, Pologne), docteurs Marco Cavalli et Stefano Crema (Institut de Recherche Hydrogéologique de Padoue, Italie), professeur Eugen Traistă (Université de Petroșani, Faculté des Mines, Roumanie) Mme le prof. Alida Timar Gabor et docteur Daniela Constantin (Université de Cluj-Napoca Babes Bolyiai, Institut de Bio-Nano-Sciences), docteur Nathaniel Findling (Université Savoie Mont Blanc), également aux professeurs Pierre Ribstein et Ludovic Oudin (Université Paris 6 Pierre et Marie Curie).

Un grand merci se dirige aussi vers les membres de l'équipe HyDRIMZ de l'Institut de Géosciences de l'Environnement (UGA) et aux professeurs du département de Météorologie – Hydrologie (UB), pour leur partage d'expériences (même indirectement), surtout à Prof. Nicoleta Ionac, Prof. Gabriela Ioana – Toroimac, Prof. Cédric Legout, Prof. Théophile Vichel, Prof. Julien Néméry.

Une série de données hydrologiques et cartographiques ont été obtenues grâce à la bienveillance de certaines institutions (ANAR, INHGA, ABA Jiu, ANM) et leurs chercheurs (Gabriel Minea, Ruth Perju, George Zanfir, Marius Bîrsan).

Ça fait déjà presque 4 ans que je me trouve dans le collectif de l'Institut de Géographie de l'Académie Roumaine, où j'ai rencontré des gens chaleureux, passionnés pour la science et intéressés de ma thèse. Merci à tous pour votre amitié et votre collégialité que vous m'avez montré : Prof. dr. Acad. Dan Balteanu, Dr. Monica Dumitrașcu, Dr. Sorin Geacu, Dr. Mihaela Sima, Dr. Constanța Boroneanț, Dr. Laura Lupu, Dr. Diana Dogaru, Dr. Marta Jurchescu, Dr. Irena Mocanu, Dr. Cristina Dumitrică, Dr. Mihai Micu, Dr. Dana Micu, Dr. Bianca Mitrică et encore d'autres, qui m'ont soutenu dans mes recherches. Merci pour vos conseils et encouragements, merci pour m'avoir permis utiliser les ressources bibliographiques de l'institut et le laboratoire de géographie de la Maison de l'Académie Roumaine!

Travailler sur le terrain et dans le laboratoire n'a pas été facile. Merci beaucoup à tous les professeurs, chercheurs, amis et membres de la famille qui m'ont accompagnée sur les routes pavées et moins pavées du bassin de la rivière Jiu. Merci aux professeurs de la Roumanie, de la France et de la Croatie qui m'ont entouré pendant certaines de mes campagnes de terrain.

Mes plus sincères remerciements vont à mes collègues de doctorat de Bucarest et de Grenoble, avec qui j'ai vécu des moments de joie, d'émotions, de stress, de panique, mais surtout de bonheur. Merci aussi à tous les jeunes rencontrés pendant mon expérience doctorale en France. J'ai vécu des expériences inoubliables avec vous et je suis ravie que nos chemins se sont croisés aux pieds des Alpes dans cette étape de formation de nos vies.

Hors du monde de la recherche, plusieurs personnes m'ont soutenue, m'ont écoutée parler de mes soucis de thèse parfois trop accaparatrice. Je remercie dans ce contexte à mes amis et proches qui m'ont toujours encouragée et ont compris mes peines et zigzags de doctorante. A Grenoble, à part les maris Belleudy (merci, Mme Marie – Claude, pour votre gentillesse et votre hospitalité), deux autres familles ont participé à mon intégration et au bon déroulement de ma thèse dans la dernière année. Merci, Annick et Olivier Michel, merci, Marie et José Martin, pour me faire me sentir comme chez moi.

Enfin, grande reconnaissance à toutes les personnes (professeurs, chercheurs, collègues, amis) que j'ai rencontré ou avec lesquels j'ai eu l'opportunité de travailler, collaborer ou de les être étudiante, pour leurs contributions à ma formation scientifique.

Je suis endettée à mon père, pour son soutien moral et la confiance dans mon choix de carrière. Je te remercie, papa, pour m'avoir laissée suivre ma voix intérieure et pour ton implication dans certaines de mes missions sur le terrain. Je te remercie, où tu es maintenant, chère maman, pour l'éducation que tu m'as donnée, pour l'amour de livre que tu m'as inculquée, pour la compatibilité

totale entre nous, pour ton talent d'enseignant qui m'a beaucoup inspiré. Merci de mon cœur aux mes grands-parents aussi, qui m'ont soutenu avec fierté dans mon parcours doctoral.

J'ai laissé au final la plus importante personne de ma vie à qui je dois les plus doux, drôles, et inoubliables moments. Je te remercie, Mihail, pour ta patience de m'avoir écoutée parler de ma thèse tellement de fois, pour tes bons conseils, pour la confiance en moi et pour toute ton aide intellectuel et moral. Merci à ta grand-mère aussi.

GRILLE DE LECTURE

Ce manuscrit suit en grande proportion la structure et le contenu de la thèse de doctorat homonyme (Moroşanu, 2019), avec les ajustements et mises à jour nécessaires. Après une revue de la littérature sur le sujet et son articulation avec le titre choisi, sur la base d'une question générale posée dès le début, la recherche commence à contribuer à la connaissance de la zone d'étude et son fonctionnement hydrosédimentaire, puis la question devient plus précise, se concentrant sur l'approche méthodologique. Ainsi, la logique de la thèse suit effectivement la structure d'emboîtement des échelles spatio-temporelles, de la partie générale à la partie plus spécifique / localisée. Toujours, une attention particulière sera portée vers les protocoles de travail, assez nouveaux dans le domaine de la géographie.

Pour répondre aux questions de la recherche dans les différents chapitres, les liens avec les connaissances et approches précédentes seront précisés à chaque étape du travail. Pour faciliter les différents niveaux de lecture, on trouvera à la fin de certains chapitres une synthèse. Aussi, les mentions entre crochets « [...] » renvoient aux références bibliographiques.

Afin de ne pas rendre la lecture difficile, la table de matières initiale comprend uniquement les titres de premier et de second ordre des chapitres et sous-chapitres. Ainsi, afin de faciliter la connexion avec le contenu à chaque étape de l'analyse, à l'intérieur du livre, à chaque début des 10 chapitres (+ conclusions et annexes), on trouvera une table des matières détaillée, avec tous les niveaux de sous-chapitres, afin de guider la lecture locale. Une liste de figures et de tableaux est également fournie pour faciliter la recherche de contenu graphique, ainsi qu'une liste d'acronymes et des unités de mesures utilisés dans le livre.

Enfin, pour des raisons de coûts d'édition, vous remarquerez que les figures sont imprimées en noir et blanc, et certaines d'entre elles, dans le titre ou dans les explications textuelles, sont commentées sur la signification de certaines couleurs utilisées pour symboliser les éléments représentés. Veuillez trouver à la fin du livre, en pièce jointe, un DVD avec les figures au format numérique couleur.

Agréable découverte !

TABLE DE MATIERES

Abstract	7
Resume	8
Remerciements	9
Grille de lecture	12
Table de matieres	13

Première Partie

L'échelle du bassin de la rivière Jiu: les facteurs contrôlant la dynamique hydro-sédimentaire

Chapitre 1. Introduction	23
1.1. Contexte de la recherche	23
1.2. Les enjeux du bassin de la rivière Jiu.....	24
1.3. Questions de la recherche et objectifs	25
1.4. Organisation du travail de recherche.....	26
Chapitre 2. Aspects conceptuels et méthodologiques : système fluvial, échelles spatiales et temporelles, connectivité	28
2.1. Approche systémique	28
2.1.1. <i>Le système fluvial : quelles perspectives ?</i>	28
2.1.2. <i>Le concept d' "Hydrosystème"</i>	32
2.1.3. <i>Le système total vs. le système partiel</i>	34
2.2. Approche multi-échelle	35
2.2.1. <i>L'échelle spatiale</i>	36
2.2.1.1. La micro - échelle d'un système fluvial	37
2.2.1.2. La méso - et la macro-échelle spatiale	38
2.2.2. <i>L'échelle temporelle</i>	40
2.2.2.1. L'échelle du temps : des années aux décennies	40
2.2.2.2. L'archéologie fluviale à travers les échelles : des jours aux siècles ..	40
2.3. La connectivité dans un système fluvial : une notion qui lie tout ?	41
2.4. Méthodologie et données	43
2.4.1. <i>Méthodes et outils utilisés dans l'étude des systèmes fluviaux et de la dynamique hydro-sédimentaire</i>	43
2.4.2. <i>Données</i>	44
Chapitre 3. Caractérisation de la zone d'étude : le bassin versant de la rivière Jiu ..	46
3.1. L'état de connaissance de la zone d'étude	46
3.1.1. <i>Etat de l'art sur le relief et la géologie</i>	46
3.1.2. <i>Etat d'art dans le domaine climatique</i>	48
3.1.3. <i>Etat d'art sur les questions hydrologiques</i>	49
3.2. Repères de localisation.....	54

3.3. Le substrat géologique	56
3.4. Les unités morphologiques. Caractéristiques générales	59
3.5. Particularités climatiques	63
3.5.1. <i>Données et méthodes</i>	63
3.5.2. <i>Variabilité de la température de l'air</i>	64
3.5.2.1. Variabilité de la température à l'échelle multiannuelle	64
3.5.2.2. Régime annuel des températures de l'air	67
3.5.3. <i>Variabilité des précipitations</i>	68
3.5.3.1. Quantités annuelles et mensuelles des précipitations.....	68
3.5.3.2. Précipitations maximales mensuelles.....	70
3.5.3.3. Analyse pluviométrique selon le critère de Hellmann	70
3.5.3.4. L'indice standardisé des précipitations	71
3.6. Un bassin avec des caractéristiques hydrographiques complexes	73
3.6.1. <i>Les sous-bassins et leur réseau hydrographique</i>	73
3.6.2. <i>Le réseau de drainage : la densité et la hiérarchisation</i>	79
3.7. Les sols et leur importance hydrologique	83
3.7.1. <i>La classification génétique des sols</i>	83
3.7.2. <i>Les groupes hydrologiques des sols</i>	85
3.8. La couverture et l'utilisation du sol.....	86
3.9. Pressions anthropiques sur les flux hydro-sédimentaires.....	90
3.9.1. <i>L'exploitation du charbon</i>	91
3.9.2. <i>Les aménagements hydrotechniques</i>	95
3.9.4. <i>L'extraction des granulats des lits des rivières</i>	97
Chapitre 4. Analyses des flux sédimentaires à l'échelle systémique du bassin de la rivière Jiu : des versants vers l'aval	98
4.1. Processus gouvernant la genèse et le transfert des sédiments à l'échelle du bassin de la Jiu	98
4.1.1. <i>Méthodologie</i>	98
4.1.1.1. Conceptualisation d'une approche	98
4.1.1.2. Bases de données et stratégie de cartographie	100
4.1.2. <i>Résultats et discussions</i>	106
4.1.2.1. Les processus géomorphologiques induits par des facteurs naturels .	106
4.1.2.2. Les activités anthropiques impactant la production des sédiments ...	109
4.2. Connectivité potentielle sédimentaire	112
4.2.1. <i>Considérations théoriques sur la connectivité sédimentaire</i>	112
4.2.1.1. Le concept de connectivité sédimentaire	112
4.2.1.2. Les limites de la connectivité sédimentaire	114
4.2.1.3. Comment quantifier la connectivité (hydro-)sédimentaire	115
4.2.1.4. La connectivité sédimentaire : quels enjeux ?	116
4.2.2. <i>L'indice de connectivité : cadre conceptuel</i>	117
4.2.2.1. Quel indice de connectivité pour analyser le transfert des sédiments ?	117
4.2.2.2. Données utilisées dans le calcul de l'indice de connectivité et limites de l'analyse.....	118
4.2.3. <i>Méthodologie de l'indice de connectivité adaptée à la problématique du bassin versant de la rivière Jiu</i>	119
4.2.3.1. La construction des modèles numériques de terrain	120
4.2.3.2. La délimitation du réseau hydrographique.....	123
4.2.3.3. La rugosité du terrain	126

4.2.3.4. Les réglages finaux pour la mise en route de l'indice de connectivité	128
4.2.4. <i>Résultats et discussion sur l'analyse de connectivité</i>	129
4.2.4.1. Les zones sources de sédiments les plus connectées aux rivières.....	129
4.2.4.2. La relation entre la connectivité sédimentaire et les processus géomorphologiques	133
4.2.4.3. La relation entre la connectivité sédimentaire et la production sédimentaire	134
Chapitre 5. Fonctionnement hydrologique du bassin de la rivière Jiu	139
5.1. Comment les débits sont-ils obtenus ?	139
5.2. Variabilité spatio-temporelle des débits liquides.....	142
5.2.1. <i>Echelle multi-annuelle et annuelle</i>	142
5.2.1.1. La variabilité des débits moyens multiannuels	142
5.2.1.2. La variabilité des débits maximaux multiannuels.....	144
5.2.1.3. La tendance des débits moyens multiannuels	145
5.2.1.4. La tendance des débits maximaux annuels	147
5.2.1.5. La variabilité des débits liquides moyens et maximaux annuels sur la Jiu	150
5.2.1.6. Les relations entre les débits multi-annuels et les caractéristiques du bassin de la rivière Jiu	153
5.2.2. <i>Echelle mensuelle et saisonnière</i>	156
5.2.2.1. La variation intra-annuelle des débits moyens mensuels.....	156
5.2.2.2. La variabilité inter-annuelle des débits moyens mensuels.....	159
5.2.2.3. La variabilité intra-annuelle des débits maximaux mensuels.....	160
5.2.3. <i>Les crues</i>	162
5.2.3.1. Caractéristiques générales des crues	163
5.2.3.2. Caractérisation des ondes de crue	165
5.2.3.3. Célérité des crues	166
5.3. Variabilité spatio-temporelle des débits solides.....	169
5.3.1. <i>La dynamique des débits des alluvions en suspension à échelle multi-annuelle</i>	169
5.3.2. <i>La dynamique des débits des alluvions en suspension à l'échelle mensuelle et saisonnière</i>	172
5.3.3. <i>L'importance de l'industrie du charbon dans la production des alluvions</i>	173
5.3.4. <i>Les débits des alluvions en suspension pendant les crues</i>	174
5.3.4.1. L'hystérésis en hydrologie : quelle implication dans le transport des sédiments?	174
5.3.4.2. Approche méthodologique	175
5.3.4.3. Résultats de l'analyse d'hystérésis.....	176
Synthèse du chapitre	180

Deuxième Partie

Echelles spatio-temporelles dominant le transfert hydro-sédimentaire

Chapitre 6. Quels sont les apports de sédiments en crue ? Aspects théoriques et pistes de recherche	183
6.1. Bilan ou budget sédimentaire ?	183
6.2. Le transport des sédiments par charriage et en suspension. Quel choix ?	185
6.2.1. <i>Aspects théoriques généraux sur les transports par charriage et en suspension</i>	186

6.2.2. <i>Quelle approche pour l'analyse de la dynamique hydro-sédimentaire ?</i>	189
6.3. Démarche : analyse d'une archive sédimentaire récente	190
6.3.1. <i>L'archive sédimentaire – c'est quoi ?</i>	190
6.3.2. <i>Une archive sédimentaire sur la rivière Jiu</i>	192
6.3.3. <i>Mécanismes de dépôt sédimentaire dans le lit majeur</i>	194
6.3.4. <i>Hypothèses de l'analyse du dépôt sédimentaire</i>	195
6.3.4.1. H1 :Chaque couche alluviale a été déposée lors d'un seul événement d'inondation.....	195
6.3.4.2. H2 :Les processus d'érosion de la couche supérieure sont négligeables.....	196
6.3.4.3. H3 :L'accumulation sur la berge est récente et stable.....	197
6.3.5. <i>Pourquoi on ne peut pas utiliser les sédiments du lit mineur pour ce travail ?</i>	197
Chapitre 7. Contributions des sous-bassins versant au ruissellement et au transfert des sédiments fins	198
7.1. Raisonner à l'échelle des crues	198
7.1.1. <i>Rappel des considérants sur la relation crues – dépôts de berges</i>	198
7.1.2. <i>Méthodes d'estimation du débit de pointe seuil</i>	200
7.1.2.1. Analyse statistique des crues	200
7.1.2.2. Exploitation des données techniques de la station hydrométrique	202
7.1.2.3. Le débit à plein bords – le bon seuil pour le niveau à déborder ?	206
7.1.2.4. Calibrage des modèles HEC-RAS pour le développement des courbes de tarage	210
7.1.3. <i>Sélection des crues débordantes</i>	213
7.1.3.1. Considérations générales	213
7.1.3.2. Sélection des crues débordantes à la base du seuil	215
7.2. Les crues débordantes : de quels sous-bassins ?	218
7.2.1. <i>Sélection des stations hydrométriques</i>	218
7.2.2. <i>Bases de données. Limites d'exploitation</i>	219
7.3. D'où viennent les crues ? Analyse des indices de crue	222
7.3.1. <i>Principe d'analyse</i>	222
7.3.2. <i>Présentation des indices de crue pour l'année 2014</i>	224
7.3.2.1. Indices considérant la durée totale de la crue	224
7.3.2.1.1. Contribution du volume total de la station par rapport au volume de la station de référence	224
7.3.2.1.2. Contribution en volume relatif au volume total amont	226
7.3.2.1.3. La lame d'eau totale ruisselée	227
7.3.2.1.4. Contribution en volume relatif au volume total amont (%) pondérée par la superficie du bassin versant	229
7.3.2.1.5. Volume de la crue/ volume annuel de la même station	230
7.3.2.1.6. Volume de la crue/ volume multiannuel de la même station (dans la période 2002 – 2014).....	231
7.3.2.1.7. Volume de la crue/ volume des crues de la même station dans la période analysée (2002 – 2014).....	232
7.3.2.1.8. Coefficient de ruissellement (hauteur d'eau ruisselée/ hauteur d'eau précipitée)	233
7.3.2.2. Indices considérant la période de débit de pointe comme durée de référence pour le calcul du volume débordant	235

7.3.2.2.1. Contribution du volume total de la station par rapport au volume de la station de référence	235
7.3.2.2.2. Contribution en volume relatif au volume total amont (%)	236
7.3.2.2.3. Lamé d'eau totale ruisselée (mm)	237
7.3.2.2.4. Volume de la crue/ volume annuel de la même station	238
7.3.2.2.5. Coefficient de ruissellement (hauteur d'eau ruisselée/ hauteur d'eau précipitée)	239
7.3.3. Discussion sur les indices de crue	240
7.3.3.1. Critères d'évaluation des indices de crue	240
7.3.3.2. Considération sur la pertinence des indices	242
7.3.3.3. Synthèse des indices appliqués sur toutes les 27 crues analysées	244
Chapitre 8. Analyse des dépôts sédimentaires. Échantillonnage et méthodes	250
8.1. Quels sont les types de sédiments et d'où prenons-nous les échantillons ?	250
8.1.1. L'échantillonnage sédimentaire des lits "en amont"	251
8.1.2. L'échantillonnage sédimentaire des berges "en aval"	252
8.1.2.1. L'intérêt de l'étude des dépôts sédimentaires sur les berges	252
8.1.2.2. Description du site pour l'échantillonnage des berges	253
8.1.2.3. La morphologie locale	255
8.1.2.4. Quelle stratégie d'échantillonnage ?	256
8.1.3. Les échantillons de charbon brut des zones source	257
8.2. Différentes méthodes de laboratoire pour l'analyse des échantillons	258
8.2.1. La granulométrie	259
8.2.1.1. Granulométrie par tamisage	259
8.2.1.1.1. Principe de mesure	259
8.2.1.1.2. Avantages et inconvénients	260
8.2.1.2. La granulométrie laser	260
8.2.1.2.1. Principe de mesure	260
8.2.1.2.2. Avantages et inconvénients	262
8.2.2. La colorimétrie	262
8.2.2.1. A quoi elle sert?	262
8.2.2.2. Préparation des échantillons	263
8.2.2.3. Méthodes de mesure	263
8.2.3. Analyse d'image	265
8.2.4. La pétrologie organique	268
8.2.4.1. État de l'art et principe de la méthode	268
8.2.4.2. Protocole et techniques de mesure	269
8.2.4.3. Avantages et inconvénients	270
8.2.5. Méthodes géochimiques	271
8.2.5.1. Le carbone total	271
8.2.5.1.1. Protocole de mesure	272
8.2.5.1.2. Avantages et inconvénients	273
8.2.5.2. Spéciation houille-lignite	273
8.2.5.2.1. Principe de mesure	273
8.2.5.2.2. Avantages et inconvénients	275
8.2.5.3. Métaux lourds et lanthanides	275
8.2.5.3.1. Historique de l'approche	275
8.2.5.3.2. Protocole de travail	276

8.2.5.3.3. Principe de la méthode d'analyse par spectroscopie à fluorescence X	276
8.2.5.3.4. Avantages et inconvénients	277
Chapitre 9. Résultats des analyses sur les sédiments de la tranchée	279
9.1. La succession des couches	279
9.1.1. <i>Confirmation de la stratigraphie</i>	279
9.1.1.1. Epaisseur des couches	279
9.1.1.2. Couleur et colorimétrie.....	281
9.1.1.3. Contenu en charbon et en carbone totale.....	282
9.1.2. <i>Caractéristiques des couches</i>	282
9.1.2.1. La granulométrie	282
9.1.2.2. La colorimétrie	286
9.1.2.3. Contenu en charbon par espèces	289
9.1.2.4. Teneur en métaux lourds et lanthanides.....	290
9.1.3. <i>Synthèse des résultats. Mise en évidence des couches les plus cohérentes</i>	290
9.1.4. <i>Synthèse sur les méthodes utilisées pour l'analyse des sédiments déposés à Podari</i>	291
9.2. Datation de la couche basale	292
9.2.1. <i>Principes de la datation luminescence optiquement stimulée</i>	292
9.2.2. <i>Le site et le protocole d'échantillonnage</i>	295
9.2.3. <i>Le protocole de laboratoire</i>	298
9.2.3.1. Le choix du dosimètre et de la granulométrie.....	298
9.2.3.2. L'extraction des cristaux de quartz	299
9.2.3.2.1. Précisions générales	299
9.2.3.2.2. Traitement avec HCL.....	300
9.2.3.2.3. Traitement avec H ₂ O ₂	300
9.2.3.2.4. Le tamisage des échantillons	300
9.2.3.2.5. La séparation du quartz du sédiment grossier (63 – 90 µm).....	300
9.2.3.2.6. Le décapage avec HF.....	300
9.2.3.3. La préparation des aliquotes.....	301
9.2.3.4. La détermination de la dose équivalente.....	301
9.2.3.4.1. La technique utilisée pour la détermination de la dose équivalente.....	301
9.2.3.4.2. Le développement du protocole SAR.....	302
9.2.4. <i>Résultats de la datation</i>	303
9.2.4.1. Estimation de la dose équivalente	303
9.2.4.2. Résultats sur la dose annuelle.....	304
9.2.5. <i>Interprétation des résultats, conclusions et perspectives</i>	306
Chapitre 10. Résultats finaux : quelles crues desquels bassins versant ?	308
10.1. Hypothèses sur l'estimation des côtes atteintes par les crues.....	308
10.1.1. <i>La relation entre l'altitude des couches et la côte à l'échelle de la station hydrométrique de Podari</i>	308
10.1.2. <i>Sélection des crues susceptibles de déposer des couches sédimentaires</i>	311
10.2. Les caractéristiques des sédiments déposés à l'aval correspond-elle aux caractéristiques signalées en amont ?	315

10.2.1.	<i>Correspondance entre les caractéristiques des sédiments déposés à l'aval et échantillonnés en amont en utilisant la colorimétrie</i>	316
10.2.1.1.	Les caractéristiques des spectres colorimétriques des échantillons prélevés dans les zones sources de sédiments	316
10.2.1.2.	Mise en place des modèles de classification des échantillons	318
10.2.1.3.	Interprétation pour les possibles sources de sédiments et emploi futur.....	326
10.2.2.	<i>Correspondance entre les caractéristiques des sédiments déposés à l'aval et échantillonnés en amont par l'analyse d'image</i>	328
10.2.3.	<i>Correspondance entre les caractéristiques des sédiments déposés à l'aval et échantillonnés en amont par la pétrologie organique</i>	329
10.2.3.1.	La réflectance (Rr)	329
10.2.3.2.	L'analyse pétrographique	333
10.2.3.3.	Synthèse de l'analyse pétrologique.....	334
10.2.4.	<i>Résultats des analyses géochimiques</i>	335
10.2.4.1.	Le contenu en charbon et la spéciation houille – lignite.....	335
10.2.5.2.	La teneur en minéraux lourds et en lanthanides.....	340
10.3.	La synthèse des possibles caractéristiques des zones sources de sédiments déposées à la tranchée alluviale de Podari.....	343
10.4.	Retour sur les hypothèses initiales.....	347
	Synthèse du chapitre	348
Chapitre 11. Conclusions finales		350
11.1.	Synthèse des résultats et réponse aux questions de la recherche.....	350
11.2.	Conclusions générales sur la démarche méthodologique	352
11.2.1.	<i>Retour d'expérience sur la démarche méthodologique : points forts et limites</i>	352
11.2.2.	<i>Réplication de l'étude et recommandations</i>	354
11.3.	Limites de l'approche et perspectives.....	355
11.3.1.	<i>Analyses hydrologiques à des échelles spatiales et temporelles plus fines.</i>	355
11.3.2.	<i>Une image holistique des processus géomorphologiques</i>	355
11.3.3.	<i>Amélioration des techniques de laboratoire</i>	355
11.3.4.	<i>Indices de crue – intégration des sous-bassins d'ordre supérieur et automatisation du calcul</i>	356
11.3.5.	<i>Techniques de datation – pour connaître l'âge des dépôts alluviaux</i>	356
11.3.6.	<i>Approches méthodologiques pour répondre aux questions sur les échelles spatio-temporelles de la dynamique hydro-sédimentaire</i>	356
Bibliographie		357
Annexes		385
Liste des figures		397
Liste des tableaux		403
Liste des acronymes et abréviations		405
Liste des notations et symboles		407

Première Partie

L'échelle du bassin de la rivière Jiu : les facteurs contrôlant la dynamique hydro-sédimentaire



CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1.1. Contexte de la recherche

Le bassin hydrographique est défini comme une superficie terrestre qui achemine l'eau des précipitations et de la fonte des neiges vers le réseau hydrographique et finalement vers des points d'embouchure tels que les réservoirs, les lacs, les baies et l'océan [NOAA, 2018]. Il correspond à la zone « *dans laquelle toutes les eaux de ruissellement convergent à travers un réseau de rivières, fleuves et éventuellement de lacs vers la mer, dans laquelle elles se déversent par une seule embouchure, estuaire ou delta* » [CE/60/2000]. Unité spatiale naturelle fondamentale pour la formation des ressources en eau et leur gestion, le bassin hydrographique est un espace dynamique par excellence, dont les flux hydro-sédimentaires sont liés par des relations de causalité et constituent l'objet clé de la gestion des ressources en eau [ONEMA, 2012].

Nos territoires et communautés appartiennent tous à un bassin hydrographique, car :

- **Nous sommes tous reliés par des bassins versants, les entités naturelles les plus complexes ayant comme frontières les lignes de partage d'eau et pas de limites.** *Par conséquent, tout ce que nous faisons affecte nos bassins versants et chaque réglementation territoriale, décision de gestion, devrait d'abord porter sur les impacts au sein d'un bassin hydrographique.*

- **Nous vivons tous en aval d'un endroit et en amont d'un autre.** *Si un transfert de notion nous est autorisé, c'est un axiome dont nous avons rarement connaissance et qui cache de nombreuses réponses aux questions découlant des problèmes de gestion de l'eau et des sédiments.*

- **La terre et l'eau sont écologiquement liés dans ce système naturel et tous les flux et processus qui s'y déroulent leur appartiennent.** *Cela concerne non seulement les connexions spatiales, mais aussi les dépendances temporelles. La veine d'eau qui se trouve dans un certain moment en aval est ressortie autrefois d'une source en amont et un grain de sable que l'on trouve maintenant dans le lit d'une rivière s'est détaché autrefois du versant de son bassin amont.*

L'étude d'un bassin hydrographique se place au carrefour de l'hydrologie, de la géographie physique (notamment l'hydromorphologie), l'hydraulique, la géologie et la sédimentologie [Chapuis, 2012 ; Malavoi et Bravard, 2010]. Au sein du système hydrographique nous pouvons repérer le **fonctionnement hydrodynamique** à travers lequel les cours d'eau tendent à équilibrer les facteurs de contrôle agissant sur les flux liquides et solides [Jégou et Belleudy, 2002 ; Uwe, 2012]. Ces facteurs peuvent être bien étudiés surtout dans les petits ou moyens bassins versants, dont le "budget sédimentaire" peut être mieux compris [Dietrich *et al.*, 1978]. Mais pour connaître le budget sédimentaire (les flux solides), il faut d'abord connaître la variabilité des flux liquides, étroitement liées aux facteurs d'influence environnementaux et anthropiques [Kondolf et Piégay, 2003]. Sous l'effet du changement climatique, des modifications du régime hydrologique ont déjà été observées ou sont prévues pour l'avenir, ce qui génère des impacts sociétaux et environnementaux considérables [GIEC (IPCC), 2013]. Pour cette raison, l'un des défis actuels est d'identifier et d'estimer les changements dans la variabilité des flux hydro-sédimentaires afin de réduire leurs impacts pour une gestion adéquate des rivières et de leurs bassins versants. Le cadre législatif portant sur la gestion de l'eau à l'échelle européenne est fourni notamment par la Directive Eau [CE/60/2000] et la Directive

Inondations [CE/60/2007]. Les règlements visant la gestion des bassins versants qui en découlent ont été transposés en Roumanie à travers les *Schémas Directeurs et de Gestion des Eaux des bassins versants* (les SDGEs), ayant comme objectifs majeurs la gestion des ressources hydrologiques et l'amélioration de la qualité des milieux aquatiques, touchés de nos jours par une influence climatique et anthropique accrue [ANAR, 2012].

Une notion liée au fonctionnement hydrodynamique, la **dynamique hydro-sédimentaire**, implique la connaissance de tous les éléments intervenant dans la circulation des matières liquides (eaux de rivières et torrents) et solides (sédiments et particules polluantes).

Le rôle du bassin hydrographique dans la dynamique hydro-sédimentaire a été souligné à de nombreuses reprises, à la fois dans les études scientifiques, dans le contexte de la gestion des ressources en eau ou pour estimer les effets de colmatage des réservoirs ou d'autres impacts des ouvrages hydro-électriques sur les flux liquides et solides [Fasolato *et al.*, 2006 ; Germain, 2013]. Le bassin hydrographique est toujours un „champ de combat” entre les processus et les phénomènes naturels, d'un côté, et des forçages anthropiques, de l'autre côté : les changements environnementaux dus à la dynamique de l'occupation du sol, des aménagements engendrant la perturbation des flux hydro-sédimentaires des écosystèmes aquatiques avec des effets sur la société [Fiandino et Rotidis, 1996]. Également, un bassin hydrographique est impacté par des processus morpho-hydrographiques résultant de l'érosion, de l'altération des mécanismes de transport et d'accumulation, avec des conséquences parfois irréversibles sur les rivières : incision des lits, stockages intermédiaires de sédiments, activités torrentielles sur les versants [Peiry, 1990 ; Bravard, 1994 ; Gautier, 2004].

Certes, la dynamique hydro-sédimentaire dans un bassin hydrographique ne peut pas se dérouler à une seule échelle spatio-temporelle. Par ailleurs, de nombreux auteurs ont souligné l'importance de considérer des échelles de travail adaptées à la question des flux hydro-sédimentaires dans un système hydrographique et ils ont également montré la coexistence des différentes échelles d'analyse du transport hydro-sédimentaire et de la morphologie qui en résulte [Snelder et Biggs, 2002 ; Kondolf et Piégay, 2003 ; Coleman *et al.*, 2011 ; Molnar, 2017].

Partant des prémisses créées par le cadre de recherche, le choix d'analyser « **la dynamique hydro-sédimentaire du bassin de la rivière Jiu par une approche systémique et multi-échelle** » prouve son intérêt scientifique de plusieurs points de vue :

- L'amélioration des connaissances sur le régime hydrologique des flux liquides et solides en relation avec les variables environnementales et les activités anthropiques ;
- L'analyse des flux hydro-sédimentaires en considérant plusieurs échelles spatiales (à la fois systémique et au niveau de certains secteurs de la rivière Jiu, de ses sous-bassins versants, jusqu'à l'échelle des sites de dépôt sédimentaires) et temporelles (de jours à des dizaines d'années) ;
- La création d'un contexte informationnel scientifique approprié à la mise en œuvre des actions potentielles pour gérer la dynamique hydro-sédimentaire des rivières et les risques hydrologiques associés dans le bassin de la rivière Jiu.

La zone d'étude a bénéficié d'une recherche complexe, partant de la théorie de l'hydrosystème [Schumm, 1977 ; Ngounou-Ngatcha *et al.*, 2010], qui a été regardé de plusieurs points de vue : *de la géographie physique, de l'hydrologie, et de l'hydromorphologie*. Par conséquent, la recherche a un caractère interdisciplinaire, réunissant des approches méthodologiques spécifiques à plusieurs domaines (géographie, hydrologie, géochimie, géomorphologie fluviale).

1.2. Les enjeux du bassin de la rivière Jiu

Le bassin de la rivière Jiu est situé dans le sud-ouest de la Roumanie et il s'étale sur une superficie de 10080 km², avec des altitudes qui descendent du nord au sud graduellement de 2519 m à 50 m à la confluence avec le Danube, à travers : les Carpates méridionales (le secteur supérieur), les Sous-Carpates et le Piedmont Gétique (le secteur moyen) et la Plaine Roumaine (le secteur inférieur).

Cet espace hydrographique a comme particularité la présence des périmètres d'extraction du charbon (houille dans le secteur supérieur – la dépression de Petroșani et lignite dans le secteur moyen, le bassin de Motru-Rovinari), sources des traces de charbon qu'on peut observer dans les dépôts alluviaux de la rivière Jiu et de ses affluents. Les activités minières ont été à la base d'un développement rapide de l'industrie, ayant comme effet une forte pollution des eaux de la rivière Jiu et de ses affluents. Dans les décennies du « boom » industriel en Roumanie (la période des années '60 et '90), la dynamique hydro-sédimentaire de la rivière Jiu était un sujet presque tabou en raison de l'effet polluant du lavage du charbon dans les villes de la dépression de Petroșani. A cause des activités minières, la Jiu a été, pendant des décennies, une des rivières les plus turbides du pays [Ionică *et al.*, 2002]. A l'époque, la rivière Jiu était connue comme **l'affluent noir du Danube** et l'origine des hauts flux solides, même si très peu étudiés, n'était pas questionnable : l'activité d'extraction et du lavage du charbon.

A partir des années 1990, après la chute du communisme, une série de carrières et mines ont été fermées ou les unes qui restantes ont réduit leurs activités, tandis que d'autres ont repris leurs licences d'exploitation du charbon [Nistor, 2002]. Dans les deux cas, les activités humaines dans le bassin supérieur du Jiu ont déterminé, au fur et à mesure, des modifications dans la qualité des eaux des rivières et dans leur régime hydromorphologique [Ionică *et al.*, 2002 ; Ionuș, 2011 ; Moroșanu, 2019].

La gestion fluctuante des activités minières depuis le XIX^{ème} siècle, à laquelle nous pouvons ajouter les travaux hydrotechniques et la construction de barrages – réservoirs à des fins au cours des 50 dernières années, ont largement été rapportés comme génératrices des impacts significatifs sur le fonctionnement hydrodynamique des rivières [Savin, 2003 ; Savin 2005a ; Uscătescu, 2013]. De plus, après 1990 avec les changements dans le régime de la propriété en Roumanie, des importantes parcelles forestières ont été défrichées, déstabilisant les versants et impactant ainsi les flux liquide et solide des rivières. Toutes ces activités et aménagements des rivières sont responsables pour l'altération du débit liquide et solide et du taux d'érosion, transport et accumulation dans les lits [Horvath, 2008 ; Uscătescu, 2013], ainsi que pour l'interruption des connexions longitudinales avec le système hydromorphologique [Rădoane et Rădoane, 2007 ; Horvath, 2008].

Les glissements de terrain et le ruissellement de surface sur les talus instables des tas de stériles lors des pluies torrentielles constituent des sources importantes de fines particules de charbon transportées en suspension et déposées sur les barres alluvionnaires. A l'opposée, il convient également de mentionner la diminution du transport solide des rivières en aval, à cause des retenues dans le secteur moyen (entre Bumbești Jiu et Ișalnița), dont les effets sur la dynamique hydro-sédimentaire sont à venir.

L'existence et l'exploitation du charbon dans des zones clés de source des sédiments (les carrières et mines des bassins de Motru-Rovinari et Petroșani), confèrent un caractère original à la recherche de la dynamique hydro-sédimentaire, ce qui nous a permis d'étudier les transferts de matière dans le bassin versant de la rivière Jiu.

1.3. Questions de la recherche et objectifs

Les questions de notre analyse de la dynamique hydro-sédimentaire ont été les suivantes :

- 1. Quels sont les facteurs naturels et anthropiques contribuant à la production et au transfert des flux de matière liquide et solide au niveau du bassin de la rivière Jiu et quel est leur rôle dans la dynamique hydro-sédimentaire ?***
- 2. Quelle est l'importance des échelles spatiales et temporelles dans l'analyse de la dynamique hydro-sédimentaire en ce qui concerne les sources de sédiments, les événements hydrologiques extrêmes, les voies de transfert et les zones favorables à l'accumulation ?***

Ces questions nous conduisent vers notre objectif principal qui est d'analyser **les flux hydro-sédimentaires dans le bassin versant de la rivière Jiu, dans les circonstances (naturelles et anthropiques) spécifiques à ce bassin, à des différentes échelles spatiales et temporelles**. Compte tenu des attributs du bassin de la rivière Jiu, nous avons choisi d'identifier plus particulièrement les zones de productivité sédimentaire, les processus et leur temps caractéristique de transfert.

Cet ouvrage cherche, également, à tirer parti de la présence du charbon dans les sédiments du lit et des berges des rivières et comporte une question méthodologique préalable : **Est-ce que les héritages sédimentaires dans le lit représentent un instrument suffisant pour comprendre la migration des flux de matière dans le bassin versant et le rôle des crues dans la morphologie fluviale ?**

En réponse aux questions de la recherche, les objectifs spécifiques ont été les suivants :

1) Analyser les facteurs de contrôle et les catégories d'altérations sur les processus impliqués dans le transport sédimentaire. Cette analyse a été menée, d'une part, pour connaître du point de vue géographique, géomorphologique et hydrologique le bassin de la rivière Jiu, et, d'autre part, pour apprécier les facteurs naturels et anthropiques liés à la dynamique hydro-sédimentaire.

2) Développer une méthodologie combinée (modèles conceptuels et traçage géochimique) pour déterminer la dynamique hydro-sédimentaire et la durée de réponse du système hydromorphologique du bassin de la rivière Jiu. Ce deuxième objectif se circonscrit à une recherche approfondie de méthodes et de techniques adaptées aux particularités physico-géographiques et anthropiques du bassin de la rivière Jiu, qui doit être testée et explorée pour une connaissance plus détaillée de la dynamique hydro-sédimentaire à différentes échelles d'analyse.

Le présent travail valorise une partie importante de la recherche de doctorat de l'autrice, « **La dynamique hydro-sédimentaire du bassin de la rivière Jiu. Approches systémique et multi échelles** » (Moroşanu, 2019), qui se place, ainsi, à la base de ce livre.

1.4. Organisation du travail de recherche

Le livre est structuré en deux parties qui suivent de près l'évolution et le devenir de l'approche méthodologique adaptée aux objectifs fixés. Chaque partie essaye de répondre à une question globale, de façon à justifier les méthodologies qui suivent la démarche.

La première partie est subordonnée au premier objectif indiqué ci-dessus et apporte des réponses à la première question de la recherche, en précisant au cours de 5 chapitres les particularités géographiques, géomorphologiques et hydrologiques du bassin de la rivière Jiu.

Le chapitre 1 établit le contexte général du thème de recherche, apporte des arguments sur le choix de la zone d'étude et du sujet de recherche et oriente le développement des démarches suivantes.

Le chapitre 2 dresse un état de l'art sur la problématique de la dynamique hydro-sédimentaire, les enjeux, limites et avantages de l'approche systémique et multiéchelle, ainsi que les processus et facteurs de contrôle de la production et du transfert des flux liquides et solides dans un bassin versant.

Le chapitre 3 décrit le bassin versant de la rivière Jiu en illustrant les principales caractéristiques physiographiques et anthropiques marquantes pour la trajectoire des flux hydro-sédimentaires.

Le chapitre 4, en s'appuyant sur les outils SIG, propose une série de méthodologies destinées à mettre en relation les facteurs géographiques et le potentiel géomorphologique (en termes de sources et processus de versant) pour la production, la synergie entre la connectivité géomorphologique potentielle et le transfert ou le stockage des sédiments sous ses différentes formes.

Le chapitre 5 porte sur le fonctionnement hydrologique du bassin de la rivière Jiu, en mettant l'accent sur la variabilité spatio-temporelle des débits liquides et solides et la relation avec les différents paramètres morphométriques, hydrologiques, climatiques et de nature anthropique.

Dans la **deuxième partie** de la recherche, on change d'échelle d'analyse, tant temporelle que spatiale, pour étudier la dynamique hydro-sédimentaire du bassin de la rivière Jiu. Cette partie est ainsi subordonnée au deuxième objectif de la recherche, tout en répondant à la deuxième question de la recherche.

Dans ce contexte, **le chapitre 6** établit lesquels des concepts d'hydrologie sont mieux adaptés pour comprendre autant que possible la dynamique hydro-sédimentaire dans une zone d'étude des dimensions et de la complexité du bassin de la rivière Jiu. Ensuite, une échelle de temps considérée adéquate est choisie pour étudier les effets de la dynamique hydro-sédimentaire.

Le chapitre 7 traite la dynamique hydro-sédimentaire à l'échelle des crues, événements hydrologiques avec une influence majeure sur le transfert de sédiments. Les méthodes de sélection des crues sont présentées et des indicateurs hydrologiques sont proposés pour identifier les bassins versants responsables de la formation des crues et du transfert de la matière sédimentaire dans les secteurs en aval.

Le chapitre 8 détaille le protocole d'échantillonnage et de laboratoire en ce qui concerne les types de dépôt alluvionnaires analysés (sédiments du pavage des lits des rivières et sédiments de la berge de la rivière Jiu). Ainsi, ce chapitre marque le début de la partie expérimentale de la recherche, basée sur des données obtenues par moyens propres : les échantillons de sédiments collectés des lits fluviaux et du charbon des bassins d'extraction.

Le chapitre 9 est dédié à la validation de la stratigraphie d'un dépôt alluvial du secteur inférieur de la rivière Jiu, qui constitue le site principal d'étude. La succession stratigraphique est analysée à la fois de haut en bas (pour confirmer la sélection des couches des alluvions) et de bas en haut (pour dater la première couche déposée).

Enfin, **le chapitre 10** va intégrer et synthétiser les informations obtenues à partir des deux approches des chapitres précédents : hydrologique et le binôme terrain – laboratoire. La méthodologie vise à déterminer : **(i)** les moments / les épisodes de crue auxquels les transferts de sédiments les plus importants ont eu lieu, à partir des conséquences sur les accumulations en aval ; et **(ii)** les sources potentielles de cette dynamique hydro-sédimentaire (tant ponctuelles, comme par exemple des activités industrielles, que surtout concernant les sous-bassins hydrographiques ou leurs secteurs).

Les conclusions portent sur les réponses aux questions de la recherche menée dans le cadre de cette thèse, en synthétisant les résultats de la démarche méthodologique. Les perspectives possibles sont également présentées.