EchoGéo

numéro 18 (2011)
septembre 2011/décembre 2011

Séverine Lescure, Gilles Arnaud-Fassetta et Stéphane Cordier

Sur quelques modifications hydromorphologiques dans le Val de Seine (Bassin parisien, France) depuis 1830 : quelle part accorder aux facteurs hydrologiques et anthropiques ?

Avertissement
Le contenu de ce site relève de la législation française sur la propriété intellectuelle et est la propriété exclusive de l'éditeur.
Les œuvres figurant sur ce site peuvent être consultées et reproduites sur un support papier ou numérique sous réserve qu'elles soient strictement réservées à un usage soit personnel, soit scientifique ou pédagogique excluant toute exploitation commerciale. La reproduction devra obligatoirement mentionner l'éditeur, le nom de la revue, l'auteur et la référence du document.
Toute autre reproduction est interdite sauf accord préalable de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France.

revues.org

Revues.org est un portail de revues en sciences humaines et sociales développé par le Cléo, Centre pour l'édition électronique ouverte (CNRS, EHESS, UP, UAPV).

Référence électronique
Séverine Lescure, Gilles Arnaud-Fassetta et Stéphane Cordier, « Sur quelques modifications hydromorphologiques dans le Val de Seine (Bassin parisien, France) depuis 1830 : quelle part accorder aux facteurs hydrologiques et anthropiques ? », *EchoGéo* [En ligne], numéro 18 | 2011, mis en ligne le 05 décembre 2011. URL : http://echogeo.revues.org/12658
DOI : en cours d'attribution

Éditeur : UMR 8586 PRODIG
http://echogeo.revues.org
http://www.revues.org

Document accessible en ligne sur :
http://echogeo.revues.org/12658
Document généré automatiquement le 15 décembre 2011.
© Tous droits réservés

Séverine Lescure, Gilles Arnaud-Fassetta et Stéphane Cordier

Sur quelques modifications hydromorphologiques dans le Val de Seine (Bassin parisien, France) depuis 1830 : quelle part accorder aux facteurs hydrologiques et anthropiques ?

Les auteurs tiennent à remercier les deux relecteurs anonymes pour leurs remarques constructives qui ont permis d'améliorer la première version du manuscrit ainsi que le Comité de rédaction de la Revue.

Introduction

1 Au cours de la période contemporaine dans l'Europe tempérée, deux principaux facteurs externes sont susceptibles de contrôler l'évolution de la géométrie des lits fluviaux : le climat, qui influence directement le débit liquide et indirectement leur charge solide, et l'Homme, à travers ses aménagements (Schumm, 1977). Si l'influence de ces paramètres sur l'évolution hydromorphologique récente des plaines alluviales est connue, notamment par le biais de la cartographie diachronique (Corbonnois, 2006), il reste parfois difficile d'en déterminer précisément leur rôle respectif (Laganier et Arnaud-Fassetta, 2009). Ces dernières décennies, de nombreux travaux ont permis d'évaluer la part respective des facteurs climatiques et anthropiques dans la dynamique des lits fluviaux, principalement dans les hydrosystèmes à forte et moyenne énergie (Bravard et Peiry, 1993 ; Bravard, 1994 ; Gautier, 1994 ; Liébault et Piégay, 2002 ; Arnaud-Fassetta et Fort, 2004 ; Brousse *et al.*, 2011). Les grands fleuves à très faible énergie n'ont fait l'objet que de peu d'études. C'est notamment le cas de la Seine qui n'a été étudiée sous cet angle que dans les années 1990 dans sa partie supérieure située en amont de la confluence de l'Yonne (Dzana, 1997) ou plus récemment dans la partie en aval du barrage de Poses (estuaire) dans le cadre du programme Seine-Aval (Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval, 2008). La Seine a été pourtant fortement aménagée au cours des derniers siècles et sujette à des événements hydrologiques extrêmes (Guillerme, 1990 ; Meybeck *et al.*, 1998 ; Billen *et al.*, 2007). L'objectif de cette étude est dans un premier temps d'identifier les modifications hydromorphologiques survenues depuis les années 1830, date pour laquelle on dispose d'une cartographie relativement précise précédant la mise en place des grands aménagements du fleuve. Dans un second temps, une première synthèse relative à l'impact respectif des aménagements et des crues sur la dynamique fluviale est proposée à la lumière des modifications hydromorphologiques observées.

Le cours du fleuve dans son bassin-versant

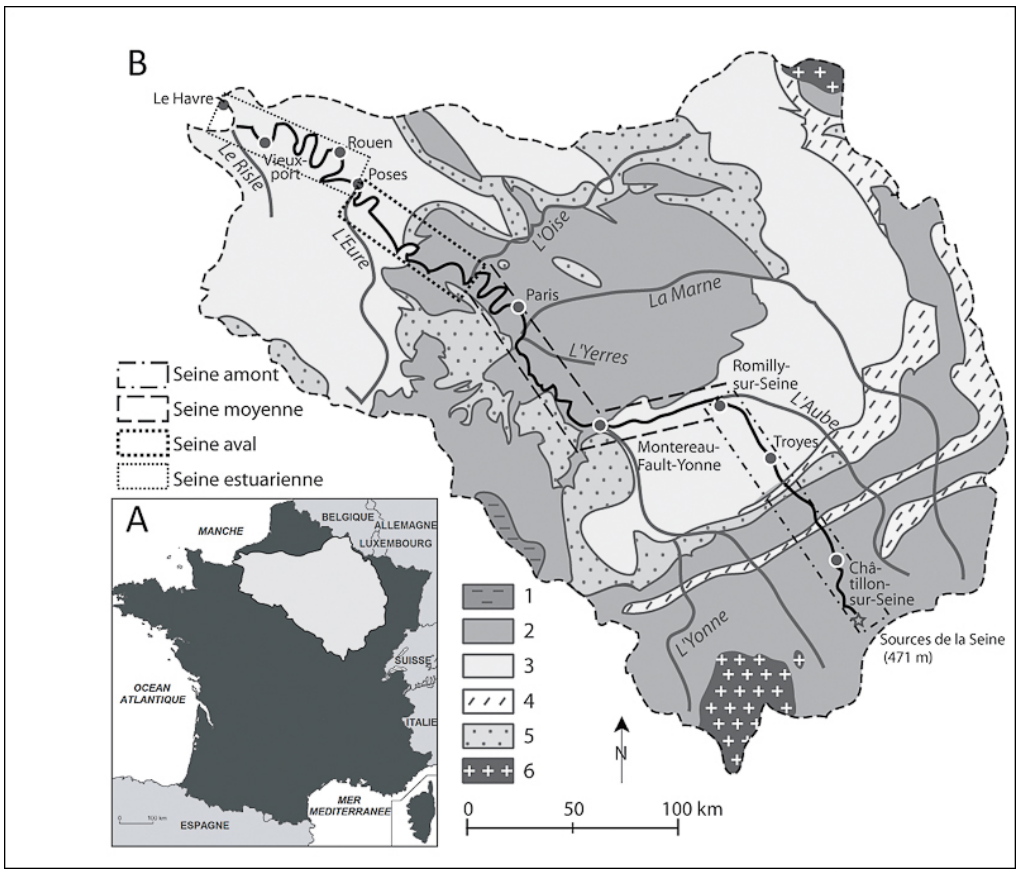
2 La Seine est un fleuve long de 779 km, qui prend sa source, comme ses principaux affluents (Aube, Marne), sur le plateau de Langres à 471 m d'altitude et se jette dans la Manche *via* l'un des plus grands estuaires européens (Verger, 2009 ; illustration 1). Ce dernier, qui s'étend du barrage de Poses au Havre sur une longueur de 160 km, se divise en trois grandes unités :

- l'estuaire amont, de Poses à Vieux-Port, où l'hydrodynamisme fluvial domine,
- l'estuaire moyen, jusqu'à Honfleur, zone intermédiaire où siège le bouchon vaseux,
- l'estuaire aval, de Honfleur au Havre, où l'influence maritime est prédominante.

3 Comme en amont de la zone estuarienne, le tracé de la Seine est caractérisé par la présence de nombreux méandres, libres dans la partie amont du bassin-versant, encaissés à partir de la confluence avec l'Yonne ; l'indice de sinuosité (I_s) du chenal est de 1,92. La Seine coule intégralement dans le Bassin parisien, constitué d'une superposition de couches de roches sédimentaires, s'étageant du Secondaire (Trias) au Tertiaire supérieur (Miocène), alternativement tendres (sables, marnes, marnes gypseuses, argiles) et résistantes (craie,

calcaires, grès), disposées en auréoles concentriques, se relevant vers la périphérie au contact avec les massifs cristallins anciens.

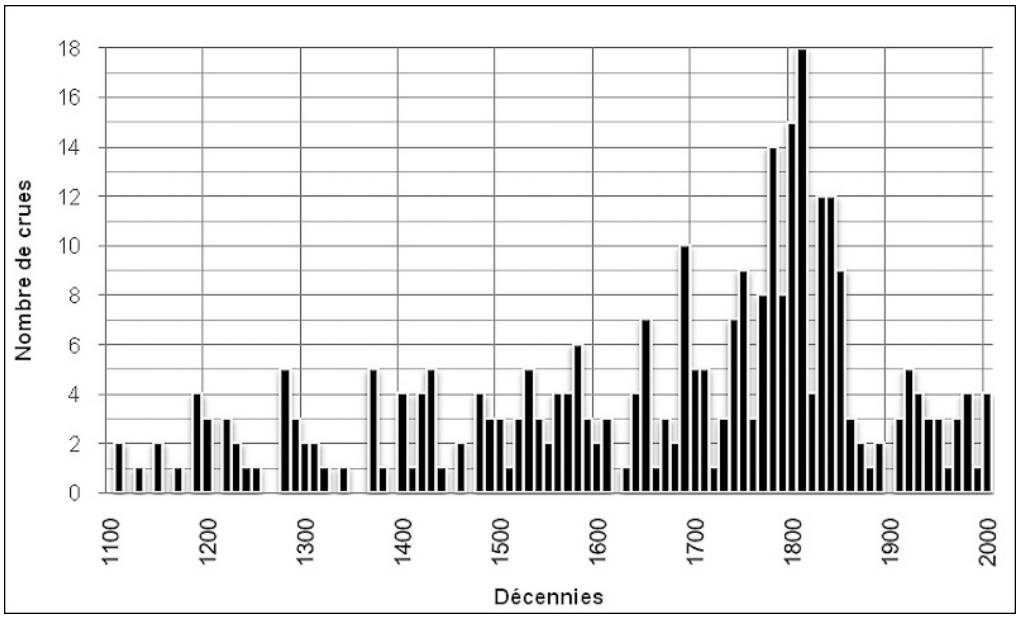
Illustration 1 - La Seine et son bassin-versant. A : localisation du bassin-versant de la Seine. B : lithologie et hydrographie du bassin



Lithologie. 1 : argiles ; 2 : calcaires ; 3 : craie ; 4 : marnes ; 5 : sables ; 6 : roches cristallines.
Source : les données lithologiques sont tirées de Billen *et al.*, 2009, d'après Albinet, 1967.

4 De l'évolution morphotectonique et de l'action des cours d'eau en ressort un relief caractérisé par une succession de plaines et de bas plateaux (100-300 m) associés à un dispositif de cuestas (périphérie) et de coteaux (centre). Des formations superficielles plio-quaternaires (argiles à silex, lœss) sont présentes sur les plateaux et les versants, notamment dans la zone aval du bassin, alors que le fond des vallées principales est remblayé d'alluvions quaternaires ; ces dernières peuvent s'observer en position de terrasses sur les versants (*e.g.*, Les Andelys). Le bassin de la Seine (78 600 km^2) est soumis à un climat tempéré océanique, avec des précipitations (700 mm/an en moyenne pour la période 1970-2004 ; Viennot *et al.*, 2009) assez bien réparties sur l'année. Le régime hydrologique de la Seine, comme celui de ses principaux affluents, est marqué par une alternance de hautes eaux hivernales et de basses eaux estivales ; il est de type pluvio-évaporal. A ces variations saisonnières s'ajoutent des épisodes d'étiage et de crue (illustration 2) dont la capacité morphogène est potentiellement élevée.

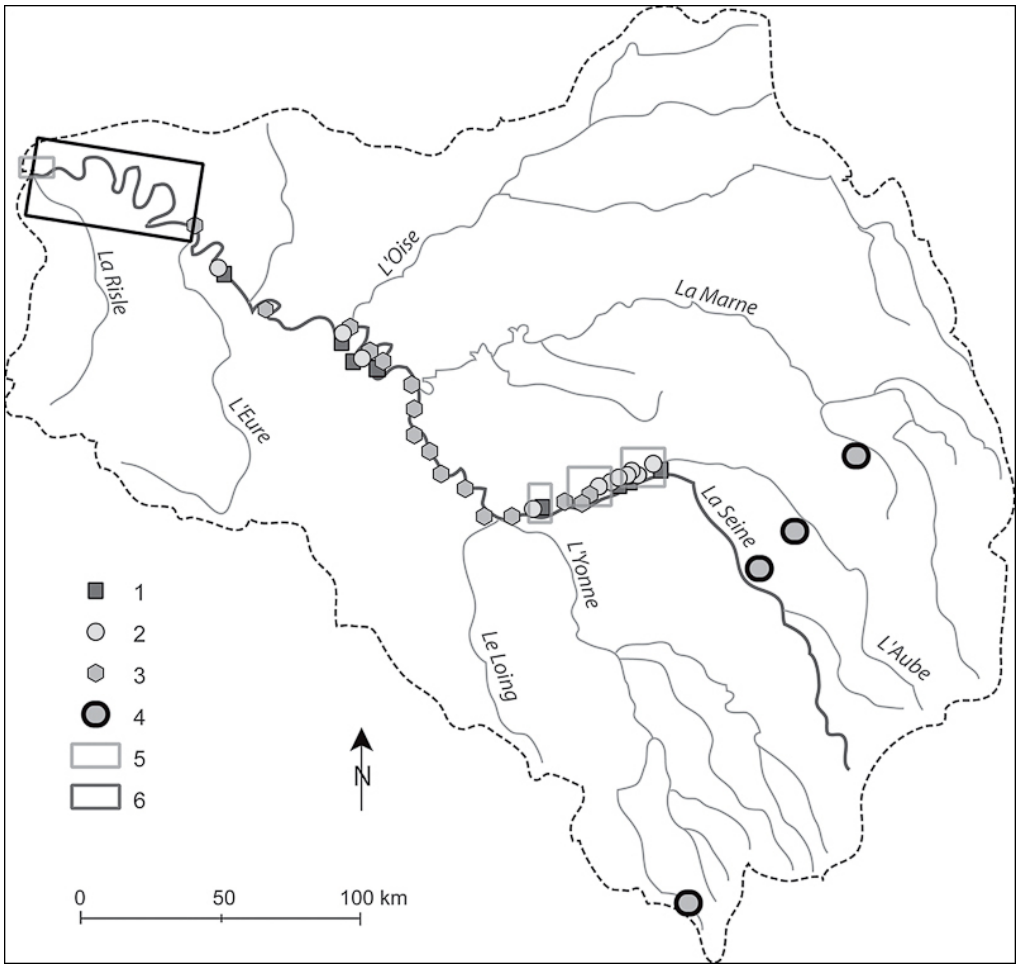
Illustration 2 - Fréquence des crues historiques de la Seine



Sources : Champion, 1858 ; Annales des Ponts et Chaussées, 1868 ; Préfecture de Paris pour les données les plus récentes.

5 La crue la plus importante survenue au cours des deux derniers siècles est celle de 1910, avec une hauteur d'eau de 8,62 m à Paris (Maillet et Nouailhac-Pioch, 1910). C'est notamment à la suite de cette crue, mais également pour les besoins de la navigation, que les aménagements le long du fleuve se sont intensifiés. Des rectifications de tracé ont été opérées et de nombreux ouvrages hydrauliques ont été installés au cours de la seconde moitié du XIXe siècle et surtout durant le XXe siècle. On dénombre actuellement sur la Seine plus de 80 barrages et seuils, une trentaine d'écluses, plus de 150 km de canaux de dérivation et plusieurs dizaines de kilomètres de digues (illustration 3).

Illustration 3 - Carte de synthèse des ouvrages hydrauliques de la Seine



1 : barrage ; 2 : écluse ; 3 : barrage avec écluse accolée ; 4 : lac-réservoir du bassin de la Seine ; 5 : présence d'un canal de dérivation ; 6 : zone estuarienne dans laquelle les berges sont artificialisées à plus de 75 %, principalement par endiguement.

Sources : SNS, 2007 (barrages et écluses) ; Institution Interdépartementale des Barrages-Réservoirs du bassin de la Seine ; Foussard, 2009 (zone estuarienne).

6 L'endiguement concerne essentiellement l'estuaire, qui a connu cinq grandes phases de travaux afin d'améliorer les conditions de navigation (Foussard *et al.*, 2010) :

- 1848-1867, endiguement de 150 km de berges de l'estuaire moyen ;
- 1868-1895, installation du canal de Tancarville et de 30 km de digues en aval immédiat des précédentes ;
- 1896-1922, endiguement de 40 km de berges dans l'embouchure ;
- 1923-1961, 90 km de berges endiguées et construction du canal du Havre ;
- 1962-2008, 65 km d'endiguement essentiellement au niveau de l'embouchure.

7 Les aménagements ont également affecté les principaux affluents de la Seine. Quatre lacs-réservoirs ont été aménagés en amont du fleuve et sur trois de ses principaux affluents (Marne, Aube, Yonne), afin notamment d'aider à la régulation des crues. Ces nombreuses actions anthropiques sur le milieu fluvial ont fait de l'Homme l'un des principaux agents de contrôle de l'évolution morphologique récente du Val de Seine. Jusqu'alors, seules les variations climatiques, les fluctuations eustatiques et la tectonique avaient régi la dynamique hydromorphologique du fleuve à l'Holocène. En particulier, le réchauffement postglaciaire avait impulsé une phase d'incision importante et rapide du lit mineur au Préboréal (10000-9000 BP ; Pastre *et al.*, 2002b), préfigurant la position du lit actuel et s'accompagnant dans l'estuaire d'une rétrogradation de la ligne de rivage sous l'effet de la remontée eustatique du plan d'eau marin (Frouin *et al.*, 2009 et 2010 ; Sechi *et al.*, 2010). Après une phase de relative stabilité hydrodynamique au Boréal (9500-8850 cal. BP ; Chaussé *et al.*, 2008) et au début de l'Atlantique, une reprise de l'activité fluviale vers 4700 BP (Pastre *et al.*, 2002a) et du transit

sédimentaire vers 2800-2700 cal. BP (Chaussé et *al.*, 2008) favorise l'aggradation de l'estuaire et une déstabilisation des écoulements en amont, à l'origine de l'ouverture ou de la réactivation de plusieurs chenaux latéraux en bordure des lits mineurs dans les grandes vallées (Pastre *et al.*, 2002b). A partir du début de la seconde partie du Subatlantique (2000 cal. BP), l'espace fluvial acquiert progressivement ses caractéristiques hydromorphologiques actuelles mais les interventions humaines, à l'origine de la progradation de l'estuaire (Frouin *et al.*, 2010), vont devenir également de plus en plus déterminantes dans le fonctionnement des fonds de vallée en amont.

Méthodes d'étude

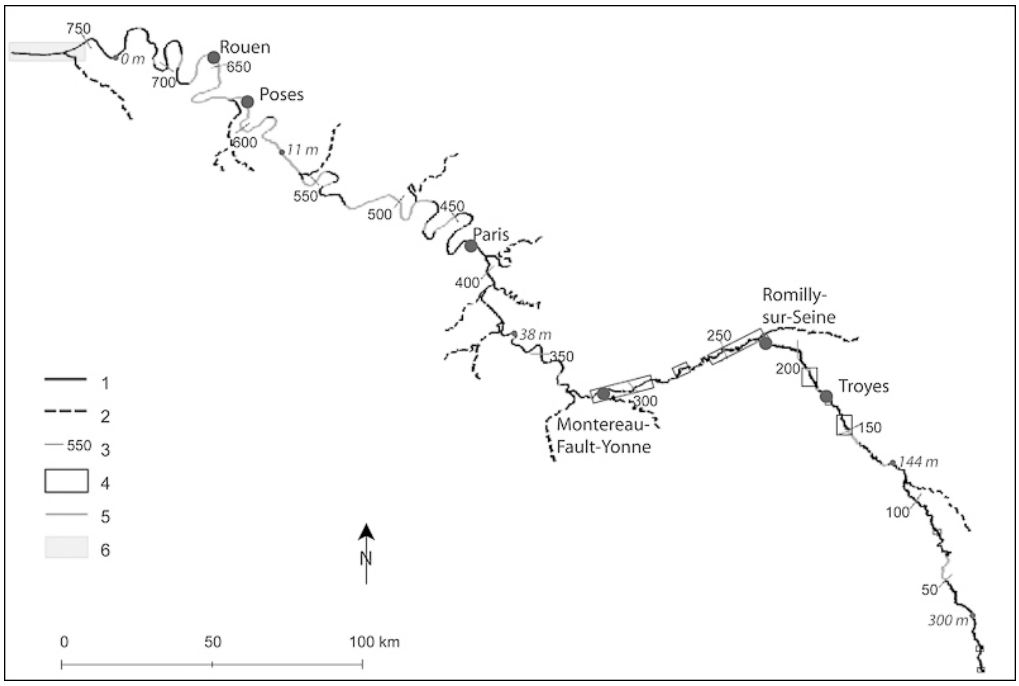
8 L'identification des modifications hydromorphologiques repose sur une comparaison entre les 28 cartes d'Etat-major dressées de 1828 à 1840 au 1/40000e et des images satellites récentes fournies par les sites *Google Earth* et *Géoportail*. Trois variables ont été étudiées : le tracé décrit par le fleuve et quantifié par l'indice de sinuosité (I_s = longueur du chenal/longueur à vol d'oiseau), la largeur du lit mineur et le nombre d'îles fluviales (Lescure, 2010). Dans un premier temps, les changements de tracé ont été mis en évidence en superposant le tracé sub-actuel observé sur *Google Earth* et l'ancien tracé du XIXe siècle. Dans un second temps, cette superposition a été utilisée pour évaluer les variations de la largeur du lit mineur. Celle-ci a été mesurée tous les 1 000 m à partir de la source de la Seine, sur des transects préalablement représentés sur *Google Earth*. Pour l'état actuel du fleuve, l'outil « règle » du programme a permis d'obtenir des valeurs relativement précises, hormis pour les premiers kilomètres du cours supérieur où la largeur était plus difficile à quantifier du fait du masque partiel ou total liée à la présence de la ripisylve. Certes, une faible marge d'erreur peut préalablement exister au sein du logiciel suite au géoréférencement des images satellites. La marge d'erreur s'accroît là où les rives sont masquées par la ripisylve, restant toutefois moins importante que celle découlant de l'utilisation des cartes topographiques (sur ce type de support, une imprécision d'un millimètre peut rapidement se transformer en une erreur de plusieurs mètres après conversion de l'échelle). Sur les cartes d'Etat-major, les mesures effectuées à partir du document papier intègrent une marge d'erreur plus importante (jusqu'à quelques dizaines de mètres) en raison de l'imprécision du document. De la même manière, la quantification diachronique du nombre d'îles a été obtenue par lecture des documents cartographiques et des images satellites qui ont fait l'objet d'un traitement similaire : les îles présentes sur les cartes des années 1830 ont été repérées sur *Google Earth* ; la comparaison avec l'état actuel du chenal a permis de mieux comprendre leur évolution (disparition, rattachement à la berge ou à une autre île…).

Evolution hydromorphologique du lit de la Seine entre les années 1830 et 2009

Un tracé relativement stable

9 Globalement, la Seine n'a pas connu de changement majeur de tracé depuis 1830, comme le souligne la très faible variabilité de I_s (1,92 en 2009 contre 1,97 durant les années 1830). Dans la partie amont jusqu'à la confluence de l'Yonne (illustration 4), certains méandres ont migré latéralement, engendrant des changements morphologiques (forme, amplitude, longueur d'onde…) plus ou moins importants, alors que d'autres ont été totalement recoupés. C'est particulièrement le cas entre les confluences de l'Aube et de l'Yonne où deux trains de méandres ont fait l'objet de recoupements, l'un sur une longueur à vol d'oiseau de 2,5 km, et l'autre sur 10 km. Ainsi, la longueur initiale du fleuve a été réduite de 1,8 % par rapport à celle des années 1830.

Illustration 4 - Changements morphologiques du lit mineur de la Seine depuis 1830

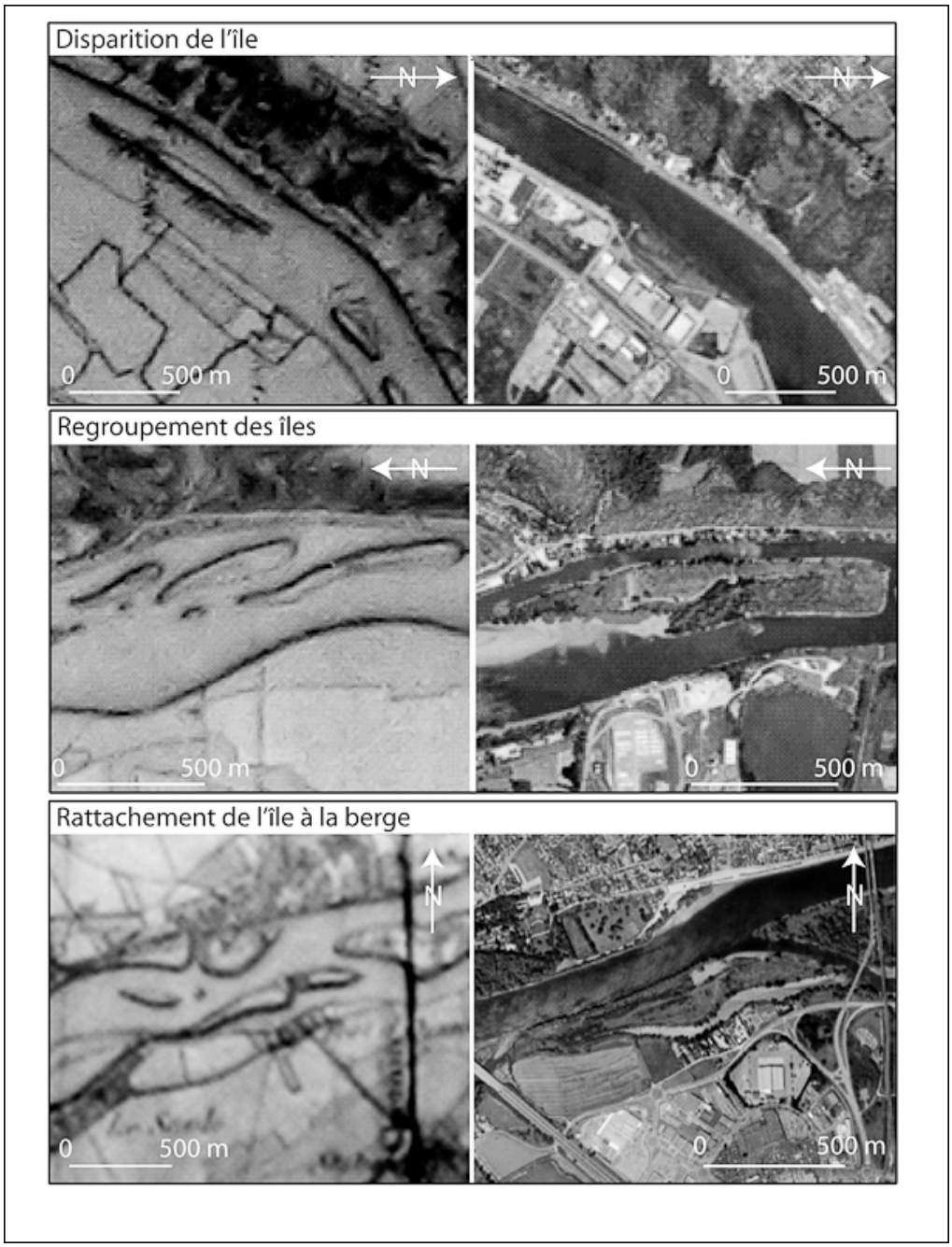


1 : Seine ; 2 : principaux affluents ; 3 : points kilométriques ; 4 : modifications du tracé ; 5 : réduction du nombre d'îles ; 6 : contraction de la zone estuarienne.

Une diminution du nombre d'îles

10 L'essentiel des îles fluviales se situe dans les méandres des plateaux calcaires et crayeux, entre la confluence de l'Yonne et la boucle de Rouen. C'est dans ce secteur que le plus grand nombre d'îles a disparu depuis 1830 (illustration 4). A cette date, le fleuve totalisait environ 405 îles ; de nos jours, on n'en compte plus que 195. La diminution du nombre d'îles résulte de situations diverses (illustration 5) : certaines îles sont devenues jointives de sorte qu'elles n'en forment plus qu'une seule aujourd'hui (cas de l'Ile Belle, dans le secteur de Mézy-sur-Seine, qui résulte de la jonction entre l'Ile de Mézy et l'Ile de Juziers) ; d'autres îles se sont rattachées à une rive convexe ou concave ; plusieurs îles ont totalement disparu par érosion naturelle ou remaniement par l'Homme.

Illustration 5 - Typologie des situations ayant conduit à une diminution du nombre d'îles : l'exemple de la boucle de Rouen



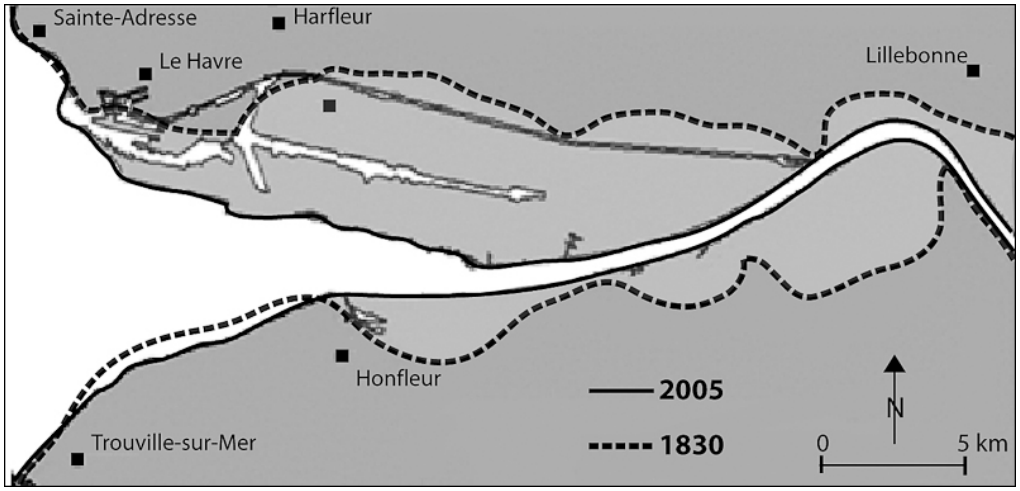
Sources: Minute d'Etat-major n° 31 NO, 1834; *Google Earth*, 2009

Une réduction de la largeur du lit mineur

11 La largeur du lit mineur de la Seine augmente progressivement vers l'aval et proportionnellement au débit liquide : d'une vingtaine de mètres à Troyes (module de 30 m^3/s), elle passe à 130-140 m à Paris (module de 309 m^3/s) et devient supérieure à 200 m à Rouen (module de 570 m^3/s). La largeur moyenne (*i.e.*, de la source à la Manche) du lit mineur actuel est de 240 m, contre environ 480 m dans les années 1830. Tout comme le nombre d'îles fluviales, la largeur moyenne du lit mineur a fortement diminué, de l'ordre de 50 % sur la période considérée. Ce résultat doit être nuancé du fait non seulement de la marge d'erreur inhérente aux documents (*cf. supra*) mais aussi de disparités spatiales très importantes masquées par les chiffres obtenus : l'essentiel de la contraction correspond en fait aux soixante derniers kilomètres du fleuve, là où le lit mineur est le plus large (de 300 m à plus de 10 km de nos jours), le maximum étant atteint dans la zone estuarienne où le lit mineur est actuellement

deux à sept fois moins large qu'il y a 180 ans (illustration 6). Partout ailleurs en amont de la zone estuarienne, la largeur du lit mineur est stable voire en légère augmentation depuis 1830.

Illustration 6 - Evolution morphologique de l'estuaire de la Seine depuis 1830



Source : Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval, 2005.

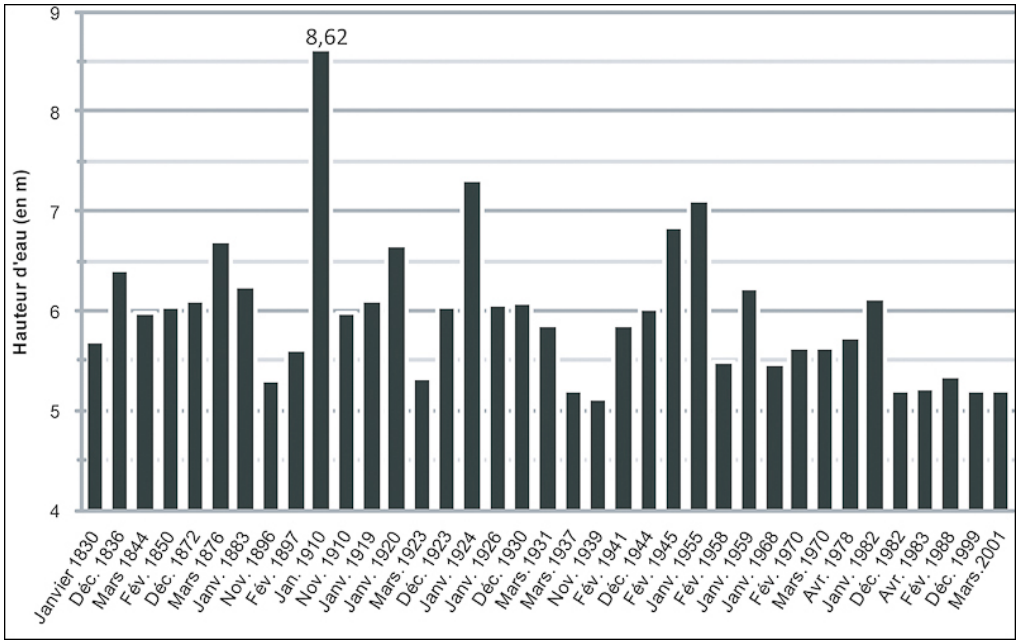
12 En somme, la tendance générale observée (*i.e.*, diminution de moitié de la largeur moyenne du lit mineur) est portée presque exclusivement par la zone estuarienne, là où la contraction de la Seine et les valeurs absolues de largeur du lit mineur sont les plus importantes.

Quelle part accorder aux facteurs hydrologiques et anthropiques ?

Le facteur hydrologique

13 La Seine a connu de nombreuses crues ces derniers siècles et plus particulièrement au cours de la deuxième phase du Petit Age Glaciaire.

Illustration 7 – Hauteur d'eau des crues supérieures à 5 m à Paris depuis 1830



Sources : statistiques de la Préfecture de Paris et des Annales des Ponts et Chaussées.

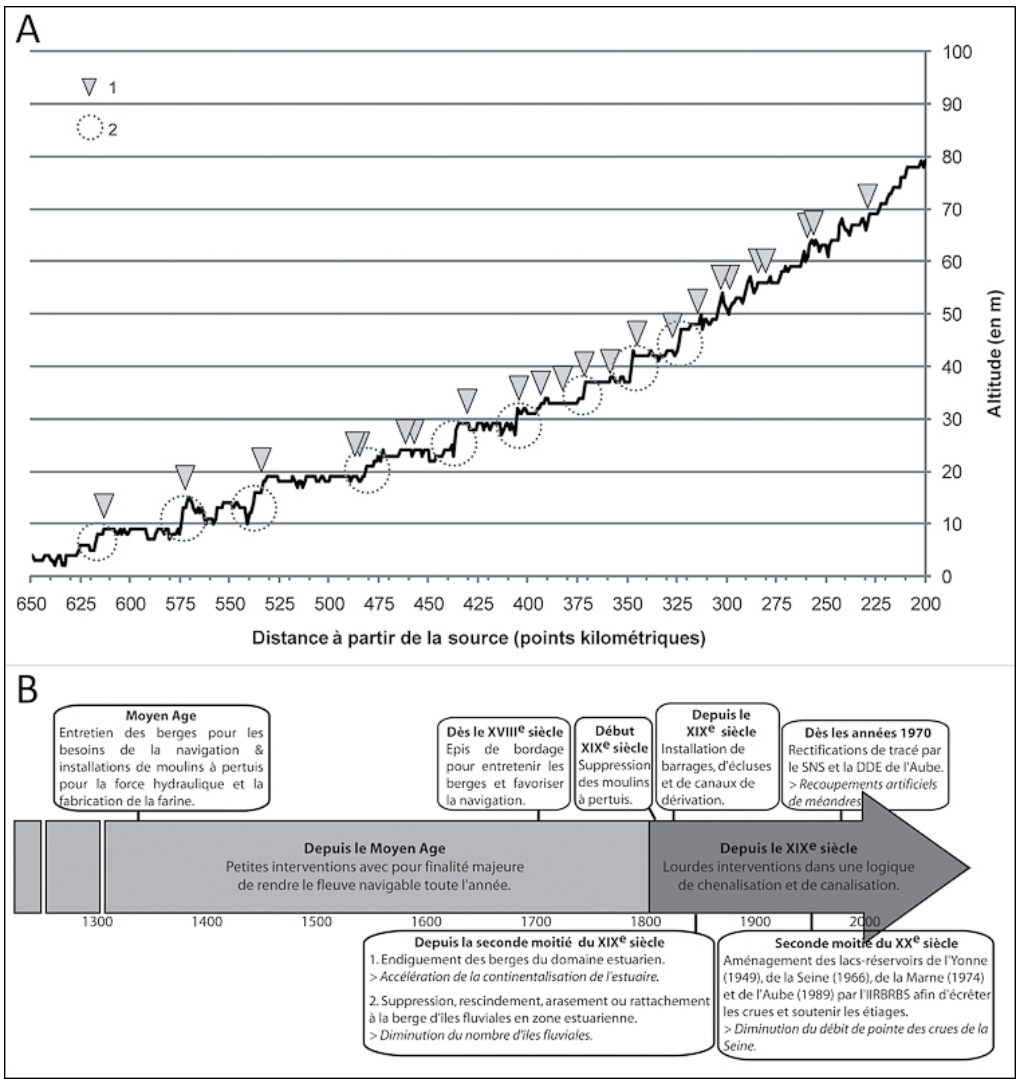
14 Par leurs effets morphogènes, ces crues, dont certaines ont atteint des hauteurs d'eau et des puissances spécifiques considérables (Belgrand et Lemoine, 1868 ; illustration 7), ont pu contribuer aux modifications hydromorphologiques observées, à savoir de faibles élargissements du lit mineur localement en amont de l'embouchure estuarienne et la légère réduction de I_s par recoupement de méandre. En effet, les débits atteints lors des grandes

crues de la Seine amplifient les processus d'érosion dans le chenal, et plus particulièrement les phénomènes d'ablation en rive concave et de sédimentation en rive convexe. *A fortiori*, les événements hydrologiques extrêmes survenus depuis 1830 ont certainement participé aux migrations de méandre, à la disparition de certaines îles en rive concave - l'érosion latérale pouvant être provoquée en temps de crue par l'excès d'énergie du fleuve et/ou par l'effondrement des berges déstabilisées par l'incision du chenal - et au rattachement d'autres îles aux berges de rive convexe. Les crues peuvent aussi avoir engendré des recoupements de méandre par déversement (*chute cut-off*), autrement dit par rupture du pédoncule du méandre suite au débordement des eaux. Cela est particulièrement envisageable pour les recoupements survenus dans la partie non-navigable du fleuve (*i.e.*, en amont de la confluence de l'Aube), où les interventions humaines ont été plus limitées. Seule une étude plus fine basée sur des dates encadrant au plus près les principales crues permettrait d'évaluer précisément ce rôle.

Le facteur anthropique

15 L'influence des aménagements, si elle reste un phénomène complexe à appréhender, est indéniable dans certaines portions du cours de la Seine (Alaoui, 2000 ; Ducharne *et al.*, 2007 ; Foussard, 2009). C'est notamment le cas entre les confluences de l'Aube et de l'Yonne, où le Service de Navigation de la Seine (SNS) a procédé durant les années 1970 au recoupement artificiel de deux trains de méandres sur respectivement 2 km et 10 km de cours, pour les nécessités de la navigation. Dans la partie non-navigable, la Direction Départementale de l'Equipement (DDE ; regroupée au sein de la Direction Départementale des Territoires et de la Mer (DDTM) depuis janvier 2010) de l'Aube a opéré dans le même temps quatre opérations similaires, qu'elle a accompagné de travaux de recalibrage et de reprofilage du lit, dans le but de stabiliser le lit fluvial et de réduire les phénomènes de submersion des terres agricoles. Les opérations de chenalisation et de canalisation du SNS se sont accompagnées d'interventions directes sur les îles fluviales du domaine estuarien (du barrage de Poses à l'embouchure). Les plus importantes ont été supprimées tandis que d'autres ont été artificiellement rattachées à la berge, scindées à l'aide de digues et/ou arasées (totalement ou en partie), le but étant de modeler un chenal unique et uniforme (*e.g.*, boucle de Rouen). Les interventions anthropiques expliquent le rattachement d'îles à la rive concave (*e.g.*, à Rouen où l'île a été rattachée à la rive concave pour agrandir le port), rattachement qui ne peut s'expliquer par la morphodynamique fluviale car antithétique avec les processus naturels d'évolution des méandres. La contraction considérable des soixante derniers kilomètres du fleuve s'explique également par les aménagements anthropiques, la continentalisation de l'estuaire ayant été fortement accélérée par les endiguements réalisés dans ce secteur. Le Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval (2005) estime qu'en milieu non aménagé, il aurait fallu un laps de temps de l'ordre du millénaire pour atteindre l'état actuel de l'estuaire. Cette nouvelle configuration de l'estuaire empêche la formation du mascaret, qui a disparu dans les années 1960. A ces interventions directes de l'Homme sur le lit mineur se surimposent des effets indirects induits par les aménagements hydrauliques. En effet, les barrages sont susceptibles d'entraîner localement le remblaiement du lit mineur (par accumulation de la charge sédimentaire en amont) ou son incision (la force érosive étant importante lors des lâchures). La relation entre les barrages et l'incision du lit mineur a été mise en évidence localement sur la Seine, les principales ruptures de pente du chenal se trouvant en aval des barrages (illustration 8). Ces derniers sont aussi susceptibles d'avoir favorisé la disparition de certaines îles puisque par leur rôle de retenue, ils peuvent engendrer un déficit en sédiments du cours d'eau, accroissant *de facto* considérablement l'érosion latérale des îles en aval.

Illustration 8 - Corrélation entre le profil longitudinal de la Seine et les principaux barrages hydro-électriques et écrêteurs (A). Historique de l'aménagement de la Seine et principales conséquences morphologiques (B)



1 : barrage ; 2 : principales ruptures de pente.

Sources : Manéglier, 1992 ; Dzana, 2000 ; Service de Navigation de la Seine, 2007 ; Foussard *et al.*, 2010 ; Institution Interdépartementale des Barrages-Réservoirs du Bassin de la Seine.

Discussion

16 L'analyse diachronique réalisée à l'aide de cartes d'Etat-major et d'images satellites sur la période 1830-2009 montre que l'essentiel des modifications hydromorphologiques survenues sur l'ensemble du lit mineur de la Seine durant les deux derniers siècles relèvent d'interventions anthropiques, le facteur hydrologique et plus spécifiquement les crues ayant dû également jouer un rôle qu'il est cependant difficile de mettre en évidence avec les données à disposition. Nous étendons ainsi à l'ensemble du bassin-versant les conclusions émanant des travaux de recherche conduits sur la Seine aval (Foussard *et al.*, 2010). Les modifications hydromorphologiques peuvent être directes (recoupement de méandres, suppression ou regroupement d'îles, modification de la morphologie de l'estuaire) mais il convient aussi de prendre en considération les effets indirects des aménagements et notamment des barrages qui engendrent le remblaiement du chenal en amont et son incision en aval. J.-G. Dzana (2000) montre cependant que ces ajustements morphologiques induits sont « *limités et réversibles comparés à ceux que peuvent connaître les cours d'eau à forte énergie* ». La question de la réversibilité morphodynamique en milieu fluvial très anthropisé reste en fait bien complexe (Wasson *et al.*, 1995). Dans le Val de Seine, l'Homme a eu recours à des actions très lourdes à la fois sur le tracé du lit mineur (recoupement de méandres) et sur les

îles fluviales (suppression, rattachement à la berge...). Pour que la Seine retrouve son état initial (*i.e.*, un indice de sinuosité plus important ; un lit mineur plus large et moins profond, donc un rayon hydraulique plus faible ; des îles plus nombreuses), il faudrait, d'une part, que l'Homme cesse d'intervenir et, d'autre part, un pas de temps suffisamment long. L'effet des actions anthropiques directes entreprises sur la Seine pourrait donc être irréversible, en tout cas à courte échéance, sur bien des tronçons fluviaux étudiés. On rappellera ici les très faibles valeurs de puissance spécifique de la Seine, bien inférieures à la valeur pivot de 35 W/m^2 du diagramme d'A. Brookes (1987), signifiant que les possibilités d'ajustement morphologique sont très limitées et que toute intervention anthropique a donc un effet irréversible. Par comparaison avec l'impact des aménagements anthropiques, le rôle des crues morphogènes apparaît en revanche faible et cette tendance risque de s'accroître dans la mesure où l'Homme intervient de plus en plus sur la « mitigation » de l'ampleur des crues. L'intervention anthropique peut être directe avec les quatre lacs-réservoirs présents dans le bassin-versant de la Seine, qui permettent de stocker 805 Mm³ d'eau et ainsi d'écrêter efficacement les crues tant que ne se produit pas la succession d'événements « Gros abats d'eau sur le bassin » (1), « Refroidissement » (2), « Chute de neige » (3), « Sols gelés » (4), « Hausse brutale des températures accompagné d'averses de pluie » (5), « Pluie sur sols gelés » (6), « Gonflement de la Seine par la neige fondue » (7), de type : 1 + 2 + 4 + 6 (*e.g.* : décembre 2001 en région parisienne) ou 1 + 2 + 5 + 7 ou 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 (*e.g.* : crue 1910). Elle peut également être indirecte et favoriser alors les débits de pointe, la bétonisation des sols et l'endiguement liés à l'urbanisation ayant pour effet de canaliser l'écoulement des eaux. Il est difficile d'évaluer laquelle de ces actions contradictoires joue un rôle prépondérant en temps de crue mais il est certain que l'impact des crues est de nos jours influencé par les actions anthropiques.

Conclusion

17 La Seine a connu trois types de modifications hydromorphologiques majeures depuis les années 1830 : changements de tracé en amont de la confluence de l'Yonne, prenant notamment la forme de recoupements de méandre ; disparition de près de la moitié de ses îles fluviales, essentiellement sur la Seine aval et estuarienne ; contraction de son lit mineur dans la zone estuarienne (illustration 8B). L'étude approfondie de chaque cas met en lumière le rôle prépondérant du facteur anthropique dans ces changements. Dans une logique de chenalisation et de canalisation, les méandres ont été artificiellement recoupés et le lit mineur a été recalibré dans la zone estuarienne ; le reprofilage de la section en travers du lit mineur s'est accompagné de l'implantation de digues mais surtout du remaniement artificiel des îles fluviales (suppression, regroupement ou rattachement à la berge). Les crues peuvent également avoir eu des effets morphogènes sur le lit du fleuve. Toutefois, leur rôle n'a pas pu être clairement identifié, l'étude ne prenant en compte que deux dates et n'encadrant aucune crue. Malgré tout, les résultats tendent à montrer qu'elles ont tenu un rôle secondaire dans les modifications hydromorphologiques mises en évidence, contrairement à ce qui a pu prévaloir avant les Temps Modernes, où la variable climatique apparaissait comme le principal facteur de contrôle de la dynamique fluviale et des formes associées, tel que cela a pu être démontré sur le site du Quai Branly à Paris (Chaussé *et al.*, 2008).

Bibliographie

Alaoui K., 2000. *Les modifications hydro-morphodynamiques dans la plaine alluviale aval de l'Yerres sous l'influence de l'anthropisation*. Mémoire de DEA, Université Paris-Diderot (Paris 7), 115 p.

Albinet M., 1967. *Carte hydrogéologique du Bassin de Paris*. Bureau des Recherches Géologiques et Minières, Paris.

Arnaud-Fassetta G., Fort M., 2004. La part respective des facteurs hydro-climatiques et anthropiques dans l'évolution récente (1956-2000) de la bande active du Haut-Guil, Queyras, Alpes françaises du Sud. *Méditerranée*, 1-2, p. 143-156.

Belgrand E., Lemoine G., 1868. Etude sur le régime des eaux du bassin de la Seine pendant les crues du mois de septembre 1866. *Annales des Ponts et Chaussées*, 1e série, 2e semestre, Dunod, p. 235-312.

Billen G., Garnier J., Mouchel J.-M., Silvestre M., 2007. The Seine system: Introduction to a multidisciplinary approach of the functioning of a regional river system. *Science of the Total Environment*, 375, p. 1-12.

Billen G., Silvestre M., Barles S., Mouchel J.-M., Garnier J., Curie F., Boet P., 2009. *Le bassin de la Seine. Découvrir les fonctions et les services rendus par le système Seine*. Fascicule 1 du PIREN-Seine, Agence de l'Eau Seine-Normandie, 52 p., http://www.sisyphe.upmc.fr/piren/fascicules.

Bravard J.-P., 1994. L'incision des lits fluviaux : du phénomène morphodynamique naturel et réversible aux impacts irréversibles. *Revue de géographie de Lyon*, 69, 1, p. 5-10.

Bravard J.-P., Peiry J.-L., 1993. La disparition du tressage fluvial dans les Alpes françaises sous l'effet de l'aménagement des cours d'eau (XIX-XXe siècles). *Zeitschrift Geomorph*, Suppl. Bd, 88, p. 67-79.

Brookes A., 1987. River channel adjustments downstream from channelization works in England and Wales. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12, p. 337-351.

Brousse G., Arnaud-Fassetta G., Cordier S., 2011. Evolution hydrogéomorphologique de la bande active de l'Ubaye (Alpes françaises du Sud) de 1956 à 2004 : contribution à la gestion des crues. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, sous presse.

Champion M., 1858. Les inondations en France depuis le VIe siècle jusqu'à nos jours. Victor Dalmont, Paris, 524 p.

Chaussé C., Leroyer C., Girardclos O., Allenet G., Pion P., Raymond P., 2008. Holocene history of the River Seine, Paris, France: bio-chronostratigraphic and geomorphological evidence from the Quai-Branly. *The Holocene*, 18, 6, p. 967-980.

Corbonnois J. (Ed.), 2006. *Spatialisation et cartographie en hydrologie*. Actes du colloque de Metz, 8-10 septembre 2004. Mosella, XXIX, 3-4, 397 p.

Ducharne A, Baubion C., Beaudoin N., Benoit M., Billen G., Brisson N., Garnier J., Kieken H., Lebonvallet S., Ledoux E., Mary B., Mignolet C., Poux X., Sauboua E., Schott C., Thery S., Viennot P., 2007. Long term prospective of the Seine River system: Confronting climatic and direct anthropogenic changes. *Science of The Total Environment*, 375, p. 292-311.

Dzana J.-G., 1997. *Le lit de la seine de Bar à Montereau. Étude morphodynamique, rôle des aménagements*. Thèse de doctorat en géographie, université Panthéon-Sorbonne (Paris 1), 411 p.

Dzana J.-G., 2000. Réponses morphodynamiques d'un hydrosystème à faible énergie aux aménagements hydrauliques : l'exemple de la Seine supérieure. *Géomorphologie : relief, processus, environnement,* 3, p. 161-176.

Foussard V., 2009. Evolution hydro-géo-morphologique de l'estuaire de la Seine, au regard des usages passés et présents. Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval, rapport de synthèse, 62 p.

Foussard V., Curvilliez P., Fajon P., Fisson C., Lesueur P., Macur O., 2010. *Evolution morphologique d'un estuaire anthropisé de 1800 à nos jours*. Fascicule 2.3 Seine-Aval, 48 p.

Frouin M., Durand A., Sebag D., Huault M.-F., Ogier S., Laignel B., 2009. Holocene evolution of a wetland in the Lower Seine Valley (Marais Vernier, France). *The Holocene*, 19, 5, p. 717-727.

Frouin M., Sebag D., Durant A., Laignel B., 2010. Palaeoenvironmental evolution of the Seine River estuary during the Holocene. *Quaternaire*, 21, 1, p. 71-83.

Gautier E., 1994. Interférence des facteurs anthropiques et naturels dans le processus d'incision sur une rivière alpine : l'exemple du Buëch (Alpes du Sud). *Revue de Géographie de Lyon*, 1, p. 57-62.

Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval, 2005. *Evolution morphologique de l'estuaire de la Seine*, http://seine-aval.crihan.fr/.

Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval, 2008. Contextes climatique, morphologique & hydro-sédimentaire : dynamique des matériaux fins dans l'estuaire de la Seine, Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval, Rouen, 6 p.

Guillerme A., 1990. Le testament de la Seine. *Revue de Géographie de Lyon*, 65, 4, p. 240-250.

Laganier R., Arnaud-Fassetta G. (Eds.), 2009. Les géographies de l'eau. Processus, dynamique et gestion de l'hydrosystème. L'Harmattan, Paris, 302 p.

Lescure S., 2010. Part respective des facteurs hydroclimatiques et anthropiques dans les modifications hydrogéomorphologiques de la Seine survenues depuis les années 1830. Mémoire de Master 1, université Paris-Est Créteil Val-de-Marne (Paris 12), 82 p.

Liébault F., Piégay H., 2002. Causes of 20th century channel narrowing in mountain and piedmont rivers of southeastern France. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27, p. 425-444.

Maillet E., Nouailhac-Pioch F., 1910. La crue extraordinaire de la Seine en janvier 1910. *Annales de Géographie*, 19, 104, p. 113-119.

Manéglier H., 1992. Une grande ville et un bassin : Paris et la Seine. *Revue de géographie de Lyon*, 67, 4, p. 299-303.

Meybeck M., De Marsily G., Fustec E. (Eds.), 1998. La Seine en son bassin. Fonctionnement écologique d'un système fluvial anthropisé. Elsevier, Paris, 752 p.

Pastre J.-F., Leroyer C., Limondin-Lozouet N., Fontugne M., Hatté C., Krier V., Kunesch S., Saad M.-C., 2002a. L'Holocène du Bassin parisien : variations environnementales et réponses géologiques des fonds de vallées. *In* Richard H., Vignot A. (Eds), *Equilibres et ruptures dans les écosystèmes depuis 20 000 ans en Europe de l'Ouest*. Actes du colloque international de Besançon, 18-22 septembre 2000. Presses universitaires de Franche-Comté, Besançon, p. 61-74.

Pastre J.-F., Leroyer C., Limondin-Lozouet N., Orth P., Chaussé C., Fontugne M., Gauthier A., Kunesh S., Le Jeune Y., Saad M.-C., 2002b. Variations paléoenvironnementales et paléohydrologiques durant les 15 derniers millénaires : les réponses morphosédimentaires des vallées du Bassin Parisien (France). *In* Bravard J.-P., Magny M. (Eds.), *Les fleuves ont une histoire, paléoenvironnement des rivières et des lacs français depuis 15 000 ans*. Editions Errance, Paris, p. 29-44.

Schumm S.A., 1977. *The Fluvial System*. John Wiley and Sons, New York, 338 p.

Sechi S., Sebag D., Laignel B., Lepert T., Frouin M., Durand A., 2010. The last millennia history of detrital sedimentation in the Lower Seine Valley (Normandy, NW France): review. *Terra Nova*, 22, 6, p. 434-441.

Service de Navigation de la Seine, 2007. *Carte des ouvrages de navigation du SNS*, http://www.sn-seine.equipement.gouv.fr/.

Verger F., 2009. Marais et estuaire de la Seine. *In* Verger F. (Ed.), *Zones humides du littoral français*. Belin, Paris, p. 152-161.

Viennot P., Ducharne A., Habets F., Lamy F., Ledoux E., 2009. *Hydrogéologie du bassin de la Seine. Comprendre et anticiper le fonctionnement hydrodynamique du bassin pour une gestion durable de la ressource.* Fascicule 2 du PIREN-Seine, Agence de l'Eau Seine-Normandie, 56 p. (accessible via http://www.sisyphe.upmc.fr/piren/fascicules).

Wasson J.-G., Malavoi J.-R., Maridet L., Souchon Y., Paulin L., 1995. *Impacts écologiques de la chenalisation des rivières*. Rapport final, commande 30/93, CEMAGREF, 152 p. (publié en 1998 in *Etudes du CEMAGREF, Gestion des Milieux aquatiques* 14).

Pour citer cet article

Référence électronique
Séverine Lescure, Gilles Arnaud-Fassetta et Stéphane Cordier, « Sur quelques modifications hydromorphologiques dans le Val de Seine (Bassin parisien, France) depuis 1830 : quelle part accorder aux facteurs hydrologiques et anthropiques ? », *EchoGéo* [En ligne], numéro 18 | 2011, mis en ligne le 05 décembre 2011. URL : http://echogeo.revues.org/12658

À propos des auteurs

Séverine Lescure
Séverine Lescure est doctorante à l'Université Panthéon-Sorbonne (Paris1), membre du laboratoire de Géographie Physique (UMR 8591 du CNRS, Meudon). slescure@wanadoo.fr
Gilles Arnaud-Fassetta
Gilles Arnaud-Fassetta est Professeur à l'Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne (Paris 12), membre du Laboratoire de Géographie Physique (UMR 8591 du CNRS, Meudon) gilles.arnaud-fassetta@u-pec.fr. Il a publié récemment :
- Menad W., Douvinet J., Arnaud-Fassetta G., 2011. Le risque d'inondation dans la vallée de l'oued Koriche (Massif de Bouzaréah, Alger ouest) : analyse systémique de l'aléa et facteurs de vulnérabilité. Actes du colloque international « Risques naturels en Méditerranée occidentale », 16-21 novembre 2009, Carcassonne, France, sous presse.
- Arnaud-Fassetta G., Fort M., 2011. Dix ans de recherches hydrogéomorphologiques dans le département de l'Aude et une question : comment parvenir à réduire le risque de crue en domaine

méditerranéen ? Actes du colloque international « Risques naturels en Méditerranée occidentale », 16-21 novembre 2009, Carcassonne, France, sous presse.
- Arnaud-Fassetta G., Astrade L., Bardou E., Corbonnois J., Delahaye D., Fort M., Gautier E., Jacob N., Peiry J.-L., Piégay H., Penven M.-J., 2009. Fluvial geomorphology and flood-risk management. *Géomorphologie:relief, processus, environnement*, 2, 109-128.

Stéphane Cordier
Stéphane Cordier est Maître de conférences à l'Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne (Paris 12), membre du Laboratoire de Géographie Physique (UMR 8591 du CNRS, Meudon) stephane.cordier2@wanadoo.fr. Il a publié récemment :
- Brousse G., Arnaud-Fassetta G., Cordier S., 2011. Evolution hydrogéomorphologique de la bande active de l'Ubaye (Alpes françaises du Sud) de 1956 à 2004 : contribution à la gestion des crues. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 3, 307-318.
- Vandenberghe J., Cordier S., Bridgland D.R., 2010. Extrinsic andintrinsic forcing on fluvial development: understanding natural andanthropogenic influences. Proceedings of the Geologists' Association, 121, 2, 107-112.

Droits d'auteur

© Tous droits réservés

Résumé / Abstract

Le présent article porte sur quelques modifications hydromorphologiques ayant affecté la Seine depuis sa source jusqu'à son embouchure (soit sur une longueur de 779 km) durant les deux derniers siècles. L'objectif de l'étude est de recenser ces modifications et d'évaluer le rôle des principaux facteurs de contrôle intervenant à ce pas de temps, à savoir la variabilité hydrologique et son influence sur la dynamique fluviale (crues morphogènes) et les aménagements anthropiques. L'analyse s'appuie sur une comparaison entre les cartes d'Etat-major dressées durant les années 1830 et les images satellites récentes (2009). Les variables, quantifiées tous les 1000 m, concernent une variable qualitative (le tracé du fleuve) et deux variables quantitatives (la largeur du lit mineur et le nombre d'îles fluviales). Les résultats montrent que le tracé est resté relativement stable sur la période considérée, à l'exception du recoupement de quelques méandres libres de la plaine alluviale. Cependant, le lit mineur a eu tendance à se contracter, principalement dans la zone estuarienne, alors que le nombre d'îles a été divisé par deux dans l'ensemble de la vallée. Cette évolution s'explique principalement par les actions anthropiques (opérations de canalisation et de chenalisation réalisées pour les besoins de la navigation). Les crues n'ont fait qu'amplifier les mécanismes autocycliques de base (érosion en rive concave, sédimentation en rive convexe).
Mots clés : variabilité hydrologique, Seine, lit mineur, hydrogéomorphologie fluviale, Bassin parisien, anthropisation

The present paper deals with the hydromorphological modifications which occurred along the whole Seine valley (a 779 km long river located in Northern France) during the past two centuries. The aim is to identify these changes and to assess the role of the main controlling factors, which are the hydrological variability (and its influence on fluvial dynamics through morphogenous floods) and the human forcing (river management). The work is based on a comparison between 1830s Ordnance Survey maps and recent satellite images (2009). One qualitative (fluvial pattern) and two quantitative variables (channel width at low flow and number of fluvial islands) were estimated every 1000 m. Results show that the river course remained relatively stable over the studied period, except for the cut-off of some slightly-entrenched meanders in the alluvial plain. In the same time, the low-water channel characterised by a contraction, especially in the estuarine area. Similarly, the number of islands decreased by 50% in the whole Seine valley. The latter change mainly results from human amenities (*e.g.*, canalisation and channelisation works performed for navigation purposes).

Floods only contributed to increase the impact of some basic auto cyclic processes (erosion of concave banks, deposition on convex banks).

Keywords : Seine River, Paris Basin, low-water channel, hydrological variability, human impact, fluvial hydrogeomorphology

Licence portant sur le document : © Tous droits réservés