

UN CORPUS DE DONNÉES GÉORÉFÉRENCÉES POUR LA GESTION DU COMPARTIMENT PHYSIQUE DES HYDROSYSTÈMES FLUVIAUX : L'EXEMPLE DE LA DRÔME

Norbert LANDON

Hervé PIEGAY

UMR 5600 du CNRS, Laboratoire Environnement - Ville - Société
Université de Lyon III

Résumé

Le géographe de l'environnement apporte aujourd'hui des réponses aux gestionnaires notamment dans le cadre des systèmes fluviaux. Notre équipe a ainsi réalisé l'étude géomorphologique et biogéographique du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE), pilote dans le bassin du Rhône, celui de la Drôme. L'ensemble de la démarche repose sur la constitution d'une base de données géoréférencées, l'unité élémentaire étant un tronçon de 500 mètres. Les variables collectées sur plus de 200 tronçons sont issues de multiples sources (photographies aériennes verticales ou obliques, profils en long). Ce système a permis :

- de construire des cartes analytiques et synthétiques, c'est-à-dire combinant plusieurs variables (incision du lit et recharge potentielle, diversité de la mosaïque végétale et secteur à conserver ou à restaurer en priorité...);*
- de résoudre des problèmes de recherche fondamentale en établissant des liens statistiques entre les variables (abondance des embâcles de bois et géométrie du lit ; importance de l'enfoncement du lit et recharge locale ; poissons et potentialités d'habitat).*

Mots-Clés

Analyse statistique - Cartographie - Gestion - Hydrosystème - Ripisylve

Les lois sur l'eau de décembre 1964 et de janvier 1992 ont profondément modifié la gestion des cours d'eau français. L'approche segmentée qui prévalut durant deux siècles cède place à une approche dite globale et intégrée qui doit considérer à la fois les usages de l'eau et le milieu naturel. Cette « gestion équilibrée usages-milieu » fondée sur l'idée qu'un milieu est d'autant moins perturbé qu'il peut abriter une plus grande diversité d'usages, devra être appliquée dans le cadre des Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) [1]. Les commissions locales de l'eau (CLE) qui regroupent les élus locaux, les administrations et diverses associations, ont la charge de tels schémas, chacun devant théoriquement s'appliquer sur des entités géographiques homogènes de 1000 à 2000 km².

Le bassin-versant de la Drôme, sur lequel porte notre étude, fait l'objet d'un tel travail, la commission locale de l'eau ayant été nommée en 1993 et le périmètre défini la même année. Comme le souligne la plaquette « Méthodologie SAGE » éditée par le ministère de l'environnement en 1992, un état des lieux devra être initialement établi par la commission afin d'élaborer un diagnostic et une stratégie de gestion et d'aménagement de la rivière dont elle a la charge. C'est dans ce cadre que nous avons réalisé en 1995 [4], l'étude géomorphologique et biogéographique de la Drôme. La commission souhaitait que soient plus particulièrement formulées des propositions de gestion :

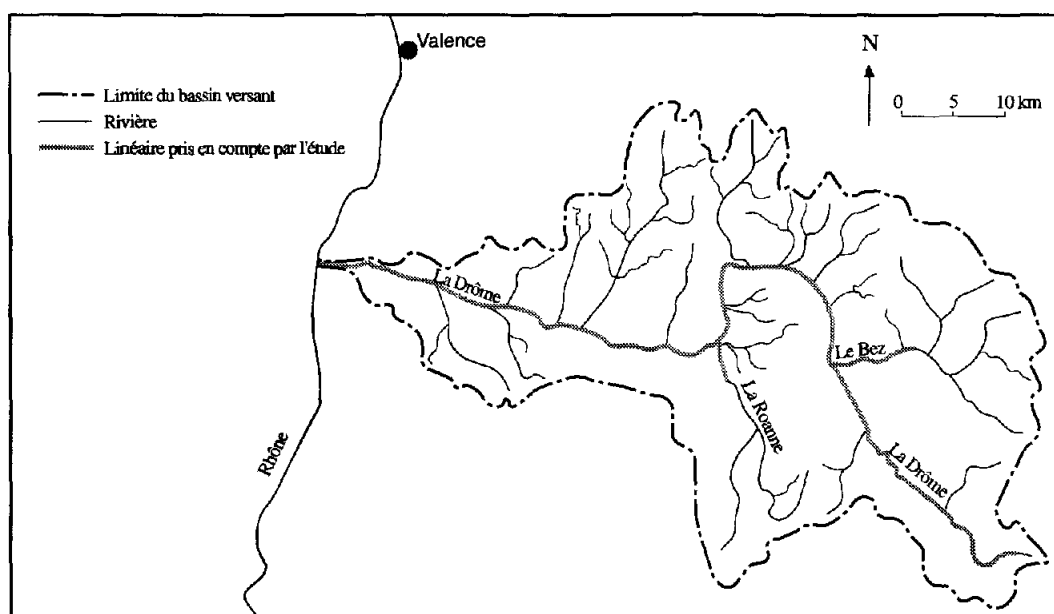
- de la charge solide, la rivière ayant été soumise à une incision à la suite de la multiplication des sites d'extraction,
- de la ripisylve ou forêt riveraine de ce cours d'eau, une politique d'entretien étant souhaitée par beaucoup de gestionnaires.

La plupart des résultats ont été représentés cartographiquement comme le souhaitent les gestionnaires, le but étant qu'ils puissent être enrichis ou précisés au fil du temps dans l'optique d'une gestion durable. La tendance historique a notamment été finement étudiée afin de mieux comprendre les liens fonctionnels actuels rivières-marges et de concevoir une démarche de gestion prospective reposant sur le présent et le passé.

L'objet de cet article est ainsi de montrer, à travers plusieurs exemples, comment la méthode semi-quantitative qui a été retenue sur la Drôme permet de conduire efficacement une telle démarche. Trois points seront ainsi successivement abordés :

- la présentation de la méthode proprement dite,
- la méthode comme outil de diagnostic,
- la méthode comme outil d'aide à la décision en matière de gestion.

Figure 1 : Le bassin-versant de la Drôme



1. Localisation du tronçon et principes méthodologiques

La Drôme est une rivière à fond caillouteux, de taille moyenne (fig. 1). De Valdrôme au Rhône, la Drôme s'étire sur une longueur de 106 km dans une zone préalpine qui marque le contact entre Diois au sud et Vercors au nord. En raison du relief et de la latitude septentrionale, la Drôme présente un régime hydrographique préalpin subméditerranéen [7]. Les crues les plus violentes interviennent au printemps et à l'automne. La Drôme draine un corridor végétal bien développé sur certains tronçons. Ses marges sont néanmoins très humanisées. Respectivement 40,54 % et 15,31 % des berges sont occupées par des zones agricoles et des zones urbaines ou industrielles. La forêt, lorsqu'elle est bien développée, est composée d'une diversité d'espèces typiques des forêts alluviales du couloir rhodanien septentrional et médian.

L'état et l'évolution contemporaine des unités du paysage et de la dynamique fluviale de la Drôme ont été étudiés à partir des données issues de relevés effectués sur le terrain ou provenant de différentes sources. Des photographies aériennes verticales à petite échelle (1/20 000) datant de 1946-48, 1969-71 et 1991 ont permis de reconstituer et de cartographier les unités physiologiques et leur évolution, d'observer la dynamique de la couverture végétale : création, disparition, transformation de groupements végétaux [2]. Des photographies aériennes obliques ont également été prises lors d'un survol en hélicoptère à très basse altitude en avril 1995. L'ensemble des berges a été recensé, les photographies se succédant avec un léger recouvrement. Cette campagne a permis de collecter 1 417 photographies, soit en moyenne 6 à 7 photographies par tronçon de 500 m. Le dépouillement de ces photographies a été effectué visuellement, les berges, le lit mineur et le lit majeur étant distingués. Des comptages d'éléments, des estimations de surface ou de linéaire d'occupation ont permis d'en

faire une analyse semi-quantitative. La plupart des phénomènes observés ont été représentés dans leur extension géographique sur une carte au 1/10 000. Une étude de l'évolution historique du profil en long de la Drôme a également été conduite. Elle repose sur une analyse comparative et diachronique de la ligne d'eau d'étiage qui a été levée à plusieurs reprises au cours du XXe siècle et notamment en 1928 et 1986.

L'exploitation statistique de l'information issue des photographies et des profils en long a été couplée à une démarche cartomatique [8]. L'ensemble de l'information a été normalisé et synthétisé afin d'être exploitable sur plus de 100 km de rivière. Le linéaire d'étude a été découpé en 213 tronçons élémentaires de 500 m de long, chacun d'eux étant représenté sur les cartes d'analyse au 1/100 000 par un point référencé sur un tableur et dont la forme et la taille varient en fonction de la variable cartographiée. La cartomatique, adaptée à des tâches répétées, s'est ainsi révélée fort utile. Un fond de carte a été scanné, chaque tronçon élémentaire étant remplacé et identifié. Un habillage standard (tracé du cours de la rivière, villages et principaux ponts, affluents) a également été dessiné.

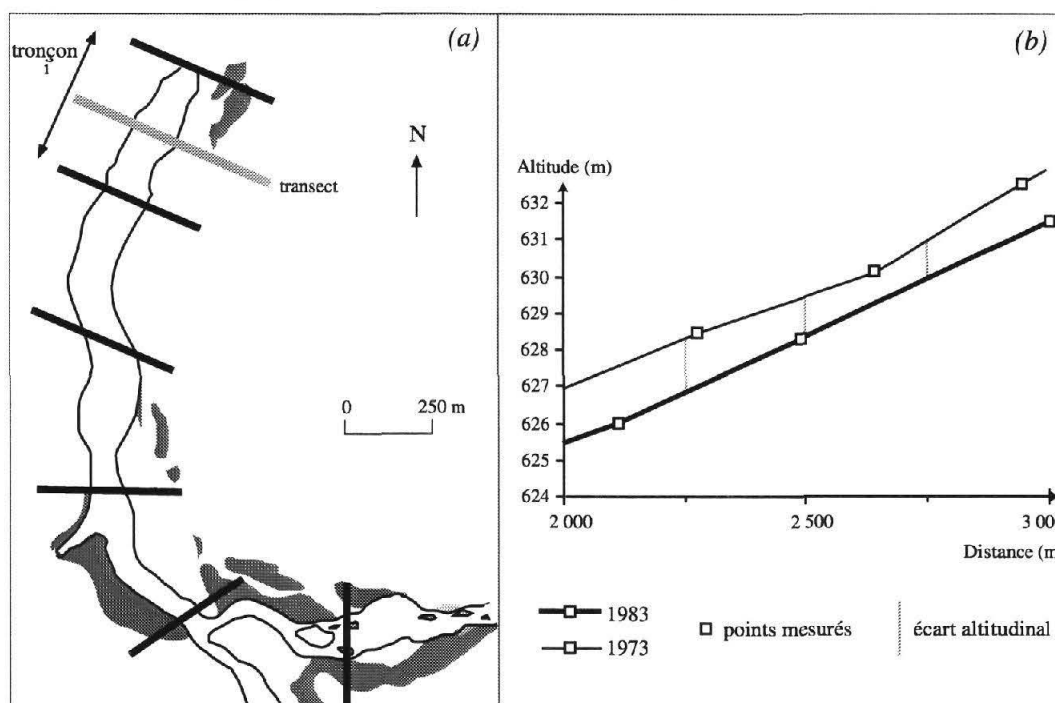
Tableau 1 : Principales variables mesurées sur chacun des tronçons élémentaires de 500 m

<p>A partir des photographies aériennes verticales</p> <ul style="list-style-type: none"> - Largeur de la bande naturelle - Largeur de la bande active - Largeur du chenal en eau - Largeur de la végétation pionnière et post-pionnière - Largeur de la végétation arborée - Largeur de la végétation de type lande et pelouse sèche - Largeur occupée par des unités anthropiques à l'intérieur de la mosaïque (cultures, campings, décharges...) - Nombre de contacts d'unités naturelles à l'intérieur de la bande naturelle - Taux de tressage (Leopold et Wolman, 1957) - Indice d'entropie de Shannon <p>A partir des photographies obliques</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nature dominante de l'occupation par tronçon de 500 m de berge (13 modalités) - Type de berge, notamment état naturel ou non, stable ou en cours d'érosion (9 modalités) - Nombre d'embâcles <p>Sur les profils en long</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pente (en m/m) - Evolution altitudinale de la ligne d'eau d'étiage entre 1928 et 1986 (en cm)

Des transects ont été positionnés au centre de chacun des tronçons élémentaires sur les trois séries photographiques (fig. 2a ; tab. 1). La largeur des unités physiologiques a été mesurée et leur évolution d'une année à l'autre a été étudiée sur chacun des transects. La marge d'erreur a été estimée à 1-1,5 millimètre, soit 20 à 30 m sur les photographies au 1/20 000. Les évolutions considérées comme pertinentes d'une date à l'autre excéderont donc toujours ces valeurs. Cette approche a, en outre, permis de calculer des valeurs moyennes (en mètres ou en hectares) et de déterminer une tendance globale, chaque transect étant représentatif de 500 m de linéaire de rivière. Des variables longitudinales ont également été mesurées sur chacun des tronçons (tab. 1). Les variables collectées sur les photographies obliques ont pu être combinées à celles issues des autres sources. Comme le tronçon élémentaire ne constitue que rarement une unité homogène, l'information initiale a été simplifiée, la modalité retenue correspondant toujours à la principale caractéristique de ce tronçon. L'exploitation des différents profils en long a permis de mesurer des valeurs synthétiques d'enfoncement correspondant aux écarts altitudinaux existant entre les lignes d'eau (fig. 2b). Ces valeurs sont calculées pour des sections de 500 m de longueur à partir d'un graphique sur lequel figurent toutes les lignes d'eau de la rivière. Cette analyse est délicate mais demeure néanmoins une des rares possibilités d'analyse historique de l'évolution verticale du lit [3].

37 variables, les principales étant présentées dans le tableau 1, ont été collectées sur les 213 tronçons élémentaires, soit 7 881 valeurs. L'analyse cartographique s'est accompagnée d'une analyse statistique et d'une typologie permettant d'apprécier plus particulièrement certains phénomènes (diversité écologique, morcellement du corridor de végétation, secteurs géomorphologiquement homogènes...).

Figure 2 : Transects (a) et profils en long (b) servant à collecter l'information



2. Un diagnostic géomorphologique et biogéographique

2.1. La mise en évidence de tendances

L'analyse des différents documents permet de mettre en lumière non seulement la dynamique géomorphologique de la rivière mais également l'évolution du corridor végétal.

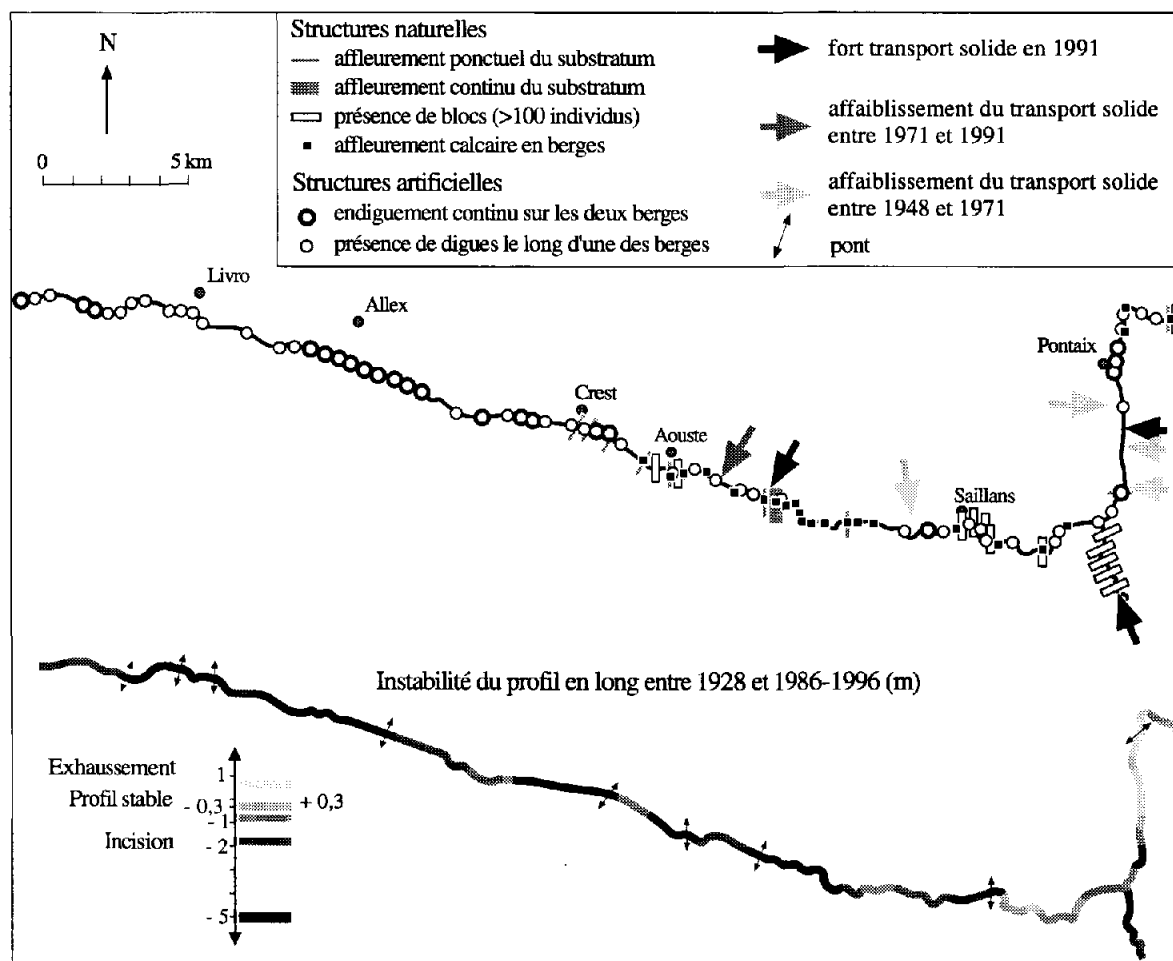
Sur les 84 km de cours d'eau pris en compte par l'étude de l'évolution verticale du lit de la Drôme, seuls 19 km, soit 22,6 % du linéaire, présentent une stabilité relative, voire même un léger exhaussement (<1 m). L'incision touche tout le linéaire restant et peut atteindre localement 5 mètres (fig. 3). Les secteurs les plus marqués par cet enfoncement (incision de 2 à 5 mètres) sont au nombre de six et représentent 31,5 km (37,5 % du linéaire). L'incision touche également le cours aval des principaux affluents par érosion régressive. Le processus a été localement limité par la mise en place de seuils artificiels ou par l'exhumation du substratum rocheux.

L'analyse diachronique des photographies aériennes montre par ailleurs que la forêt alluviale a fortement progressé en lit mineur entre 1948 et 1991. Cette évolution caractérise principalement la période 1948-1970. Il est intéressant de noter que cette végétalisation du lit mineur s'accompagne d'une diminution du taux de tressage et du nombre d'îles. En effet, la végétalisation touche principalement les bandes de tressage. Une relation linéaire étroite existe entre la largeur de la bande active en 1946, et la largeur de la bande végétalisée entre 1946 et 1991. Un chenal de 25 m conserve une largeur constante au cours de la période alors qu'il se réduit de 31 m et de 162 m pour des largeurs initiales de 50 et 150 m. La largeur s'est réduite de plus de 35 %, voire 60 %, dans les secteurs de la ramière amont, de la confluence de la Drôme avec la Roanne et le Bez.

2.2. Des éléments d'explication

La base de données permet de mettre en lumière les liens statistiques existants entre les variables et d'expliquer ainsi certaines tendances observées.

Figure 3 : L'érosion dans le lit de la Drôme au cours de la période contemporaine (1928-1986) : exemple du tronçon à l'aval de Pontaix



Les analyses statistiques ont montré par exemple que trois facteurs expliquent la variation longitudinale de l'incision du profil en long de la Drôme. L'incision (Y) est d'autant plus forte que le tronçon élémentaire considéré est :

1 - proche du Rhône. Cela s'explique par le fait que la plupart des extractions sont situées à l'aval, les plaines de la basse Drôme constituant un gisement alluvionnaire important et bien desservi, proche des centres de consommation. Par ailleurs, aucun torrent important susceptible d'atténuer ce déstockage n'existe sur près de 30 km ;

$$Y = 0,05X - 3,21$$

$$r^2 = 0,45$$

$$p < 0,0001$$

avec Y = incision du lit (en m), X = distance au Rhône (en km)

2 - éloigné d'un torrent actif. Le phénomène d'incision a longtemps été atténué par les apports des torrents encore capables de fournir de la charge. Il existe une relation entre la proximité d'un torrent à l'amont d'un point d'observation et la valeur de l'incision. Le rôle des torrents affluents a été pendant un certain temps

déterminant dans les mécanismes de recharge du cours d'eau mais la plupart d'entre eux sont aujourd'hui eux-mêmes profondément incisés et n'alimentent plus le bras principal ;

$$Y = -0,11X - 0,43$$

$$r^2 = 0,29$$

$$p < 0.0001$$

avec Y = incision du lit (en m), X = distance au plus proche torrent amont (en km)

3 - situé à l'aval d'un tronçon dont les berges sont érodées. Plus le linéaire de berges en cours d'érosion est important, moins l'incision est prononcée. La recharge latérale semble ainsi suffisamment forte pour limiter le phénomène d'incision. Ce fait est important puisqu'il conduit à des propositions de gestion, à savoir notamment la nécessité de limiter les protections de berges lorsque les risques sont faibles ;

$$Y = 0,41X - 2,5$$

$$r^2 = 0,19$$

$$p < 0.0001$$

avec Y = incision du lit (en m), X = nombre de berges de 500 m érodées sur les 3 km à l'amont du point d'observation.

Les analyses statistiques permettent également de montrer quels sont les sites préférentiels de dépôts des embâcles de bois. Les résultats acquis ont permis de réorienter la politique d'entretien des berges et du lit de la rivière. Les embâcles en lit mineur sont en fait concentrés sur un faible nombre de tronçons. Près de 50 % du linéaire de cours n'est pas concerné par le dépôt d'embâcles (moins de 10 embâcles par tronçon de 500 m). L'analyse cartographique laisse apparaître un site préférentiel de dépôts d'embâcles en lit mineur, la confluence Drôme-Bez. Quatre autres sites ont également été reconnus à savoir les tronçons situés à l'aval de Livron, entre Crest et Allex, à l'aval de Pontaix et à l'amont de la plaine du grand lac.

Quatre principaux facteurs expliquent en fait la variabilité géographique des embâcles dans le lit : le taux de tressage (X_1), la pente (X_2), le nombre de contact (X_3) et la part du linéaire boisé et érodé sur deux km à l'amont du tronçon (X_4) qui indique l'importance des volumes localement disponibles.

L'équation suivante peut ainsi être proposée à titre de modèle :

$$Y = 14.2 X_1 - 1124.08 X_2 + 7.5 X_3 + 10.19 X_4 - 40.34$$

$$(r^2 = 0.42 ; p < 0.0001 ; n = 203)$$

Ces résultats permettent de conclure que la localisation des embâcles répond à des caractéristiques de géométrie de lit qui expliquent un ralentissement de la migration aval du bois : l'existence de fonds peu profonds, une forte interpénétration bande active-forêt, un plancher alluvial de faible pente. Néanmoins, un indicateur d'alimentation est aussi retenu : les embâcles tendraient à se déposer à proximité de leur site de prise en charge, ce qui démontre à nouveau la forte rugosité des lits en tresses et finalement une certaine lenteur de la migration du bois mort vers l'aval.

3. Identifier des tronçons pour résoudre des problèmes de gestion

La base de données fournit aux gestionnaires des cartes de synthèse leur permettant de mettre en œuvre une politique. Ces cartes ont souvent pour objet d'identifier des secteurs en fonction d'un problème donné.

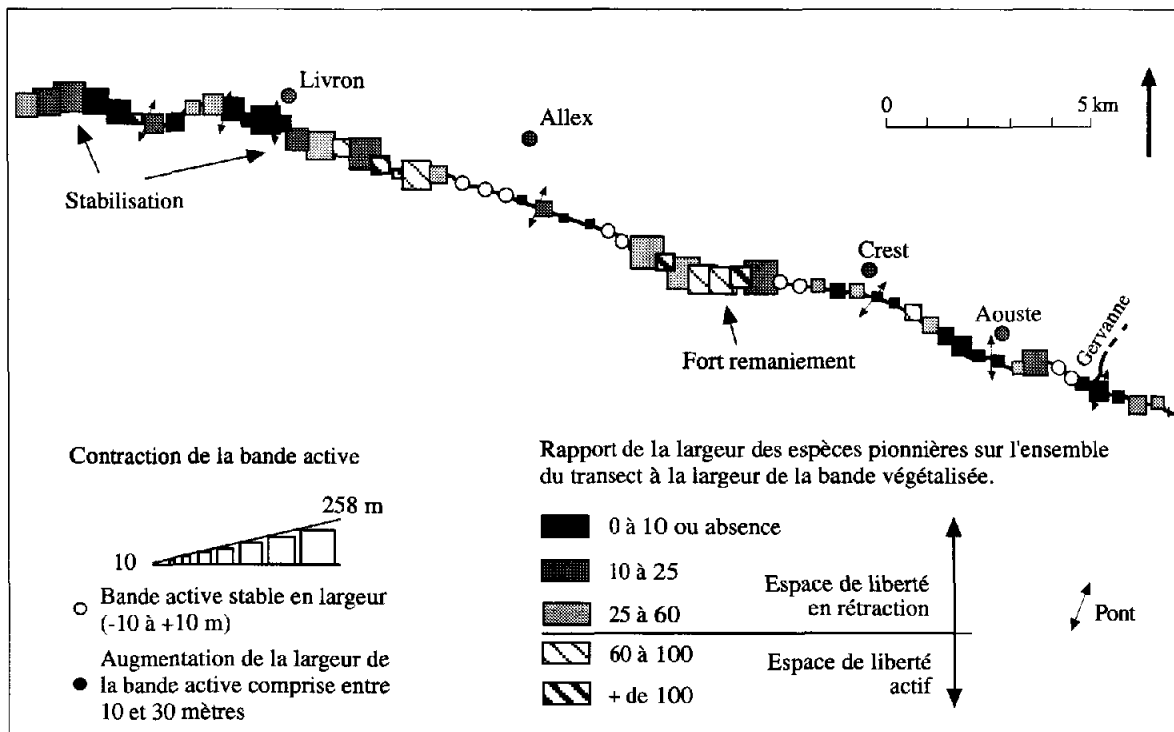
3.1. Identifier les tronçons selon leur degré de connectivité

Il s'agit ainsi de savoir premièrement quels sont les tronçons les plus touchés par la recolonisation végétale entre 1945 et aujourd'hui et, deuxièmement, si ces formations végétales vieillissent ou au contraire sont constamment régénérées par les crues.

Un indice synthétique a été retenu pour individualiser les secteurs à dynamique latérale active sur lesquels le chenal est susceptible de maintenir la végétation riveraine dans des stades juvéniles et ceux caractérisés par une dynamique de stabilisation des formes fluviales et de vieillissement des peuplements. Il s'agit du rapport entre la largeur des stades pionniers en 1991 et la largeur végétalisée entre 1948 et 1991, calculé sur chacun des 213 transects. Si la valeur de ce rapport est faible, inférieure à 0,25, le milieu peut être défini comme stabilisé, vieillissant ; la végétation correspond à une forêt alluviale mature. Inversement, si la valeur est forte, supérieure à 0,60, elle indique que le milieu est en cours de colonisation, des remaniements latéraux s'effectuent régulièrement et les stades juvéniles sont majoritaires dans la séquence végétale.

La cartographie de cet indice permet de montrer que parmi les 5 principaux secteurs caractérisés par une végétalisation forte au cours des cinq dernières décennies, seule la confluence Drôme-Bez présente encore une bonne connectivité latérale. Si cette dynamique de régénération est encore partiellement bien préservée sur le tronçon naturel situé à l'aval de Crest, la situation est plus défavorable dans la partie aval de la plaine de Pontaix et sur le tronçon proche de la confluence avec le Rhône (fig. 4).

Figure 4 : De la mise en évidence de la recolonisation de la bande active par la forêt alluviale entre 1946 et 1991 à l'identification des secteurs soumis à un vieillissement des peuplements : exemple du secteur à l'aval de Saillans



3.2. Identifier les secteurs de recharge latérale et la recharge potentielle

La base de données a permis d'identifier des tronçons de cours d'eau en fonction de leur incision. Elle permet également d'identifier les secteurs susceptibles de recharger la rivière en sédiments, voire d'évaluer l'aptitude du système à s'auto-restaurer.

C'est ainsi que les apports en sédiments issus du lit majeur sont faibles, la bande active étant calée latéralement par les endiguements et l'affleurement du substratum. Respectivement 37 et 9 % du linéaire de berges de la Drôme sont en effet protégés par le substratum ou des protections artificielles. 6 % du cours de la rivière s'effectuent en outre sur les affleurements calcaires qui maintiennent le profil en long. Celui-ci est par ailleurs contrôlé par 17 seuils et 37 ponts sur une distance de 106 km de long.

Seulement 25 % du linéaire de berges sont aujourd'hui érodés et l'érosion annuelle de la plaine d'inondation est estimée à seulement 5,3 ha/an et 6,8 ha/an durant les périodes 1948-71 et 1971-91. 0,1 ha/km/an de terrains disparaît sur la Drôme contre 1,5-2,5 ha/km/an sur l'Ain [6], un autre affluent du Rhône caractérisé par une forte énergie hydraulique.

Une estimation basse du stock de sédiments introduit annuellement dans la Drôme a été réalisée à partir des données que nous avons (incision entre 1928 et 1986, superficie érodée entre 1947 et 1991). Alors que la Drôme transporte annuellement près de 35 000 m³/an de sédiments, les apports du lit majeur, estimés à 80 000 m³ durant la période 1971-1991, soit 4 000 m³/an sont faibles mais parviennent tout de même à expliquer partiellement l'inégale incision du lit. Les capacités d'auto-restauration du profil en long sont ainsi considérées comme limitées et des solutions actives doivent ainsi être trouvées pour stopper l'incision du lit et surtout le déchaussement des digues.

3.3. Identifier des secteurs géomorphologiquement homogènes pour évaluer leurs potentialités piscicoles

La base de données permet également de découper la rivière en tronçons géomorphologiquement homogènes à partir d'une analyse en composantes principales centrée normée combinant 7 variables géomorphologiques (fig. 5). Le facteur 1 se détache bien avec 35,8 % de l'inertie totale. Il repose sur une principale variable, la largeur de la bande active (contribution absolue de 30,33 %) et de quatre variables secondaires : le taux de tressage (17,97 % de contribution absolue), le nombre d'îlots (16,36 %), la pente (13,90 %) et la variation altitudinale (12,5 %). L'axe, correspondant à un faisceau de variables, met en évidence un continuum géomorphologique, les valeurs de chacune des variables citées précédemment augmentant vers l'aval. Il met en lumière un système physique de montagne qui présente une logique de continuum amont-aval, des secteurs torrentiels à lit unique cédant place à un style en tresses de plus en plus développé.

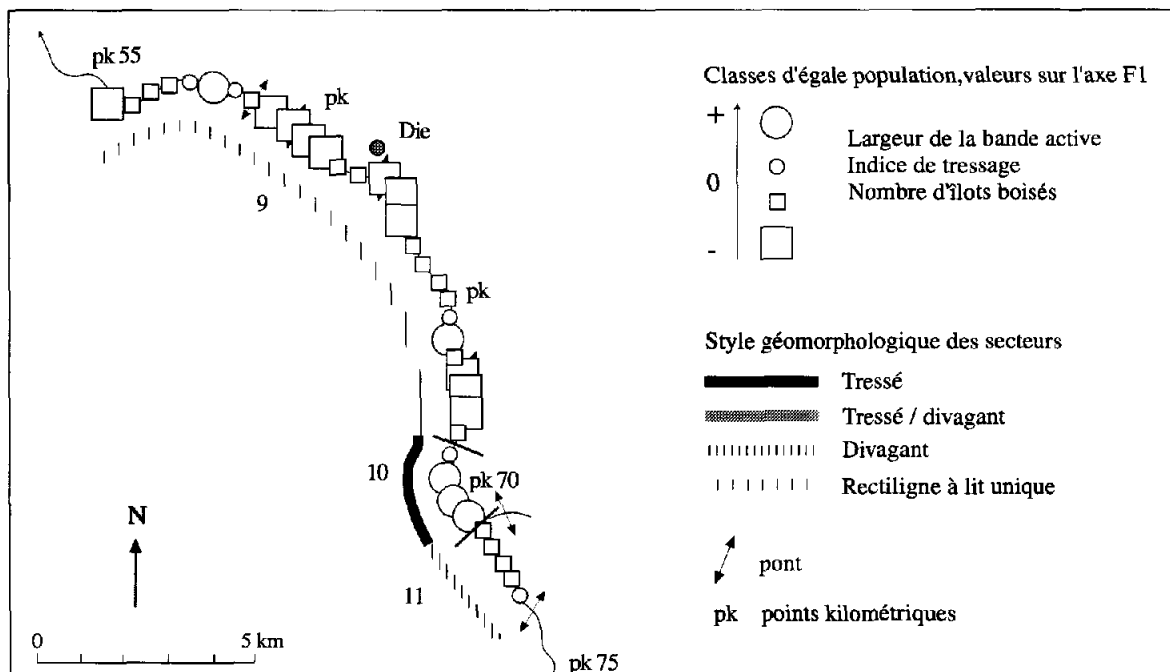
L'analyse en composantes principales a permis de sectoriser la rivière Drôme en fonction de ses caractères géomorphologiques généraux. Si le facteur 1 présente une relation avec la distance, celle-ci n'est pas totale et des secteurs plus ou moins homogènes tendent à se succéder de l'amont vers l'aval. 12-13 secteurs homogènes ont ainsi été identifiés. Les secteurs 2, 4 et 6 sont caractérisés par une bande de tressage large et très développée. Le style en tresses est également caractéristique des secteurs 1, 8 et 10. Le style divaguant se développe sur les tronçons 3, 5 et 11. Les tronçons 7, 9 et 12 sont en revanche à lit unique.

Ce découpage permet aux ichtyologues de sélectionner les sites sur lesquels des pêches électriques seront réalisées afin d'évaluer la richesse piscicole de la rivière. Par ailleurs, il a été démontré que certains secteurs présentaient un potentiel en abris plus important que les autres, compte tenu de leurs caractères géomorphologiques globaux.

La démarche cartomatique et statistique qui a été retenue pour analyser les dynamiques du compartiment physique de la rivière Drôme a permis de répondre efficacement à des questions de recherche fondamentale à grande échelle à partir d'un jeu étendu de données. Elle a permis en outre d'établir les bases d'une recherche de terrain plus fine ; celle-ci est d'ailleurs actuellement conduite par notre laboratoire.

En outre, ce corpus de données géoréférencées a permis de répondre à la demande des gestionnaires de cours d'eau. Il a conduit à diagnostiquer les tendances et les dynamiques, à les expliquer partiellement, voire à proposer des solutions ou des orientations de gestion. La démarche, typiquement géographique, vient ainsi compléter les approches développées par les ingénieurs hydrauliciens ou les écologues.

Figure 5 : Les secteurs géomorphologiquement homogènes déterminés à partir de la synthèse des principales variables décrivant la géométrie des lits fluviaux : exemple du secteur de Die (tronçons 9-10-11)



Bibliographie

- [1] DUMEZ J., 1996 : La logique spatiale présentée par le SDAGE R.M.C., *Revue de géographie de Lyon*, 71 (4), sous presse
- [2] GIREL J., 1986 : *Téledétection et cartographie à grande échelle de la végétation alluviale : exemple de la basse plaine de l'Ain*, Doc. Cartogr. Ecol., XXIX, Université Sciences et Techniques, Grenoble, pp. 45-74
- [3] LANDON N. et PIÉGAY H., 1994 : « L'incision de deux affluents sub-méditerranéens du Rhône : la Drôme et l'Ardèche », *Revue de géographie de Lyon*, 69 (1), pp. 63-72
- [4] LANDON N., PIÉGAY H., BRAVARD J.P., 1995 : *Mission d'expertise géomorphologique : Propositions pour une gestion physique équilibrée du lit de la Drôme*, Commission Locale de l'Eau du SAGE Drôme
- [5] LEOPOLD L.B. et WOLMAN M.G., 1957 : *River channel patterns ; braided, meandering and straight*, U.S. Geological Survey Professional Paper 282-b, pp. 39-85
- [6] MARSTON R.A., GIREL J., PAUTOU G., PIÉGAY H., BRAVARD J.P. et ARNESON C., 1995 : « Channel metamorphosis, floodplain disturbance, and vegetation development : Ain River, France », *Geomorphology*, 13, pp. 121-131
- [7] PARDÉ M., 1925 : *Le régime du Rhône, étude hydrologique*, Lyon, Etudes Rhodaniennes, 883 et 440 pages
- [8] PIÉGAY H., 1996 : « Représentation de la biodynamique fluviale : la forêt alluviale de la moyenne Ardèche », *Mappemonde*, 3, pp. 15-22