

Dynamique des cours d'eau de faible énergie : exemple de l'Huisne

Jeannine Corbonnois, PRES LUNAM, Université du Maine, UMR ESO CNRS 6590, 72085 Le Mans Cedex 9.

Email : jeannine.corbonnois@univ-lemans.fr

Anne-Julia Rollet, UMR LETG/Geophen CNRS, Caen, Place de l'Esplanade de la Pais 14000 Caen.

Email : anne-julia.rollet@unicaen.fr

Cette recherche est financée l'AELB et le Conseil Régional des Pays de la Loire pour le SAGE de l'Huisne.

L'objectif principal des travaux de recherche est :

-d'analyser le fonctionnement d'un cours d'eau de taille moyenne ($BV < 3000 \text{ km}^2$), inscrit dans une région de plaine et de plateau

-d'envisager les modalités de l'ajustement du lit fluvial à l'arasement des nombreux barrages/seuils qui fractionnent le lit en biefs successifs

En général, les morphologies et dynamiques fluviales des cours d'eau de ce type, de faible énergie, sont peu étudiées (faible mobilité, exploitation aisée de leurs ressources, eau, sédiments, énergie). Ils sont par ailleurs fortement aménagés ce qui contribue à fixer leur tracé. Mais ils sont directement concernés par la DCE et le rétablissement des continuités écologiques et sédimentaires.

Photo 14 : Encoches d'érosion en amont de Connéréé (2010)



Photo 32 : Barrage de Villaines la Gonais.



Les travaux ont été conduits sur l'Huisne qui sert d'exemple pour appréhender ces hydrosystèmes.

Des observations de terrain, des mesures topographiques et des calculs hydrauliques permettent de montrer quelles sont les commandes essentielles de la morphogénèse fluviale et quelles seraient les nouvelles configurations liées à l'arasement des seuils et barrages



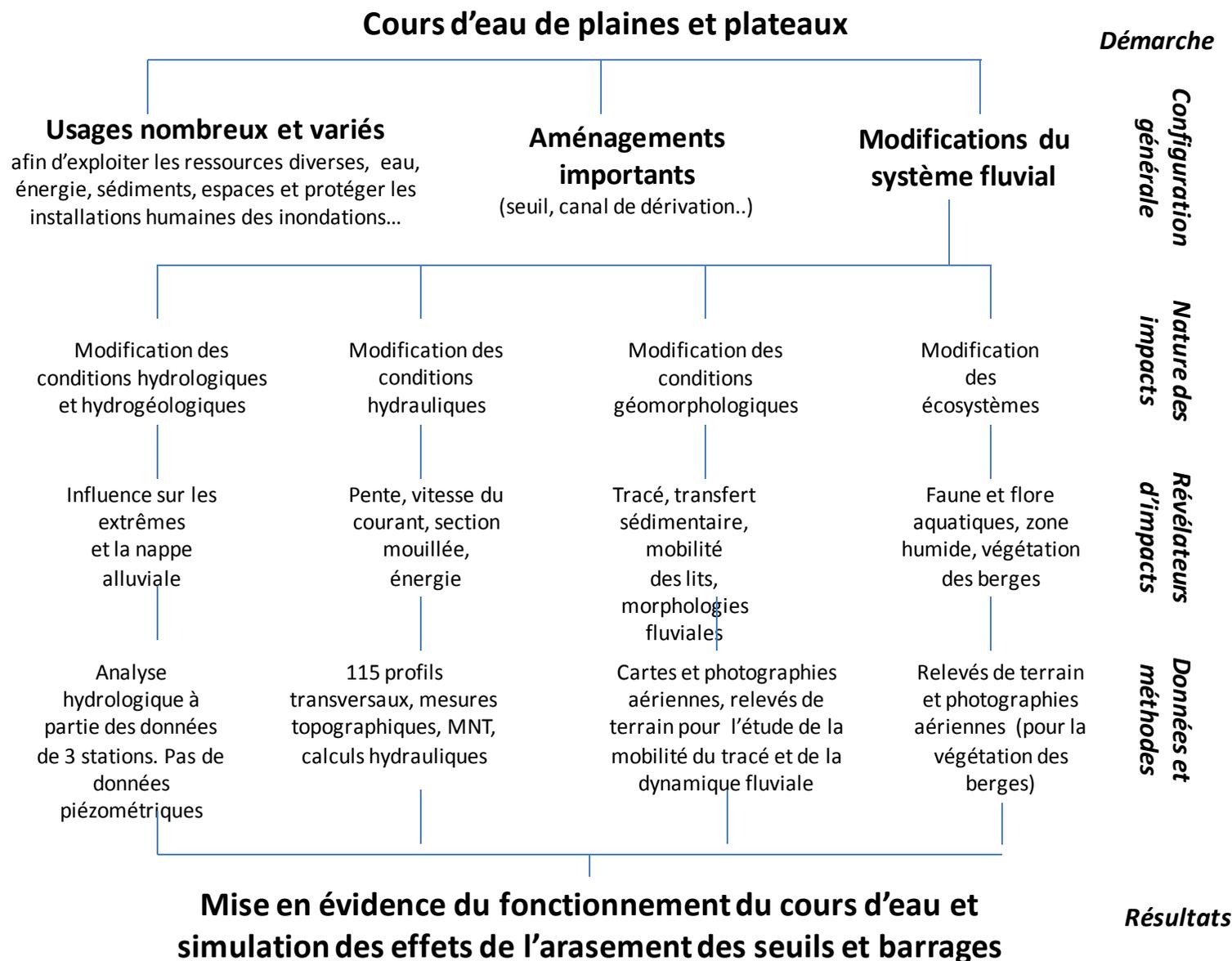
Plan de la présentation :

1. Données de cadrage
 2. Détermination des caractéristiques morphométriques du lit fluvial
 3. Détermination des formes fluviales et de leur mobilité
 4. Exploitation de profils transversaux et calcul de l'énergie du cours d'eau
 5. Discussion : les commandes de la morphogénèse
- Conclusion



1. Données de cadrage :

1.1.Méthodes et données pour étudier l'Huisne



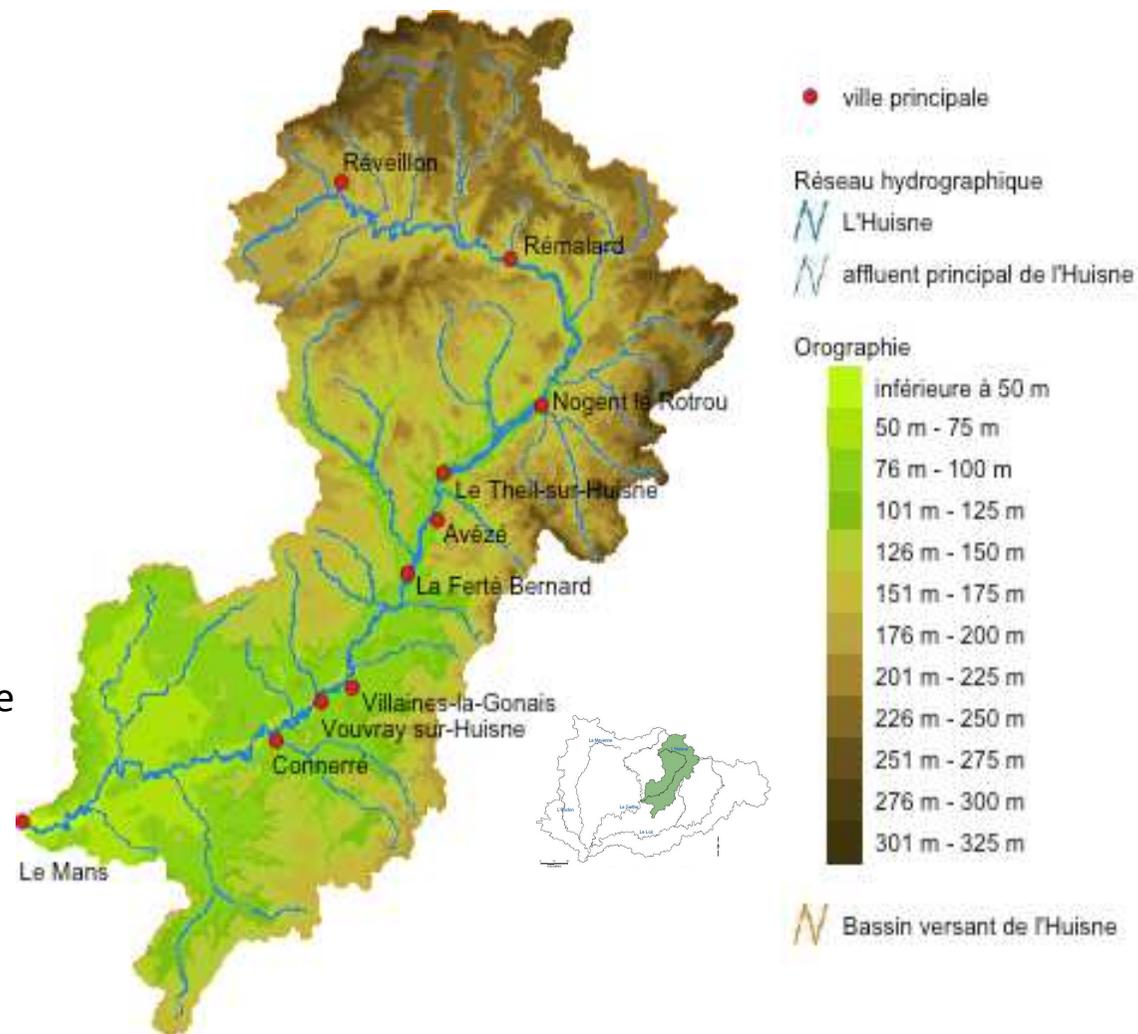
1.2. Caractéristiques générales de l'Huisne et de son bassin versant

L'Huisne, longue de 165 km, draine un bassin versant d'une superficie de 2400 km². Le module est de 13 m³/s.

La vallée est peu profonde (jusqu'à 80m) et le fond est large l'ordre de 1000m. Elle présente des formes peu variées en raison de son inscription dans des sédiments de résistance similaire à l'érosion. (grès, sables, craies). Des variantes sont dues à la présence de failles et de restes de matériaux du Turonien et de l'Eocène qui arment des collines et s'opposent en certains endroits, à l'élargissement des vallées.

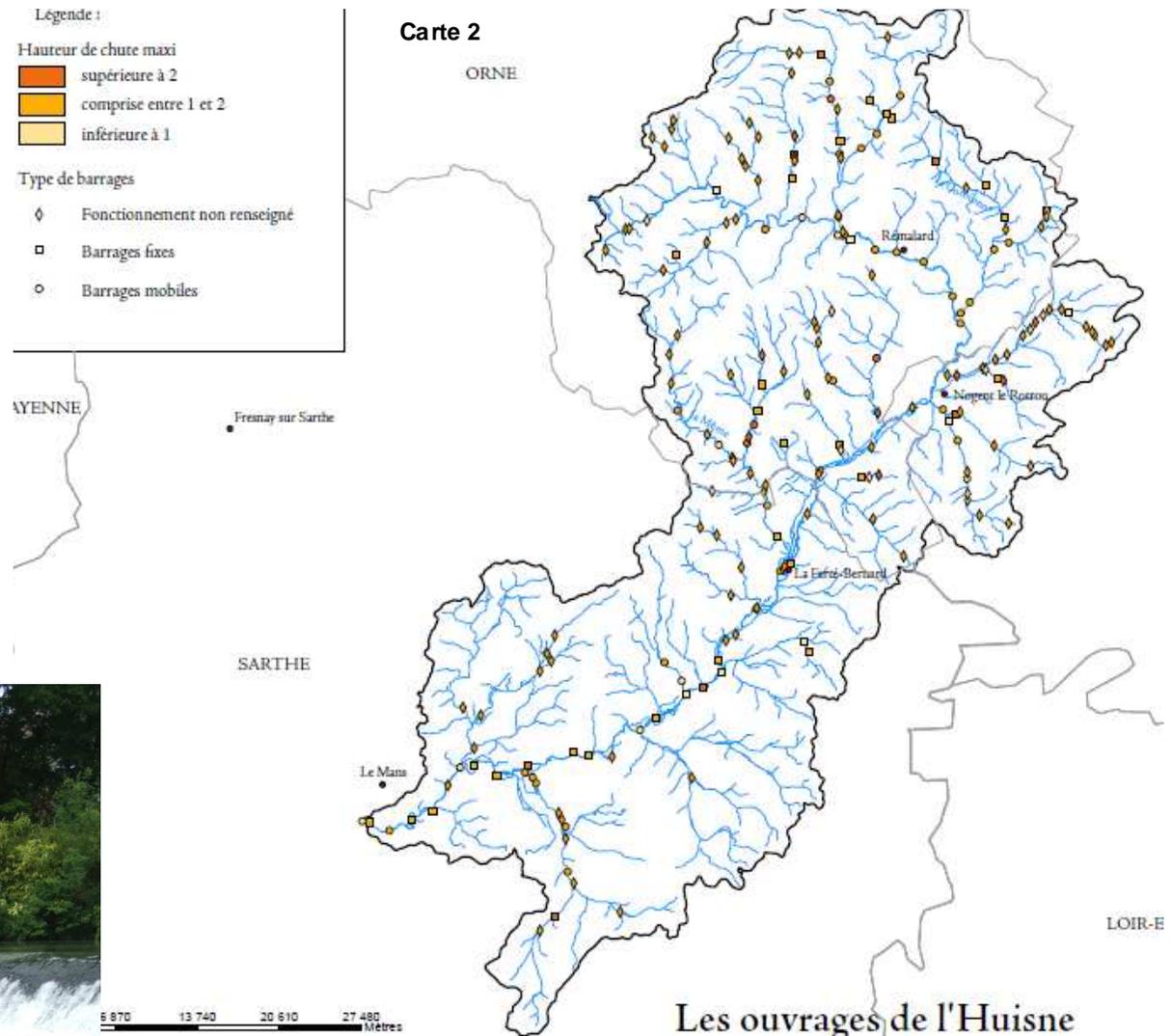
Les débits de l'Huisne en l/s

Station	A km ²	Module	Qmoy août	Qmoy janvier	QMNA 1/5	Qj crue F 1/10
1. Réveillon	78,3	547	272	973	230	9200
2. Nogent le R	827	6200	3820	9620	3000	61000
3. Montfort en G.	1890	12900	6620	22600	4900	110000



1.3. Les aménagements du lit du cours d'eau comprennent :

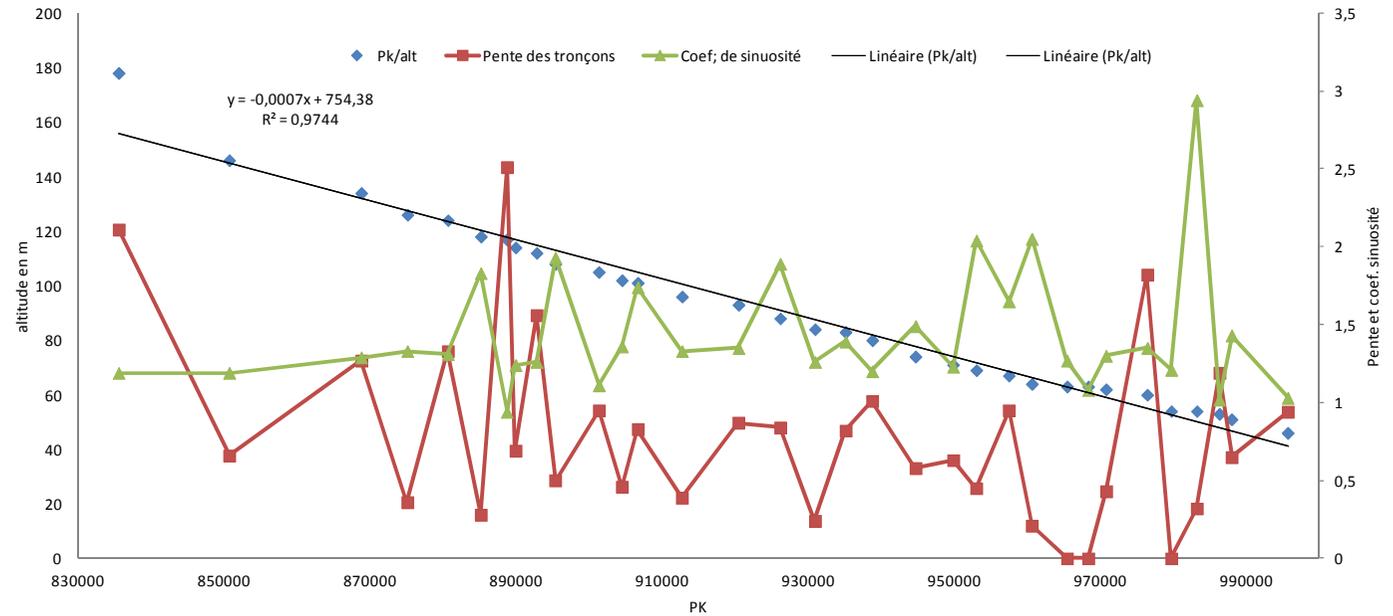
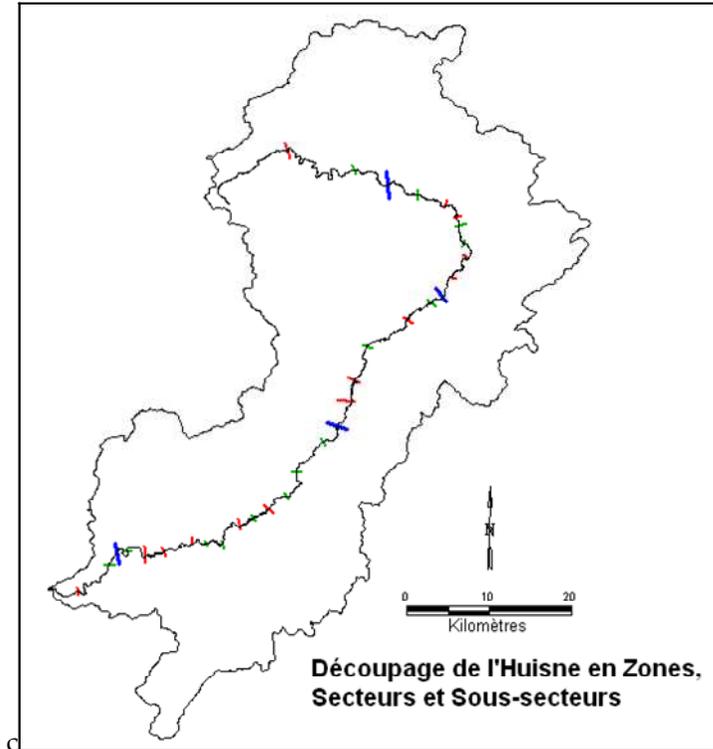
- les ouvrages hydrauliques (42 ouvrages, 1 tous les 3 km, hauteur généralement inférieure à 2m)
- et des réalisations diverses (protection contre les inondations, drainage agricole, abreuvoirs, entretien de la végétation des rives...).



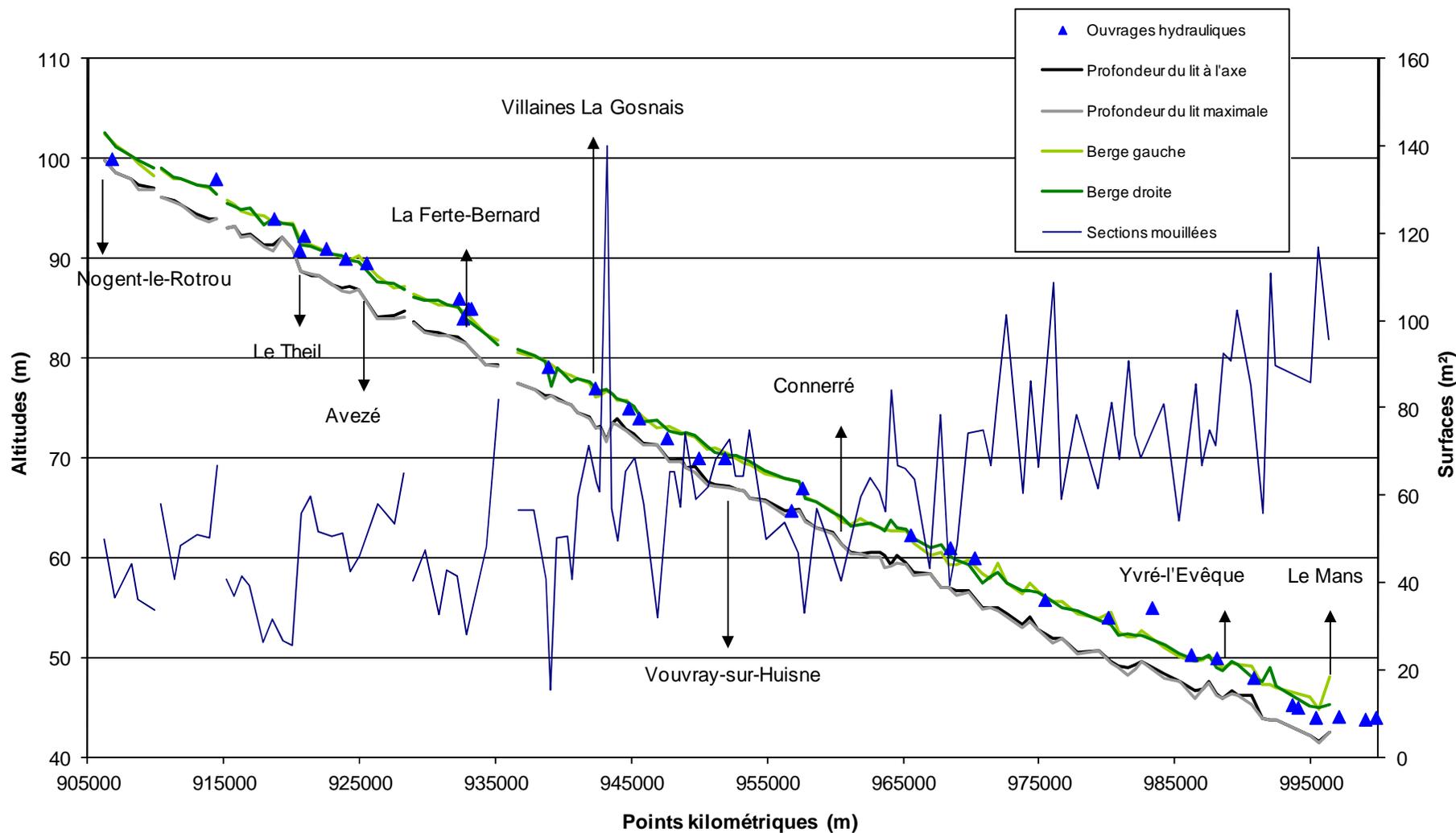
2. Détermination des caractéristiques morphométriques du lit fluvial

2.1. Découpage en entités homogènes (largeur, pente, sinuosité d'après les cartes topographiques au 1/25000è)

- Légende :
- Limite de zone
 - Limite de secteur
 - Limite de sous-secteur

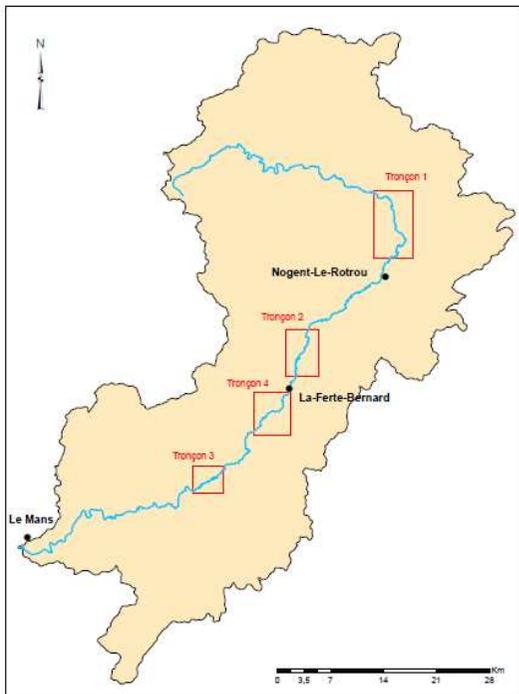


2.2. Utilisation de profils transversaux mesurés tous les 500 à 700m de longueur de vallée



3. Détermination des formes fluviales et de leur mobilité en des tronçons représentatifs

Tronçon	Long. de rivière en km	Pente moy /1000	Coefficient de sinuosité	Largeur du fond de vallée en m	Largeur du lit mineur en m	Nombre de barrages
1. Du moulin de Dorceau à la retenue de Margon	14	0.8	1.4	400-750	5-10	4
2. De l'aval du Theil à l'amont de la Ferté Bernard	7	1,1	1,2	1000-1500	8-15	1
3. De Vouvray sur Huisne à Connérré	8.3	0.66	1.6	1500-2000	20-30	2
4. De l'aval de la Ferté Bernard à Villaine la Gonais	4.5	0.78	1.4	1000-1200	22-24	1

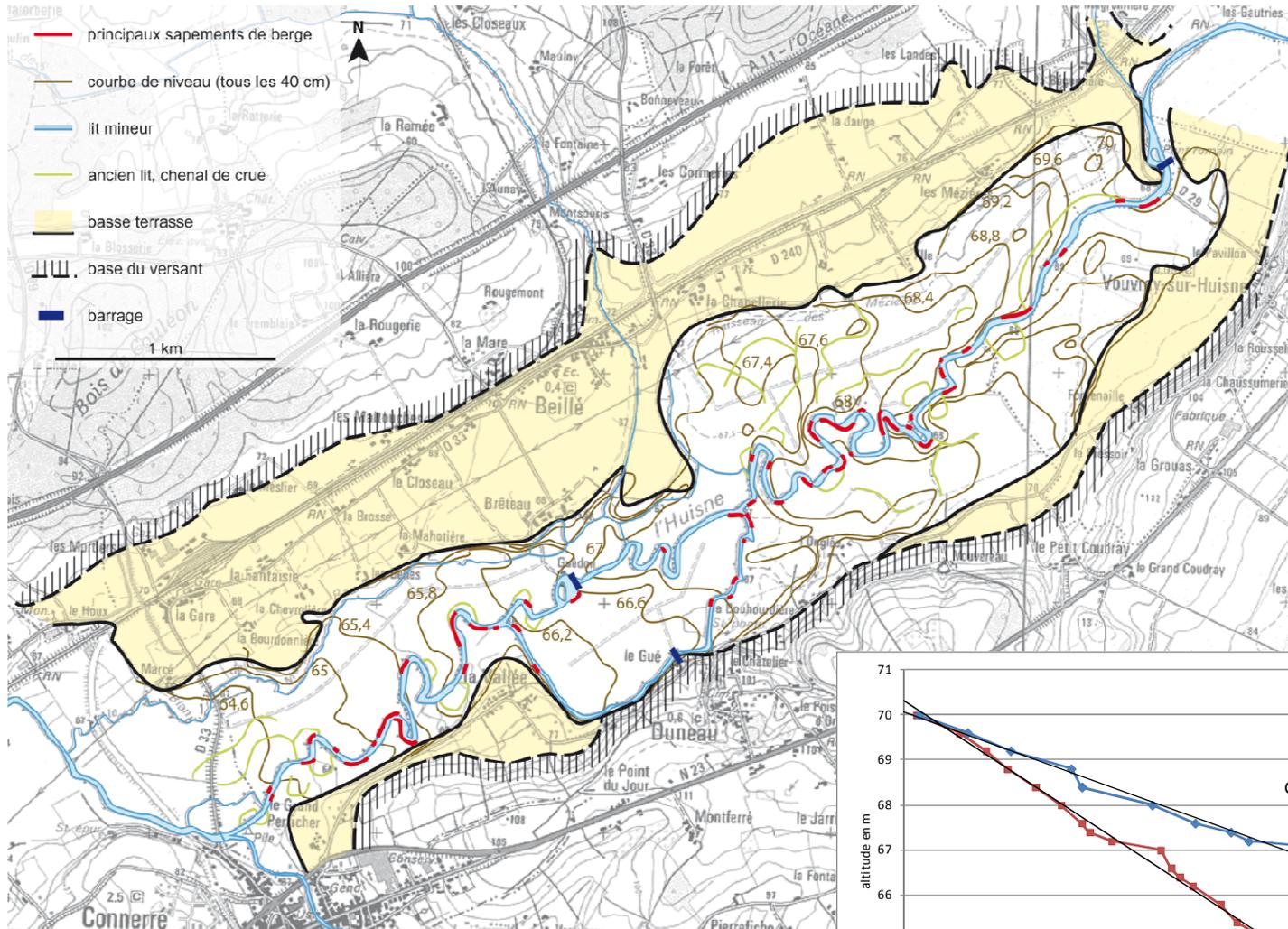


Pour chaque tronçon, l'approche comprend :

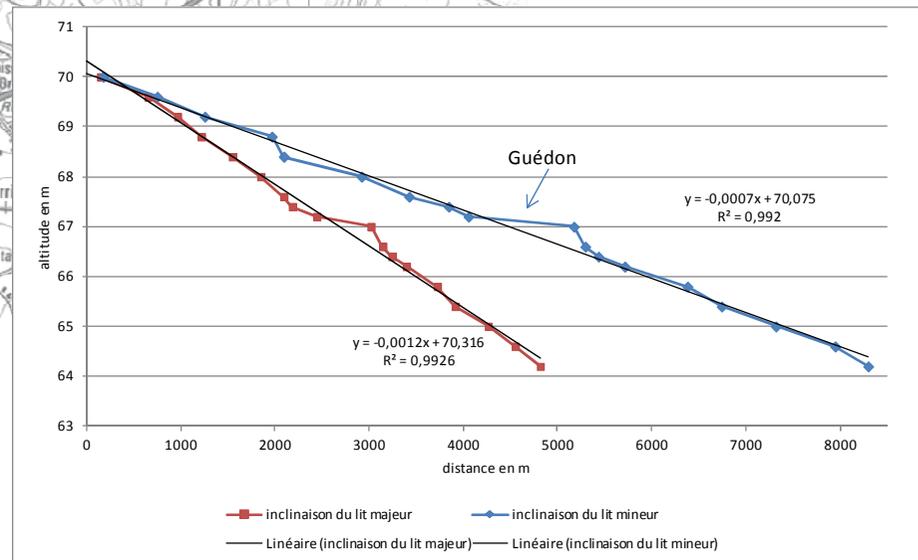
- une présentation des caractéristiques de la vallée de l'Huisne (cartes topographiques, MNT, interprétation de photos aériennes)
- une cartographie des mobilités latérales du lit mineur depuis le milieu du 20ème (photographies IGN de 1949, 1996 et 2006).
- une cartographie des morphologies fluviales du lit mineur fondée sur des relevés de terrain effectués en mars 2011



- Le fond de vallée : exemple du tronçon 3, Vouvray sur Huisne - Connerré



Le lit majeur comprend des micro-reliefs exploités pour les installations anthropiques mais peu pris en compte par le lit mineur (héritages, influences anthropiques ?)

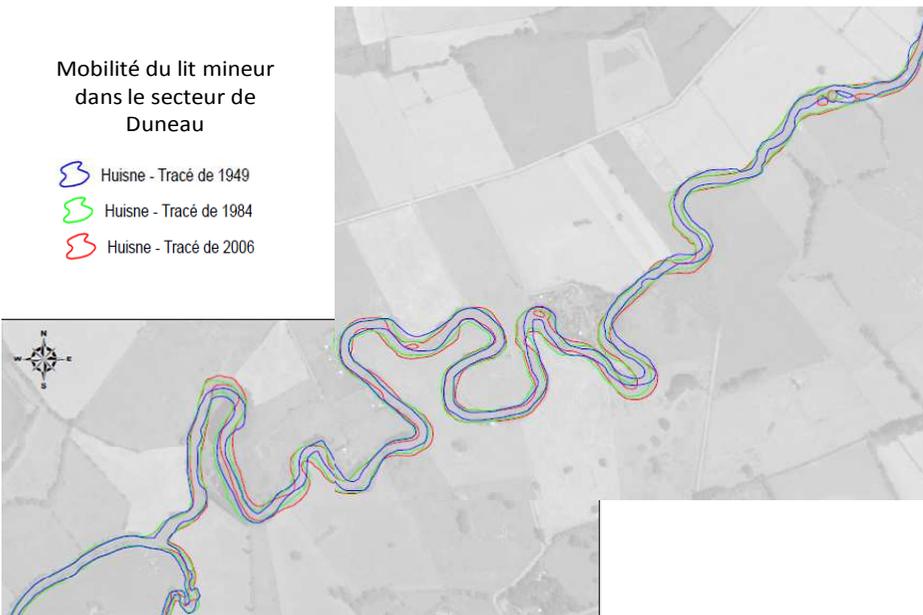


-le tracé est sinueux
(coefficient de 1.3 à 1.6)
et présente une faible mobilité

Exemple du secteur de Duneau situé dans
le 1/3 aval du cours d'eau

Mobilité du lit mineur
dans le secteur de
Duneau

- Huisne - Tracé de 1949
- Huisne - Tracé de 1984
- Huisne - Tracé de 2006



Cadastre Napoléonien (1831), Duneau



Carte d'Etat major (seconde moitié du 19^{ème} siècle), Duneau



Vers Connerré



L'Huisne en amont de la diffluence de Guédon



Aval d'Avézé



L'Huisne en aval du barrage d'Avézé



Ces approches à différentes échelles ont permis de déterminer les facteurs de la morphogénèse de l'Huisne :

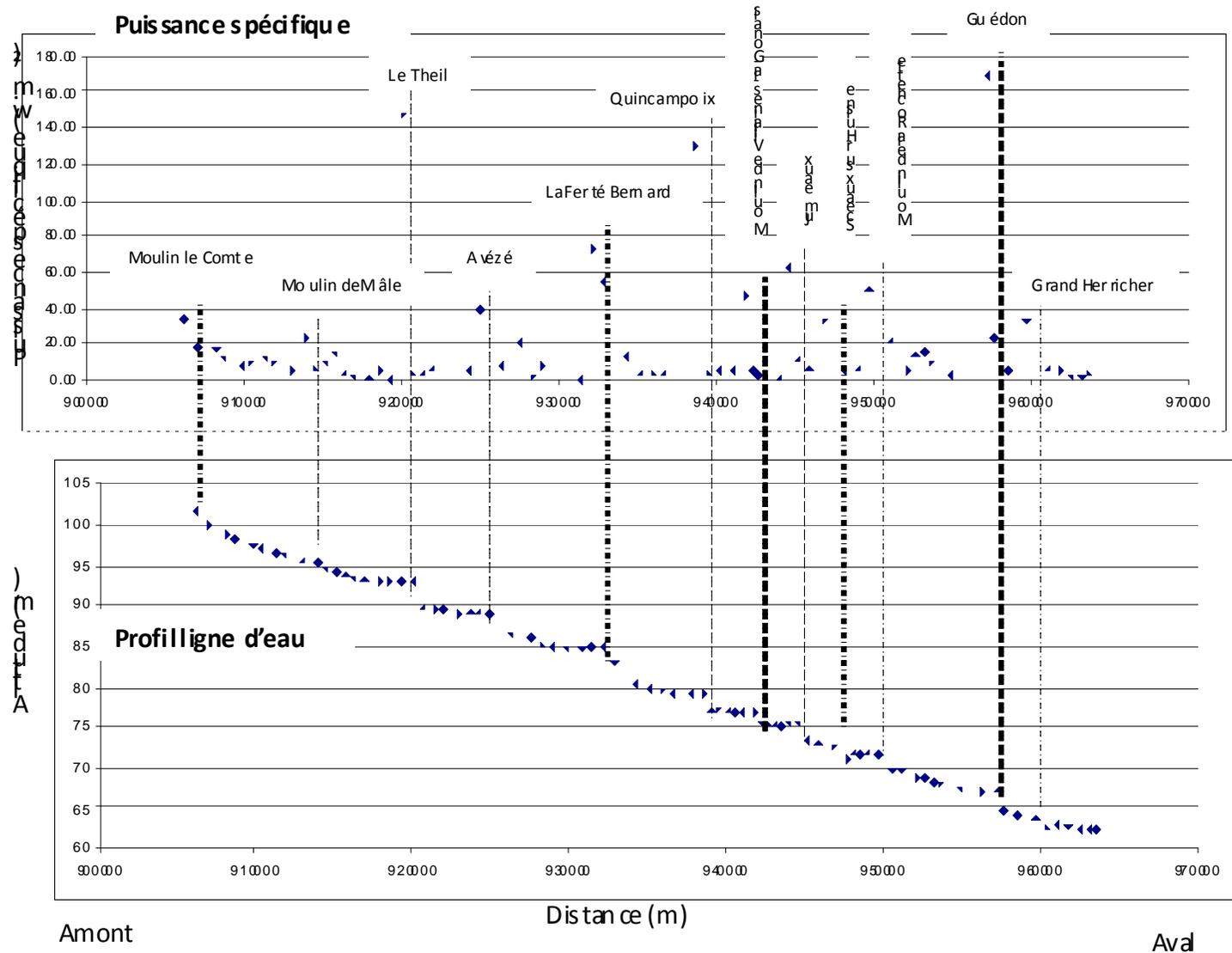
<i>Facteurs</i>		<i>Caractéristiques</i>	<i>Influence sur l'érosion fluviale</i>
Facteurs morphométriques	<i>Pente du lit mineur</i>	Supérieure à 0,07%	Erosion fluviale notoire
		Proche de 0.07% (0,06% à 0.08%)	Situation intergrade, selon la combinaison des autres facteurs de l'érosion
		Inférieures à 0,07%	Erosion fluviale très faible
	<i>Hauteur de berge</i>	Supérieure à 1.5m	Peu favorable (matériaux abondants livrés lors du recul, mal évacués par le cours d'eau de faible énergie)
		Entre 0,8 et 1.5 m	Plus favorable (meilleure adéquation entre fourniture de sédiments et évacuation par le cours d'eau)
		inférieure à 0.8	Plutôt défavorable en lien avec le débordement précoce du lit
Facteur biologique	<i>Végétation des berges</i>	Selon la composition, et les saisons	Bonne protection par la végétation ligneuse dense et structurée, aggravation de l'érosion par les souches d'arbres isolés (désorganisation des lignes de courant), faible protection par la végétation annuelle
Facteur sédimentologique	<i>Granulométrie des matériaux des berges</i>	Peu de variations dans la composition limono-sableuse des berges, rares niveaux graveleux vers Connerré	Faible contribution à la différenciation de l'érosion des berges. Mais possibilité de mise à nu de niveaux graveleux dans le lit par l'ablation des matériaux fins survenant à l'ouverture ou l'arasement de barrage (formation de « pavages »)
Facteur hydrologique	<i>Fréquence des crues morphogènes</i>	Peu d'événements extrêmes depuis 2005 (Station de Nogent le R.)	Erosion fluviale récente réduite, favorable au développement de la végétation sur les berges.
Facteurs anthropiques	<i>Seuil, barrages</i>	Zone d'influence allongée en lien avec la pente faible et la hauteur des obstacles	Détermination de situations extrêmes ; avec l'assouplissement ou à l'accélération de l'érosion. Les espaces concernés dépendent des pentes, longitudinales et transversales des lits (inclinaison des berges, pente du fond du lit...)
	<i>Entretiens inadaptés, abreuvoirs</i>	Dénudation des berges et formations d'encoches d'érosion qui initient les sapements	

3. Les commandes de la morphogénèse (à partir du secteur situé en aval de Nogent Le Rotrou) :

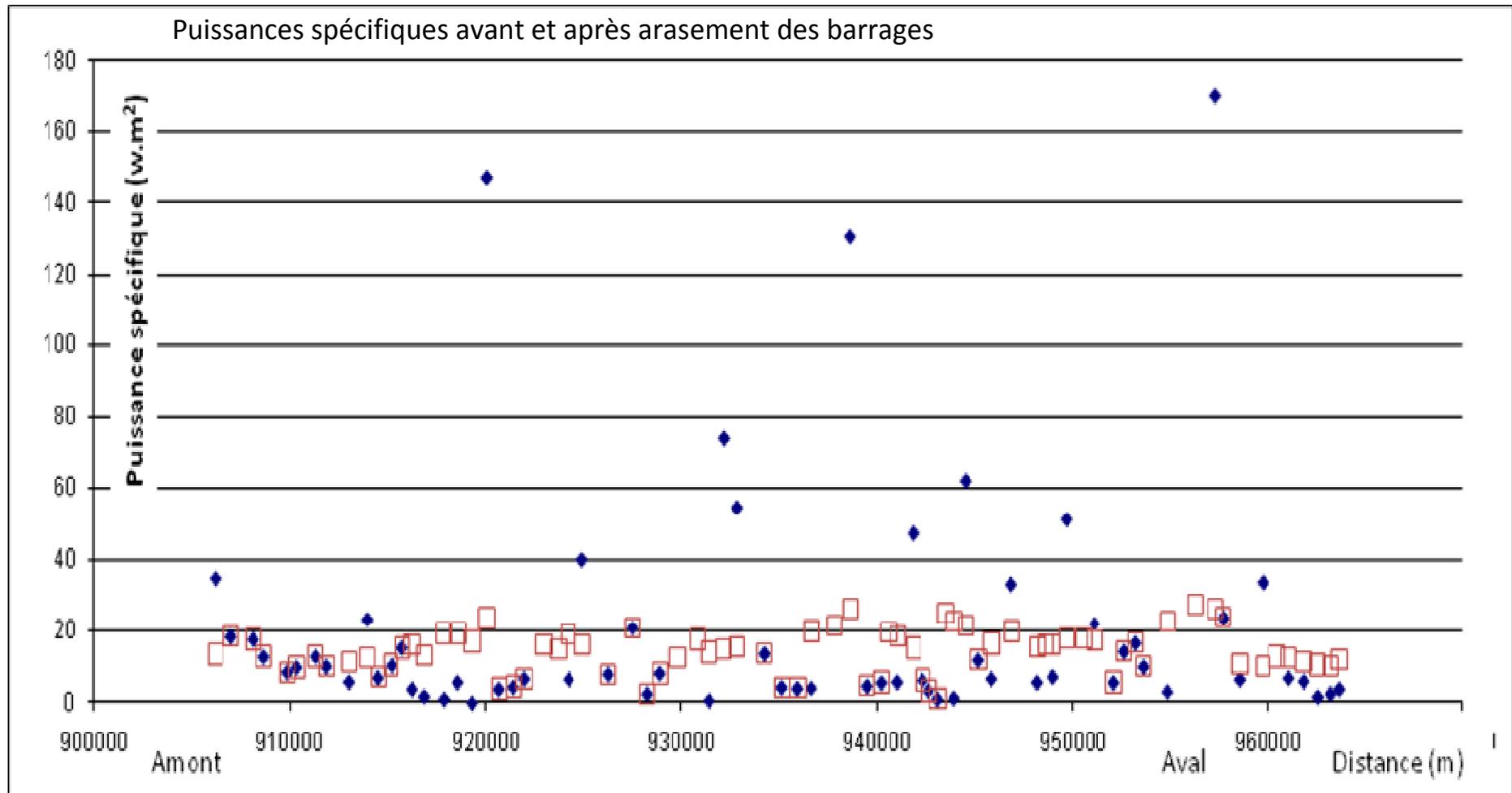
-- une pente faible et une énergie peu importante identifiée par des puissances spécifiques généralement inférieures à 20 W/m^2 (utilisation d'un débit morphogène correspondant au Q F.1,5).

Les irrégularités mises en évidence correspondent aux barrages qui influencent l'écoulement naturel sur environ de 50% de la longueur de l'Huisne en aval de Nogent le Rotrou :

- diminution des pentes d'énergie et des puissances au droit des retenues
- augmentation de celles-ci en aval des ouvrages où sont les puissances les plus grandes.



Un nouveau calcul des puissances spécifiques « naturelles » réalisé en utilisant la pente d'énergie « naturelle », reconstituée par interpolation des valeurs de ligne d'eau en amont et en aval des retenues, montre que l'arasement des barrages entrainerait le gommage des contrastes majeurs et probablement l'instauration de nouvelles conditions morphodynamiques



L'Huisne est ainsi bien **une rivière de faible énergie**, même (et surtout) dans des conditions de fonctionnement « naturel » (après des-aménagement) ; pente longitudinale et puissance très faibles.

L'activité morphogène notoire observée sur le terrain, en particulier dans les secteurs d'énergie similaire, doit être liée à d'autres facteurs qui commandent alors la dynamique fluviale

Huisne en aval du moulin de Grillant



Moulin de Grillant



5. Discussion :

Comment l'érosion fluviale est-elle expliquée ?

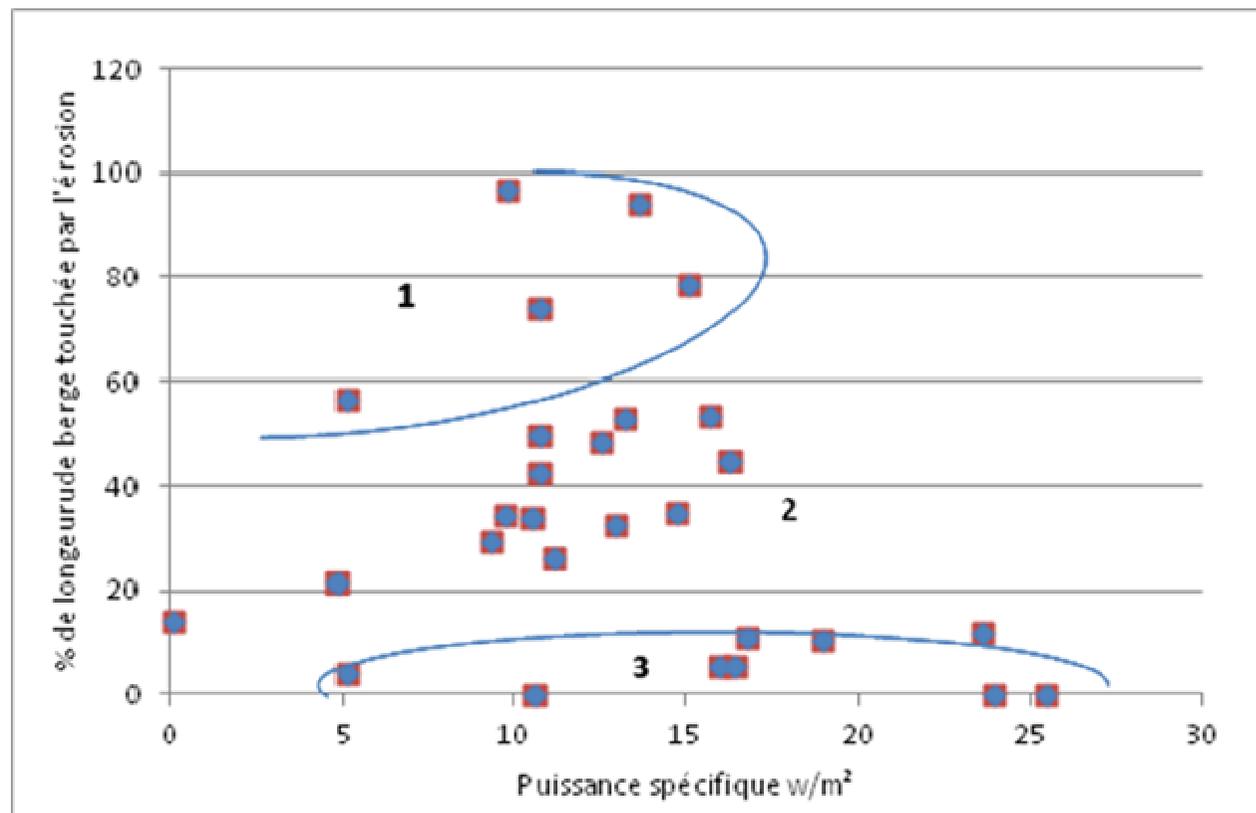
Etablissement d'une corrélation entre la puissance spécifique et l'érosion des berges :

. Les données prises en compte sont évaluées par portion de tronçon située entre deux profils transversaux : pente et puissance spécifique moyennes, longueur de berge touchée par l'érosion mesurée sur les cartes de morphologies fluviales réalisées à partir des relevés de terrain .

Tronçon	N° profil	W/m ² moyenne entre 2 profils successifs	Longueur de berge touchée par l'érosion entre 2 profils en % de la long. totale RD+RG	Pente moyenne
Le Theil / La Ferté Bernard	21/22	5,094	3,95	0,00031
	22/23	10,728	49,95	0,00057
	23/24	14,720	34,55	0,00078
	24/25	15,984	5,34	0,00078
	25/26	16,398	5,59	0,00078
	26/27	11,137	26,02	0,00061
	27/28	13,241	53,10	0,00077
	28/29	10,740	42,70	0,00064
	29/30	4,841	21,30	0,00028
	30/31	9,368	29,28	0,00046
	31/32	13,591	94,27	0,00053
Vouvray Connéré	64/65	9,732	34,29	0,00045
	65/66	15,058	78,47	0,00072
	66/67	12,907	32,38	0,00063
	67/68	15,725	53,70	0,00070
	68/69b (bras principal)	23,952	;79,62	0,00094
	69b/70a (bras principal)	25,435	;4,73	0,00094
	71a (bras principal)	23,592	11,97	0,00084
	72	16,261	44,92	0,00061
	73	9,838	96,92	0,00047
	74	10,739	73,82	0,00047
Quincampoix Villaines la Gonais Tronçon 4	42	10,50585006	33,99	0,00037
	43	0,066822672	14,35	0,00001
	44	5,087195852	56,62	0,00022
	45	12,55178704	48,56	0,00053
	46	18,96105744	10,49	0,00081
	47	16,71661335	10,83	0,00081
	48	10,60465709	0,00	0,00059

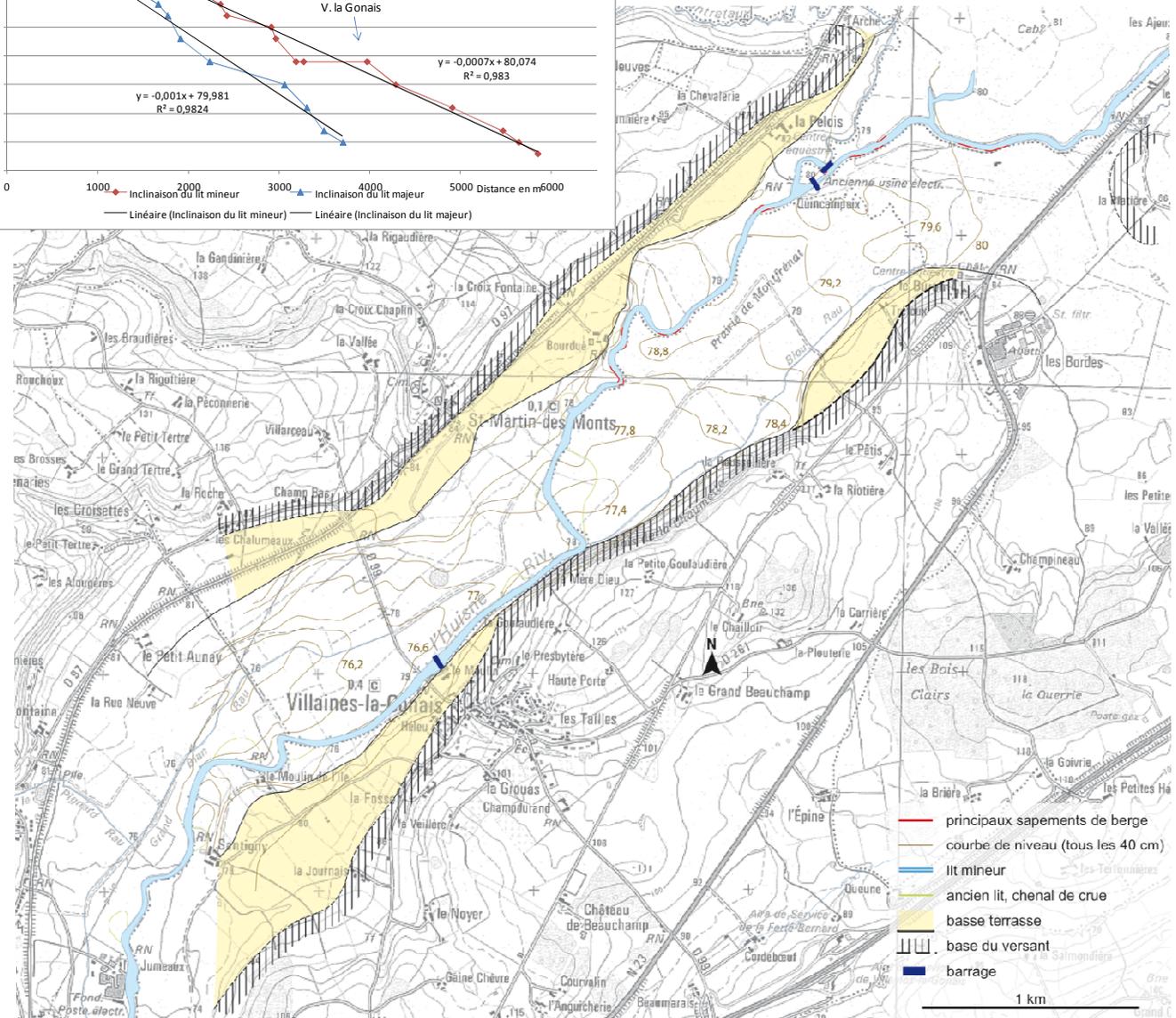
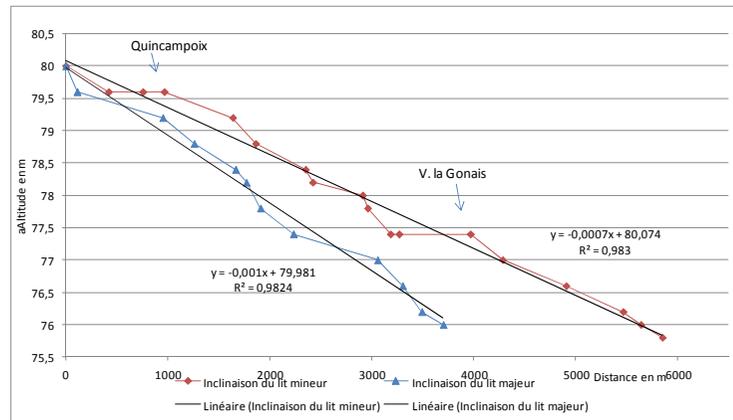
La puissance spécifique, comprise entre 10 et 20W/m² le plus fréquemment, explique imparfaitement l'érosion fluviale repérée à grande échelle. Sur la figure ci-dessous, le nuage de points qui représente la corrélation entre les deux variables prises en compte, peut être dissocié en 3 groupes. Dans le groupe 2, l'érosion des berges augmente (de 30 à 50% de la longueur de berge) avec la puissance spécifique (passant de 10 à 17 W/m²). Dans le groupe 3, il n'y a pas de lien entre les deux variables, et ces liens sont ténus dans le groupe 1. Ainsi donc l'érosion est-elle expliquée par d'autres facteurs (repérés dans le tableau 4) et identifiés à partir du terrain

Ils se combinent diversement selon les lieux et les périodes, en particulier, toute modification liée à une crue ou une intervention anthropique détermine des impacts auxquels la rivière s'ajuste très lentement du fait de sa faible énergie. Il semble que ces impacts se juxtaposent ou se superposent les uns aux autres au cours du temps ce qui rend particulièrement difficile l'identification des liens de causalité.



Enseignements du secteur de Quincampoix

Il est situé en amont d'un barrage récent, abaissé depuis le printemps 2010. Les conséquences ont pu être observées sur une distance de 1000 m : rebond d'érosion et ajustement aux nouvelles conditions



Modifications intervenues en 18 mois :

- **ajustement de l'état des berges**
(affaissement, parfois glissement et éboulement des matériaux, végétalisation progressive),

-



Barrage de Quincampois, construit au cours des années 80 et abaissé depuis le printemps 2010 en vue de réparations.
Etat en mai 2010





- **l'amorce d'une sinuosité** facilitée par des embâcles de branches avec piégeage de sédiments (fines formant des bancs de vase rapidement colonisés par la végétation) qui dévient le courant vers la rive opposée. Des arbres isolés et des abreuvoirs y contribuent également.

- **une redistribution des matériaux** dans le lit fluvial avec formation de seuils graveleux

Huisne en mai 2011



Huisne en mai 2010 (barrage de Quincampois abaissé)



Conclusion :

Les rivières comme l'Huisne présentent à la fois :

- une grande robustesse aux modifications susceptibles d'affecter les lits fluviaux, inscrite dans la modification lente de leur tracé. Elle est en lien avec les puissances spécifiques basses et les pentes faibles.

- et une relative fragilité représentée par la longueur notoire des linéaires de berges affectés par l'érosion. Elle est associée aux configurations locales identifiées à grande échelle.

Ainsi, la faible vitesse de l'eau permet que se forment dans le lit des courants secondaires qui participent à la modification lente du tracé et entretiennent l'érosion sur les berges.

Finalement ces schémas de fonctionnement sont ceux habituellement évoqués pour l'expliquer l'érosion fluviale (Bravard et Petit 1997, Rubey 1933, Malavoi et Bravard, 2010). Notre analyse a permis de les rappeler, de les hiérarchiser et de les calibrer pour des cours d'eau comme l'Huisne.

Dans ces conditions comment peut s'appliquer la directive cadre sur l'eau ? L'énergie de la rivière n'est que peu modifiée par l'arasement des barrages qui fera surtout disparaître les valeurs les plus élevées (Richards 1982). Ainsi à l'image du secteur de Quincampoix peut-on prévoir une modeste crise d'érosion comprenant :

- un réajustement longitudinal progressif à la nouvelle pente avec redistribution des matériaux à l'intérieur du chenal provenant du fond du lit et injectés depuis les berges,

- un réajustement transversal plus chaotique à la nouvelle hauteur de berges en lien dans un premier temps, avec l'ablation facile des matériaux non protégés par la végétation.

Mais ce modèle prédictif de fonctionnement est conditionné aussi par les manières de l'entretien du lit par les riverains et surtout les prochains phénomènes hydrologiques extrêmes d'occurrence aléatoire.

Références :

- **Bureau d'études M. Bunusevac** : Renaturation des cours d'eau, restauration des habitats humides. Novembre, 2007 . 99p.
- **BARRAUD R.** (2007). *Vers un «tiers-paysage» ? Géographie paysagère des fonds de vallées sud-armoricaines*. Héritage, évolution, adaptation. Nantes: Université de Nantes, thèse de doctorat de géographie, 408 p.
- Corbonnois J.** : Les cours d'eau et les hydrosystèmes fluviaux. Nature et fonctionnement. Actes du colloque du 12 octobre 2004 ; La gestion locale des cours d'eau. Institut Droit, Economie des dynamiques en Europe. Université de Metz. Publication dans la revue Droit de l'Environnement, N° spécial janvier/février 2005. pp 8-10
- Doyle, M. W., E. H. Stanley, et al.** (2000). Dam Removal: Physical, Biological, and Societal Considerations. American Society of Civil Engineers Joint Conference on Water Resources Engineering and Water Resources Planning and Management. Minneapolis.
- Doyle, M. W., E. H. Stanley, et al.** (2005). "Stream ecosystem response to small dam removal Lessons from the Heartland." *Geomorphology* **71**: 227-244.
- Gautier, E., J. Corbonnois, F. Petit, G. Arnaud-Fassetta, D. Brunstein, S. Grivel, G. Houbrechts** : Approche méthodologique de la dynamique sédimentaire dans les plaines d'inondation actives. *Revue Géomorphologie. Relief, processus, environnement*, 2009, N°1, p 65-78
- Germaine MA** : Trajectoires paysagères et poids des héritages dans les vallées normandes. *Mappemonde* N° 99, 2010 (en ligne)
- Hart, D. D. and N. Leroy Poff** (2002). "A Special Section on Dam Removal and River Restoration." *BioScience* **52**(8): 653-655.
- Hydratec (2008)**. Etude de cohérence du Bassin de la Maine - Synthèse - Rapport d'étape 2 : Etude hydrologique et analyse des crues de référence, EPTB Loire.
- IIBS (2009)**. Evaluation des opérations de restauration et d'entretien des cours d'eau du bassin versant de l'Huisne - SAGE du bassin versant de l'Huisne, Institution Interdépartementale du Bassin de la Sarthe.
- LESPEZ L., GARNIER E., CADOR J.-M., ROCARD D.** (2005). «Les aménagements hydrauliques et la dynamique des paysages des petits cours d'eau depuis le XVIII^e dans le Nord-Ouest de la France: l'exemple du bassin versant de la Seulles (Calvados).» *Aestuaria*, n° 7, «La rivière aménagée entre héritages et modernité. Formes, techniques et mise en œuvre», p. 89-109.
- Malavoi, J.-R. (2003)**. Stratégie d'intervention de l'agence de l'eau Loire-Bretagne sur les seuils en rivière, Agence de l'eau Loire-Bretagne.
- Malavoi, J.-R. (2009)**. Ouvrages transversaux sur les cours d'eau : impacts hydromorphologiques et écologiques et principes de restauration globale. 88^{ème} congrès de l'ASTEE. Nice, ONEMA.
- **Malavoy J.R., Bravard J.P.** : (2010) *Eléments d'hydrogéomorphologie fluviale*. Onema, 224p.
- Rollet Anne-Julia** : 2007 Etude et gestion de la dynamique sédimentaire d'un tronçon fluvial à l'aval d'un barrage : le cas de la basse vallée de l'Ain. Thèse de géographie, Lyon III, 305p.
- SCHMITT L., MAIRE G. & HUMBERT J.**, 2000. Typologie hydro-géomorphologique des cours d'eau : vers un modèle adapté à la gestion du milieu physique des rivières du versant sud-occidental du fossé rhénan. *Revue de Géographie de Lyon*, **75**, 4, pp. 347-363.
- SCHMITT L., MAIRE G. & HUMBERT J.**, 2001. La puissance fluviale : définition, intérêt et limites pour une typologie hydro-géomorphologique de rivières. *Zeitschrift für Geomorphologie*, **45**, 2, pp. 201-224.