



HAL
open science

Les extractions de granulats dans le lit mineur de la moyenne Garonne toulousaine durant la seconde moitié du XX^e siècle

Hugo Jantzi, Jean-Michel Carozza, Jean-Luc Probst, Philippe Valette

► To cite this version:

Hugo Jantzi, Jean-Michel Carozza, Jean-Luc Probst, Philippe Valette. Les extractions de granulats dans le lit mineur de la moyenne Garonne toulousaine durant la seconde moitié du XX^e siècle. Sud-Ouest Européen, 2017, 44, pp.83-96. 10.4000/soe.3418 . hal-01860415

HAL Id: hal-01860415

<https://univ-tlse2.hal.science/hal-01860415v1>

Submitted on 23 Aug 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

LES EXTRACTIONS DE GRANULATS DANS LE LIT MINEUR DE LA MOYENNE GARONNE TOULOUSAIN DURANT LA SECONDE MOITIÉ DU XX^e SIÈCLE

Hugo JANTZI ¹, Jean-Michel CAROZZA ², Jean-Luc PROBST ³, Philippe VALETTE ⁴

RÉSUMÉ – À partir de 1960, l'extraction de granulats en lit mineur s'est fortement intensifiée en France à l'instar de nombreux pays industrialisés dans le monde. Ces prélèvements massifs ont eu pour conséquence, entre autre, des dégradations hydromorphologiques et écologiques notables des cours d'eau soumis à exploitation. Sur la Moyenne Garonne toulousaine, correspondant au secteur entre Toulouse et la confluence du Tarn, la dynamique hydro-sédimentaire a été fortement modifiée au cours des dernières décennies en relation avec un déficit sédimentaire marqué. Les causes de ce changement sont essentiellement d'ordre anthropique, au premier rang duquel les prélèvements de granulats dans le lit mineur. Cette étude se propose d'analyser les extractions de granulats entre Toulouse et la confluence avec le Tarn au cours des années 1960 à 1980 et propose une reconstitution de l'évolution spatio-temporelle de l'activité et de sa quantification. Les conséquences de l'industrialisation de cette activité sont envisagées.

ABSTRACT – *SEDIMENT MINING IN THE MINOR RIVERBED OF THE MIDDLE GARONNE RIVER DURING THE SECOND HALF OF THE 20TH CENTURY.* Starting from 1960, sediment mining in rivers has highly developed in France like in many industrialized countries in the world. This mining activity has led to a degradation of rivers with many hydro-morphological and ecological impacts. On the middle section of the Garonne River, between Toulouse and the confluence with the Tarn River, the hydro-sedimentary dynamics was strongly modified over the last decades, in connection with an important sediment deficit. The causes of this change are primarily of anthropic origin, the first of which is sediment mining in the riverbed. This study aims to analyze the sediment mining between Toulouse and the confluence with the Tarn from 1960 to 1980 and proposes a reconstruction of the spatio-temporal evolution and the quantification of this activity. The consequences of industrialization of this activity are considered.

RESUMEN – *EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS EN EL LECHO MENOR DEL TRAMO MEDIO DEL RÍO GARONA DURANTE LA SEGUNDA MITAD DEL SIGLO XX.* Desde 1960, la extracción de áridos en los ríos se ha desarrollado notablemente en Francia, al igual que en otros países industrializados, provocando la degradación hidromorfológica y ambiental de los ríos. En su tramo medio, entre Tolosa y la confluencia con el río Tarn, la dinámica sedimentaria del río Garona se ha visto muy modificada en las últimas décadas, generando un déficit de sedimentos. El origen de este cambio es fundamentalmente antrópico, principalmente debido a la extracción de áridos en el lecho del río. Este estudio tiene por objeto analizar la extracción de áridos en el Garona entre Tolosa y la confluencia con el Tarn, desde 1960 hasta 1980, y reconstruir la evolución espacio-temporal de esta actividad de manera cuantificada. Las consecuencias de la industrialización de esta actividad son consideradas.

GARONNE – LIT MINEUR
– EXTRACTION DE GRANULAT –
DEGRADATION ENVIRONNEMENTALE

GARONNE RIVER – RIVERBED
– SEDIMENT MINING
– ENVIRONMENTAL DEGRADATION

GARONA – LECHO DEL RÍO
– EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS –
DEGRADACIÓN AMBIENTAL

¹ Doctorant, GEODE UMR 5602 CNRS, université Jean Jaurès. 5, allée Antonio-Machado, 31058 Toulouse, hugo.jantzi@univ-tlse2.fr.

² Professeur des universités, LIENSs UMR 7266 CNRS, université de La Rochelle. 1, parvis Fernand-Braudel, 17042 La Rochelle, jean-michel.carozza@univ-lr.fr.

³ Directeur de recherche, ECOLAB UMR 5245 CNRS/INPT-ENSAT, université Paul-Sabatier. Avenue de l'Agrobiopole, 31326 Castanet-Tolosan, jean-luc.probst@ensat.fr.

⁴ Maître de conférences, GEODE UMR 5602 CNRS, université Jean Jaurès. 5, allée Antonio Machado, 31058 Toulouse, philippe.valette@univ-tlse2.fr

Les rivières alluviales ont au cours de l'histoire récente (au dernier millénaire) suscité l'intérêt des sociétés, notamment en raison de la ressource et de la qualité des matériaux alluvionnaires qu'elles représentent. C'est surtout à partir de l'après-guerre que la production de granulats, tous types confondus, va connaître un essor considérable, en raison d'un besoin grandissant pour la reconstruction, le développement urbain, autoroutier ou encore la réalisation de grands chantiers (barrages, centrales nucléaires...). La production de granulats entre 1950 et 1970, est passée respectivement d'environ 50 Mt à 277 Mt pour atteindre les 378 Mt en 1980 (Galtier, 1993). Jusque vers la fin des années 1980, période à partir de laquelle l'activité a été progressivement interdite en lit mineur, l'exploitation dans ce dernier type de gisement a été privilégiée à l'exploitation de roche massive dont la qualité est considérée comme moins noble. En effet, les matériaux alluvionnaires qui se trouvent en lit mineur présentent plusieurs avantages : (i) ils se trouvent déjà sous forme granulaire, triés, lavés et généralement non cimentés ; (ii) les sites d'exploitation se trouvent souvent proche des lieux de consommation et de transformation ce qui limite le transport ; (iii) leur exploitation nécessite peu de moyen technique en comparaison de l'exploitation de roche massive en carrière (Kondolf, 1994 ; Laronne, 2000). De part ces multiples avantages, les granulats issues du lit mineur présentent, outre leurs qualités intrinsèques, un moindre coût financier d'exploitation.

L'impact des extractions en lit mineur a fait l'objet de plusieurs études ayant montré que cette activité pouvait être à l'origine d'une dégradation hydromorphologique et écologique (Bouchaud *et al.*, 1979 ; Larinier, 1980 ; Kondolf, 1994 ; Peiry *et al.*, 1994 ; Surian, Rinaldi, 2003 ; Rinaldi *et al.*, 2005) et dont la réversibilité des effets est souvent rendue difficile lorsque la quantité prélevée est bien supérieure à celle qui est transporté par les cours d'eau (Rollet *et al.*, 2006). En raison des aménagements de ces derniers (digues, barrages...), les apports en sédiments par érosion latérale et par transfert amont-aval ne sont plus assurés en quantité suffisante pour compenser les prélèvements de matériaux ce qui entraîne une situation de déficit-pénurie sédimentaire. Il s'en suit à l'échelle du linéaire un déséquilibre entre la charge disponible et la capacité de transport du cours d'eau (Rinaldi *et al.*, 2005) qui induit une incision du chenal et se traduit par une modification des profils en travers et en long du cours d'eau. Les extractions par fosse qui sont une des formes d'exploitation du lit mineur induisent quant à elles un piégeage des sédiments qui interrompt le transit

sédimentaire vers l'aval. À l'échelle de la station, elles entraînent des phénomènes d'érosion progressive (c'est-à-dire vers l'aval) et régressive (c'est-à-dire vers l'amont, Rinaldi *et al.*, 2005). Cette modification du fonctionnement impacte le fonctionnement hydromorphologique et écologique des cours d'eau ainsi que leurs usages. Les principaux impacts concernent la déstabilisation des ouvrages d'art (Kondolf, Swanson, 1993 ; Surian, Rinaldi, 2003) et des berges, l'appauvrissement des faciès d'écoulement, le pavage du fond du chenal, l'apparition d'affleurement rocheux, l'abaissement de la ligne d'eau entraînant une baisse du niveau de la nappe d'accompagnement (Larinier, 1980 ; Beaudelin, 1989 ; Erskine, 1990 ; Kondolf, 1994 ; Rinaldi *et al.*, 2005 ; Rollet *et al.*, 2006), une diminution de la fréquence des crues, le dépérissement de la ripisylve (Steiger *et al.*, 1998 ; Décamps *et al.*, 1988), une dégradation des habitats aquatiques ou encore de la qualité des eaux (Bouchaud *et al.*, 1979 ; Clavel *et al.*, 1978)...

La Garonne, à l'instar de nombreux cours d'eau en France (Petit *et al.*, 1996 ; Landon *et al.*, 1998 ; Marston *et al.*, 2003 ; Rollet *et al.*, 2006 ; Latapie *et al.*, 2014) ou en Europe (Surian, Rinaldi, 2003 ; Rinaldi *et al.*, 2005 ; Martín-Vide *et al.*, 2010 ; Ziliani, Surian, 2012 ; Rădoane *et al.*, 2013 ; Scorpio *et al.*, 2015), a fait l'objet de nombreuses interventions directes dans son lit mineur. À partir de 1960, les extractions se sont intensifiées avec l'industrialisation de l'activité sur une grande partie du cours d'eau (Beaudelin, 1989). De manière concomitante, le fond du chenal s'est incisé de manière significative entraînant une dégradation hydromorphologique et écologique importante (Décamps *et al.*, 1988 ; Steiger *et al.*, 1998 ; Steiger *et al.*, 2000). Il est fait état entre 1960 et 1985, d'une incision de l'ordre de 1,50 m dans les secteurs touchés par les extractions entre Toulouse et Castelsarrasin (Beaudelin, 1989). Ce dernier travail, réalisé quelques années après l'interdiction des extractions en lit mineur, s'est surtout attaché aux effets des extractions de granulats sur le fonctionnement hydrologique, géomorphologique, biologique et l'utilisation du fleuve. Il s'est peu focalisé sur la nature, la localisation et la quantification des extractions à l'échelle des sites, ce que la présente étude se propose de traiter.

L'objectif de ce travail est de retracer l'évolution spatio-temporelle des extractions de granulats dans le lit mineur de la Garonne entre Toulouse et la confluence avec le Tarn et de les quantifier sur la base d'une analyse de documents d'archives. Dans un premier temps, il sera fait état des extractions préindustrielles ayant eu

lieu durant la seconde moitié du ^{xix}^e siècle puis dans un second temps de celles de la période d'industrialisation de l'activité entre 1960 et 1988, date à laquelle les prélèvements cessent en lit mineur. L'accent sera mis sur cette période d'après-guerre en raison de la forte pression exercée sur le cours d'eau. Les conséquences physiques et écologiques seront également abordées.

I – La moyenne Garonne toulousaine

La moyenne Garonne toulousaine, correspond au tronçon du fleuve qui traverse les départements de la Haute-Garonne et du Tarn-et-Garonne entre Toulouse et la confluence avec le Tarn, soit un linéaire d'environ 80 km (fig. 1). D'une surface drainée de 30 900 km² au niveau de la confluence avec le Tarn, son module annuel est de l'ordre de 190 m³.s⁻¹ calculé sur une période de 107 ans.

Le cours d'eau se caractérise par un tracé faiblement sinueux avec un indice de sinuosité moyen de 1,27 pour des valeurs minimale et maximale de 1,18 et 1,39 (David, 2016) et dont l'écoulement se fait fréquemment sur un fond rocheux composé de molasse. Ce dernier représente environ 50 % de la surface total du chenal (Delmouly *et al.*, 2007).

La morphologie actuelle du chenal ne semble avoir été acquise que très récemment. En effet Baudelin (1989) fait état d'une couverture alluviale d'épaisseur comprise entre 1,5 et 3 m au moment de l'intensification de l'activité de carriéage au début des années 1960. La présence d'affleurements rocheux est attestée antérieurement, puisque déjà au cours du ^{xix}^e siècle ces derniers sont mentionnés sur de multiples sites (Harlé, 1895), ce qui atteste de la discontinuité au moins locale de la couverture alluviale le long du cours d'eau. Cependant, l'amplification de ce phénomène semble bien contemporain des grandes exploitations industrielles de granulats.

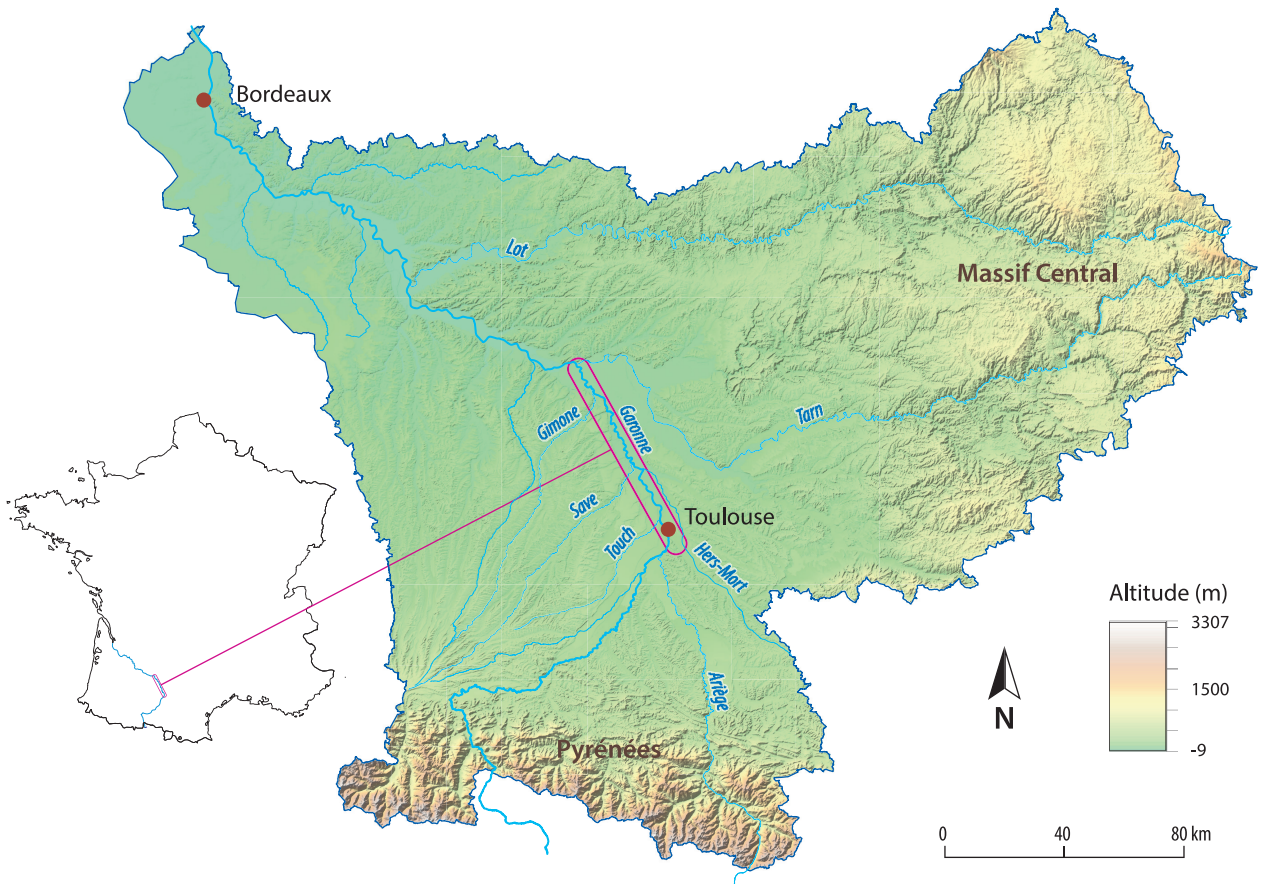


Fig. 1 – Carte de localisation du secteur d'étude

Source : BD ALTI® de l'IGN

Cette portion du lit mineur a fait l'objet de nombreux aménagements (digues, épis, recalibrage...) entre 1960 et 1984. Ceux-ci visaient à fixer le cours d'eau en raison de sa forte mobilité notamment dans la partie aval en Tarn-et-Garonne (Valette, 2011 ; Valette *et al.*, 2014). La réduction de la sinuosité du cours d'eau suite aux multiples rescindements a entraîné une augmentation de la pente, favorisant ainsi le phénomène de chenalisation (Steiger *et al.*, 2000). Ce phénomène a, semble-t-il, été amplifié par la construction de nombreux barrages en amont de Toulouse, contribuant ainsi à la réduction des apports sédimentaires. Le cumul de ces interventions a entraîné un déficit important de la charge sédimentaire à l'aval de Toulouse qui ne peut être renouvelée en raison d'une recharge naturelle insuffisante via les érosions latérales et les transferts amont-aval.

II – Outils et méthodes

L'étude se fonde sur l'analyse des archives des directions départementales des territoires de Haute-Garonne (DDT 31) et du Tarn-et-Garonne (DDT 82) pour les extractions d'après-guerre qui n'ont pas fait l'objet d'un versement aux archives départementales et des archives départementales (AD 31) pour les extractions de la seconde moitié du *xix*^e siècle. En effet, ce sont les DDT 31 et 82 (anciennement direction départementale de l'équipement) qui durant la période d'extraction en lit mineur, étaient en charge du suivi et du contrôle de l'activité dans le domaine public fluvial (DPF). Le corpus de documents utilisés se compose : (1) d'arrêtés préfectoraux autorisant les extractions et précisant leur durée, le lieu, l'exploitant ainsi que diverses informations réglementaires et techniques, (2) des récépissés de demande d'autorisation spécifiant le lieu d'extraction, la durée, le volume ou le rendement journalier autorisé et l'exploitant, (3) le bilan des exploitants renseignant les quantités prélevées par trimestre, (4) des correspondances et rapports techniques divers et (5) des photographies aériennes et des cartes localisant les sites d'exploitation et leur emprise.

Les documents textuels permettent d'estimer la localisation, les quantités extraites et la période d'exploitation. Toutefois, la détermination exacte de ces quantités à partir de ces documents est difficile car bien souvent ces derniers sont incomplets ou tout simplement manquants. C'est le cas des extractions en Tarn-et-Garonne entre 1960 et 1970, pour lesquelles aucune information n'a été trouvée. De plus, il pouvait arriver que les quantités

autorisées ne soient pas respectées par les exploitants ou que des extractions sauvages aient lieu ce qui s'ajoute à l'incertitude de l'exercice. Par conséquent, la détermination des quantités extraites ne peut être qu'une estimation *a minima* plus ou moins proche de la réalité. L'estimation des quantités prélevées repose donc sur des recoupements d'informations ainsi que des hypothèses afin de combler lorsque cela est possible et de manière plausible les lacunes.

Les documents cartographiques et photographiques ainsi que les informations de lieu-dit dans les documents textuels permettent de retracer l'évolution spatio-temporelle des sites d'extraction le long de la Garonne de manière précise. L'emplacement des différents sites a ainsi pu être cartographié.

III – Exploitation des alluvions de la Garonne en lit mineur

1. Des extractions déjà existantes au *xix*^e siècle

L'extraction de matériaux dans le lit mineur de la Garonne peut être documentée dès le *xix*^e siècle. À cette époque, la Garonne connaît une tendance à l'aggradation rendant l'impact des prélèvements sur l'hydrosystème fluvial peu marqué, la charge alluviale étant renouvelée sans difficulté à la suite des nombreuses crues transportantes. Durant cette période, les extractions vont répondre à des objectifs bien précis qui sont d'une part de rectifier le cours d'eau et d'autre part d'améliorer la navigation entre Toulouse et la confluence avec le Tarn, l'administration jugeant que « les extractions de graviers et de sables de la Garonne sont utiles à la fixation du lit et à la navigation : on pourrait donc les considérer comme se rattachant à un intérêt général ¹ ». Il s'agit de dragages et de déroctages qui vont d'abord être réalisés par les seuls services de l'État qui sont en charge de l'entretien du cours d'eau. En raison de la forte instabilité de ce dernier durant cette période, l'État va autoriser les riverains à prélever des alluvions afin de faire face à la trop grande mobilité de la Garonne qui rend difficile la navigation (Valette, 2002). Le dragage du cours d'eau doit permettre d'approfondir le « lit du fleuve de manière à offrir partout une profondeur de 0,80 m pour la passe des bateaux ² ».

¹ Archives départementales 31, série S101.

² Archives départementales 31, série 3Sbis1.

Cette activité qui s'est déroulée des années 1860 jusqu'au début du xx^e siècle devait permettre la rectification, l'élargissement et un approfondissement suffisant du chenal à des fins de navigation (Valette, 2002). Toutefois, ce procédé n'est pas jugé suffisamment efficace, les ingénieurs des Ponts et Chaussées préconisant de « faire les ouvrages nécessaires pour réunir dans un même canal les eaux divisées en plusieurs bras, et qui deviennent indispensables si l'on veut opérer le recreusement du lit³ ». Toutefois, aucun projet global de stabilisation n'a été entrepris sur cette partie de la Garonne à l'inverse de la partie située à l'aval d'Agen. Entre 1893 et 1923 ce sont environ 55 000 t⁴ de matériaux qui ont été prélevés au minimum entre Toulouse et Grenade ce qui sur une trentaine d'années reste modeste. Il faut ajouter à ces prélèvements autorisés, les prélèvements sauvages, non réglementés et même encouragés dont la quantification est impossible.



Fig. 2 – Extraction de granulats dans les années 1970 par fosse immergée à l'aide d'une dragline dans les environs de Mas-Grenier (a) et par décapage d'un atterrissement à l'aide d'une pelle mécanique à Ondes (b)

Source : DDT 82 et 31

³ Archives départementales 31, série 3Sbis1.

⁴ Archives départementales 31, série S101, S146, 3S177.

2. Intensification et industrialisation des extractions à partir des années 1960

Méthodes et moyen d'extraction

À partir de 1960, l'activité s'est développée de manière industrielle avec l'utilisation d'engins mécanisés lourds. L'extraction dans le lit mineur peut être différenciée selon plusieurs méthodes : (1) par décapage d'atterrissement situé au-dessus du niveau d'eau avec l'utilisation de pelles mécaniques, (2) par fosse sous la surface de l'eau avec l'utilisation de dragline ou dans une zone où l'écoulement se fait par intermittence (Kondolf, 1994). L'extraction en fosse peut se faire soit à côté du chenal actif séparé par une levée ou directement dans ce dernier (fig. 2a). Pour l'exploitation des atterrissements, il s'agit d'extraire des matériaux par bande de 3 à 4 m de large d'amont en aval et parallèlement à l'axe de la rivière, du plan d'eau vers la berge (fig. 2b). Dans le lit de la Garonne, les extractions seront principalement réalisées à partir des atterrissements mais des extractions sous le niveau d'eau seront également réalisées sur une bonne partie du linéaire. Sur la Garonne, les extractions se font essentiellement par pelle mécanique en raison de gisements de faible profondeur et dans une moindre mesure par dragline lorsque la profondeur d'eau est suffisante pour le permettre. En Tarn-et-Garonne, ce type d'extraction n'est fait que sur une moitié de la largeur du chenal en raison des nombreux ouvrages de rectification du cours d'eau mis en place à partir de 1960. En effet, les conditions techniques d'exploitation interdisent toute extraction à moins de 50 m d'un ouvrage établis dans la rivière ou sur ses bords sauf autorisation spéciale et à moins de 15 m d'une berge.

Un linéaire soumis à une forte pression

Entre 1960 et 1985, 34 exploitants ont été recensés entre Toulouse et la confluence avec le Tarn, soit 14 pour le département de Haute-Garonne et 20 pour celui du Tarn-et-Garonne. Pour ce dernier, seulement 5 enregistrent une production supérieure à 100 000 t.an⁻¹ durant les années 1970. Le plus souvent, il s'agit d'exploitants locaux dont la production est destinée au marché local notamment pour la voirie. Sur la période considérée, se sont 54 atterrissements qui ont été exploités légalement ainsi qu'une partie du chenal en eau à l'exception de quelques zones d'exclusion interdisant toute extraction (fig. 3). C'est le cas par exemple des ponts de Gagnac et Ondes qui sont des secteurs neutralisés sur plusieurs centaines de mètres.

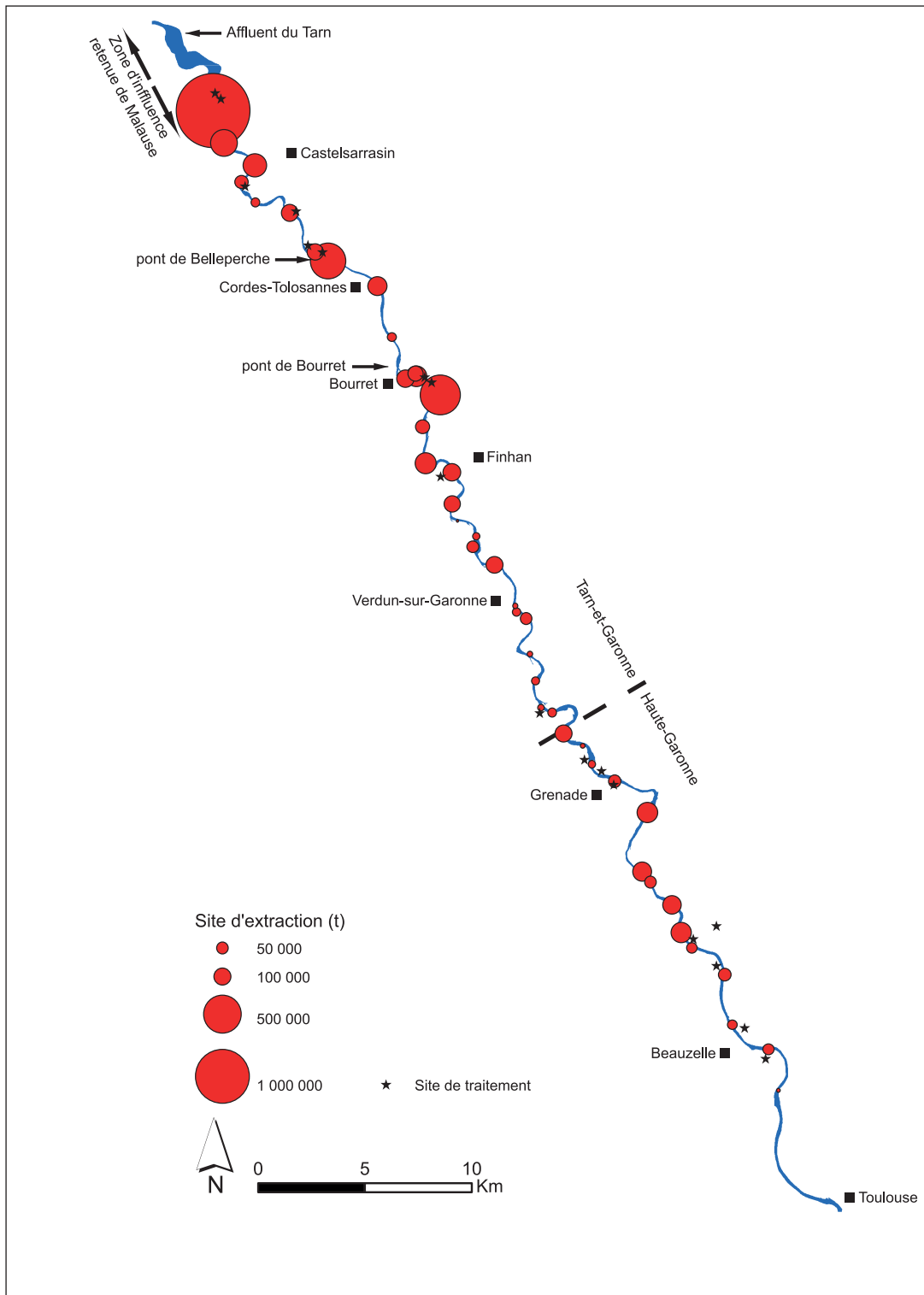


Fig. 3 – Localisation des atterrissements exploités entre 1960 et 1985. Les tonnages extraits correspondent aux estimations faites à partir des documents officiels mais ne sont pas complet en raison de lacunes

Source : DDT 31 et 82

La répartition spatiale des atterrissements soumis à exploitation montre une activité qui s'est effectuée tout le long du cours d'eau avec toutefois une densité plus importante dans le département du Tarn-et-Garonne. En effet, une quarantaine d'atterrissements sont recensés dans ce département contre une quinzaine en Haute-Garonne. Le calcul des quantités prélevées pour chaque atterrissement indique que le secteur le plus exploité et productif est situé entre la retenue de Malause et le secteur de Bourret. Vers le milieu des années 1970, la production de granulats dans cette partie du cours d'eau représente 70 à 80 % du tonnage total qui est extrait dans le département, tout type de granulats confondu. Cette portion de la Garonne, notamment dans le secteur de Castelsarrasin, fait l'objet de prélèvements massifs pour les besoins de la construction de la centrale nucléaire de Golfech et de l'autoroute A62. La seule réalisation des remblais de l'A62 ont nécessité pratiquement 2 Mt entre 1980 et 1982. Au début des années 1980 se sont 18 stations de criblage et concassage qui sont en place pour traiter les matériaux extraits, ces derniers se trouvant à proximité des sites d'extraction (fig. 3). Le recensement du nombre d'atterrissements soumis à autorisation d'exploitation entre 1962 et 1985 dans le département du Tarn-et-Garonne indique également que c'est bien durant le milieu des années 1970 que l'activité est la plus importante avec un maximum de 42 atterrissements exploités en 1974 pour une moyenne de 24 atterrissements sur l'ensemble de la période (fig. 4). C'est à partir de 1982 que s'amorce une décroissance du nombre d'atterrissements soumis à autorisation d'exploitation. Cette diminution peut s'expliquer d'une part par l'appauvrissement du gisement alluvionnaire et d'autre part par les mesures de sauvegardes prises par les services de l'État afin de réduire et à terme interdire toute extraction dans le lit mineur en raison des dégradations hydromorphologiques occasionnées. En 1978, l'effondrement du pont Wilson à Tours en lien avec les prélèvements de sables dans le lit de la Loire, va susciter une prise de conscience quant aux risques induits par les extractions. Petit à petit ces deux facteurs vont inciter les exploitants à transférer leur activité vers le lit majeur. À partir de 1985, des autorisations de dragage à des fins d'amélioration de l'écoulement et non plus d'exploitation à titre industrielle sont délivrées. Les matériaux extraits devront servir exclusivement à des usages nobles et non à des remblaiements. En 1986, la quantité approximative de matériaux pouvant faire l'objet de prélèvement au titre de l'amélioration des conditions d'écoulement des eaux est estimée à 670 000 t répartis sur 6 atterrissements entre Mas-Grenier et Bourret soit un linéaire d'environ 10 km.

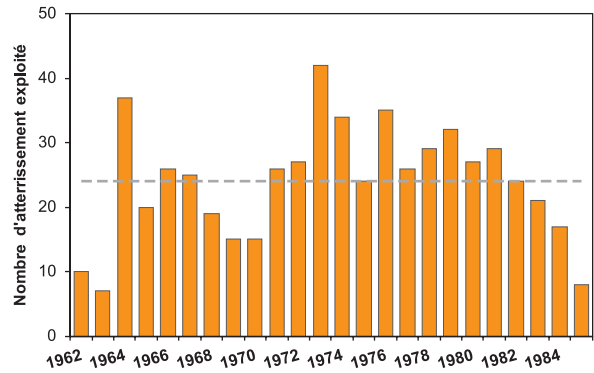


Fig. 4 – Recensement du nombre d'atterrissement soumis à exploitation dans le département du Tarn-et-Garonne entre 1962 et 1985. La ligne en pointillé représente la moyenne des atterrissements exploités sur la période

Source : DDT 82

L'estimation des quantités prélevées sur la base de chiffres officiels correspond à environ 14 Mt entre 1965 et 1985, ce qui représente 667 000 t.an⁻¹ en moyenne (fig. 5). Globalement, les quantités extraites sont bien supérieures dans le département du Tarn-et-Garonne soit 2,5 fois plus qu'en Haute-Garonne avec respectivement 10 Mt contre seulement 4 Mt. Toutefois, il faut souligner que ces quantités sont une estimation basse puisque les documents relatifs aux extractions dans les années 1960 en Tarn-et-Garonne n'ont pas été trouvés. À cela s'ajoute pour les années complétées une incertitude liée à de potentielles lacunes.

Il est possible d'estimer les quantités extraites entre 1962 et 1971 en modélisant la relation entre le nombre de bancs en exploitation et les quantités extraites à partir des

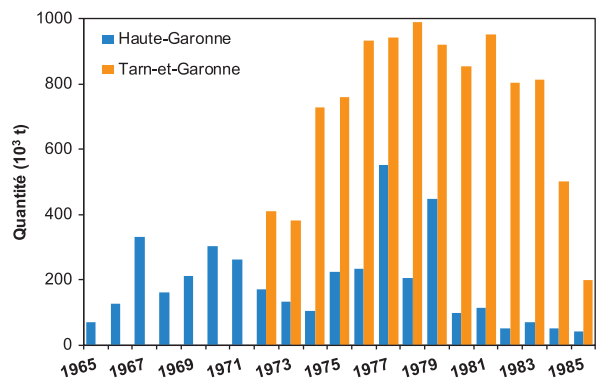


Fig. 5 – Quantité de granulat prélevée dans le lit mineur. Dans le département du Tarn-et-Garonne les quantités sont en lacune entre 1965 et 1971

Source : actualisé et modifié d'après Beaudelin, 1989

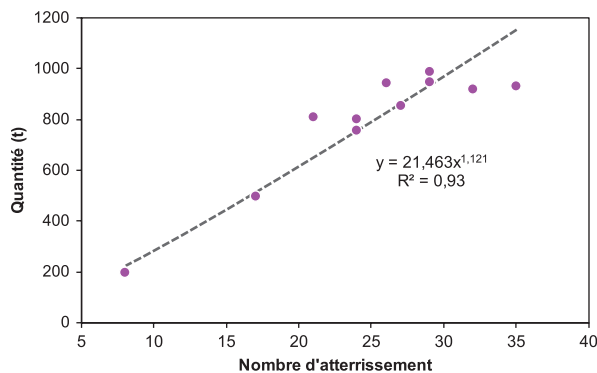


Fig. 6 – Relation entre la quantité de granulat prélevée et le nombre d'atterrissement exploité. La période considérée va de 1975 à 1985

Source : DDT 82

données de la période 1975-1985. En l'absence d'innovation majeure et de modification des exploitants entre la période de référence et la période de lacune, il est possible de proposer une relation puissance (fig. 6). La quantité obtenue peut être ainsi estimée à environ 6 Mt. La quantité totale extraite entre Toulouse et la retenue de Malause de 1962 à 1985 pourrait donc se chiffrer à environ 20 Mt.

Une étude sur les dragages en rivière dans la région Midi-Pyrénées (Galharague, Robert, 1978) fait état d'une réserve géologique en lit mineur en 1978, de 6 Mt dans le département du Tarn-et-Garonne entre la limite départementale et l'amont de la retenue de Malause, ce qui représenterait, à cette vitesse d'exploitation, un potentiel de production de 5 à 6 ans. Entre 1979 et 1985, le tonnage extrait sur cette partie de la Garonne est d'environ 5 Mt soit 80 % de la réserve estimée en 1978. Toutefois cette information est à nuancer puisqu'il s'agit d'un état statique du stock ne tenant pas compte des variations naturelles de la charge solide sur la période. Cependant, cela montre qu'à la fin des années 1980, le gisement alluvionnaire est fortement réduit. Dans le département de la Haute-Garonne, l'estimation du gisement en 1978 est quant à lui de 10,8 Mt.

Les quantités importantes prélevées durant la période et notamment à la fin des années 1970 et au début des années 1980, outre la croissance urbaine de manière générale, peut en partie s'expliquer par la réalisation de trois grands chantiers. Le premier concerne la rectification du cours d'eau en Tarn-et-Garonne dont le but est de fixer le lit mineur pour empêcher toute divagation de ce dernier à des fins de protection des terres agricoles et de défense contre les inondations. Une note technique des Pont et Chaussées datant de 1957 sur la fixation du lit fait

état d'une amplitude moyenne de divagation de 16 m.an⁻¹. Selon cette même note, une boucle de méandre située dans le secteur de Bourret s'est déplacée de 800 m environ entre 1908 et 1941, montrant la forte instabilité de la Garonne. Les travaux de fixation se sont échelonnés de 1960 à 1984 et comportent un total de 90 ouvrages qui fixent 66 km de berges sur un linéaire de rivière d'environ 50 km. Il s'agit d'épis (29) pour barrer les berges et réorienter l'écoulement, de barrages (24) pour la fermeture de bras morts, de digues (23) pour la stabilisation des parties concaves, ou encore de la création de nouveaux chenaux (24) par le rescindement de certains méandres où la fixation est trop coûteuse. Ces travaux vont s'accompagner de dragages et de terrassements à des fins de recalibration du chenal et pour fournir les matériaux nécessaires à la réalisation des ouvrages (Valette *et al.*, 2014). D'après les documents d'avant-métré, ces dragages et terrassements peuvent être estimés à 321 000 m³ et 819 000 m³ respectivement et plus 230 000 m³ d'encrochement et de gabions. À cela s'ajoute à la fin des années 1970 début 1980, la construction de l'A62 près de Castelsarrasin et de la centrale nucléaire de Golfech dont les matériaux issus du lit mineur vont principalement provenir de la partie aval dans le secteur de Castelsarrasin. Pour l'A62, sa construction a nécessité 16,5 Mt dont 1,7 Mt provenant du lit mineur. Pour la centrale nucléaire de Golfech, la mise hors d'eau de sa plateforme a nécessité 6 Mt de matériaux dont 1,1 Mt en provenance du recalibrage du lit de la Garonne. Pour ces deux seuls chantiers, ce sont pratiquement 3 Mt qui ont été soustraits au lit mineur, soit approximativement l'équivalent de trois années d'extraction dans le Tarn-et-Garonne.

IV – Conséquences et dégradations environnementales

Les extractions réalisées de manière intensive durant 25 ans dans le lit mineur sont synchrones de profonds bouleversements du fonctionnement hydrosédimentaire et écologique de la Garonne. Le rôle de ces extractions est probablement le facteur majeur de contrôle des évolutions observées.

1. Modification morphologique du chenal

Les prélèvements importants ainsi que le renouvellement insuffisant de la charge alluviale par érosion latérale et transfert amont-aval, ont entraîné un déficit de la charge

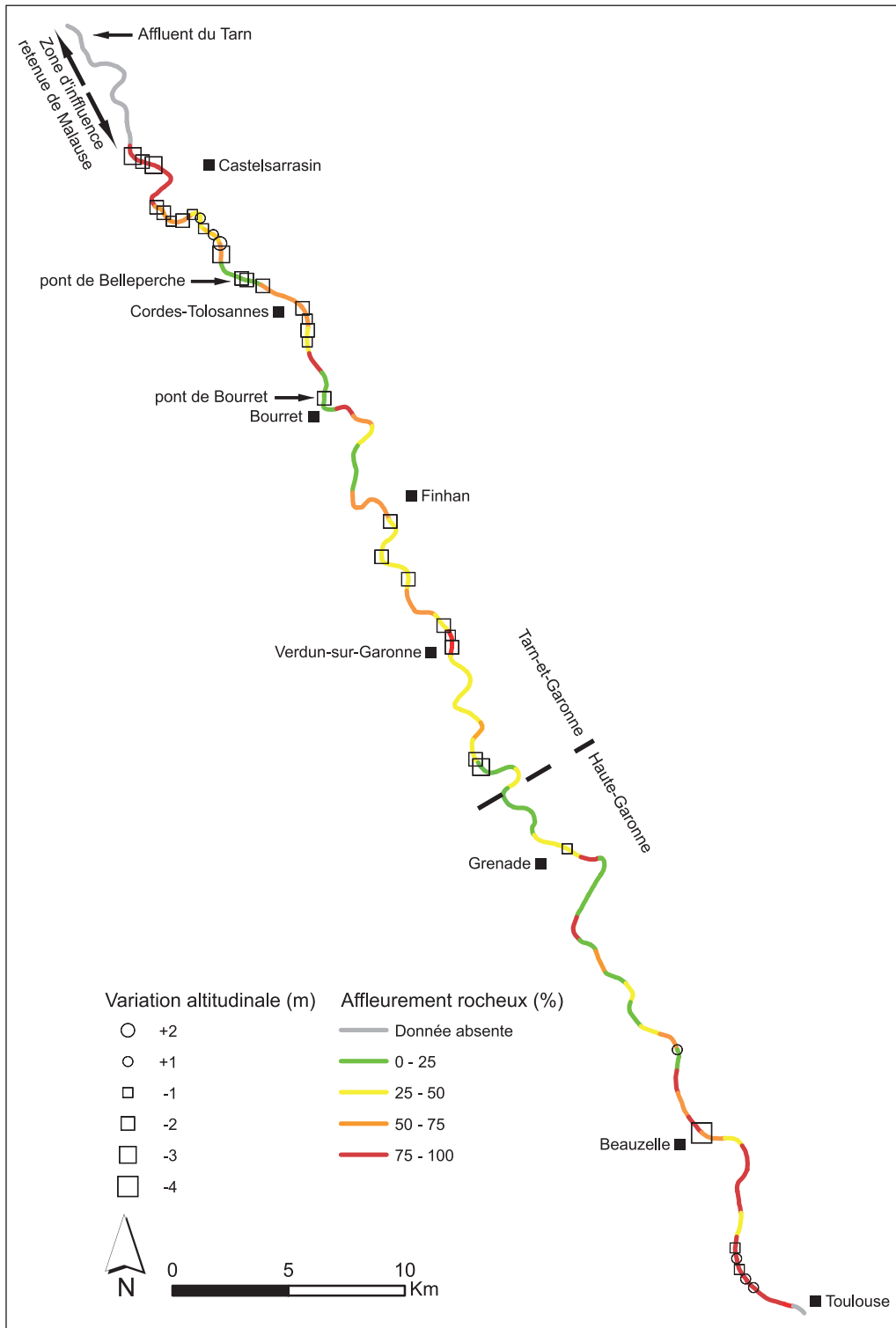


Fig. 7 – Évolution verticale du fond du lit entre les années 1960 et 1980 pour différents points de la Garonne et pourcentage d’affleurement molassique par rapport à la superficie du chenal par tronçon de 1 km

Source : Delmouly et al., 2007

sédimentaire. Les extractions ont détruit le pavage de fond de lit réduisant ainsi la contrainte de cisaillement facilitant la mise en mouvement des matériaux et donc l'érosion verticale (Steiger *et al.*, 2000). La charge sédimentaire étant insuffisante par rapport à la capacité de transport du cours d'eau, l'excès d'énergie a été dissipé par l'érosion du substratum. Il en est résulté une incision verticale dont il est possible de proposer une estimation. Entre les années 1960 et 1980, la comparaison de profils topographiques notamment au niveau de ponts a permis de mettre en évidence un enfoncement significatif du lit de la Garonne. Sur la période, l'incision moyenne peut être estimée à 1 m avec des valeurs pouvant atteindre fréquemment plus de 1,5 m localement (fig. 7). C'est notamment le cas par exemple au niveau du pont routier de Belleperche dont l'incision est estimée à - 2,5 m. La méthode d'exploitation par fosse a entraîné des phénomènes d'érosion progressive et régressive en divers endroits du cours d'eau affectant son profil en long bien au-delà des sites d'extractions. Le cas le plus marquant est la rupture en 1981 d'une conduite de gaz posée en souille à hauteur de Beauzelle suite à une incision de - 4,10 m au point le plus bas entre 1971 et 1982, soit une vitesse d'enfoncement de 34 cm.an⁻¹ (Beaudelin, 1989). Cela constitue un autre élément permettant de quantifier localement ce phénomène d'incision. Ici, la zone d'extraction la plus proche se trouvait à environ 300 m à l'aval pour une implantation datant de 1971 environ. La vitesse de propagation de l'érosion régressive peut donc être estimée à approximativement 27 m.an⁻¹. L'incision du lit de la Garonne s'est produite en deux phases, dans un premier temps par le décapage de la charge alluviale de fond puis dans un second temps par une attaque du substratum mis à nu. À partir des années 1990 alors que les extractions ont cessé, l'incision se poursuit localement mais cette dernière reste toutefois plus modeste voire nulle notamment en raison de la fixation du profil sur le fond rocheux affleurant en de nombreux endroits (fig. 7).

En effet, l'enfoncement du lit a entraîné un décapage intégral de la charge alluviale en de multiples endroits, laissant apparaître fréquemment des affleurements molassiques. L'étude du substrat dans les années 2000 entre Toulouse et la retenue de Malause, a permis d'estimer la part d'affleurement rocheux dans le chenal à 50 % environ (Delmouly *et al.*, 2007). Ainsi, en période d'étiage des seuils rocheux apparaissent le long du cours d'eau avec des ressauts pouvant atteindre plusieurs mètres.

L'incision peut également s'accompagner d'une déstabilisation d'ouvrage d'art par sapement des fondations.

Ainsi, une visite subaquatique de 1983 du viaduc de Bourret construit en 1978, fait état d'un affouillement d'une de ses piles d'environ 1 m ce qui a nécessité la mise en place d'un enrochement autour. Il peut être également évoqué la perturbation d'un puit de captage d'eau près de Seilh à la suite d'extractions dans le secteur.

2. Les effets induits par l'incision du chenal

Si l'enfoncement du chenal est la conséquence la plus visible des extractions, cette dernière a également induit de multiples dégradations d'ordres hydrologiques et écologiques. Entre 1960 et 1987, Beaudelin (1989) fait état d'un abaissement de la ligne d'eau d'environ 1 m qui s'est accompagné d'un rabattement de la nappe d'accompagnement. La capacité de cette dernière a ainsi été réduite rendant plus difficile les échanges latéraux nappe-rivière. En période d'étiage, la nappe est également drainée plus rapidement accentuant l'étiage en période estivale ce qui pose des problèmes de ressources en eaux pour la végétation ou encore l'irrigation. La simulation des échanges nappe-rivière entre 1993 et 2013 dans le secteur de Mas-Grenier a mis en évidence des directions de transfert de l'une à l'autre contrastées (Sun *et al.*, 2016). En effet, en période de basses eaux, soit 70 % de la période simulée, les échanges se font essentiellement de la nappe vers la rivière à hauteur de 98 %, soit 38 % du volume total échangé sur la période simulée tandis qu'en période de hautes eaux les échanges tendent à s'homogénéiser avec un échange nappe vers rivière de 46 %. Décamps *et al.* (1988), notent l'assèchement prématuré des zones humides avec un dépérissement des arbres notamment des peupliers et plus particulièrement à l'étiage avec la régulation du niveau d'eau par les barrages et l'irrigation. Laquerbe (1997) met également en évidence un dépérissement de la ripisylve entre les années 1950 et 1980 dans les secteurs de Cordes-Tolosannes et Saint-Caprais à l'aval de Grenade à partir de l'analyse de photos aériennes. L'augmentation de la section d'écoulement par l'incision du fond du chenal et l'érosion des berges dans une moindre mesure a réduit la fréquence des inondations dans la plaine alluviale. Steiger *et al.* (1998) ont montré que pour un débit à plein bord de 1 250 m³.s⁻¹ à la station de Verdun-sur-Garonne, la hauteur de jaugeage entre 1961 et 1992 a diminuée de 84 cm. L'enfoncement du lit mineur a également entraînée une déconnexion des annexes fluviales comme les bras-morts, contribuant à l'appauvrissement de la biodiversité. Un rapport de la

direction départementale de l'équipement du Tarn-et-Garonne (1997) sur la réouverture des bras-morts, fait état de 36 bras morts dont les deux tiers sont perchés en période de basses eaux et un tiers en période de hautes eaux. Ces différents facteurs ont entraîné une réduction de la connectivité hydrologique entre le chenal et la plaine d'inondation diminuant ainsi la disponibilité en eau, ce qui a contribué au dépérissement important de la ripisylve. Entre 1979 et 1994, James (1996) a mis en évidence en plusieurs endroits un dépérissement de la ripisylve pouvant atteindre près de 60 %. Cela a induit une perte de diversité faunistique liée à la dégradation et le morcellement de l'habitat. Le décapage de la charge alluviale suite aux extractions a également entraîné une diminution de la diversité des faciès d'écoulement avec des affleurements rocheux qui représente 50 % de la surface totale du chenal contre 30 % dans les années 1990 (Delmouly *et al.*, 2007). Concernant la faune aquatique, l'effet mécanique des extractions a également un impact. En effet, ces dernières entraînent une « pollution » des eaux par la mise en suspension des sédiments fins et l'augmentation de la turbidité. Le colmatage des surfaces de galets et de graviers induit une diminution de la biomasse formée par les micro-organismes présents dans le fond et de fait l'abondance de la nourriture disponible pour les poissons. Pour ces derniers, le colmatage des frayères ainsi que l'augmentation de la turbidité entraînent une hausse de la mortalité des œufs et nuisent aux fonctions respiratoires des poissons par obstructions des branchies par les sédiments limitant leur développement. Ces impacts sur les organismes aquatiques ont été mis en évidence sur différents cours d'eau tels l'Allier et la Loire (Clavel *et al.*, 1978). En effet, une réduction de 28 % de la densité numérique totale des poissons et de 13 à 75 % des invertébrés a été observée en aval de site d'extraction avec une mortalité des œufs de poissons et des alevins pouvant atteindre 75 %. Il en est de même sur le Tarn entre les années 1960 et 1980 où des extractions ont également eu lieu (Bou, Salomon, 1998).

V – Une activité en perte de vitesse à partir des années 1980

À partir des années 1980, en raison des problèmes précédemment identifiés liés aux extractions massives, des mesures ont commencé à être prises afin de réduire l'activité et son emprise dans le lit mineur. En Haute-Garonne, des zones d'interdictions sont définies. C'est le cas par exemple, du secteur au niveau de la commune

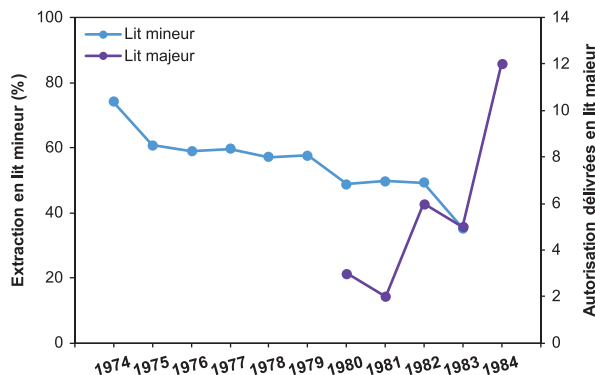


Fig. 8 – Part des extractions provenant du lit mineur de la Garonne par rapport à la production totale de granulats dans le département du Tarn-et-Garonne et nombre d'autorisation délivrées pour l'ouverture de carrières en site terrestre

Source : DDT 82

de Grenade où un arrêté préfectoral du 29 juin 1977 interdit toute extraction à moins de 400 m en aval et 800 m en amont du pont. Un arrêté préfectoral sur la protection des biotopes est également pris en 1984, qui limite les zones où les extractions sont encore possible (Beaudelin, 1989).

Dans le département du Tarn-et-Garonne, un arrêté préfectoral similaire a été pris en 1988, qui complète les mesures déjà prises au début des années 1980. En 1984, un consensus est trouvé entre les exploitants et les services de la pêche et de la police des eaux pour arrêter les extractions dans les secteurs de frai entre juin et août. À cela s'ajoute la prise d'un arrêté préfectoral en date du 1^{er} avril 1981 qui vise à réduire la durée des autorisations qui passent de 5 ans à 1 an renouvelable. De plus, la prolongation des autorisations qui ont expiré à la fin de l'année 1982 n'est plus renouvelée au-delà de 1985. Cependant, cet arrêté a fait l'objet d'un recours présenté devant le tribunal administratif de Toulouse par le Syndicat des producteurs de granulats de la région Midi-Pyrénées. Cet arrêté se référant au code minier et non au code du domaine de l'État et du domaine public fluvial a été annulé le 10 janvier 1984 et un nouvel arrêté préfectoral a été pris le 1^{er} février 1984. Ce dernier a été à son tour annulé le 15 juillet 1986 car jugé trop imprécis, l'interdiction étant trop générale et systématique, outrepassant les compétences du préfet et portant atteinte au principe de libre concurrence.

Malgré les difficultés réglementaires et en raison d'une ressource alluvionnaire de plus en plus faible, la

profession va petit à petit réorienter son activité vers le lit majeur. Dans le Tarn-et-Garonne, sur la période 1974-1983, une diminution significative de la part des alluvions provenant du lit mineur par rapport à la production totale de granulats dans le département est enregistrée, celle-ci passant de 75 % à 35 % (fig. 8). À partir de 1985, les prélèvements sont devenus faibles avec seulement 12 entreprises autorisées à extraire des matériaux sur les 28 ayant exploité durant les 5 dernières années. À partir de 1987, les extractions dans le lit mineur en Haute-Garonne sont définitivement stoppées et en 1988 celles dans le Tarn-et-Garonne.

Conclusion

L'analyse de l'exploitation des granulats dans le lit mineur de la Garonne a mis en évidence un cours d'eau soumis durant une trentaine d'années à une très forte pression. L'impact le plus marquant de cette extraction intensive a été l'incision importante du chenal pouvant atteindre localement plusieurs mètres. De cette modification du profil en long, ont découlé une série de perturbations tant hydraulique que écologique, qui à ce jour, sont toujours présentes. Parmi les interventions anthropiques dans le lit mineur du cours d'eau, les extractions ont joué sans conteste un rôle important dans la modification de la dynamique hydro-sédimentaire de la Garonne, la quantité de matériaux soustraite au cours d'eau ayant été considérable. En effet, rapporté à la surface du lit mineur et en prenant une densité moyenne de 2, la contribution de l'extraction de granulats représente une épaisseur décapée d'environ 0,8 m. Comparées à l'incision moyenne de 1 m durant la période, les extractions représenteraient jusqu'à 80 % de l'enfoncement du lit mettant en évidence leur rôle majeur. Toutefois, il est à noter que les extractions, malgré leur rôle prépondérant dans le phénomène d'incision et le déficit sédimentaire que connaît la Garonne, n'en sont pas l'unique cause

(travaux de chenalisation, barrage et reboisement des versants). De ce fait, la Garonne de par son fort déficit sédimentaire, laisse apparaître en de multiples endroits des affleurements molassiques.

La réversibilité de l'enfoncement du lit et de ce qu'il implique, paraît très peu probable au vu de la discontinuité du transit sédimentaire venant de l'amont et d'une recharge latérale quasi inexistante suite à la fixation des berges sur une grande partie du cours d'eau. Une gestion des apports sédimentaires pourrait être entreprise par l'aménagement d'espaces de liberté permettant une mobilité du cours d'eau et ainsi une recharge latérale en sédiments. Toutefois, si cette action peut dans une certaine mesure contribuer au renouvellement de la charge alluviale et à redynamiser certaines zones humides par l'expansion des crues, dans les faits elle se heurte aux nombreux blocages suscités par les différents acteurs locaux (perte de foncier, de terres cultivables...) et pose la question de sa durabilité.

Depuis les années 2000, plusieurs plans de gestion des zones humides (bras morts, ramiers...) ont été entrepris afin de revaloriser un patrimoine naturel de plus en plus pris en considération (Valette *et al.*, 2014). Il s'agit essentiellement de mesures visant à la réhabilitation et l'amélioration des annexes fluviales d'un point de vue écologique et leur développement à des fins pédagogiques (David *et al.*, ce volume). Toutefois, la qualité du milieu physique (connectivité hydraulique et transit sédimentaire) est peu prise en compte. Or la récupération de la structure et de la dynamique physique du cours d'eau est un enjeu important pour permettre le retour à un bon état écologique. Il est à noter également, que ces actions sont menées de manière morcelée et ne font pas l'objet d'un plan de gestion global comme cela est le cas sur le Rhône (David *et al.*, ce volume). Cette vision plus globale est pourtant nécessaire afin de redynamiser l'espace fluvial dans sa continuité et ainsi préserver ses fonctions et fonctionnalités.

Remerciements

Les auteurs remercient Laurent Humbert de la DDT 82 et Fabienne Athanase de la DDT 31 pour nous avoir donné accès aux archives ainsi que Patrice Beaudelin de la DREAL pour la mise à disposition de documents. Les auteurs remercient également les relecteurs anonymes pour leurs suggestions ayant contribué à l'amélioration du manuscrit.

Bibliographie

- BEAUDELIN P., « Conséquences de l'exploitation des granulats dans la Garonne » *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, n° 60, 1989, p. 603-616.
- BOU C., SALOMON J.-N., « L'impact des aménagements anthropiques sur le cours moyen du Tarn », *Sud-Ouest Européen*, n° 3, 1998, p. 29-38.
- BOUCHAUD B., CLAVEL P., HAMON Y., ROMANEIX C., « Incidences des extractions de matériaux alluvionnaires et de l'aménagement des cours d'eau sur l'écosystème aquatique », *Bulletin français de pisciculture*, n° 273, 1979, p. 137-156.
- CLAVEL P., CUINAT R., HAMON Y., ROMANEIX C., « Effets des extractions de matériaux alluvionnaires sur l'environnement aquatique dans les cours supérieurs de la Loire et de l'Allier », *Bulletin français de pisciculture*, n° 268, 1978, p. 121-154.
- DAVID M., *Dynamique fluviale de la Garonne à l'anthropocène : trajectoire d'évolution du tronçon fluvial compris entre les confluences de l'Ariège et du Tarn (Garonne toulousaine, 90 km)*, thèse de géographie, université Toulouse – Jean Jaurès, 2016.
- DDE TARN-ET-GARONNE, *La réouverture des bras morts de la Garonne – Section comprise entre la limite avec le département de la Haute-Garonne et le confluent avec le Tarn*, rapport technique, 1997.
- DÉCAMPS H., FORTUNÉ M., GAZELLE F., PAUTOU G., « Historical Influence of Man on the Riparian Dynamics of a Fluvial Landscape », *Landscape Ecology*, n° 1, 1988, p. 163-173.
- DELMOULY L., MOREAU N., CROZE N., LE BARTHE R., *Cartographie du substrat de la Garonne (de la retenue de Saint-Nicolas-de-la-Grave à Toulouse) et influence sur le comportement de saumons atlantiques en remontée*, rapport technique, agence de l'eau Adour Garonne, 2007.
- ERSKINE W. D., « Environmental Impacts of Sand and Gravel Extraction on River Systems », dans DAVIE P., STOCK E., LOW CHOY D. (dir.), *The Brisbane River: A Source Book for the Future*, Australian Littoral Society, 1990.
- GALHARAGUE J., ROBERT J., *Dragages en rivière dans la région Midi-Pyrénées*, CETE-BRGM, rapport technique, 1978.
- GALTIER L., *Mémento roches et minéraux industriels*, BRGM, rapport technique, 1993.
- HARLE E., « Observations sur les alluvions de la Garonne dans la région de Toulouse », *Bulletin de la Société géologique de France*, n° 23, 1895, p. 490-503.
- JAMES M., *Le Dépérissement des boisements riverains de la Garonne : évaluation à partir de données de structure forestière et de télédétection à haute résolution spatiale*, thèse d'écologie, université Toulouse Paul-Sabatier, 1996.
- KONDOLF G. M., SWANSON M. L., « Channel Adjustments to Reservoir Construction and Gravel Extraction Along Stony Creek California », *Environmental Geology*, n° 21, 1993, p. 256-269.
- KONDOLF G., « Geomorphic and Environmental Effects of Instream Gravel Mining », *Landscape and Urban Planning*, n° 28, 1994, p. 225-243.
- LAQUERBE M., « Dynamique du paysage riverain des bords de la Garonne : effets anthropiques », *Bulletin de la Société d'histoire naturelle de Toulouse*, n° 133, 1997, p. 7-13.
- LANDON N., PIÉGAY H., BRAVARD J. P., « The Drôme River Incision (France): From Assessment to Management », *Landscape and Urban Planning*, n° 43, 1998, p. 119-131.
- LARINIER M., *Effets mésologiques des extractions de granulats dans le lit mineur des cours d'eau*, CERIT-CTGREF, rapport technique, 1980.
- LARONNE J. B., « Sédimentation et barrages : implications géomorphologiques, économiques et environnementales du comblement des réservoirs. Relation avec les extractions de matériaux fluviaux », *Aménagement et Nature*, n° 136, 2000, p. 101-111.
- LATAPIE A., CAMENEN B., RODRIGUES S., PAQUIER A., BOUCHARD J. P., MOATAR F., « Assessing Channel Response of a Long River Influenced by Human Disturbance », *Catena*, n° 121, 2014, p. 1-12.
- MARSTON R. A., BRAVARD J. P., GREEN T., « Impacts of Reforestation and Gravel Mining on the Malnant River, Haute-Savoie, French Alps », *Geomorphology*, n° 55, 2003, p. 65-74.
- MARTÍN-VIDE J. P., FERRER-BOIX C., OLLERO A., « Incision Due to Gravel Mining: Modeling a Case Study from the Gállego River, Spain », *Geomorphology*, n° 117, 2010, p. 261-271.
- PEIRY J.-L., SALVADOR P.-G., NOUGUIER F., « L'incision des rivières dans les Alpes du nord : état de la question », *Revue de géographie de Lyon*, n° 69, 1994, p. 47-56.

- PETIT F., POINSART D., BRAVARD J.-P., « Channel Incision, Gravel Mining and Bedload Transport in the Rhône River Upstream of Lyon, France (canal de Miribel) », *Catena*, n° 26, 1996, p. 209-226.
- RĂDOANE M., OBREJA F., CRISTEA I., MIHAILĂ D., « Changes in the Channel-Bed Level of the Eastern Carpathian Rivers: Climatic vs Human Control over the Last 50 years », *Geomorphology*, n° 193, 2013, p. 91-111.
- RINALDI M., WYZGA B., SURIAN N., « Sediment Mining in Alluvial Channels: Physical Effects and Management Perspectives », *River Research and Applications*, n° 21, 2005, p. 805-828.
- ROLLET A.-J., PIEGAY H., CITTERIO A., « Impact des extractions de graviers dans le lit mineur sur la géométrie des zones aquatiques périfluviales du Doubs (France) », *Géographie physique et Quaternaire*, n° 60, 2006, p. 253-269.
- SCORPIO V., AUCELLI P. P. C., GIANO S. I., PISANO L., ROBUSTELLI G., ROSSKOPF C. M., SCHIATTARELLA M., « River Channel Adjustments in Southern Italy over the Past 150 years and Implications for Channel Recovery », *Geomorphology*, n° 251, 2015, p. 77-90.
- STEIGER J., CORENBLIT D., VERVIER P., « Les ajustements morphologiques contemporains du lit mineur de la Garonne, France et leurs effets sur l'hydrosystème fluvial », *Zeitschrift für Geomorphologie*, n° 122, 2000, p. 227-246.
- STEIGER J., JAMES M., GAZELLE F., « Channelization and Consequences on Floodplain System Functioning on the Garonne River, SW France », *Regulated Rivers*, n° 14, 1998, p. 13-23.
- SUN X., BERNARD-JANNIN L., GARNEAU C., VOLK M., ARNOLD J. G., SRINIVASAN R., SAUVAGE S., SÁNCHEZ-PÉREZ J. M., « Improved Simulation of River Water and Groundwater Exchange in an Alluvial Plain Using the SWAT Model », *Hydrological Processes*, n° 30, 2016, p. 187-202.
- SURIAN N., RINALDI M., « Morphological Response to River Engineering and Management in Alluvial Channels in Italy », *Geomorphology*, n° 50, 2003, p. 307-326.
- VALETTE P., « Changements environnementaux et adaptation des sociétés dans la moyenne vallée de la Garonne (xviii^e siècle à aujourd'hui) », *Sud-Ouest Européen*, n° 32, 2011, p. 35-51.
- VALETTE P., *Les Paysages de la Garonne : les métamorphoses d'un fleuve : entre Toulouse et Castets-en-Dorthe*, thèse de géographie, université Toulouse Le Mirail, 2002.
- VALETTE P., CAROZZA J.-M., SALLES D., DAVID M., SIMONET G., « Construction géohistorique du "sauvage" de la Garonne toulousaine : quelle part de naturalité dans les paysages fluviaux ? », *Développement durable et territoires*, n° 5, 2014, p. 1-22.
- ZILIANI L., SURIAN N., « Evolutionary Trajectory of Channel Morphology and Controlling Factors in a Large Gravel-Bed River », n^{os} 173-174, *Geomorphology*, 2012, p. 104-117.