

# DE ALLIER ALS MORFOLOGISCH VOORBEELD VOOR DE GRENSMAAS

## I : VERGELIJKBAARHEID EN RIVIERPATROON

Janrik van den Berg<sup>1</sup>, Jurgen de Kramer<sup>2</sup>, Maarten Kleinhans<sup>1</sup> en Antoine Wilbers<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universiteit Utrecht, afdeling Fysische Geografie, Postbus 80115, 3508 TC Utrecht

<sup>2</sup> Dienst Landelijk gebied Gelderland, Postbus 9079, 6800 ED Arnhem

De Allier is een belangrijke zijrivier van de Loire. In de benedenloop van deze rivier, in midden Frankrijk, is het een grindrivier die enige gelijkenis vertoont met de Grensmaas zoals die er honderden jaren geleden uit moet hebben gezien. De Allier wordt daarom vaak beschouwd als voorbeeld voor natuurontwikkeling in de toekomstige Grensmaas, na uitvoering van de Maaswerken. Een belangrijk aspect daarvan vormt de interactie tussen vegetatie en morfologie. Dit artikel is het eerste van een drietal, waarin morfologische processen in de Allier worden beschreven en vergeleken met de Grensmaas. In deze eerste bijdrage zal worden ingegaan op de mate waarin beide rivieren op elkaar lijken. Verder wordt ingegaan op het rivierpatroon van de Allier en veranderingen die daarin optraden in de afgelopen anderhalve eeuw. Morfologische processen verlopen in de Allier sneller dan in de oorspronkelijke Grensmaas het geval was. Als gevolg van grindwinning is de gemiddelde ligging van het zomerbed van de Allier enkele meters gedaald. Wat dit betreft is er dus zeker sprake van een overeenkomst met de Grensmaas, zij het dat de Allier zich nog vrij kan bewegen en de Grensmaas vastligt.

## INLEIDING

### REFERENTIE

Rivieren vormen van oudsher belangrijke levensaders voor de mensheid. Langs deze aders concentreert zich de meeste landbouw, industrie en bewoning, terwijl de rivier zelf als transportader wordt gebruikt. Naast de zegeningen van de rivier als leverancier van water en vruchtbare grond, is er ook de dreiging van overstromingen en verplaatsing van geulen. Het is daarom niet verwonderlijk dat naarmate het gebruik van de rivier en haar directe omgeving toeneemt, de mensheid probeert haar meer en meer binnen een keurslijf van dijken en dammen te persen. Zo zijn in de afgelopen eeuwen vele grote en middelgrote

rivieren vastgelegd en vaak ook nog geheel of gedeeltelijk ten behoeve van de scheepvaart "genormaliseerd". Nederland is daar met zijn stelsel van gekanaliseerde rivieren een extreem voorbeeld van, maar ook elders in Europa is het met de natuurlijkheid van de rivieren slecht gesteld. Door de afwezigheid van het oorspronkelijke beeld is het besef ervan grotendeels verloren gegaan. Wie realiseert zich, dat een meanderende rivier als de Rijn vroeger vele eilanden had, die aan de stroomopwaartse kant voorzien waren van bolwerken van gestrande boomstronken (zie ook figuur 6)? Door een in vergelijking tot de huidige toestand veel kleinere variatie van de waterstanden in de nog onbedijkte, niet door kribben verdiepte rivier (HAVINGA & SMITS, 2000) werd het zand veel minder hoog afge-



FIGUUR 1  
Ligging van de Grensmaas en de Allier.

zet en moet het reliëf tussen zomerbed en oever in rivieren als de Rijn en de Maas veel kleiner zijn geweest. Verdroging en verstuviging van zand zal daardoor veel minder voorgekomen zijn. Daarom is het onwaarschijnlijk dat door wind opgewaaid duinen ontstonden, zoals bij de Millingerwaard, waar tegenwoordig zo'n hoge natuurwaarde aan wordt toegekend. Uiteraard hoeft een hoge natuurwaarde niet te betekenen dat een als zodanig gekenmerkt gebied in de oorspronkelijke natuur ook voorkwam. Bij plannen voor ecologisch herstel, zoals in het Grensmaasproject zijn opgenomen, richt men zich op het oorspronkelijke systeem (IWACO/CSO/WL, 1998; VAN LOOY & DE BLUST, 1995). In het geval van natuurontwikkelingsprojecten in het Nederlandse rivierenlandschap, moet men voor een benadering van een dergelijk streefbeeld op zoek naar vergelijkbare, maar nog vrij bewegende en niet al te zeer door mensen beïnvloede riviersystemen buiten onze landsgrenzen. Voor de Rijn wordt door het RIZA bijvoorbeeld op dit moment bekeken of de ongestuwde benedenloop van de Wolga daarvoor in aanmerking komt en voor de Grensmaas leek de Allier in Frankrijk een goede en bruikbare referentie, vooral vanwege de ecologische vergelijkbaarheid (HELMER, KLAASSEN, & SILVA, 1991) en de nabijheid van het gebied (zie figuur 1).

## UNIEK

De oevers van de Allier zijn ten zuiden van Moulins over een traject van een tiental kilometers maar op enkele plaatsen vastgelegd, waardoor bochten zich veelal onbelemmerd kunnen verplaatsen (zie figuur 2). Evenals de Grensmaas is de Allier een regenrivier met in het algemeen zeer lage afvoeren in de zomer en kortstondige afvoerpieken die meestal in de wintermaanden optreden. Gemiddeld wordt eens per jaar een afvoer van  $820 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  overschreden (zie figuur 3). Ter vergelijking, bij de Grensmaas is dat  $1500 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Aan de basis van het ecosysteem van een rivier ligt de (variatie in) waterafvoer, het klimaat en een aantal eigenschappen van het rivierbed, te weten het rivierpatroon, het sediment en de morfodynamica. Al deze variabelen en de eis van natuurlijkheid maken dat de kans op het vinden van een equivalent van de Rijn of de Maas elders in de wereld bijzonder klein is. De eigenschap 'uniek', waarmee de Grensmaas wel eens wordt vereerd, geldt dus voor vele rivieren. Bij een wereldwijde inventarisatie van eigenschappen van 146 vrije, meanderende rivieren die in aanmerking kwamen, werd de vrees dat de Grensmaas werkelijk uniek zou zijn helaas bewaarheid (LAMBECK & KLAASSEN, 1994). De beste overeenstemming die uit dit onderzoek naar voren kwam betrof overigens de Eden River in Engeland en niet de Allier. De afmetingen van het bodemmateriaal in de Allier zijn wat kleiner dan in de Grensmaas, terwijl het verhang in deze rivier bijna een factor 2 groter en het debiet een factor 2 kleiner is. Dit betekent dat de Grensmaas iets grover materiaal vervoert met ongeveer dezelfde stromingsenergie (zie ook figuur 7). Hiermee is overigens niet gezegd dat de Allier haar voorbeeld functie voor de Grensmaas verloren heeft. Veel processen in de Allier zullen vergelijkbaar zijn, maar wel sneller verlopen dan in de (oorspronkelijke) Grensmaas.

## DYNAMIEK

De grote dynamiek van banken en eilanden in de Allier leidt tot een sterke interactie van morfologische processen en vegetatie. In aangroeiende binnenbochten van meanders ziet men prachtige overgangen van een kale grind- en zandvlakte dicht bij de rivier met hier en daar een opschietende zaailing van de Zwarte populier of een andere pionier, via allerlei successies naar een volledige bedekking van bomen en ondergroei. In figuur 4 is een gedeelte van een nog jonge binnenbocht

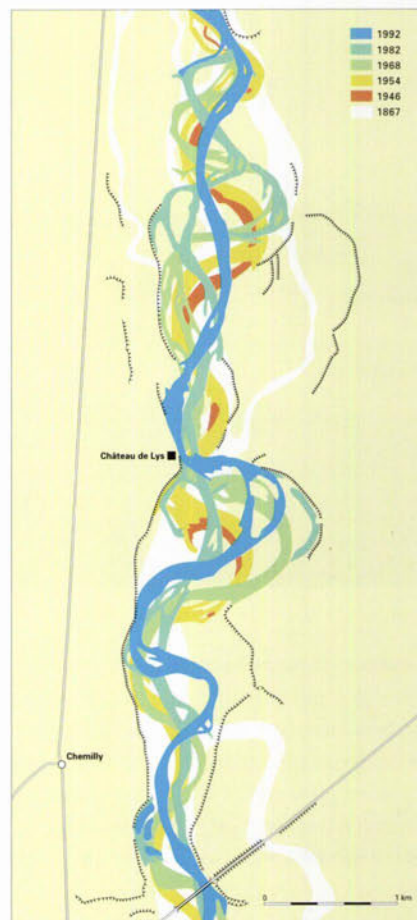
van de Allier te zien. In het plaatje stroomt de rivier op ons af. Duidelijk zijn een aantal groeilijnen van de binnenbocht te zien. In de buitenste "schil" is nog geen vegetatie aanwezig. Vervolgens verschijnen er zaailingen van de Zwarte populier. Verder naar binnen in de bocht zijn de bomen ouder en groter, neemt de vegetatiebedekking toe en wordt de soortenrijkdom groter. Bij de Grensmaas zal de interactie van morfodynamiek en vegetatie nooit zo sterk zijn geweest en zullen zone-ringen van vegetatie-successies in binnenbochten van de rivier zich over veel kortere afstand hebben gemanifesteerd.

De grote dynamiek van de Allier heeft het voordeel dat processen op een tijdschaal van enkele jaren goed te analyseren zijn. Sedert een aantal jaren wordt door studenten Fysische Geografie, Universiteit Utrecht en in enkele gevallen ook studenten van de TU Delft en TU Twente, in het kader van hun studie onderzoek gedaan naar allerlei aspecten van het sediment transport en de morfologie van de Allier. Het onderzoek concentreert zich vooral in het meanderende deel van de rivier, ten zuiden van Moulins, maar ook het vlechtende deel ten noorden van deze stad is bekeken. Aanvullend wordt door promovendi van de TU Twente en de Universiteit Utrecht onderzoek gedaan naar het transport van zand en grindmengsels, waarbij experimenten in de Zandgoot van het Waterloopkundig Laboratorium in de NO polder een belangrijk onderdeel uitmaken.

In een reeks van drie artikelen in opeenvolgende afleveringen van dit tijdschrift wordt een gedeelte van de resultaten van het onderzoek gepresenteerd. Daarbij wordt waar mogelijk een vergelijking getrokken met de Grensmaas. In deze eerste aflevering zal worden ingegaan op het rivierpatroon van de Allier, dat evenals de Grensmaas, in de afgelopen eeuw aan verandering onderhevig is geweest. In volgende nummers worden pro-

FIGUUR 2

De Allier stroomopwaarts van Moulins sedert 1867. Situaties 1946 en later overgenomen uit: Loire Nature, (1994).



cessen van bochterosie en meanderverplaatsing in beide rivieren met elkaar vergeleken en wordt ingegaan op een aantal aspecten van het transport van slecht gesorteerde zanden grindmengsels die karakteristiek zijn voor deze rivieren.

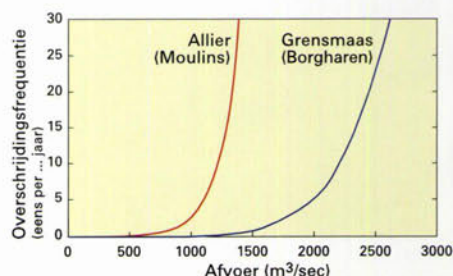
## HET RIVIERPATOON VAN DE ALLIER

## VLECHTEN EN MEANDEREN

De benedenloop van de Allier tussen Varennes-sur-Allier en de monding in de Loire heeft twee duidelijk verschillende verschijningsvormen. Ten zuiden van de stad Moulins heeft de rivier veel grote meanders. De

FIGUUR 3

Grafiek overschrijdingsfrequenties van afvoeren Allier en Grensmaas. Allier: periode 1968-1995, brug bij Moulins; Grensmaas: periode 1911-1990, stuw bij Borgharen.





FIGUUR 4

Gezicht op een binnenbocht van de Allier stroomopwaarts van Château de Lys.

oevers in de buitenbochten zijn steile, onbegroeide erosieve hellingen, terwijl de oevers in de binnenbochten geleidelijk naar binnen in hoogte oplopende, deels onbegroeide zand- en grindvlaktes zijn. Ten noorden van de stad is de rivier veel rechter en komen er veel begroeide eilanden in voor. Het rivierpatroon van het zuidelijke deel van de Allier heeft evenals de Grensmaas een meanderend patroon. De bochten worden door erosie in de buitenbocht vooral lateraal maar ook stroomafwaarts verschoven. Dit is goed te zien in figuur 2. In sommige gevallen worden de bochten afgesneden en ontstaan er verlaten meanders en nevengeulen. Hierop zal in een volgende aflevering gedetailleerd worden ingegaan. Het rivierpatroon stroomafwaarts van Moulins heeft het karakter van

een vlechtende rivier. Binnen de oevers wordt de stroming gesplitst in geulen waar tussen kale zand- en grindbanken of sterk begroeide eilanden liggen (figuur 5). Dat de stroming wordt verdeeld over meerdere geulen is een belangrijk kenmerk van vlechtende rivieren. Dat wil echter niet zeggen dat elke rivier die ergens meer dan één geul heeft meteen een vlechtende rivier is. Ook in een vrij meanderende rivier zoals de Allier ten zuiden van Moulins komen plaatsen voor met meer dan één geul, bijvoorbeeld nabij pas opgetreden meanderdoorbraken en bij zeer scherpe meanderbochten.

#### DE OMSLAG

De reden dat het rivierpatroon bij Moulins

verandert van meanderend in meer vlechtend is niet zondermeer te geven. Een dergelijke verandering kan optreden als het vermogen van de rivier om het aanwezige zand en grind op de bodem te transporteren toeneemt. Bij een analyse hiervan wordt vaak gekeken naar het maatgevende debiet. Daar wordt in dit verband de afvoer mee bedoeld, waarbij het meeste sediment wordt getransporteerd. Anders gezegd, de afvoer, waarbij het product van de frequentie van optreden en het bij die afvoer optredende transport de hoogste waarde geeft. De afvoer die de rivier heeft op het moment dat ze nog net niet buiten haar bedding treedt, benadert de maatgevende afvoer meestal goed. Belangrijke grootheden die het transportvermogen bepalen zijn het verhang en het kaliber van het sediment. Bij toename van het verhang en afname van de korrelgrootte, neemt de transportcapaciteit toe en vindt er op zeker moment een overgang plaats van een meanderend naar een vlechtend patroon. Die overgang is geleidelijk. Het is niet zo dat een meanderend patroon met maar één geul plotseling verandert in een rivier met vele geulen. Tussen vlechten en meanderen zijn vele overgangsvormen mogelijk. In het geval van de Allier wordt stroomafwaarts van Moulins de korrelgrootte kleiner, terwijl het verhang nauwelijks verandert. Daarmee samenhangend neemt het transportvermogen toe. De overgang van een meanderend systeem ten zuiden van Moulins naar een meer vlechtend rivierpatroon ten noorden daarvan is hiermee in overeenstemming (figuur 7). Het transportvermogen is min of meer evenredig met het kaliber van het beddingmateriaal en met het energieverlies dat de stroming door wrijving aan de bodem ondervindt. In figuur 7 lopen lijnen van gelijk transportvermogen daarom ongeveer evenwijdig met de getrokken lijn. Deze getrokken lijn vormt de scheiding van duidelijk meanderende en vlechtende riviersystemen. Overgangsvormen tussen deze rivierpatronen kunnen aan beide zijden van de lijn voorkomen (VAN DEN BERG, 1995). In vele grindrivieren vindt men



FIGUUR 5

Vertakkende geulen in het vlechtende patroon van de Allier stroomafwaarts van Moulins.

FIGUUR 6

Gestrande boomstronken vormen vaak een natuurlijke "borstwering" van een eiland.

in stroomafwaartse richting een overgang van een grind gedomineerde naar een zand gedomineerde rivier. Dat is zowel bij de Allier als bij de Grensmaas het geval. Als men de mediane korrelgrootte van het beddingmateriaal uitzet tegen de langs de rivier gemeten afstand, dan blijkt dat er in beide rivieren sprake is van een plotselinge verandering. Die verandering is echter minder abrupt dan uit figuur 8 lijkt te kunnen worden afgeleid. Het sediment in een grindrivier bestaat meestal uit grof grind en zand, er wordt maar weinig grof zand en fijn grind aangetroffen, eenvoudigweg omdat verweringsprocessen in de natuur weinig van dat type sediment maken. Er is dus sprake van een tweetoppige korrelgrootte-verdeling en op de overgang van een grind- naar een zandrivier zien we dat de zandtop hoger wordt dan de grindtop. Bij de mediaan van de korrelverdeling manifesteert zich die geleidelijke overgang zich in een abrupte verkleining.

## INSNIJDEN

Meestal gaat de verandering van een grind naar een zandrivier gepaard met een vrij plotselinge verkleining van het verhang. Dit komt doordat het sedimenttransport in een zand gedomineerde rivier bij dezelfde energetische omstandigheden groter is dan in een grind gedomineerde rivier. Hierop zal in een volgende aflevering verder worden ingegaan. Door een verkleining van het verhang blijft de transportcapaciteit min of meer gelijk. Bij de Allier gebeurt dat niet, hetgeen betekent dat er in de omgeving van Moulins, vanwege de toenemende transportcapaciteit, een extra bron van sediment moet zijn. De bodem lijkt de enige bron te kunnen zijn, hetgeen zou betekenen dat de rivier zich aan het insnijden is. Dit blijkt inderdaad het geval. Sedert het begin van deze eeuw is de bedding van de rivier in de ruime omgeving van Moulins een aantal meters lager komen te liggen. Deze verandering is echter maar gedeeltelijk als natuurlijk aan te merken. Met name tussen 1949 en 1974 werd zeer veel grind uit het rivierbed gewonnen (BOUCHARDY, 1991). In dit opzicht is er dus ook een parallel met de Grensmaas. Hoewel de Allier zeer "natuurlijk" oogt, is de menselijke invloed ook in deze rivier aanzienlijk.

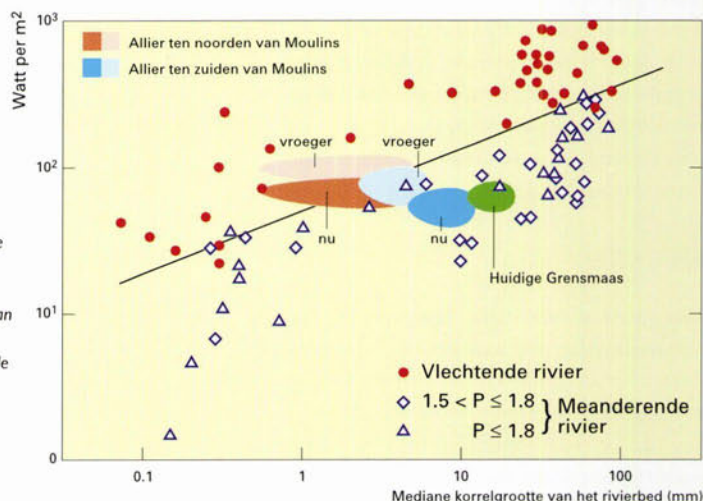


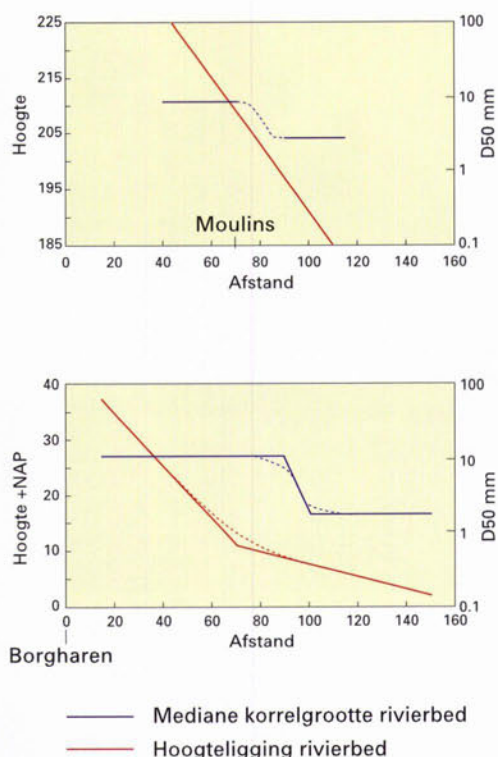
## HISTORISCH

Het meanderende rivierpatroon dat nu ten zuiden van Moulins voorkomt is pas ontstaan in de 20<sup>e</sup> eeuw, daarvoor zag het patroon er heel anders uit. Op een kaart uit 1867 is de totale breedte van de Allier veel groter dan tegenwoordig en zijn er een aantal geulen naast elkaar te zien, die gescheiden zijn door banken of eilanden (figuur 2). Ook in de eeuwen daarvoor had de Allier een dergelijk patroon. Uit een kaart van 1460 blijkt dat het gedeelte van de stad Moulins is gebouwd op verschillende eilanden. Ten noorden van Moulins is het geulpatroon nog steeds vlechtend, maar het aantal geulen is afgenomen, evenals de totale breedte van de rivier. We kunnen op dit moment nog geen sluitende verklaring vinden voor de verandering in het rivierpatroon. Hiernaar wordt op dit moment nog onderzoek verricht. Het staat vast dat de grindwin-

ning heeft bijgedragen aan de versmalling van de rivier, maar er moet meer aan de hand zijn, want de overgang naar een meer meanderend patroon ten zuiden van Moulins begon veel eerder. Er zijn aanwijzingen dat de afvoer van de Allier kleiner zijn geworden. Vooral de hoogwaters vertonen een duidelijke daling. Dit hangt volgens BRAVARD *et al.* (1998) samen met klimaatschommelingen (Kleine IJstijd tot ca. 1880). Hiermee samenhangend is het aanemelijk dat de maatgevende afvoer van de rivier is afgenomen. Daarnaast lijkt de samenstelling van het sediment in oevers waar vroegere afzettingen van de rivier worden aangesneden een aanwijzing te vormen dat het rivierbed vroeger meer zand bevatte. Dit zou betekenen dat de overgang van een grind naar een zand gedomineerde rivier vroeger een stuk ten zuiden van Moulins lag. Een eerste schatting is dat de mediane korrelgrootte verdubbelde en de maatgevende afvoer sedert de

FIGUUR 7  
Rivierpatroon als functie van het gemiddeld energieverlies van de stroming per eenheid van de stroomvoerende breedte en lengte van de rivier bij geulvullende afvoer en van de korrelgrootte van het beddingmateriaal (VAN DEN BERG, 1995).





FIGUUR 8

Hoogteligging en mediane korrelgrootte van het rivierbed, boven: Allier, onder: Grensmaas.

Kleine IJstijd met een factor twee afnam. Zoals te zien is in figuur 7, betekent dit, dat het natuurlijk regime van de Allier van vlechtend naar meanderend is geschoven. De grindwinning heeft deze verandering ongetwijfeld bevorderd. Hierdoor sneed de Allier zich verder in en werden de ondiepere nevengeulen verlaten. Deze geulen raakten snel begroeid, of werden voor de landbouw gebruikt zodat de rivier nog minder gelegenheid had om deze geulen te gebruiken (MARSTON *et al.*, 1995). Dit alles zorgde ervoor dat de Allier nu, ten zuiden van Moulins, bestaat uit één meanderende geul. In het noorden heeft de rivier nog wel het karakter van een vlechtende geul, maar de breedte van de rivier is duidelijk kleiner geworden. Er zijn aanwijzingen dat dit deel van de Allier ook aan het veranderen is in een meanderend patroon, hoewel dat nog tientallen jaren kan gaan duren.

## MEER RUIMTE

Niet alleen de Allier kent deze overgang van een vlechtende rivier naar een meanderende rivier. Verschillende rivieren in het Franse middelgebergte vertonen dezelfde ontwikkeling (de Loire, Rhône, Drôme, Ardeche), waarbij grotendeels dezelfde factoren een rol

spelen (BRAVARD *et al.*, 1998). Net als bij diverse Nederlandse rivieren wil men deze rivieren, binnen de maatschappelijke mogelijkheden die er zijn, weer meer ruimte geven, om een meer natuur terug te krijgen, maar vooral ook als maatregel om het overstromingsgevaar te verminderen. In de Allier is ook een dergelijk project gestart (DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT AUVERGNE & AGENCE DE L'EAU LOIRE BRETAGNE, 1998). Het traject tussen Varennes en Moulins is wettelijk beschermd als natuurgebied, wat ondermeer betekent dat het aanleggen van oeververdedigingen niet langer wordt toegestaan.

## CONCLUSIE

De Grensmaas is evenals de huidige Allier (ten zuiden van Moulins) een meanderende grindrivier, die stroomafwaarts vrij plotseling overgaat in een door zand gedomineerde rivier. Anders dan in de Grensmaas gaat dit in de Allier niet gepaard met een verkleining van het verhang. Morfologische processen die optraden in de oorspronkelijke Grensmaas zijn vergelijkbaar met wat men nu in de Allier kan zien gebeuren. De snelheid waarmee deze processen zich voltrekken is in de Allier echter groter, wat tot uitdrukking komt in een sterkere aanwezigheid van zoneringen van diverse successiestadia van vegetatie dan in de Grensmaas ooit het geval kan zijn geweest. Evenals bij de Grensmaas is door grindwinning het zomerbed van de Allier enkele meters verlaagd. In de Allier is dit één van de oorzaken voor de verandering van een vlechtende rivier naar een meer meanderend rivierpatroon in de afgelopen anderhalve eeuw. Toen de Allier en de Grensmaas nog weinig door menselijk handelen werden beïnvloed, leken deze rivieren in morfologisch opzicht dus minder op elkaar dan tegenwoordig het geval is.

## RESUME

### L'ALLIER, UN EXEMPLE MORPHOLOGIQUE POUR LA MEUSE MITOYENNE

#### COMPARAISON ET MODÈLE FLUVIAL

L'Allier est un affluent important de la Loire. Dans son cours inférieur, en plein coeur de la France, il s'agit d'une rivière sur gravier qui ressemble quelque peu à la Meuse mitoyenne telle qu'elle se présentait il y a

quelques centaines d'années. C'est pourquoi l'Allier est souvent pris en exemple pour le développement de la nature sur la Meuse mitoyenne de demain, lorsque le projet Grensmaas aura été exécuté. L'un des aspects essentiels est l'interaction entre la végétation et la morphologie du fleuve. Cet article est le premier d'une trilogie dans laquelle les processus morphologiques de l'Allier sont décrits et comparés à la Meuse mitoyenne. Dans cette première partie il sera surtout question de la comparaison entre les 2 cours d'eau et des modifications du modèle fluvial de l'Allier. On a constaté que les processus morphologiques de l'Allier se déroulaient plus vite que lorsque c'était le cas sur la Meuse mitoyenne originelle. Le modèle fluvial de l'Allier, au sud de Moulins, a évolué au cours des siècles : nous sommes passé d'une rivière décrivant des boucles à une rivière dessinant des méandres. Cette dynamique a surtout été favorisée par l'exploitation du gravier suite à laquelle le lit mineur de la rivière s'est abaissé de quelques mètres. Sur ce dernier point, on peut certainement parler d'analogie avec la Meuse mitoyenne, quoique l'Allier peut encore évoluer assez librement alors que la Meuse mitoyenne est figée.

## LITERATUUR

- BRAVARD, J.P., 1998. Examples of river restoration in braided rivers of Europe. In: Müller, N.; S. Okuda & N. Tamai (eds.) International Symposium on River restoration. Proceedings Technology Research Center for Riverfront Development, Tokyo: 61-70.
- BOUCHARDY, C.; A. FEL, L. TIXIER, A. COURTILLÉ, L. BREUILLÉ, J.-P. RIDEAU & D. CROZES, 1991. Rivières et Vallées de France: L'Allier. Toulouse: 188 pp.
- DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT AUVERGNE & AGENCE DE L'EAU LOIRE BRETAGNE, 1998. Étude de l'Allier entre Vielle-Brioude et Villeneuve (1998). Clermont-Ferrand, France.
- LAMBECK, J.J.P. & G.J. KLAASSEN, 1994. Haalbaarheidsstudie referentie-onderzoek Grensmaas. Rapport Q1437 Waterloopkundig Laboratorium.
- LOIRE NATURE, 1994. Étude de définition des priorités d'intervention foncière. Programme Loire Nature, Mesure Varennes/Allier - Moulins.
- HELMER, W.; G. KLAASSEN & W. SILVA, 1991. Toekomst van een grindrivier. Deel 5: Rivierkundige aspecten en natuurontwikkeling. Nota 91.007 Rijkswaterstaat/RIZA.
- IWACO/CSO/WL, 1998. MER Grensmaas, Maastricht.
- MARSTON, R.A.; J. GIREL, G. PAUTOU, H. PIÉGAY, J.P. BRAYARD & C. AMESON, 1995. Channel metamorphosis, floodplain disturbance, and vegetation development. Ain River, France. *Geomorphology*, 13: 121-131.
- VAN DEN BERG, J.H., 1995. Prediction of alluvial channel pattern of perennial rivers. *Geomorphology*, 12: 259-279.
- VAN LOOY, K. & G. DE BLUST, 1995. De Maas natuurlijk? Aanzet tot een grootschalig natuurontwikkelingsproject in de Grensmaasvallei. Instituut voor Natuurbehoud, Brussel.