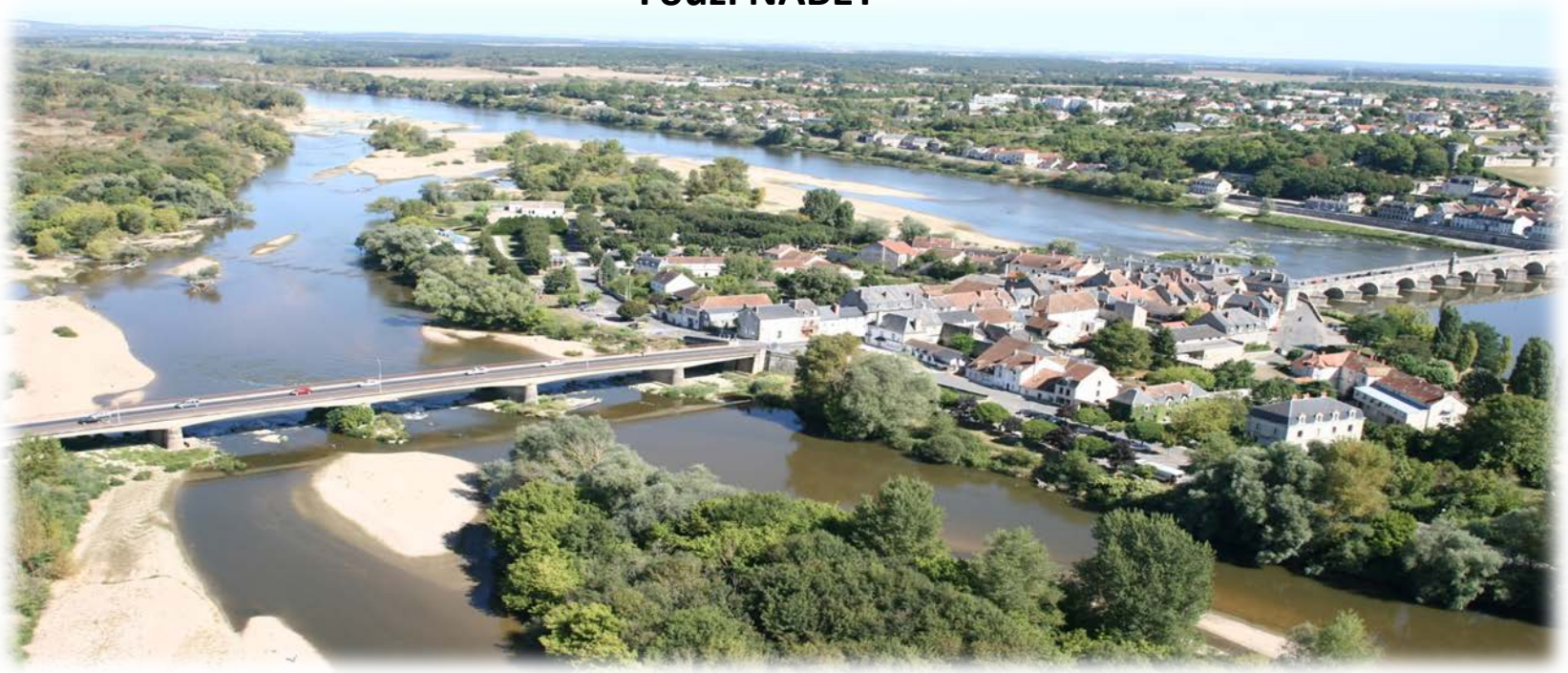
ETUDE DU RÉAJUSTEMENT DU LIT ACTIF EN LOIRE MOYENNE
BILAN GÉOMORPHOLOGIQUE ET DIAGNOSTIC DU FONCTIONNEMENT DES CHENAUX SECONDAIRES EN VUE D'UNE GESTION RAISONNÉE

Soutenance de thèse de doctorat en Géographie et Aménagement

Fouzi NABET



Direction : PR Emmanuèle GAUTIER ET PR Charles LE COEUR
Laboratoire de Géographie Physique CNRS UMR 8591 Université Paris 1 – Université Paris-Est-Créteil

Financement & collaboration scientifique

- **Financement de thèse (FEDER – Etablissement Public Loire, Région Centre):** F. Nabet (2008-2013) : Hydrogéomorphologie

- **Zone Atelier Loire (CNRS InEE depuis 2001) : co-évolution passée et actuelle des processus physiques et des sociétés humaines**
  Coordonnée par N. Carcaud et F. Trément, puis S. Servain & S. Greulich

- **Programme PATRA (2010-2012) : rôle des aménagements fluviaux**

Patrimoine et trajectoires paysagères des vallées ligériennes
(coord. : H. Davodeau; INHP-Angers volet 5: héritages de la navigation, coord. : S. Grivel; Univ Orléans)

Cadre de gestion du fleuve

❑ **Thèse réalisée avec l'aide de :**

Financement et données

- **DREAL Centre – Bassin Loire**
- **Plan Loire Grandeur Nature - EPL**
- **DDT (Nièvre et Loiret)**

Aide matérielle sur le terrain

- **Réserve Naturelle Nationale du Val de Loire**
- **Conservatoires des Espaces Naturels (Régions Centre et Bourgogne)**

Réalisation des mesures bathymétriques

- **Centre Technique de Blois**
- **Université de Chinon**

❑ **Thèse réalisé avec le soutien du Laboratoire de Géographie Physique de Meudon**

Chercheurs , Ingénieurs et Doctorants

Financement des missions sur le terrain

Prise en charge des frais de colloques

Utilisation du matériel de mesures et d'analyses

Traitement et analyse des données

Plan

- **Rappel des principaux objectifs de la thèse**

A l'échelle de la Loire moyenne :

- 1er objectif : l'analyse du problème d'incision et du réajustement du lit de la Loire plus de 15 ans après l'arrêt des extractions de granulat

A l'échelle des sites ateliers :

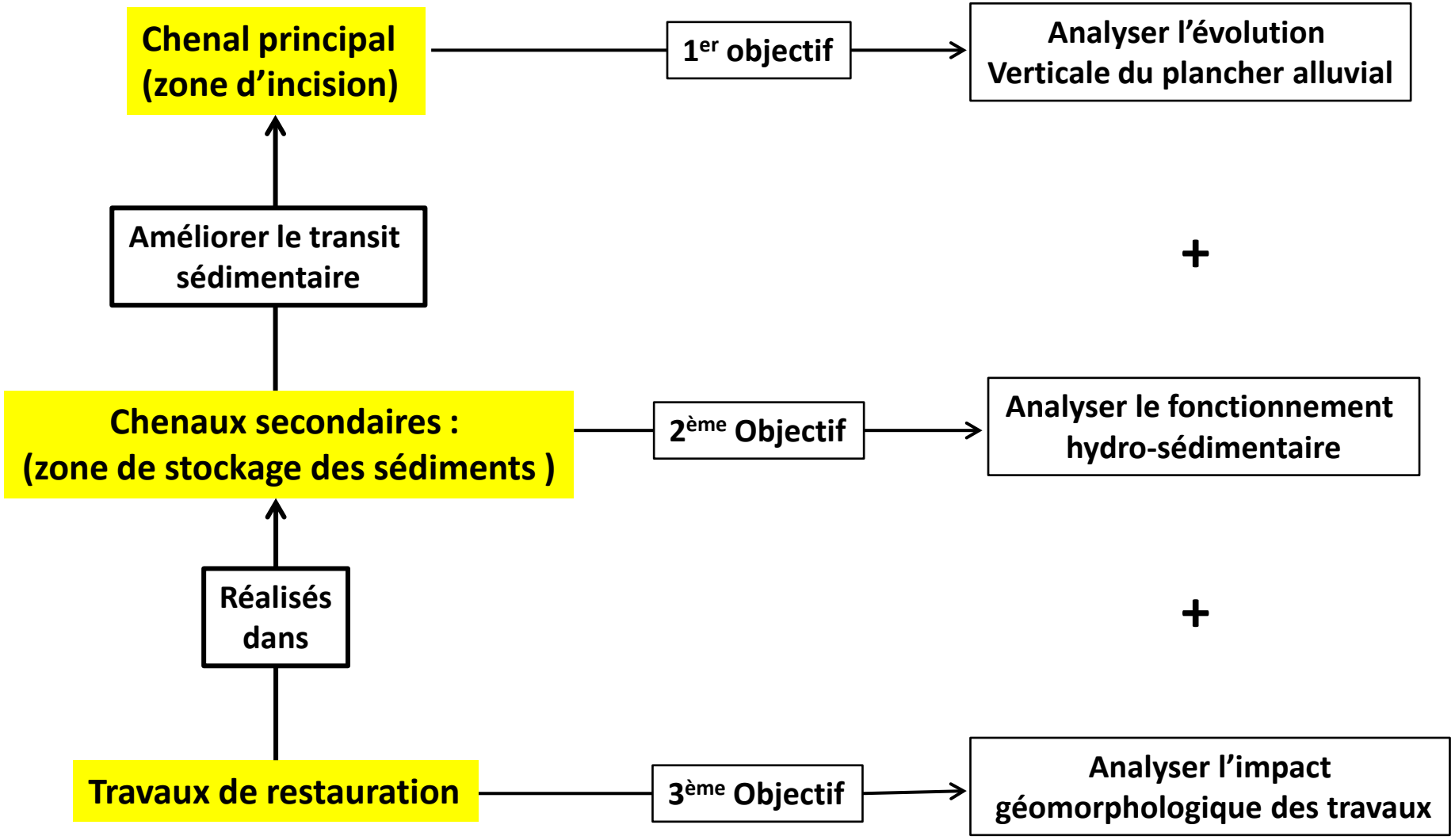
- 2ème objectif : l'analyse du rôle des chenaux secondaires dans la dynamique fluviale (phénomène de chenalisation)

- 3ème objectif : l'analyse de la réponse géomorphologique des secteurs ayant fait l'objet de travaux de restauration

- **Optimisation des travaux de restauration**

- **Conclusion**

Trois objectifs complémentaires



1. Premier objectif

L'analyse du problème d'incision et du réajustement du lit de la Loire plus de 15 ans après l'arrêt des extractions de granulat

Influence directement

→ **La stabilité des levées et des ponts**

&

indirectement

→ **L'impact des crues (intensité et vitesse de débordement)**

pont Wilson le 9 avril 1978

Vue du val de Loire 22 décembre 1846

Des extractions de sédiments massives dans le lit des cours d'eau

-La France après la 2e Guerre Mondiale : une reconstruction nécessaire

-Fin des années 1960 : La construction des villes nouvelles en périphérie de Paris (Evry, Saint-Quentin en Yvelines, Marne-la-Vallée...) = un besoin en béton

Répondre à la question : l'incision du lit est-elle enrayée après l'arrêt des extractions ?

Orléans en 1941 (http://morgann.moussier.free.fr)

Des lits fluviaux très exploités par les extractions de sédiments des années 1950 aux années 1990

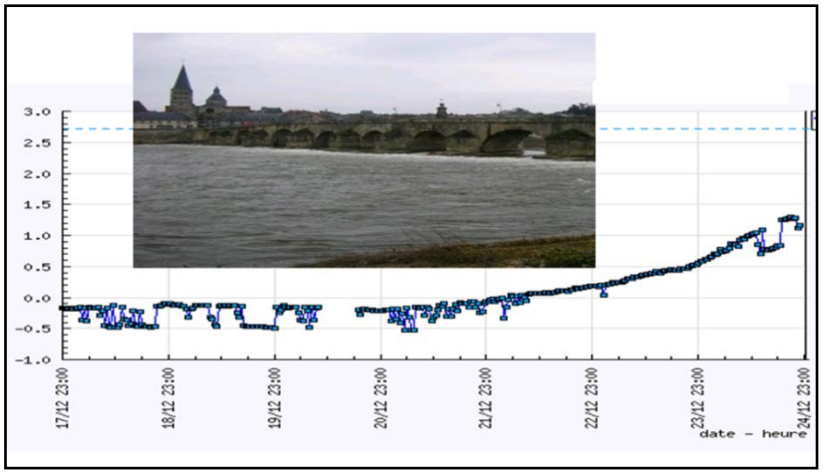
Sur la Loire : 225 millions de tonnes

Evry ville nouvelle (www.evry.fr)

1er objectif

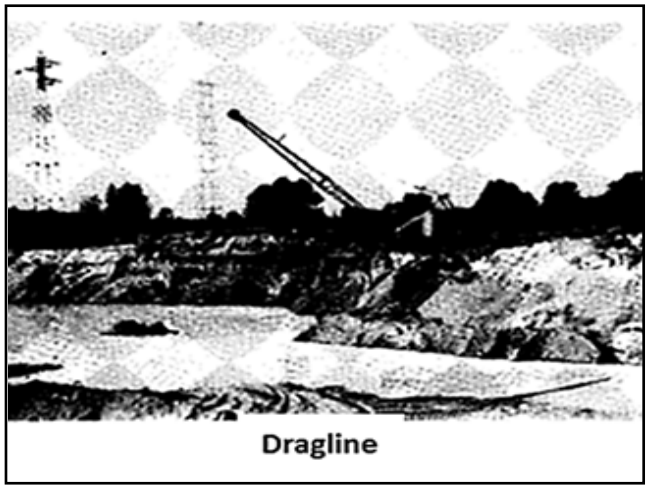
Croisement de deux approches à moyenne échelle

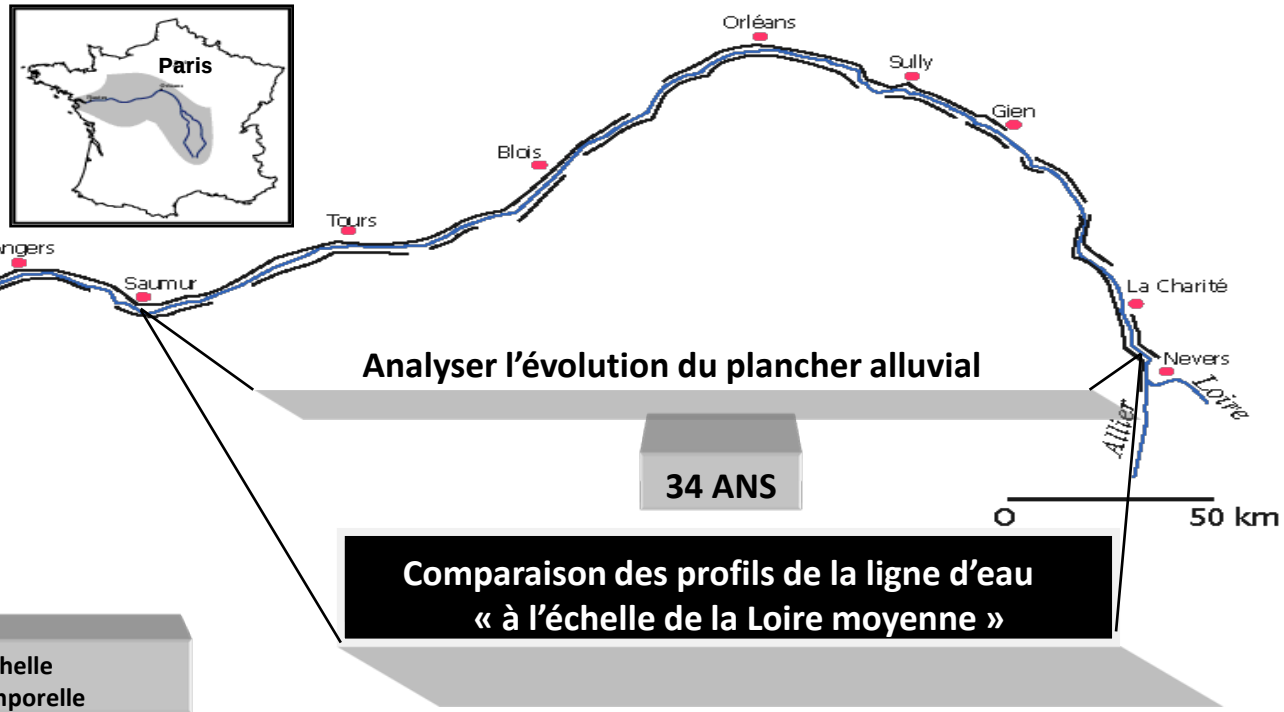
Comparaison des profils de lignes d'eau (1978 – 2011)



&

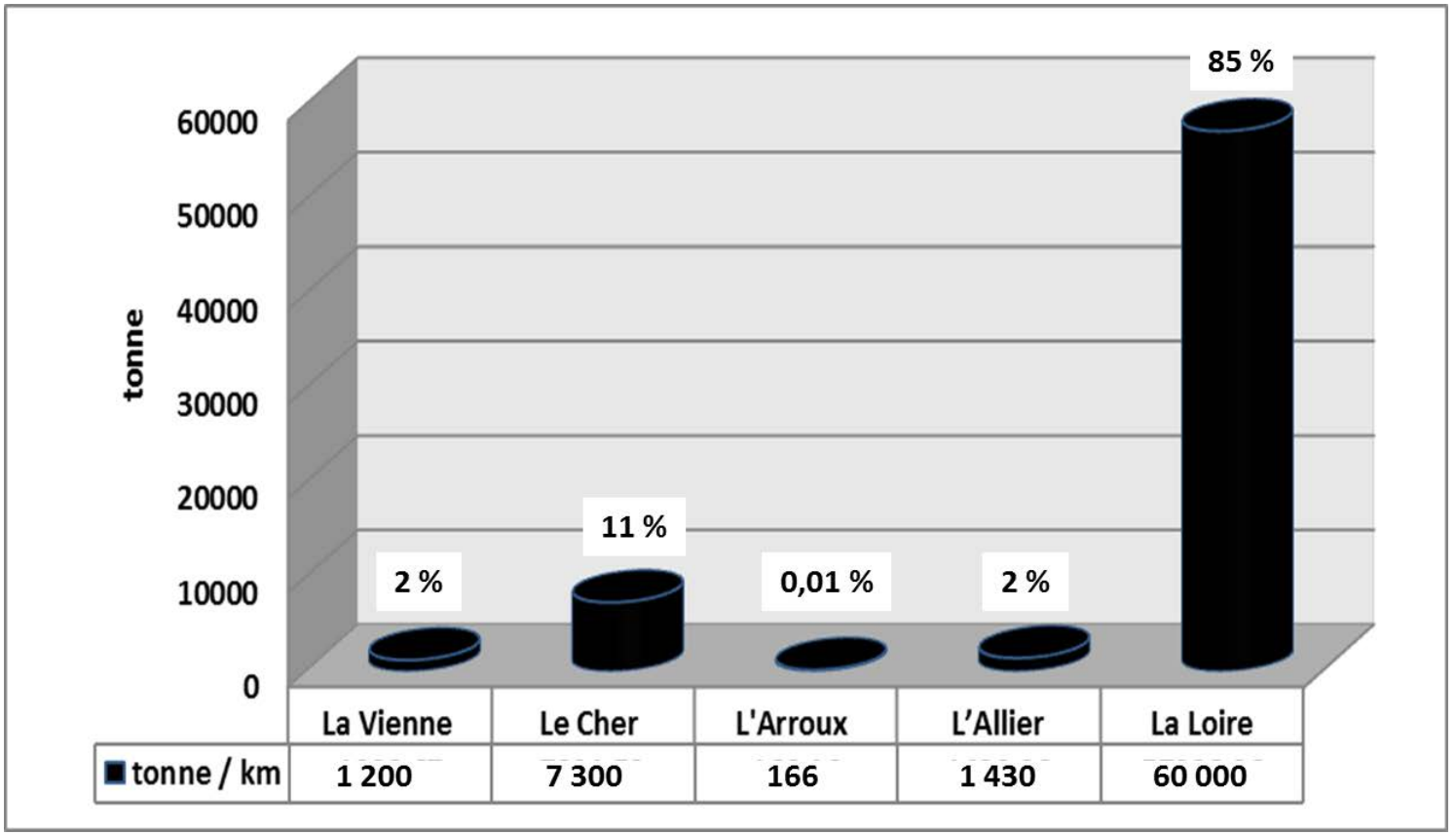
Évolution des extractions de granulat (synthèse bibliographique, 1949 – 1995)





Généralisation de l'industrie d'extraction à l'ensemble du corridor de la Loire

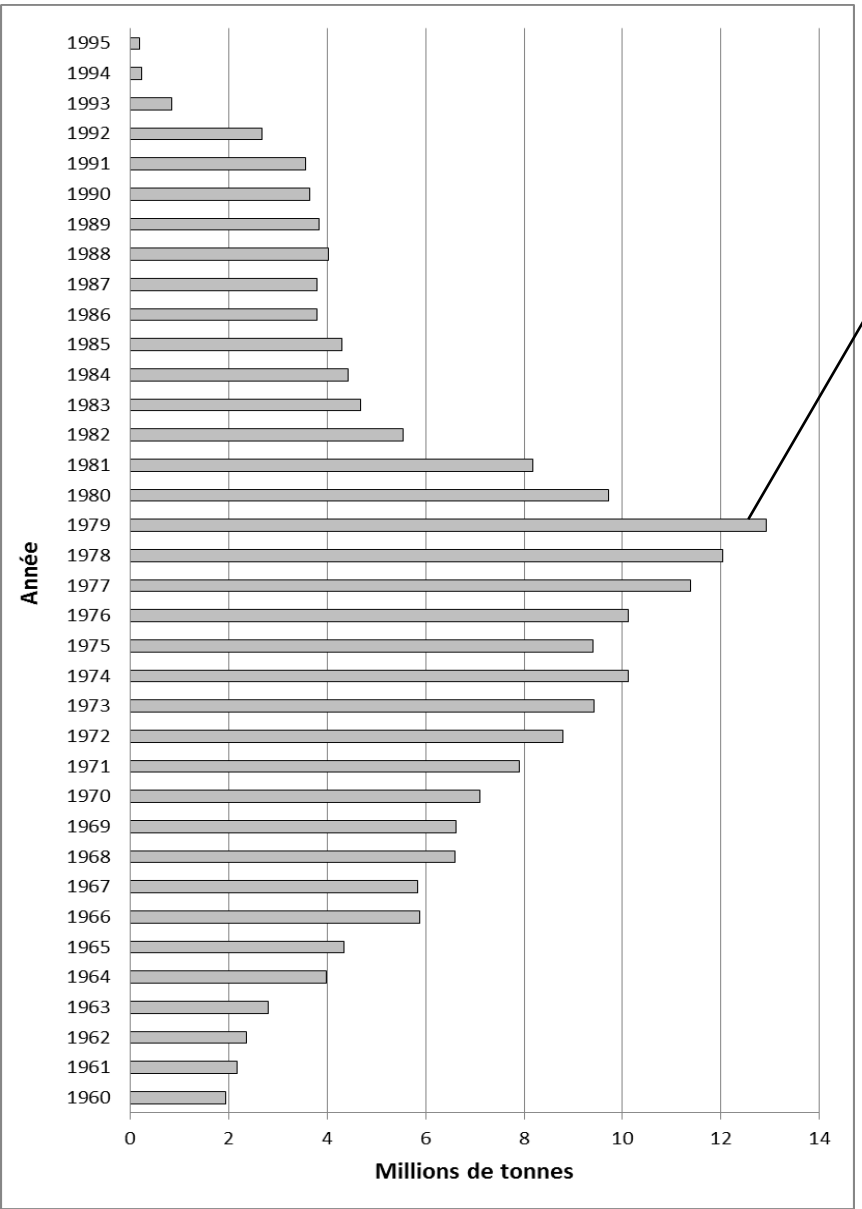
Période des extractions : 1981 - 1993



Une forte exploitation des sédiments de la Loire à l'échelle du bassin versant :
~ 60 000 t km^{-1}

Évolution des extractions de matériaux granulaires dans le lit mineur de la Loire

Période des extractions : 1960 - 1995

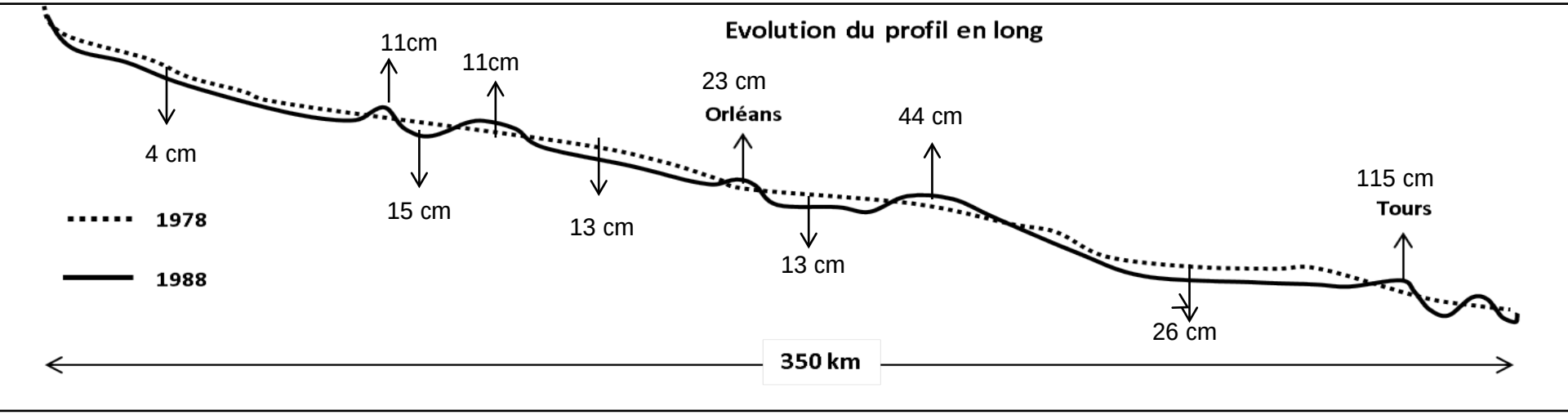


Pic des extractions en 1979 : 13 millions de tonnes

Évolution verticale du profil en long en Loire moyenne

Période 1978 – 1988

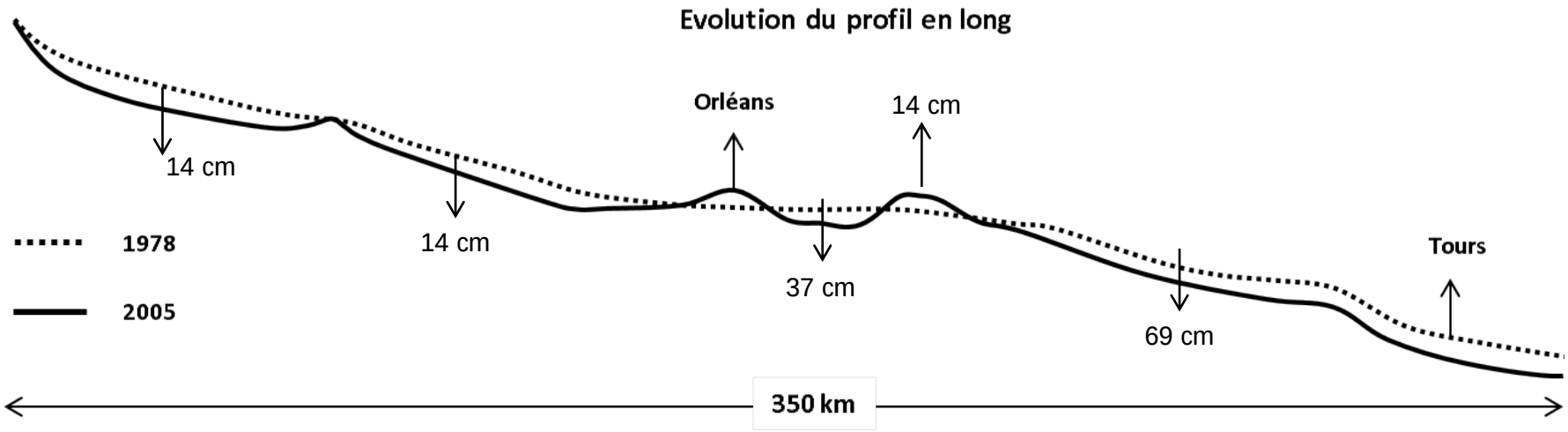
Un enfoncement du lit fluvial : 1,3 cm / an



- **Abaissement : 65 % du linéaire étudié**
- **Zones de rupture brutale de la pente : 28 %**
- **Rehaussement : 7 %**

Période 1978 – 2005

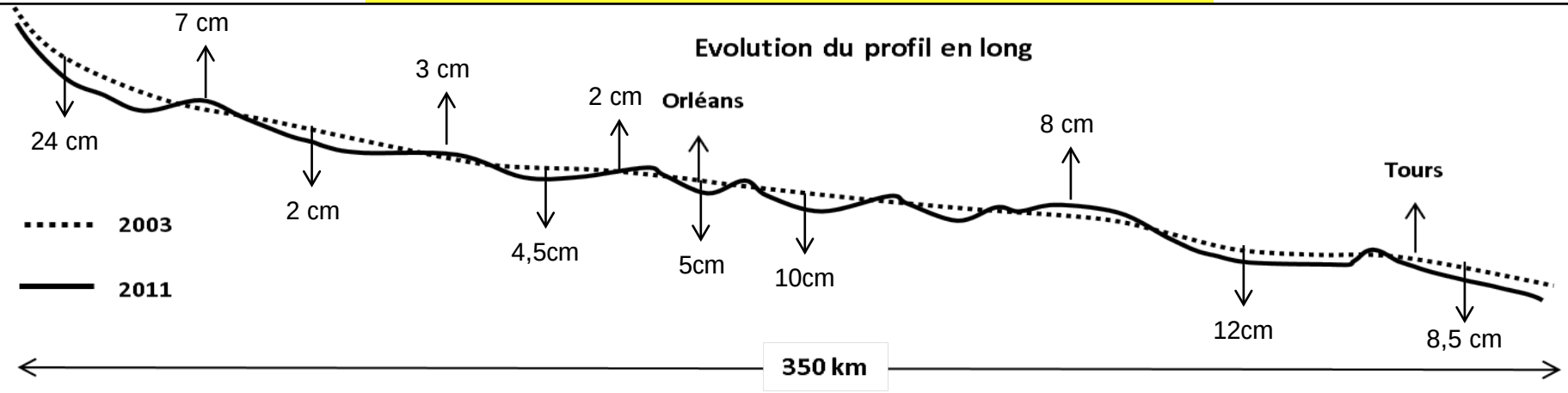
Un abaissement quasi-général du lit fluvial : 1,5 cm / an



- Abaissement : 91 % du linéaire
- Exhaussement : 9 % du linéaire

Période 2003 – 2011

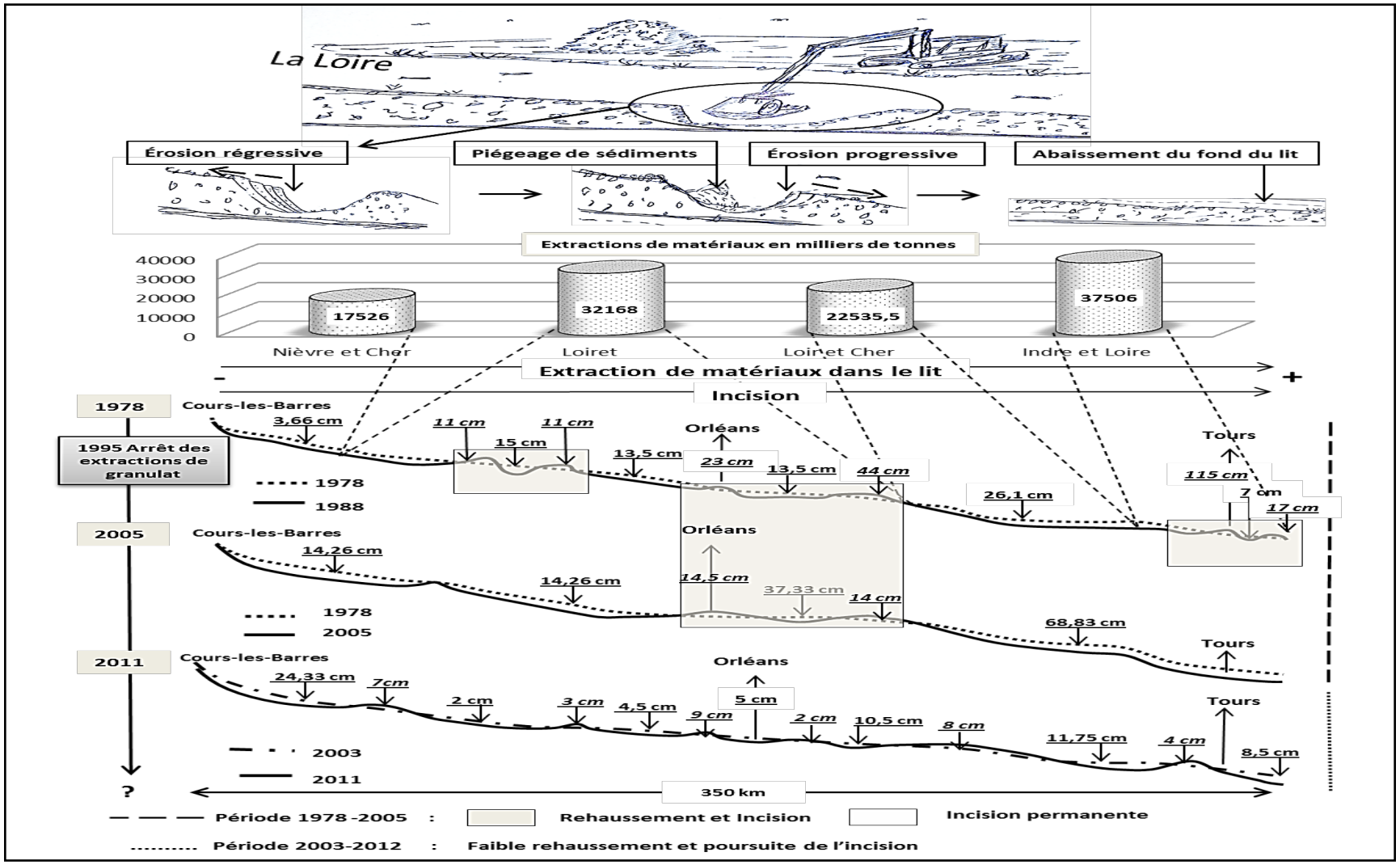
Une incision qui se poursuit : 1,28 cm / an



- **Abaissement : 70 % du linéaire étudié**
- **Exhaussement : 30 %**

Lien entre extractions de granulat et mode d'ajustement du fond du chenal principal

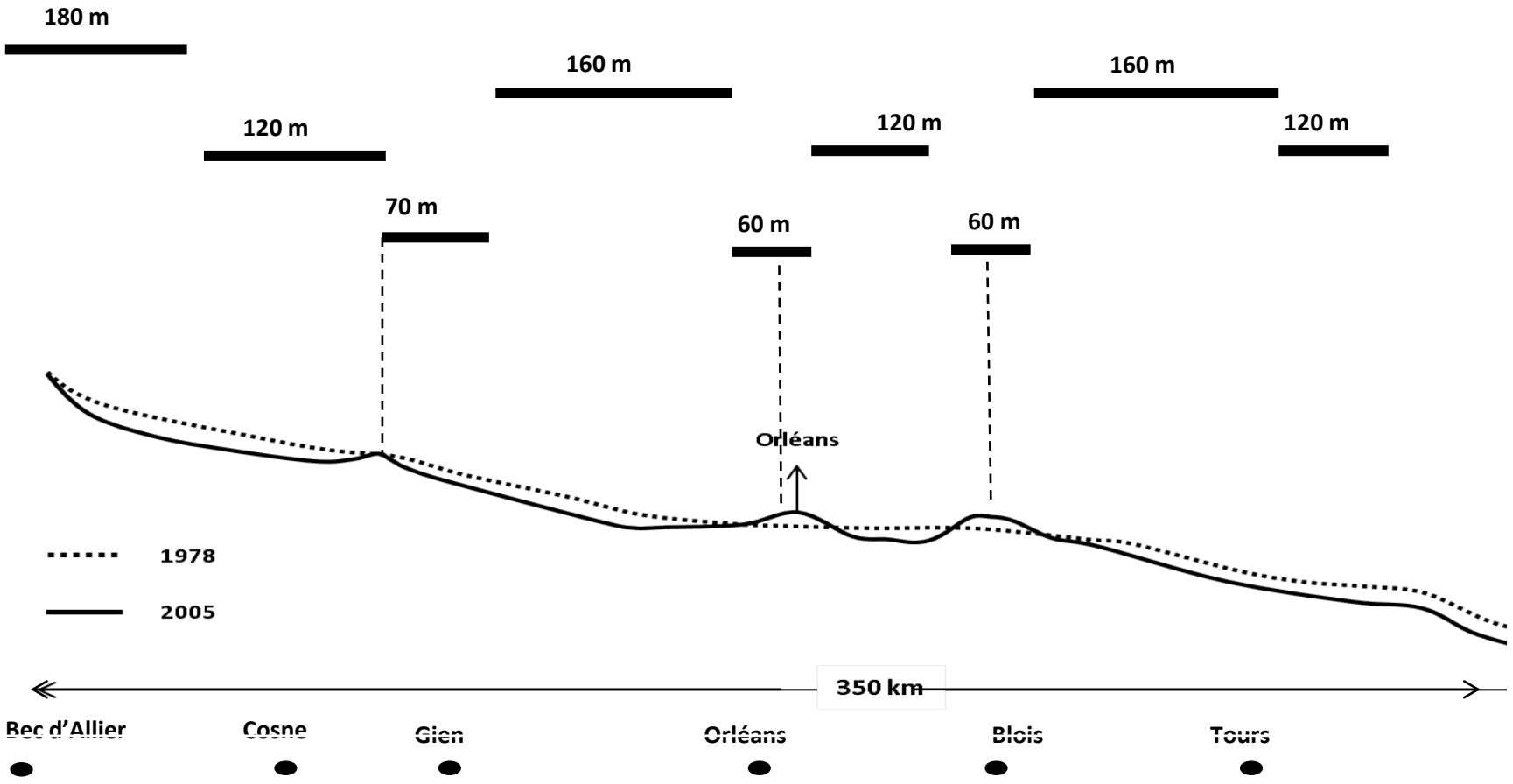
Les secteurs à rupture brutale de pente correspondent aux secteurs qui ont connu la plus forte exploitation



Modification des processus d'ajustement du plancher alluvial et augmentation du déficit sédimentaire

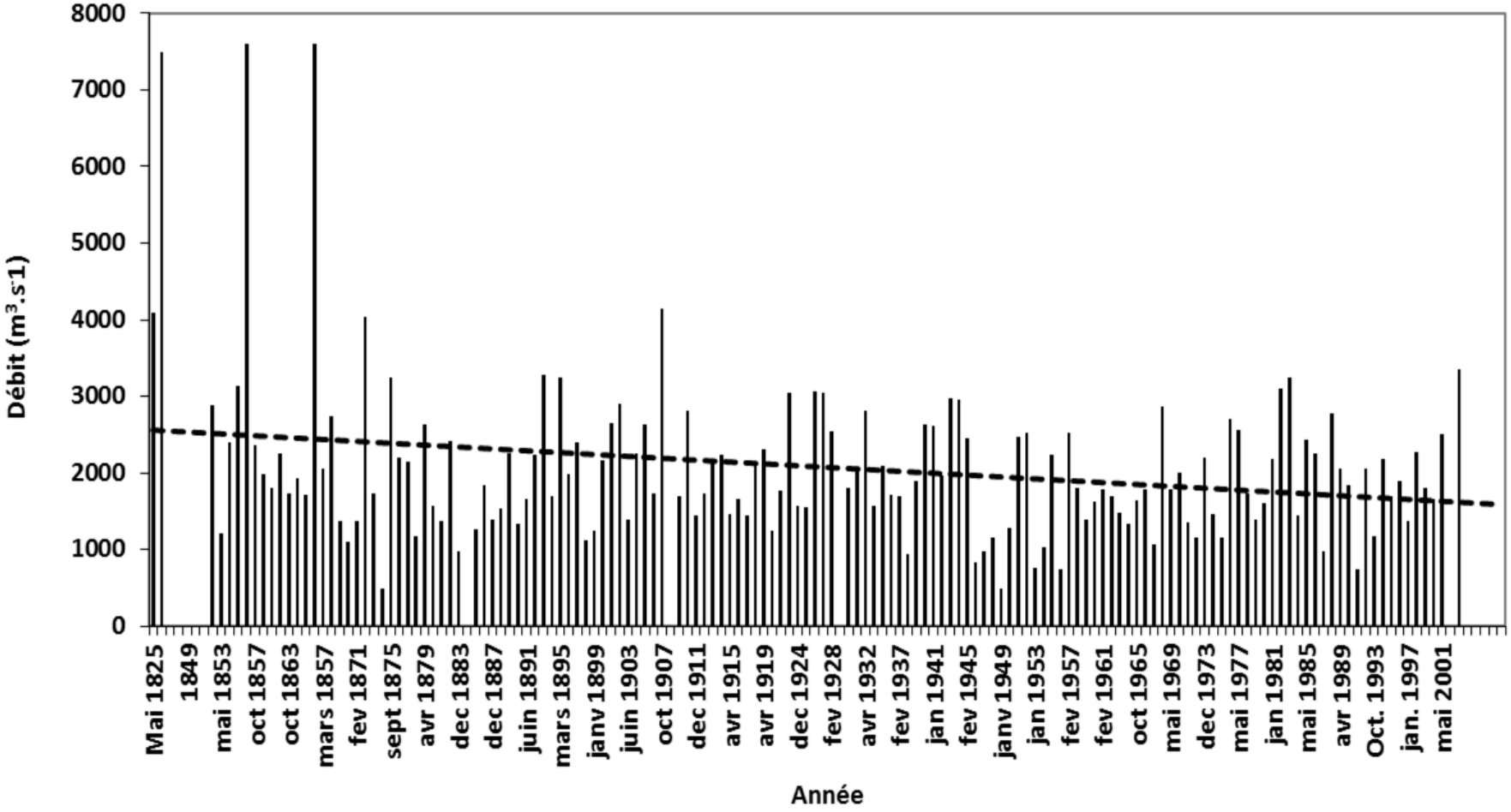
Une influence sur le rythme d'évolution du couvert végétal

Évolution de la bande végétalisée 1990 -2010 (Braud & Latapie 2012)



Évolution du profil en long (1978 – 2005)

Affaiblissent de l'activité hydrologique de la Loire



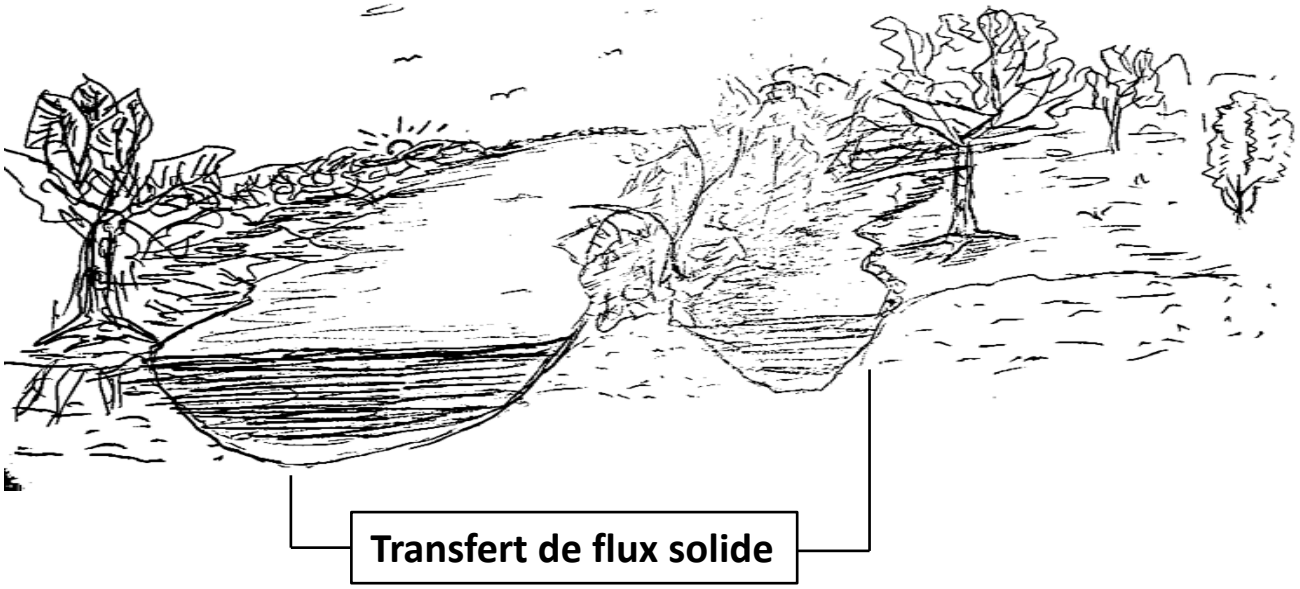
Diminution de l'intensité et de la fréquence des crues

\+ →

Réponse à la question : l'incision du lit est-elle enrayée après l'arrêt des extractions ?

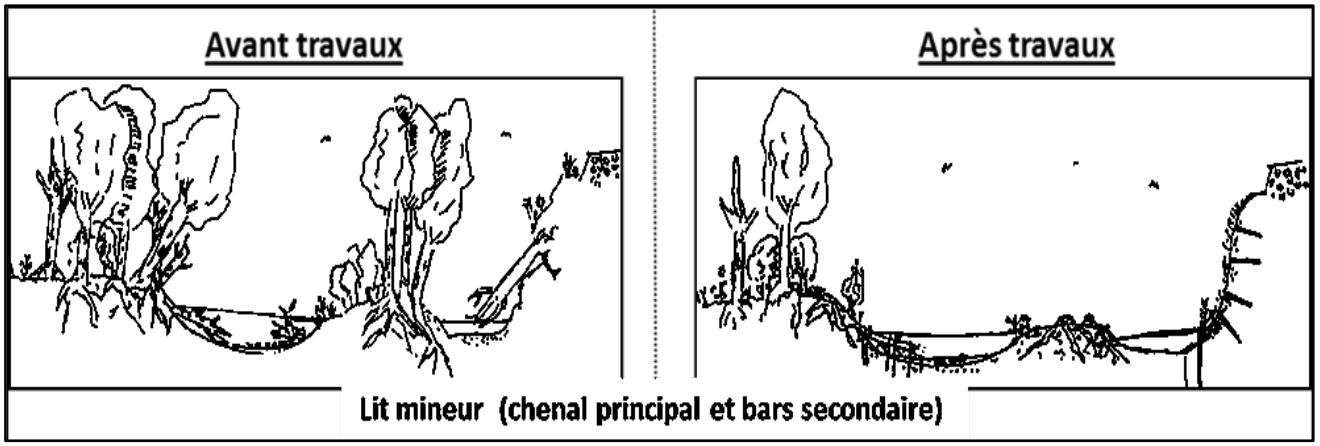
On constate d'après les résultats précédents une poursuite de l'incision du lit

Objectif 2. L'analyse du rôle des chenaux secondaires dans la dynamique fluviale (phénomène de chenalisation) ;



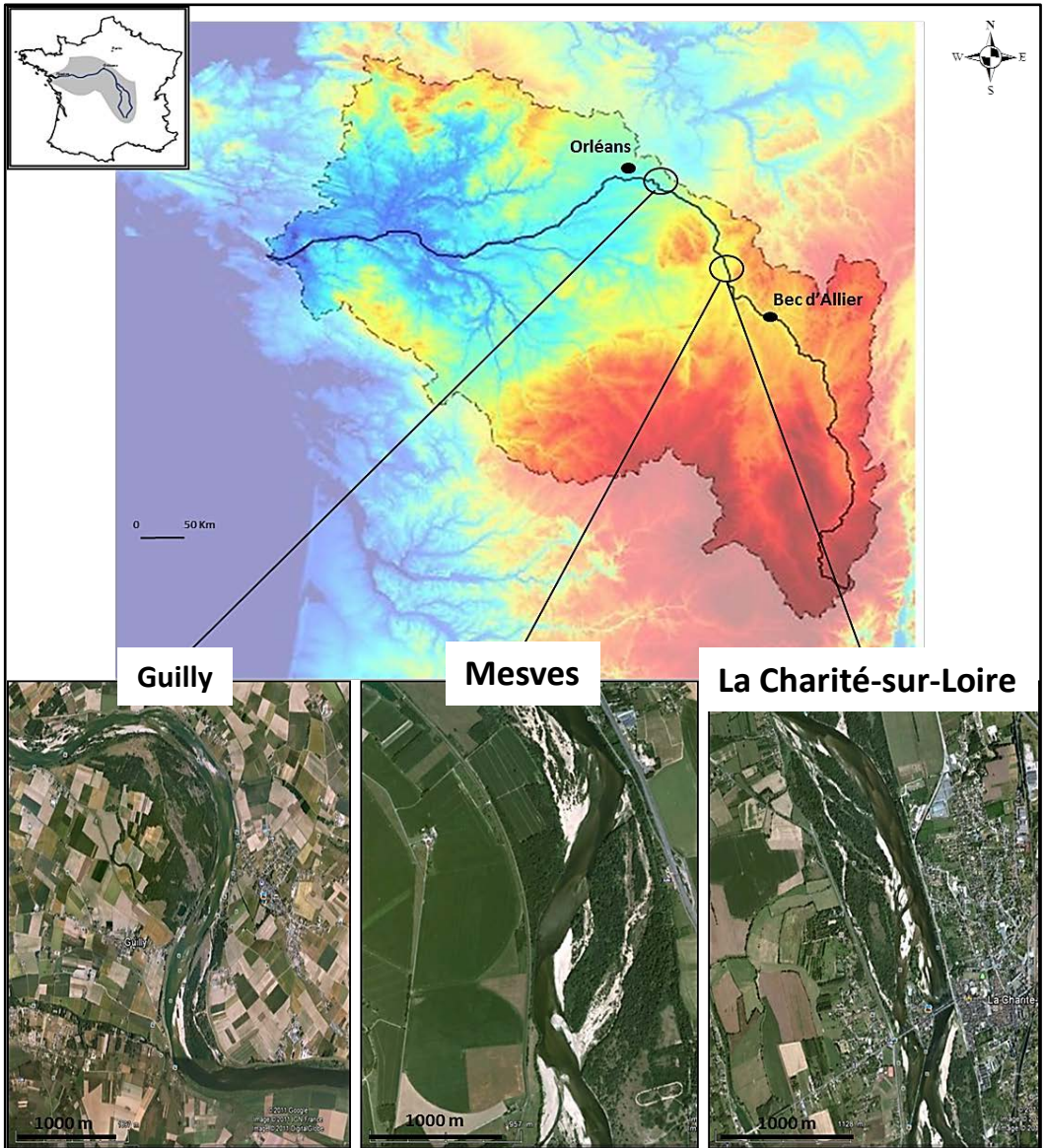
Objectif 2. L'analyse du rôle des chenaux secondaires dans la dynamique fluviale (phénomène de chenalisation) ;

Objectif 3. L'analyse de la réponse géomorphologique des secteurs ayant fait l'objet de travaux de restauration.



Présentation des 3 sites ateliers

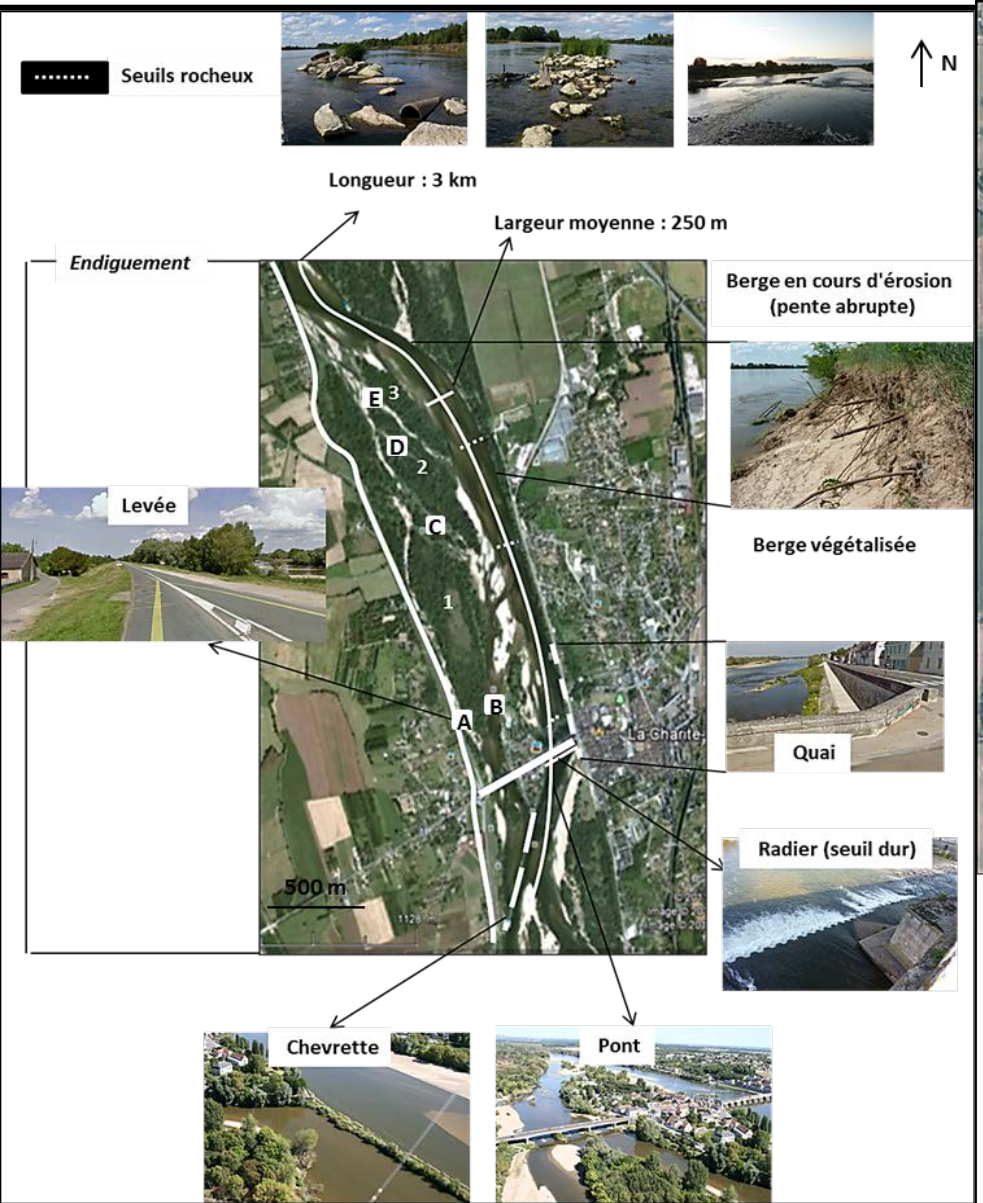
3 exemples de compréhension du fonctionnement de deux signatures géomorphologiques différentes (anastomose, méandre)

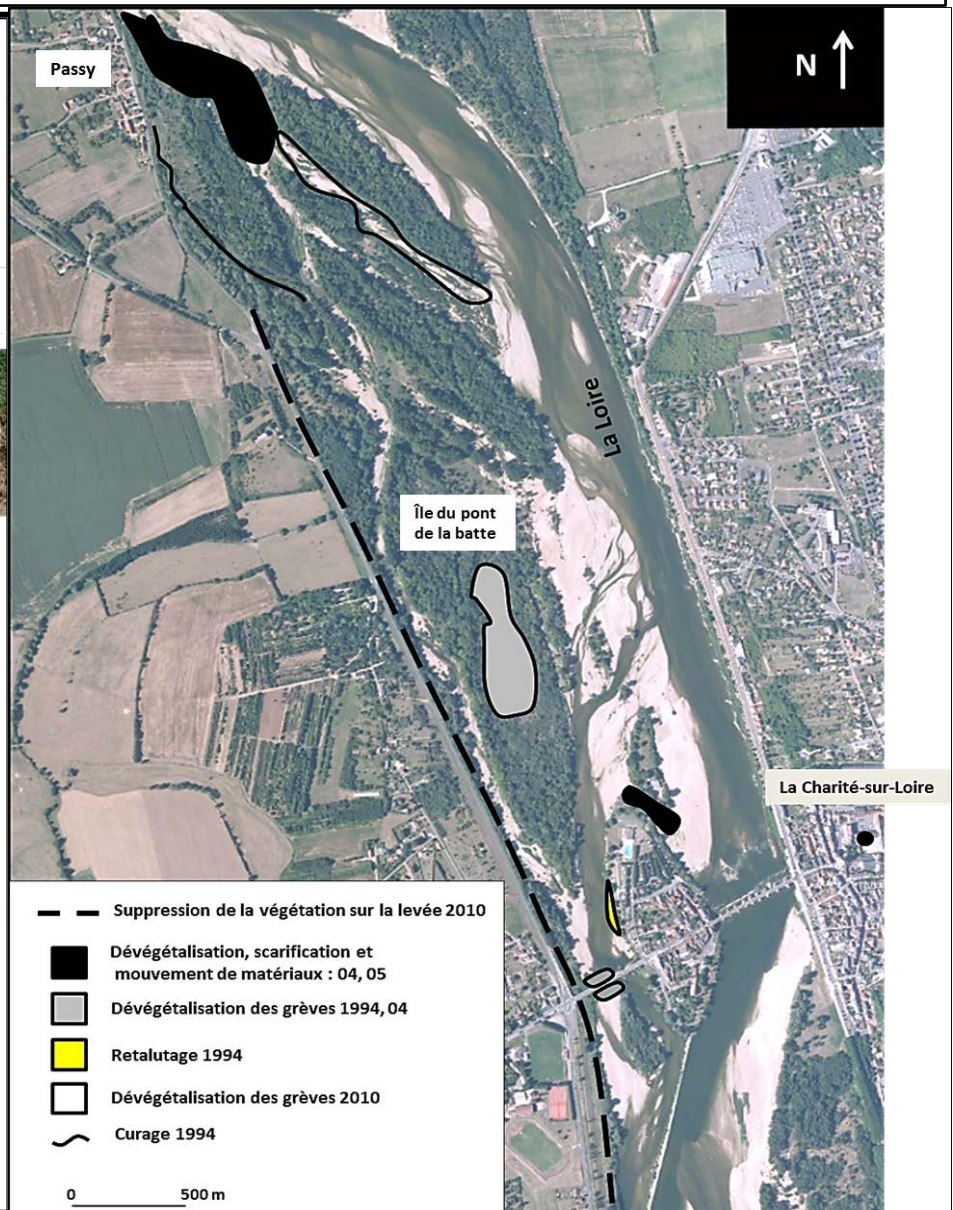


On s'intéresse à

La Charité-sur-Loire

- L'évolution hydro-sédimentaire
- L'évolution de la géométrie des unités fluviales
- Le degré d'aménagements (l'influence anthropique)
- L'impact des travaux d'entretien et de restauration.

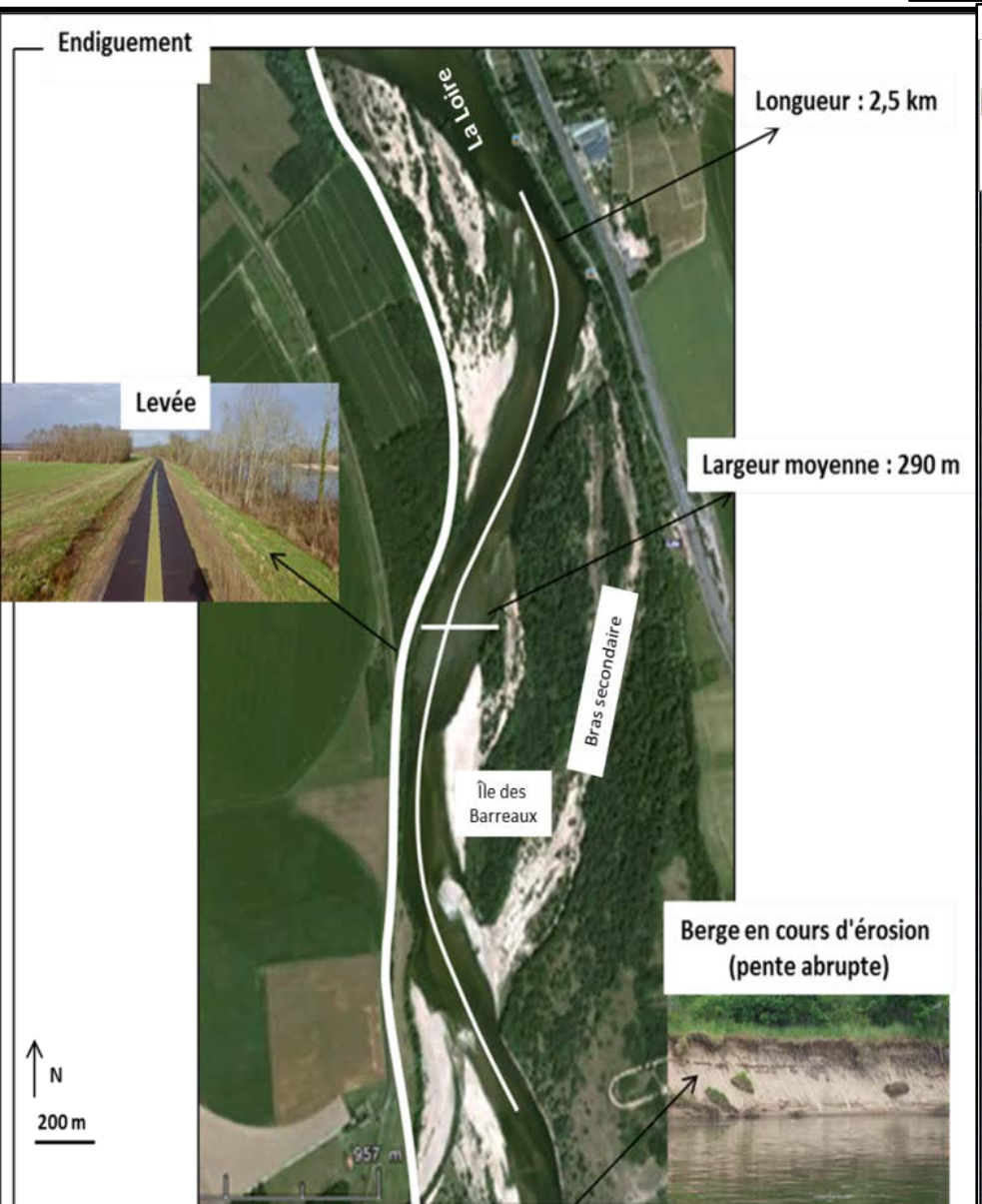


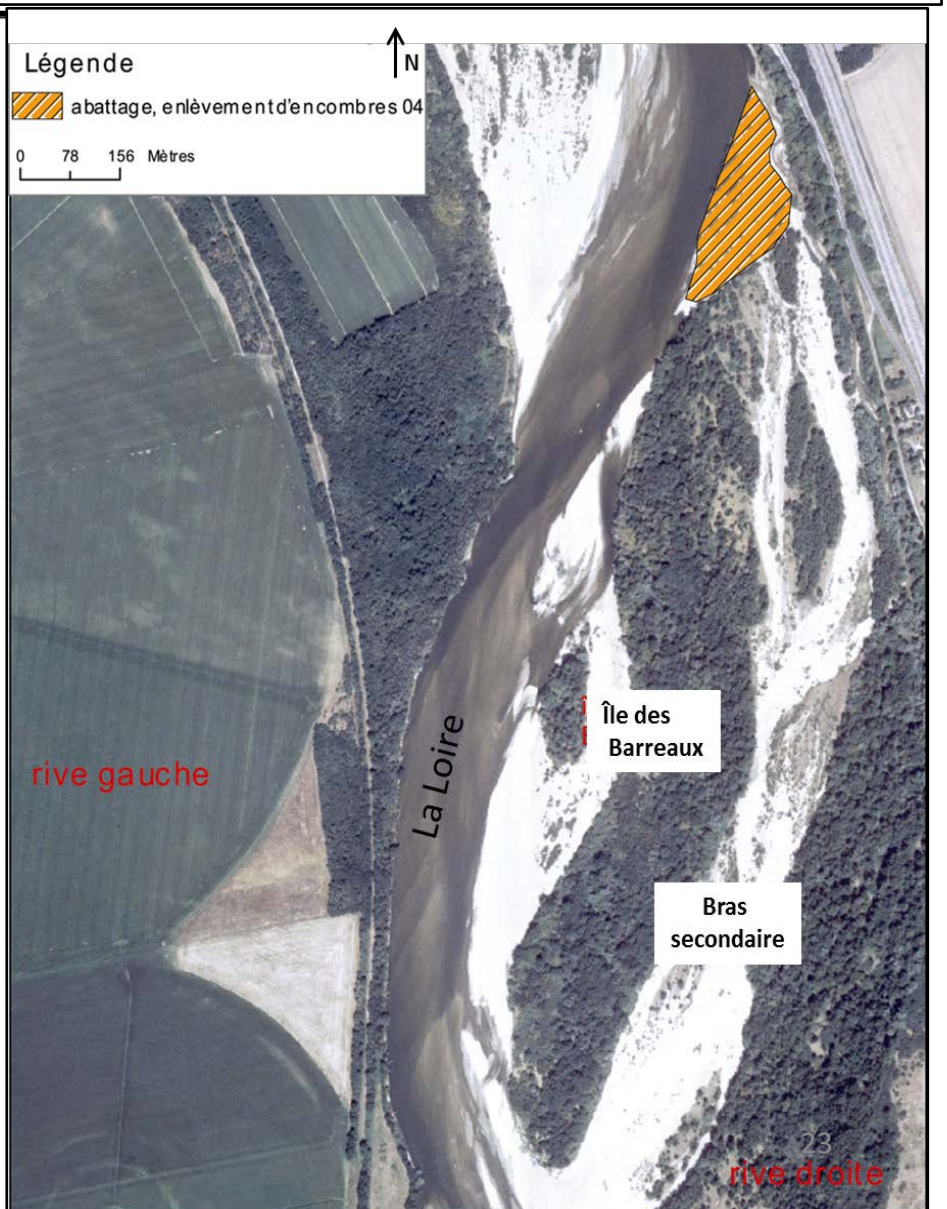


On s'intéresse à

- L'évolution hydro-sédimentaire
- L'évolution de la géométrie des unités fluviales
- Le degré d'aménagements (l'influence anthropique)
- L'impact des travaux d'entretien et de restauration.

Mesves

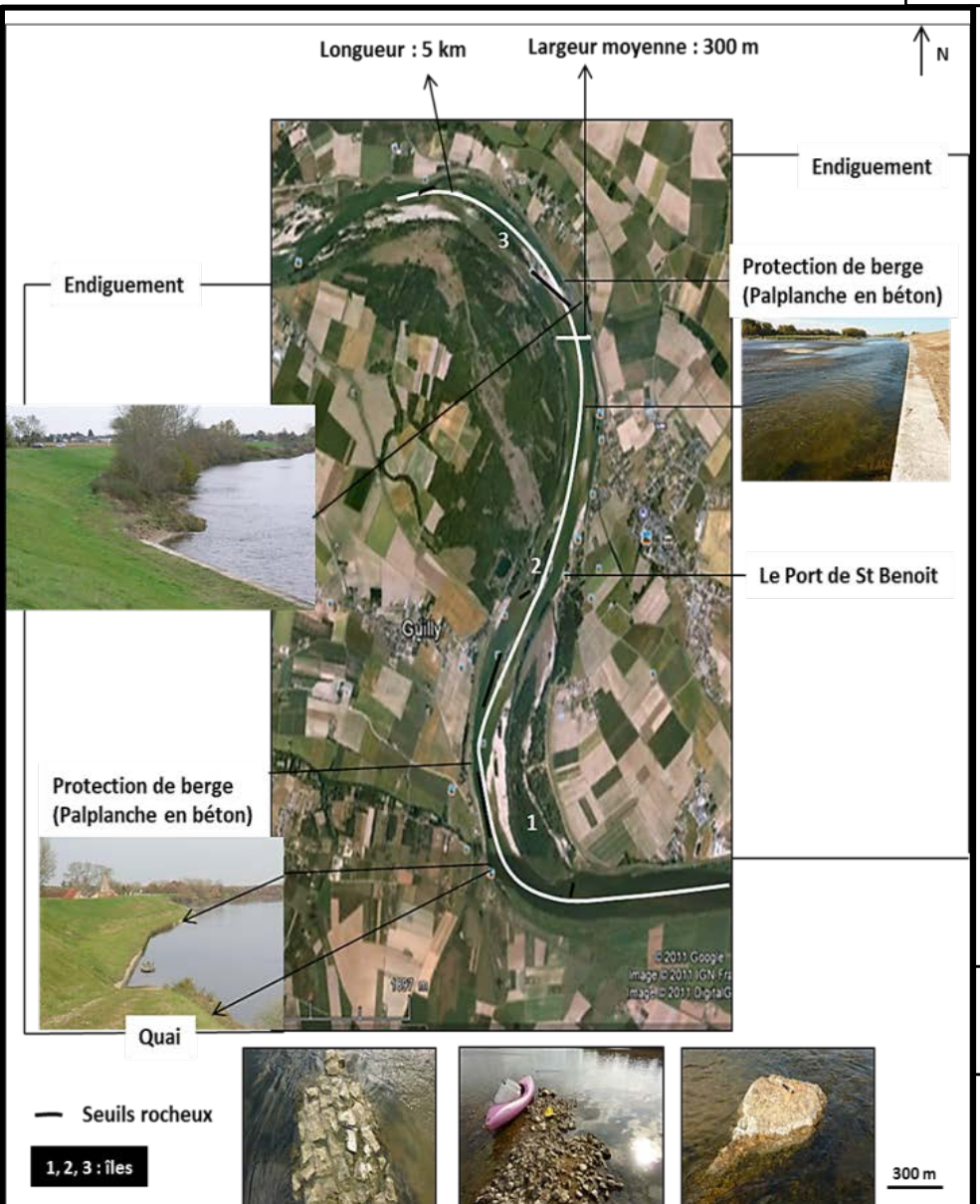


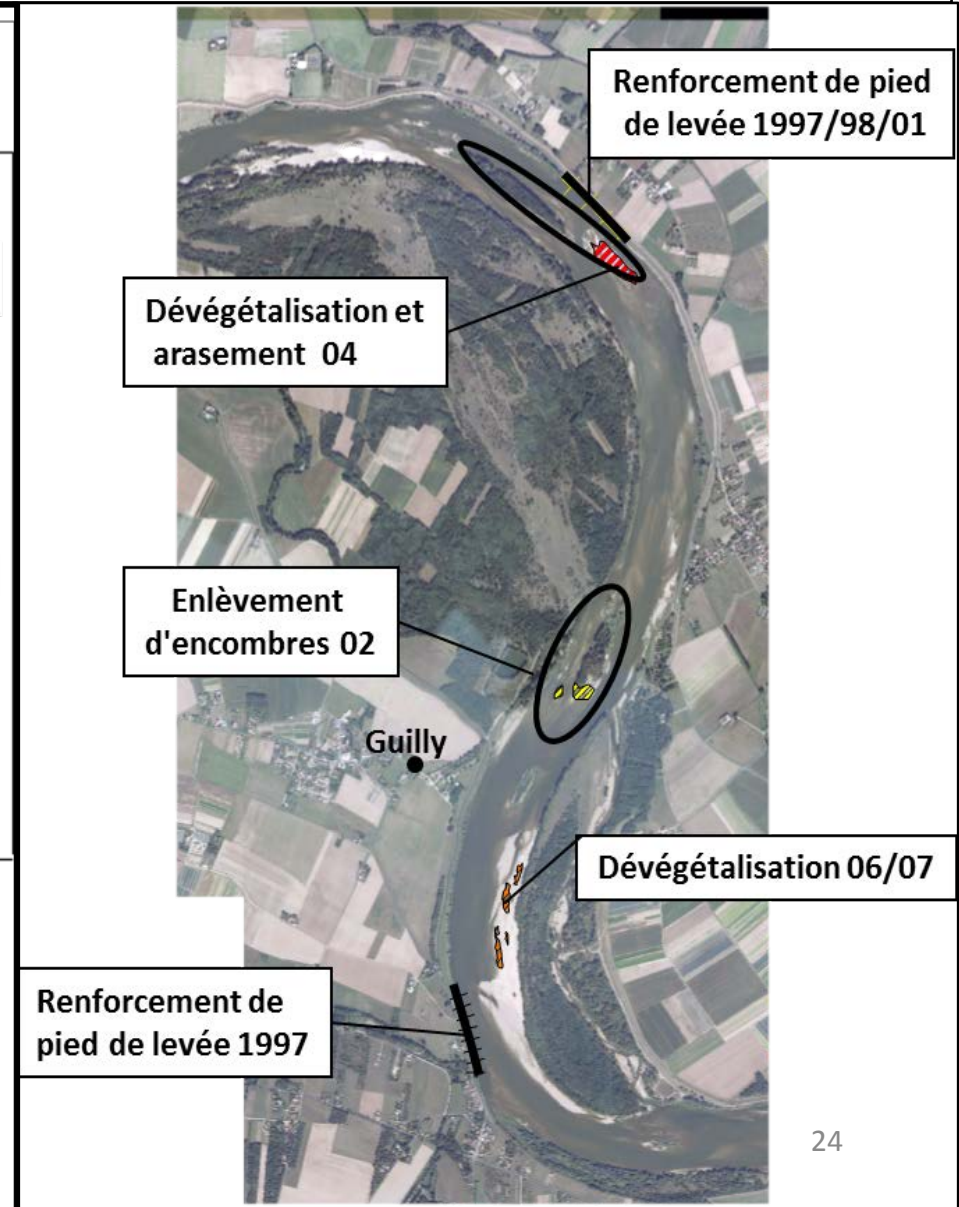


On s'intéresse à

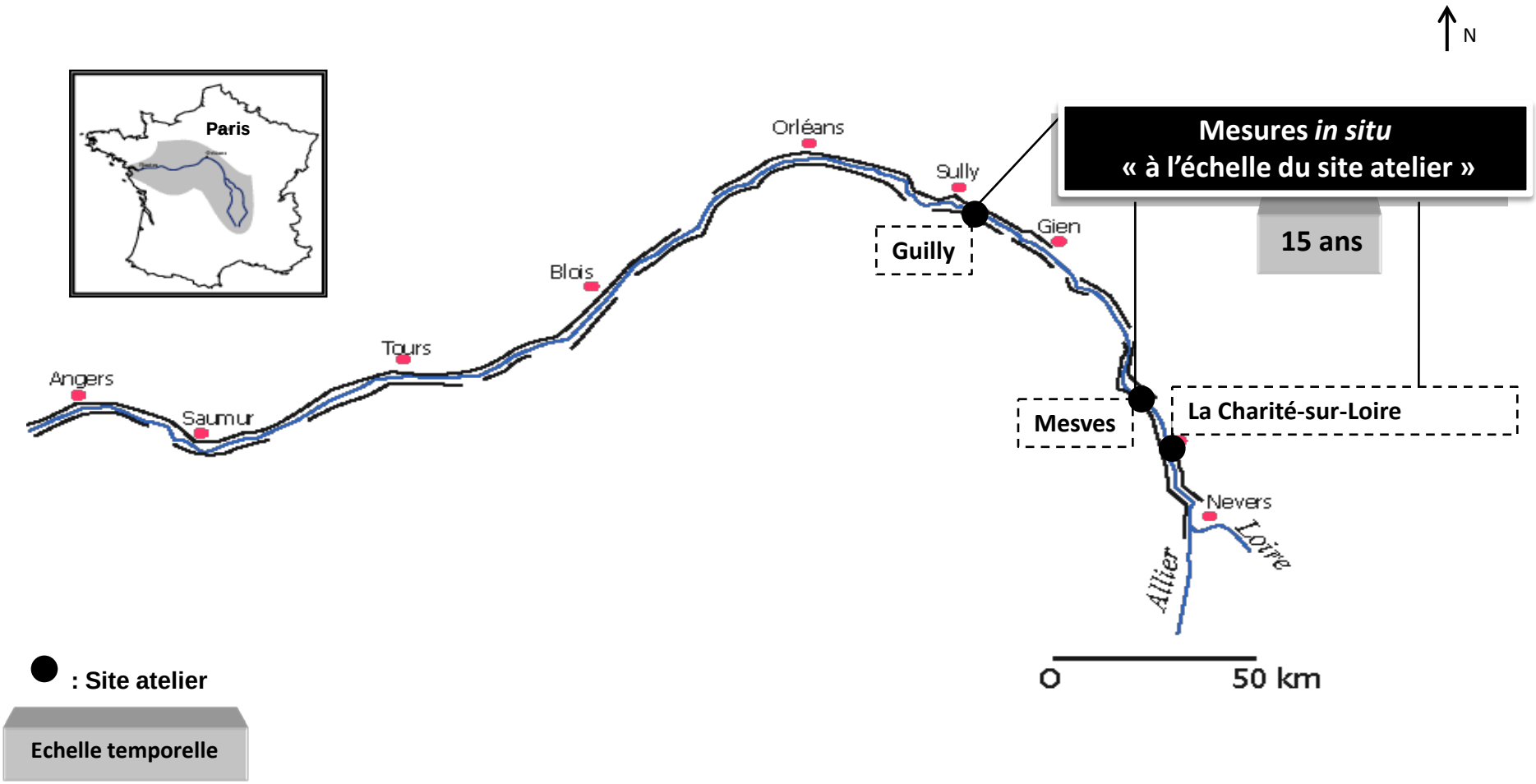
Guilly

- L'évolution hydro-sédimentaire
- L'évolution de la géométrie des unités fluviales
- Le degré d'aménagements (l'influence anthropique)
- L'impact des travaux d'entretien et de restauration.





Méthodes et outils



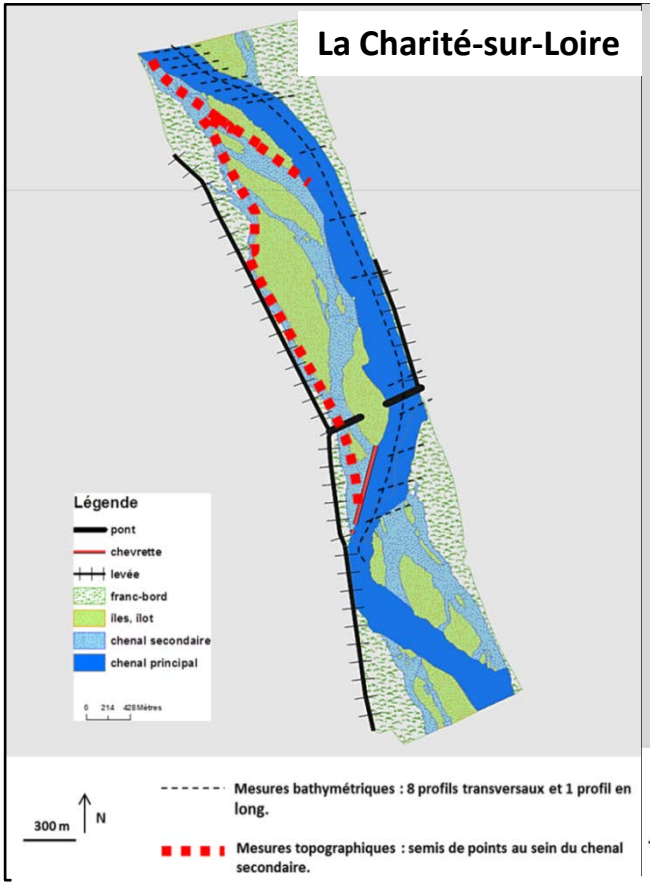
Méthodes et outils

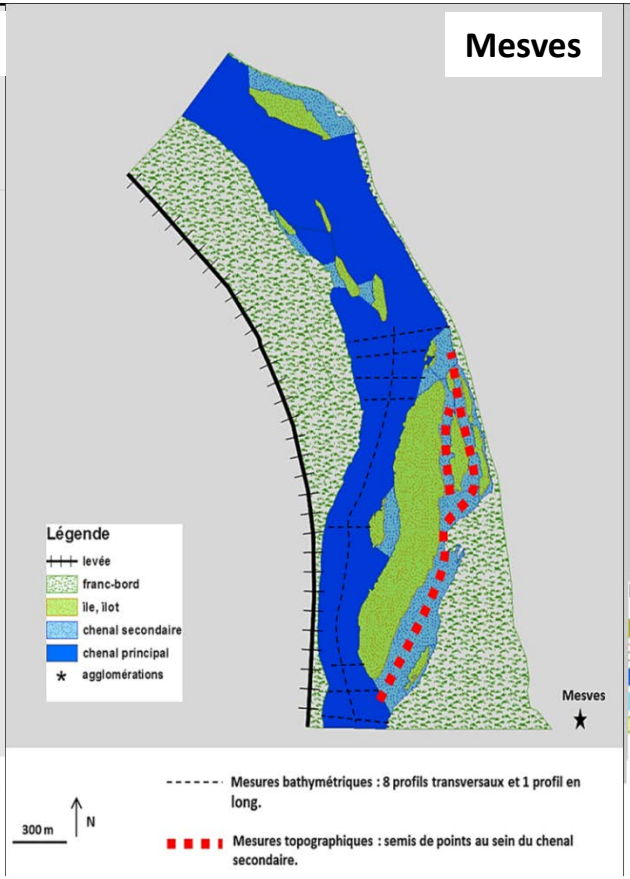
Suivis annuels topographiques & bathymétriques :

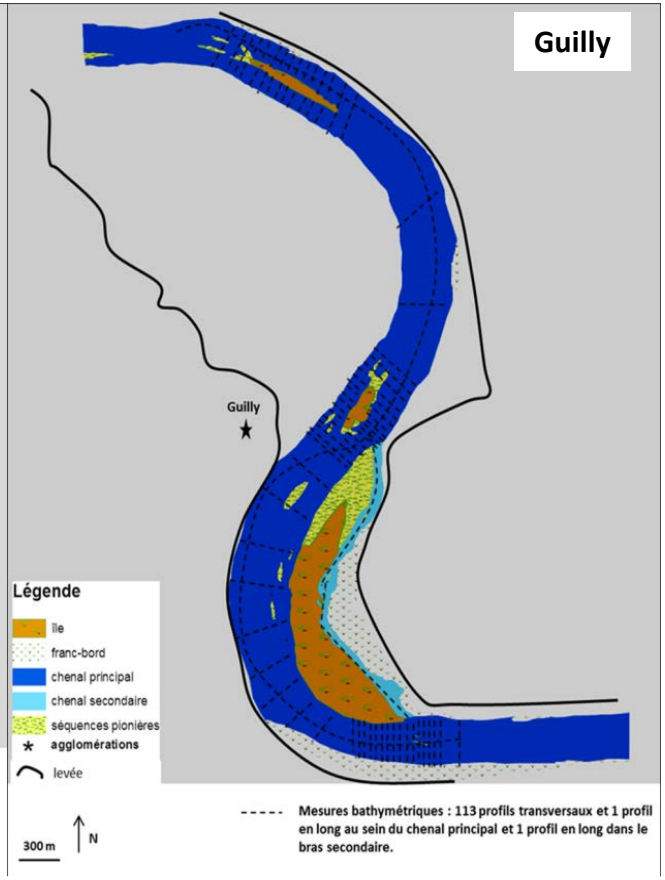
modélisation numérique, comparaison de profils transversaux

Objectifs : localiser et mesurer les zones d'érosion et de sédimentation

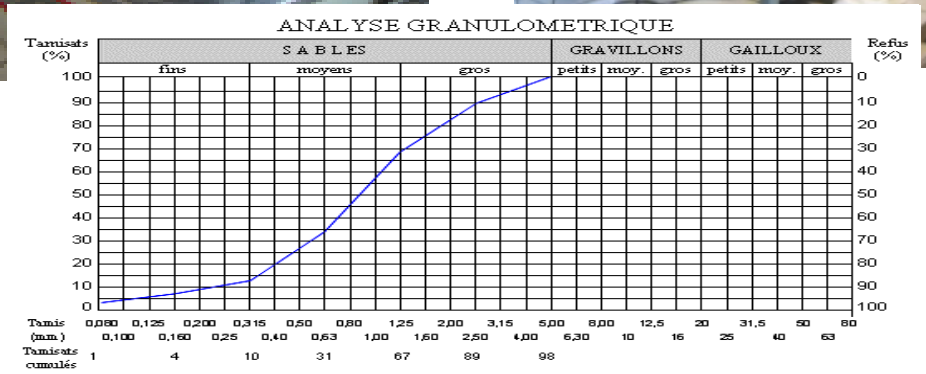
Méthodes et outils





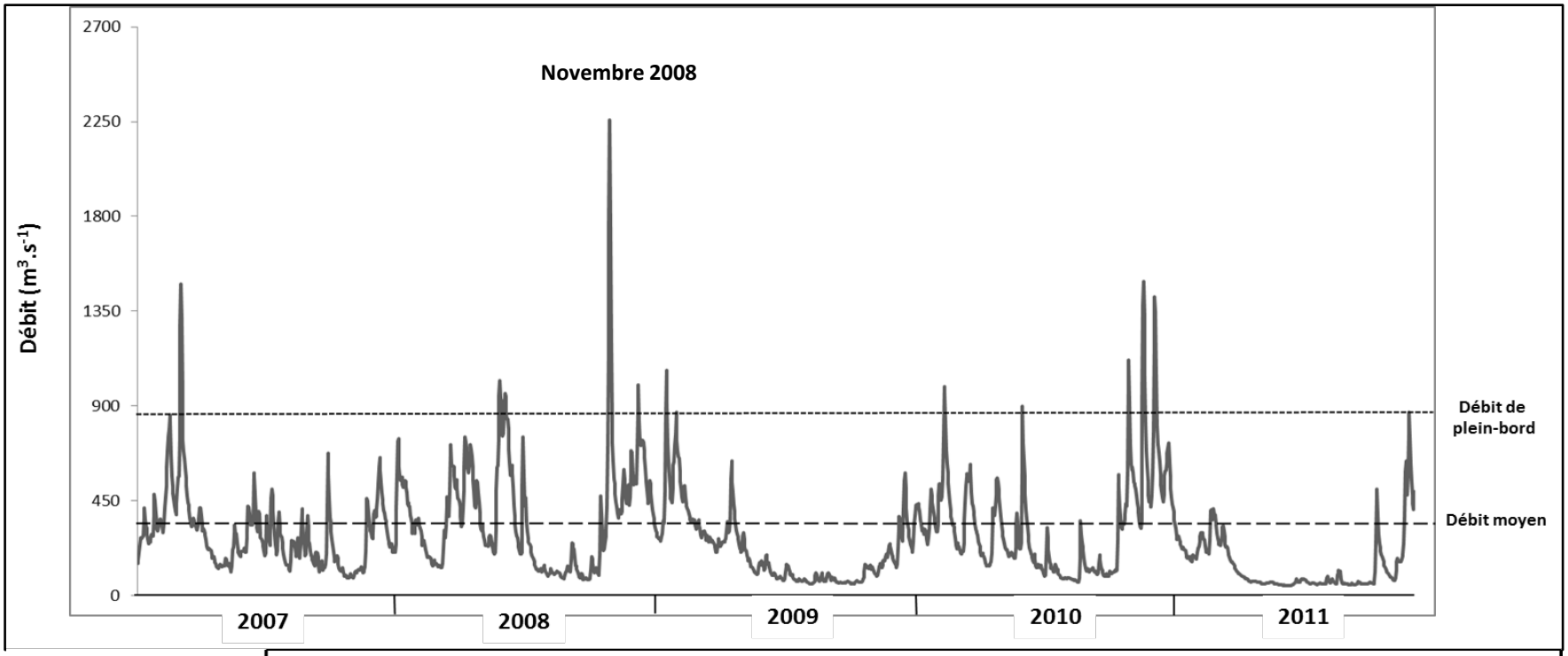


Analyse granulométrique des prélèvements sédimentaires



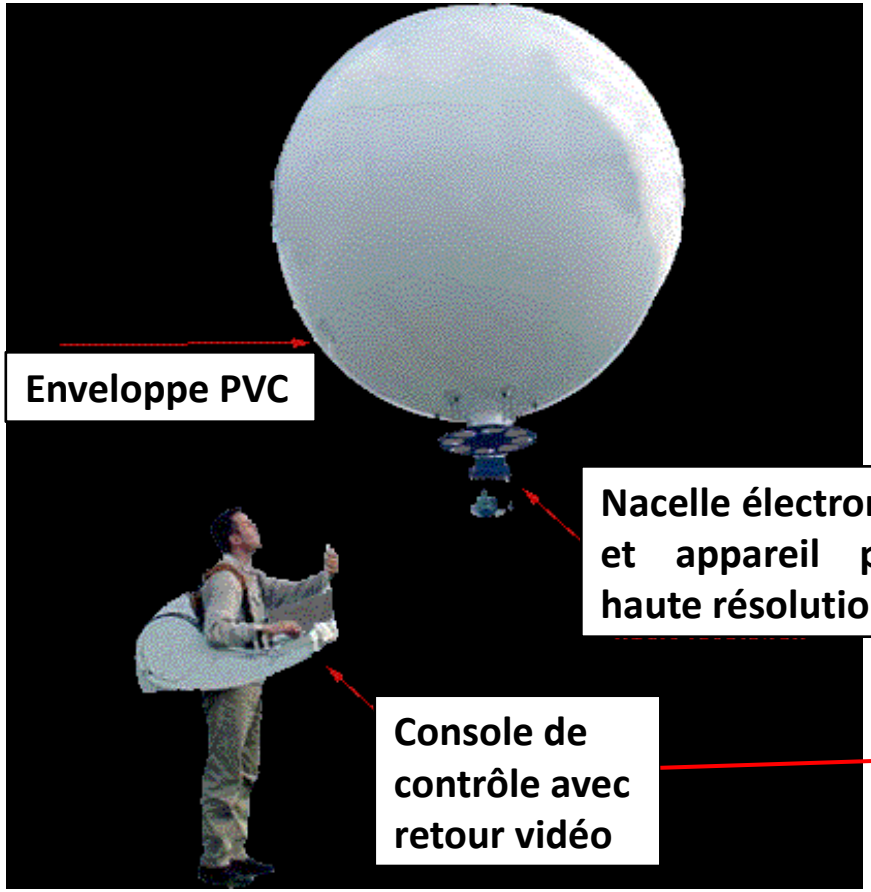
Objectifs : calculer la force tractrice et déterminer le débit d'entrainement des sédiments

Analyse des conditions hydrologiques

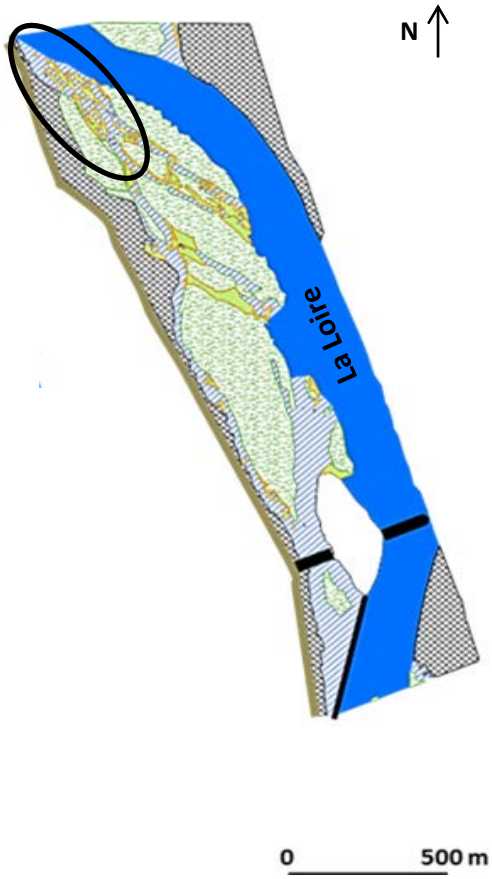


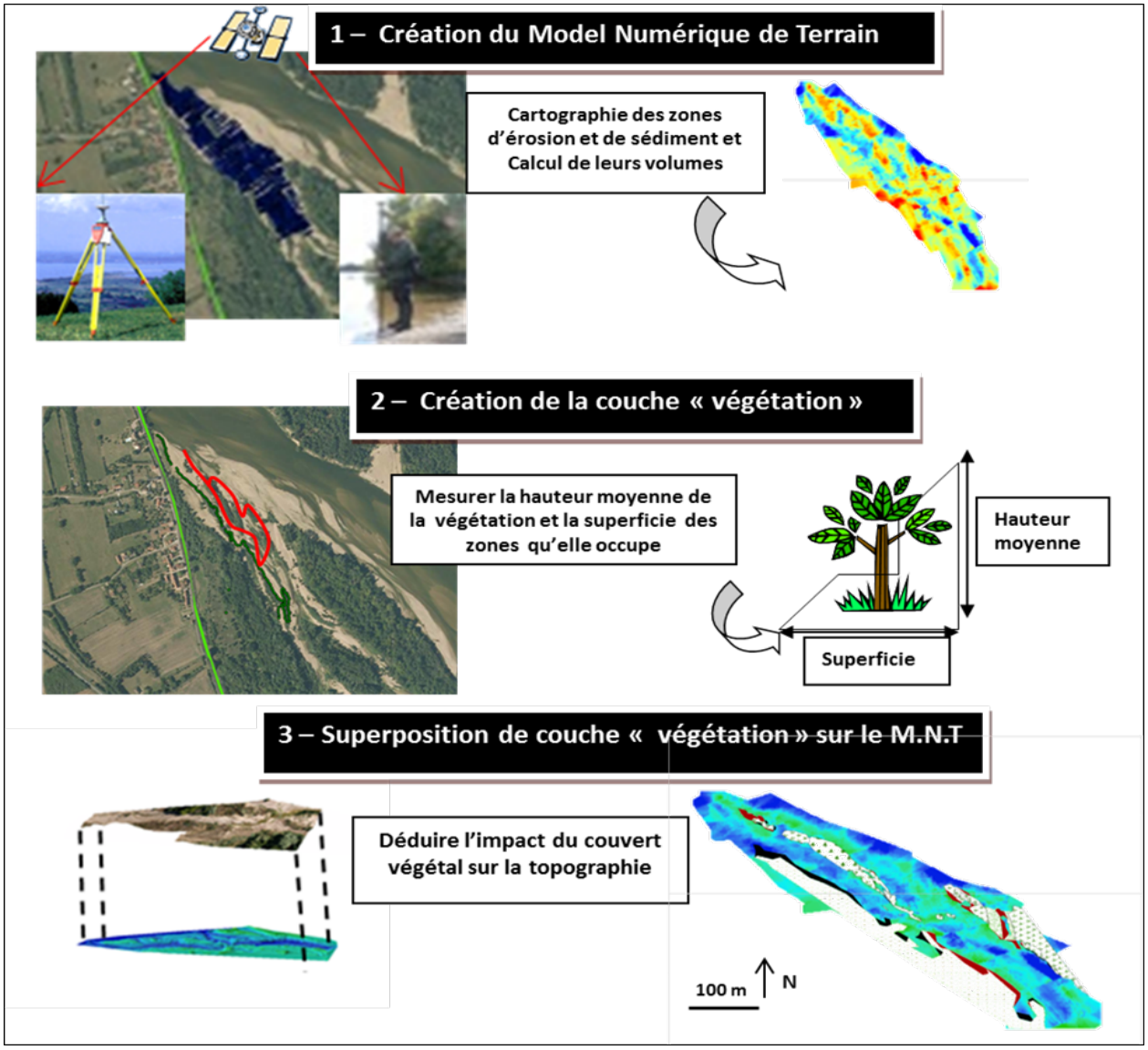
	Nombre de jours des différentes classes de débits ($m^3.s^{-1}$)				
Année	< 350	350 - 850	850 - 1600	1600 - 1800	1800 - 2500
2007	262	98	5		
2008	202	148	13	2	1
2009	300	61	4		
2010	234	116	15		
2011	319	45	1		

Application d'un ballon captif à la géomorphologie fluviale et au suivi fin des travaux de restauration du lit de la Loire



La très haute résolution par ballon-captif
Site-test : rive gauche de La Charité-sur-Loire

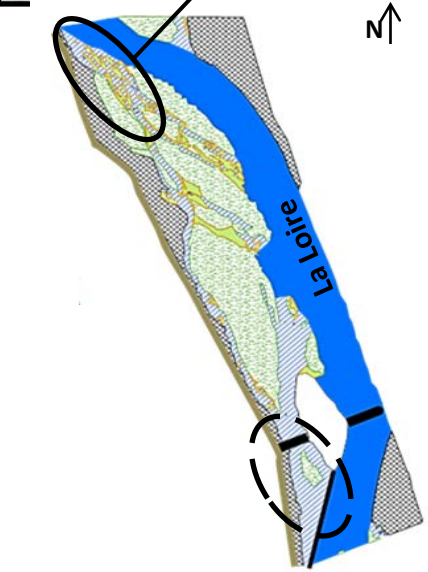




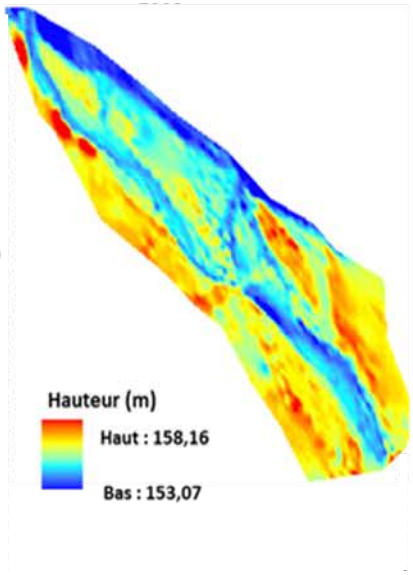
Résultats

Site atelier de La Charité-sur-Loire : évolution topographique de la partie aval du chenal secondaire

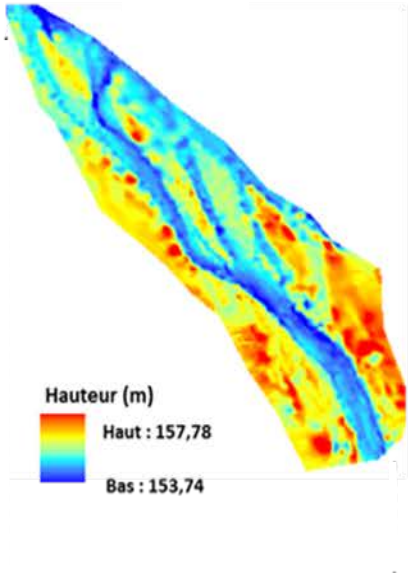
Une tendance permanente à l'érosion



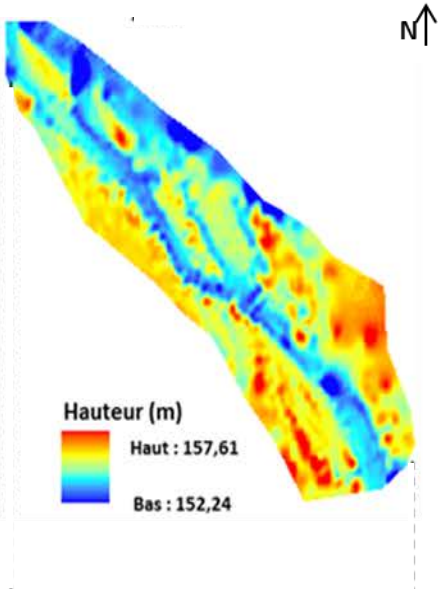
2008



2009



2010



Bilan sédimentaire :

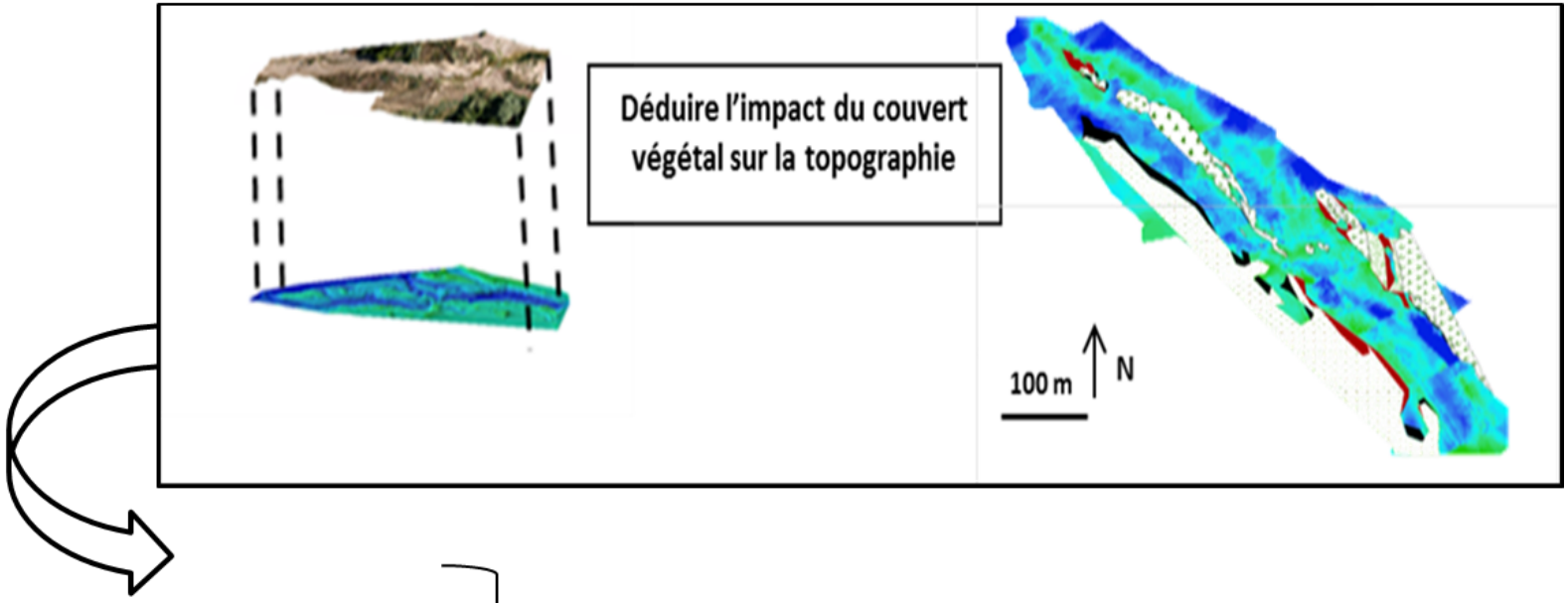
2008 – 2009	2009 – 2010
- 4 781 m³	- 1 725 m³

Résultats

Site atelier de La Charité-sur-Loire : évolution topographique de la partie aval du chenal secondaire

Influence de la végétation sur la dynamique sédimentaire

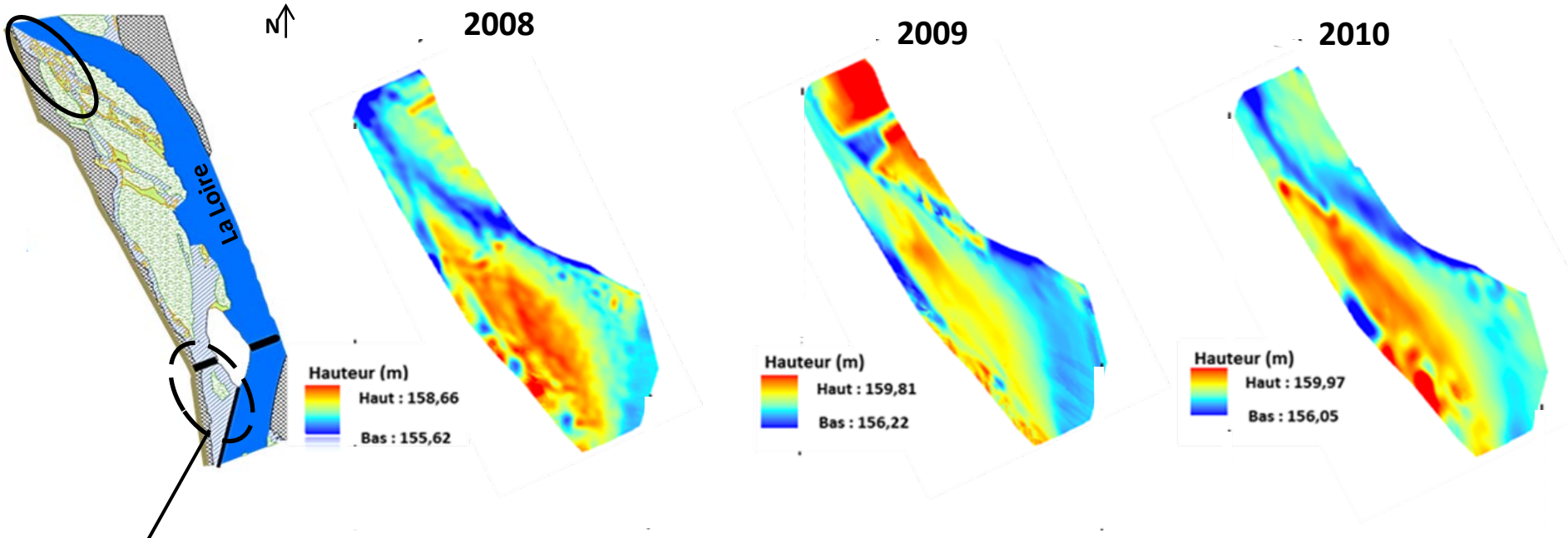
Superposition de la carte du couvert végétal sur le MNT

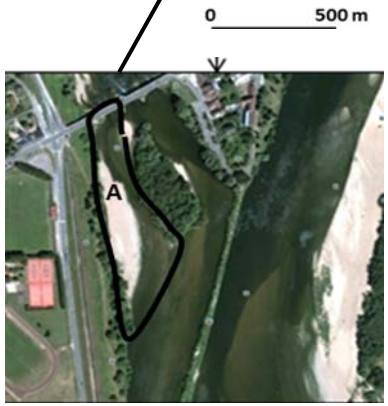


Les saules et peupliers de hauteur moyenne de 2 m piègent le plus de sédiments

Site atelier de La Charité-sur-Loire : évolution topographique de la partie amont du chenal secondaire

« Une alternance de phase de sédimentation et d'incision »



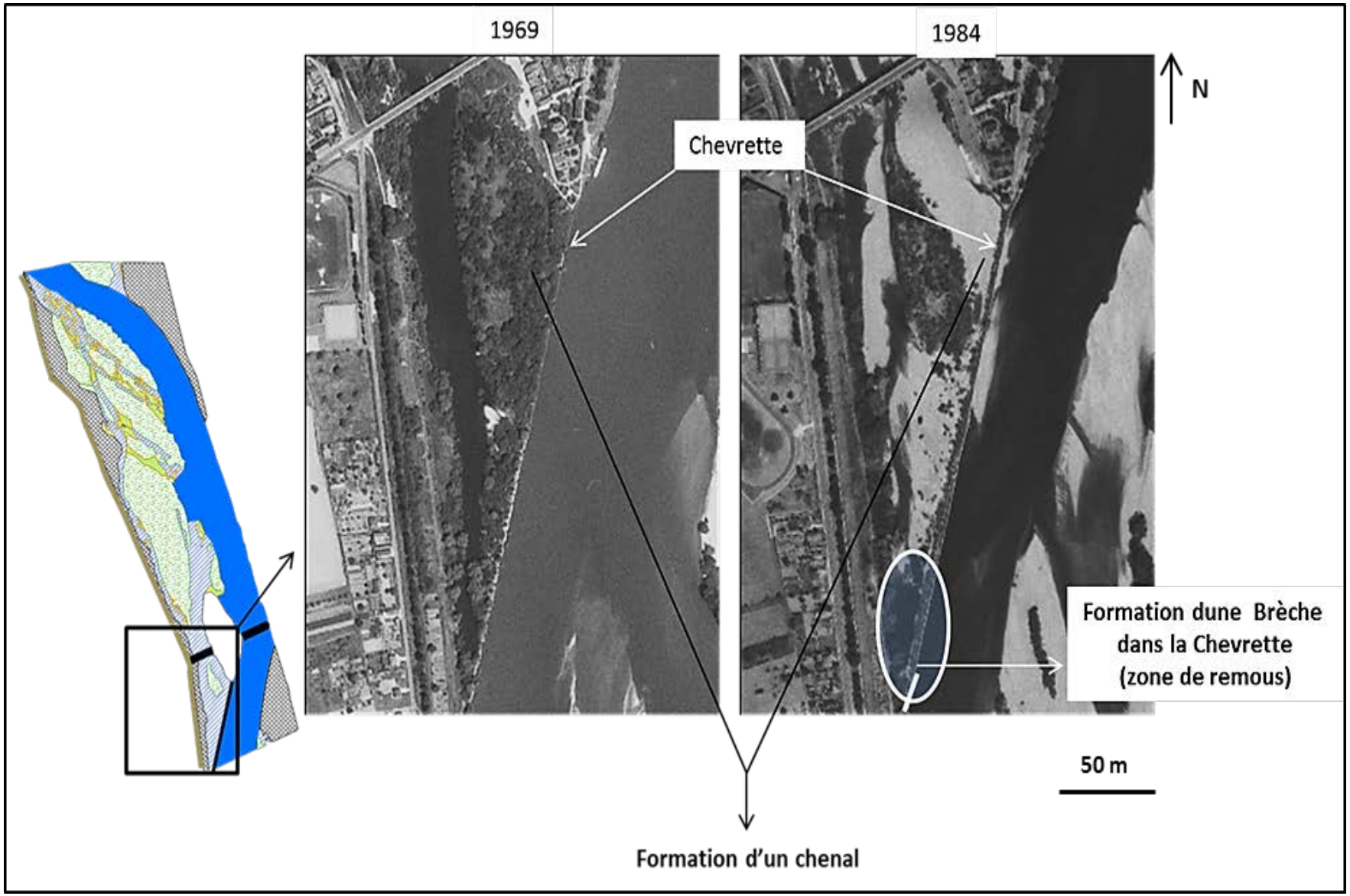


Bilan sédimentaire :

2008 – 2009	2009 – 2010
+ 1 400 m³	- 13 000 m³

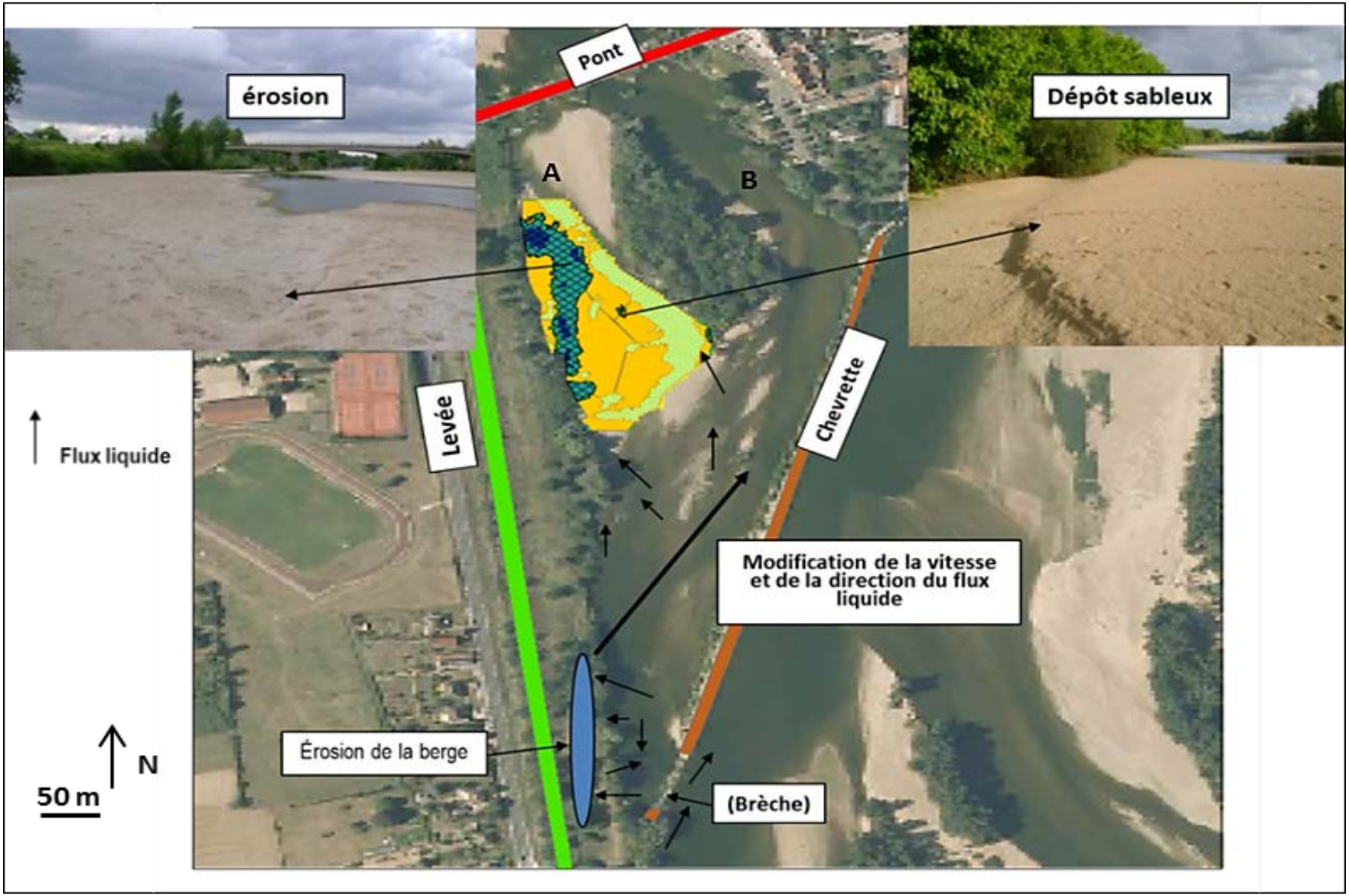
Site atelier de La Charité-sur-Loire : évolution topographique de la partie amont du chenal secondaire

Résultats **Influence d'un ouvrage de navigation « la chevrette »**



Grivel, 2008

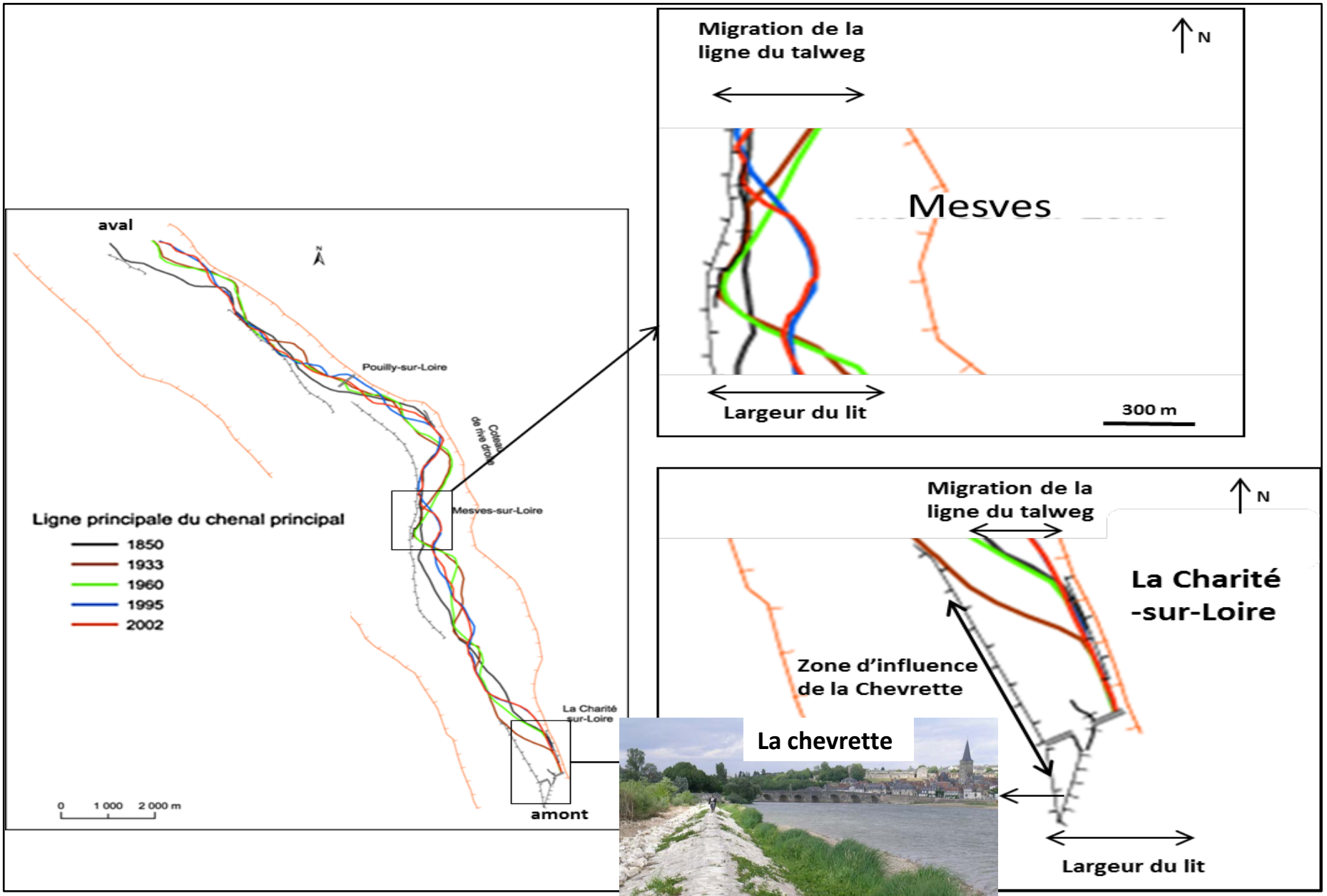
Résultats **Influence d'un ouvrage de navigation « la chevrette »**



Grivel, 2008

Résultats

Influence d'un ouvrage de navigation « la chevrette »

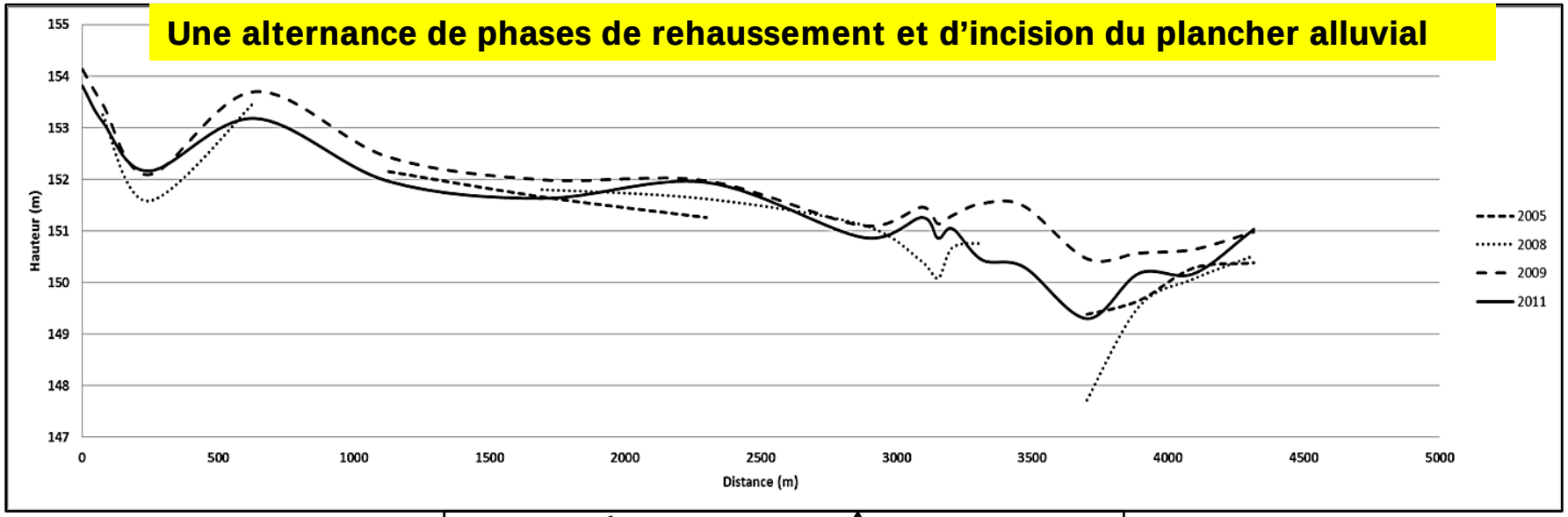


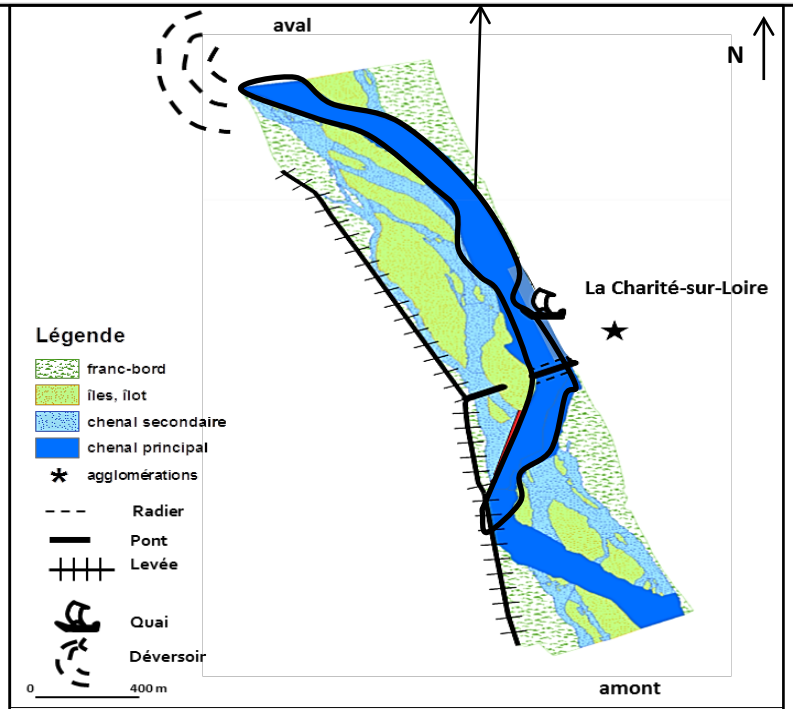
Grivel, 2008

Site de La Charité-sur-Loire (2005 – 2011)

Évolution du profil en long du chenal principal - influence de la crue de novembre 2008

Une alternance de phases de rehaussement et d'incision du plancher alluvial



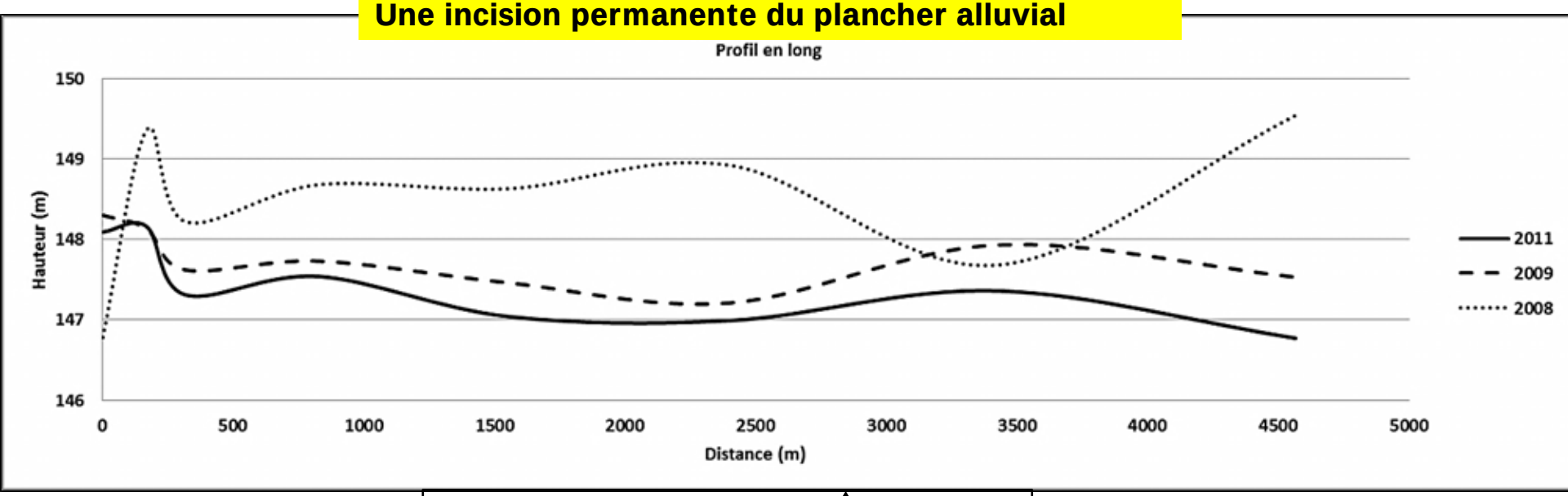


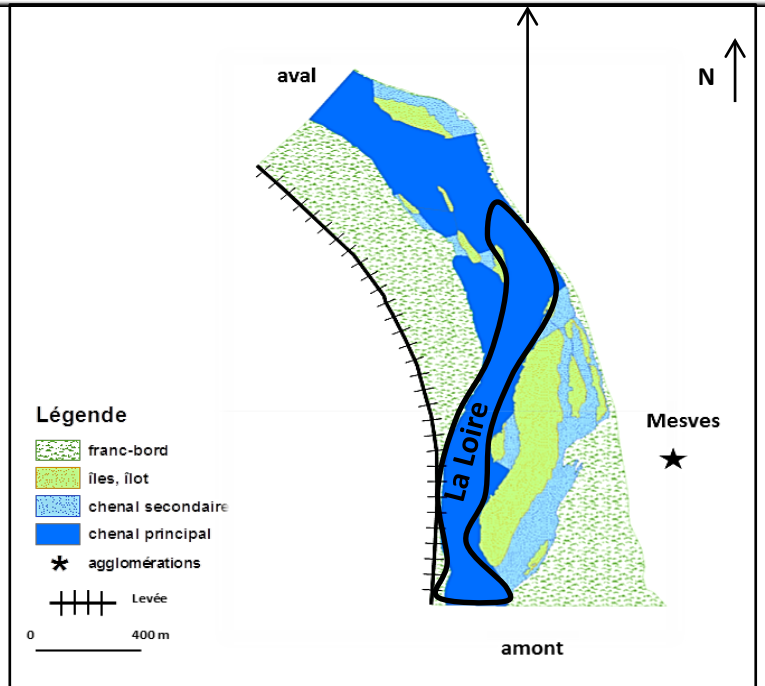
Résultats

Site atelier de Mesves : (2008 – 2011)

Évolution du profil en long du chenal principal - influence de la crue de novembre 2008

Une incision permanente du plancher alluvial

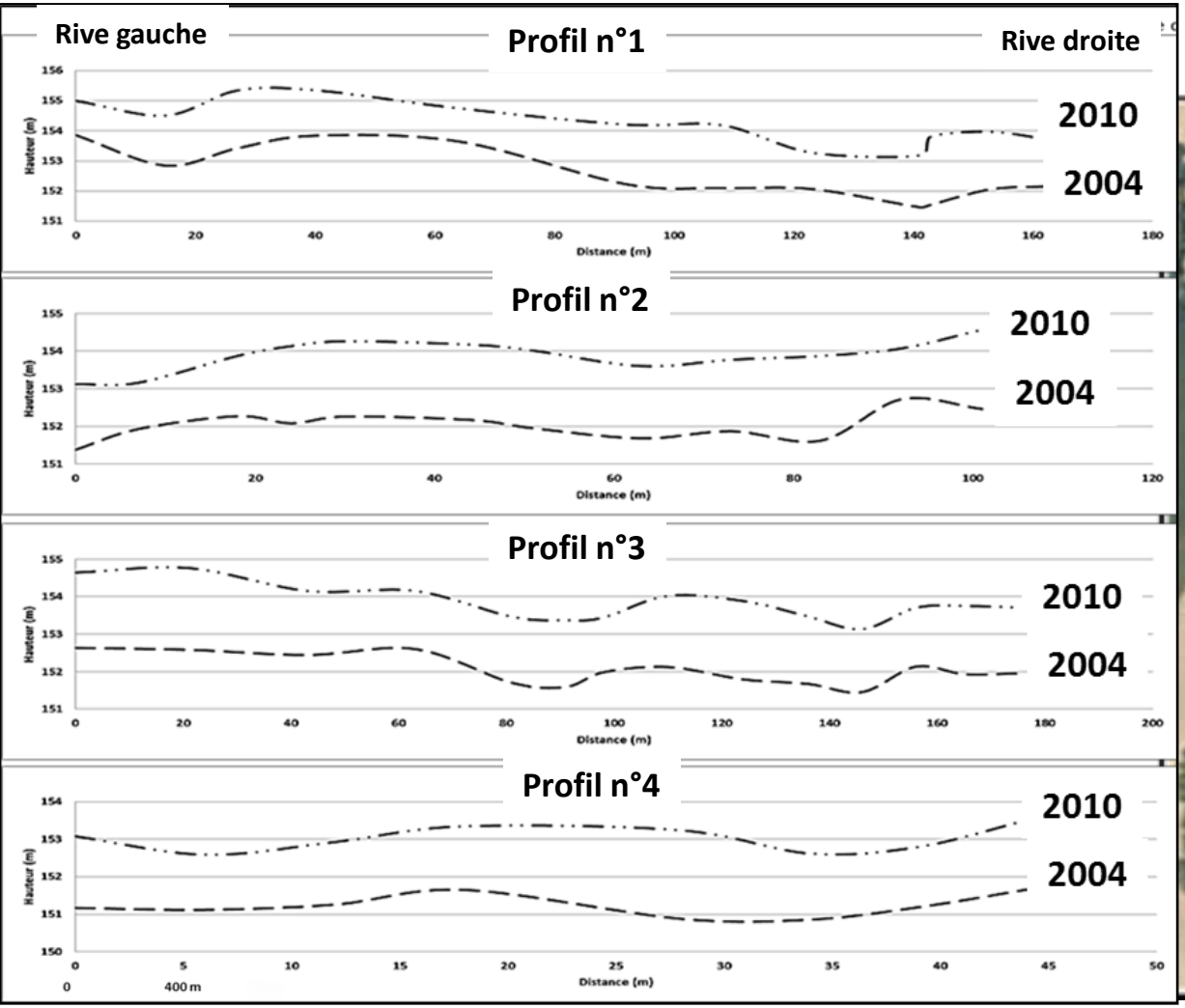


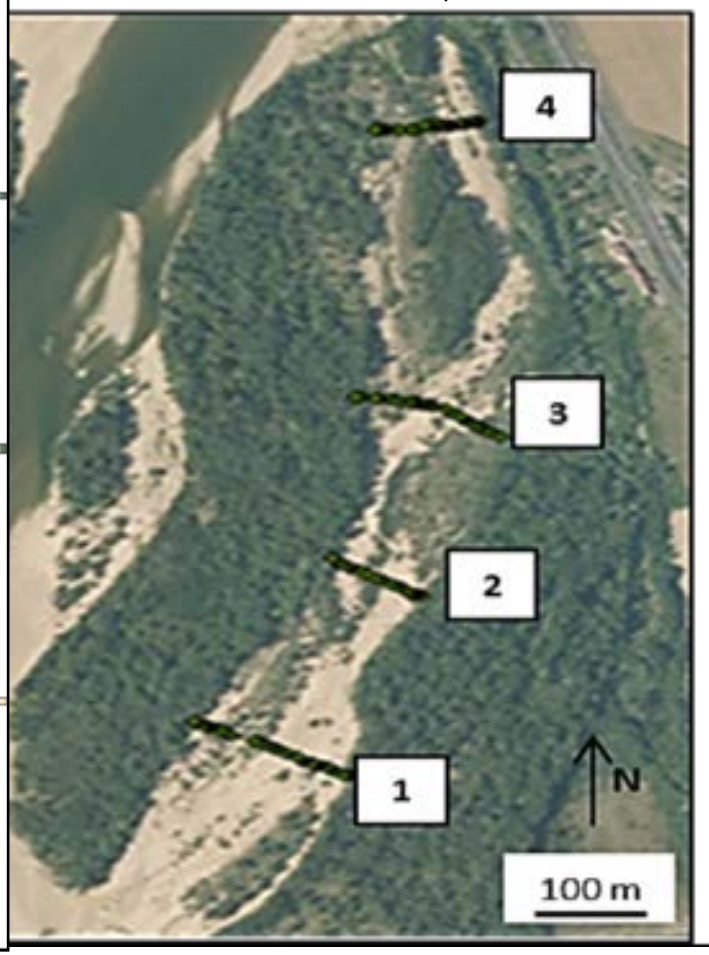


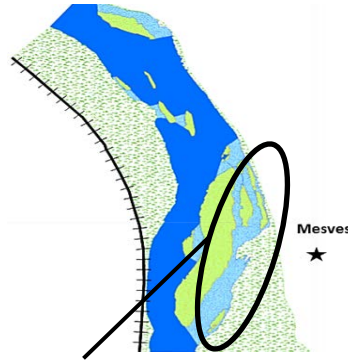
Résultats

Site de Mesves : évolution topographique du bras secondaire (2004 – 2010)

Un rehaussement moyen de 30 cm / an

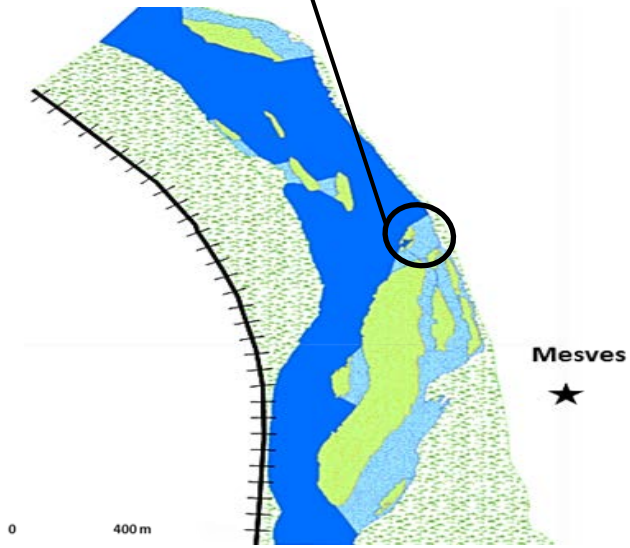




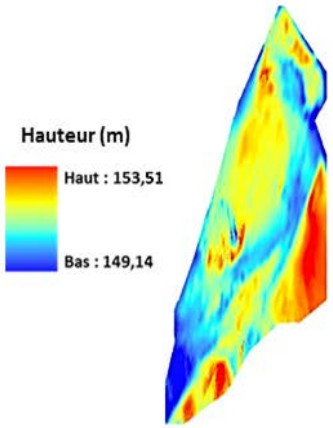


Résultats

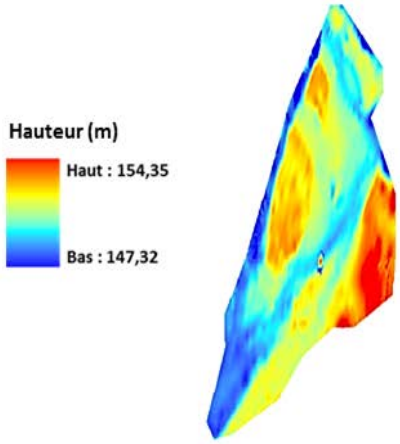
2008 – 2010 : Une alternance de phases de sédimentation et d'érosion



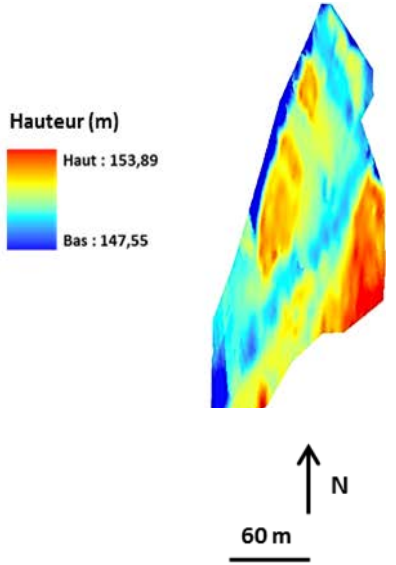
2008



2009



2010



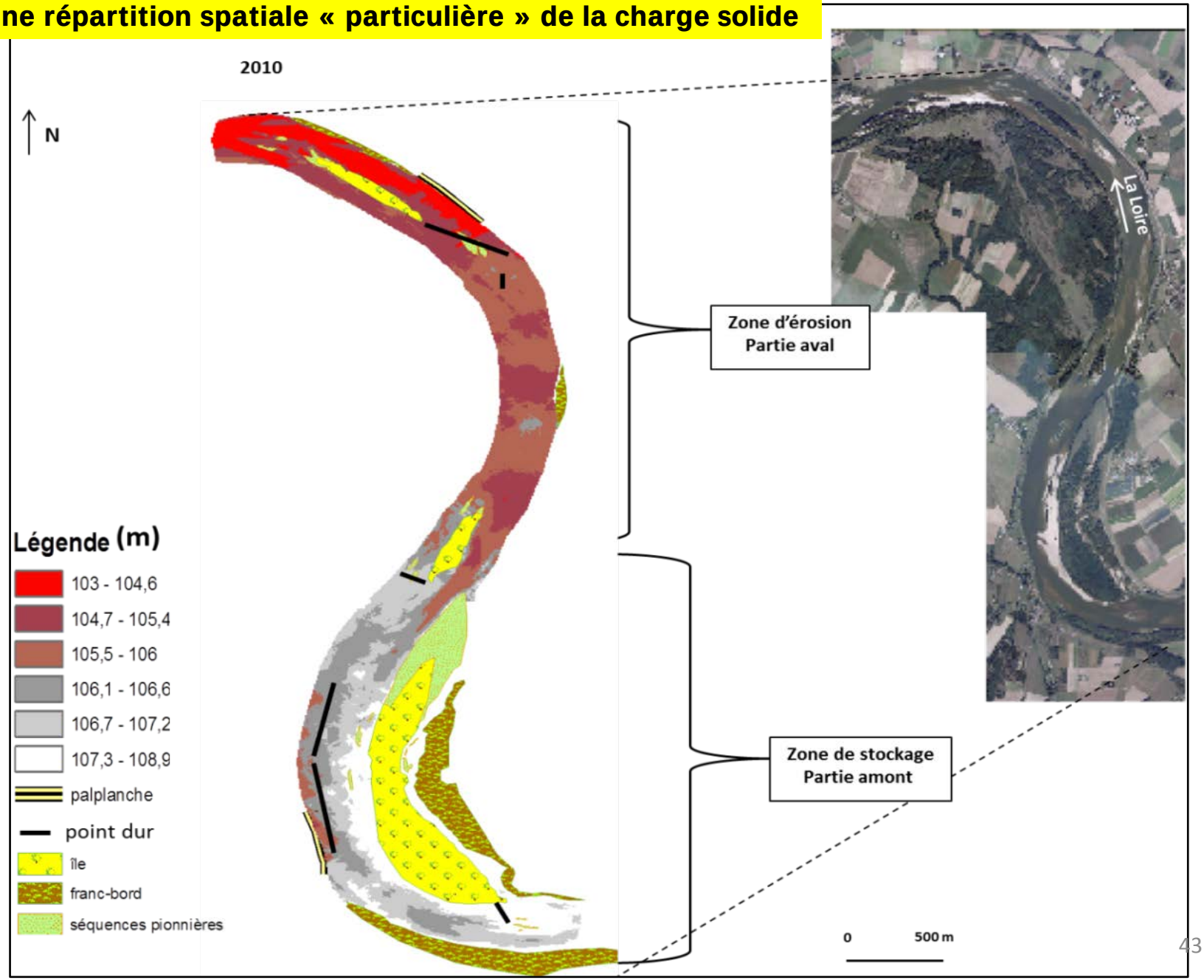
Bilan sédimentaire :

2008 – 2009	2009 – 2010
+ 13 400 m³	- 3 850 m³

Résultats

Site atelier de Guilly

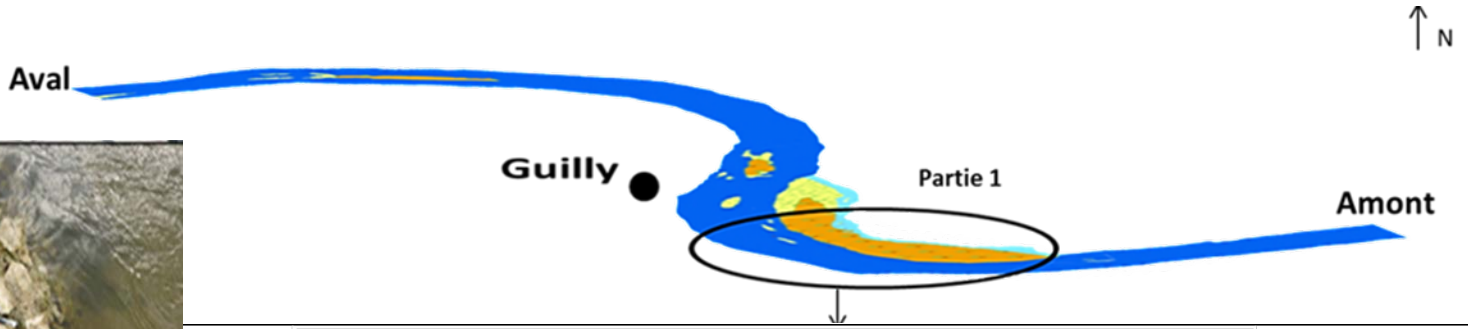
Une répartition spatiale « particulière » de la charge solide



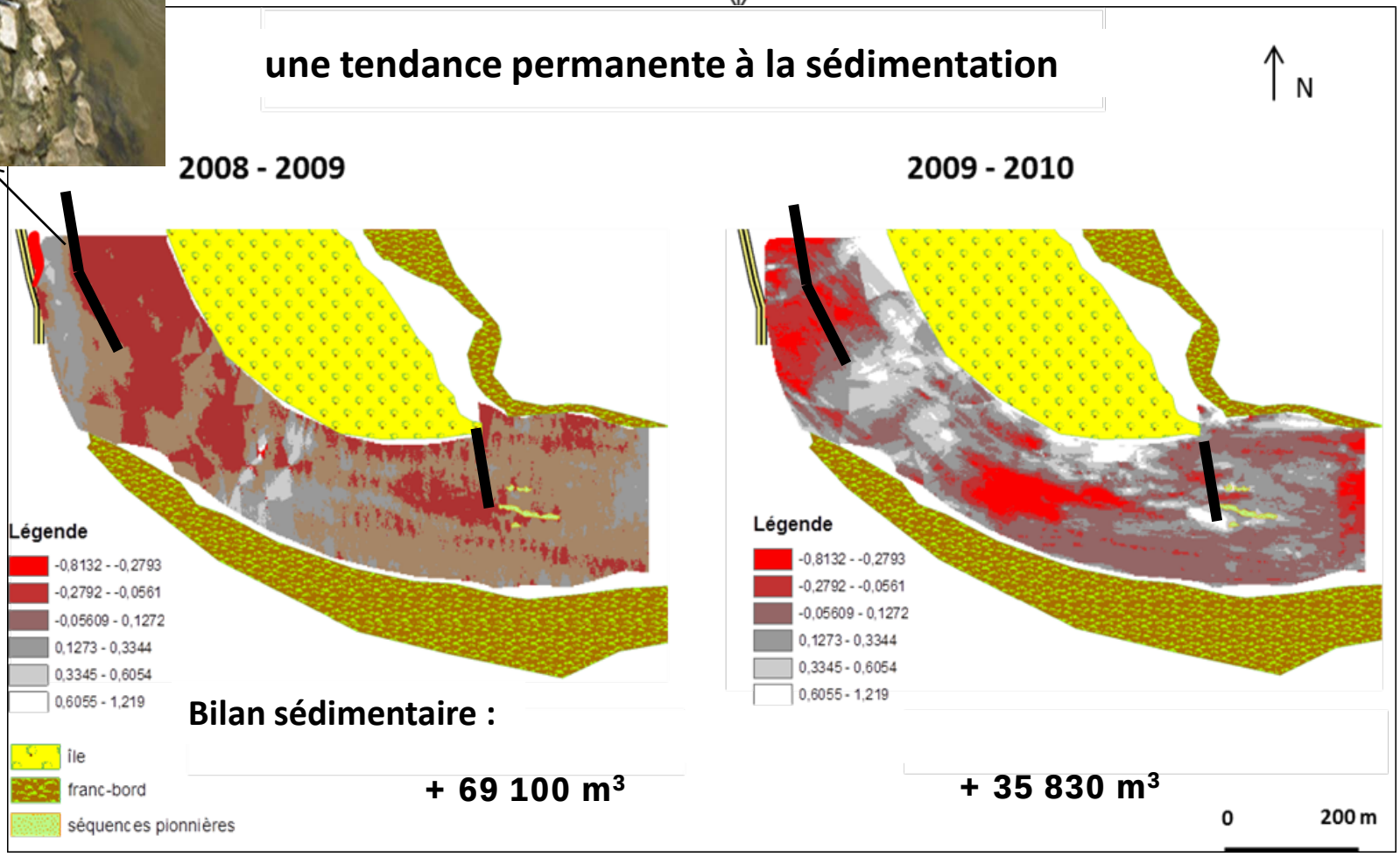
Site atelier de Guilly

La mise en évidence de seuils durs artificiels

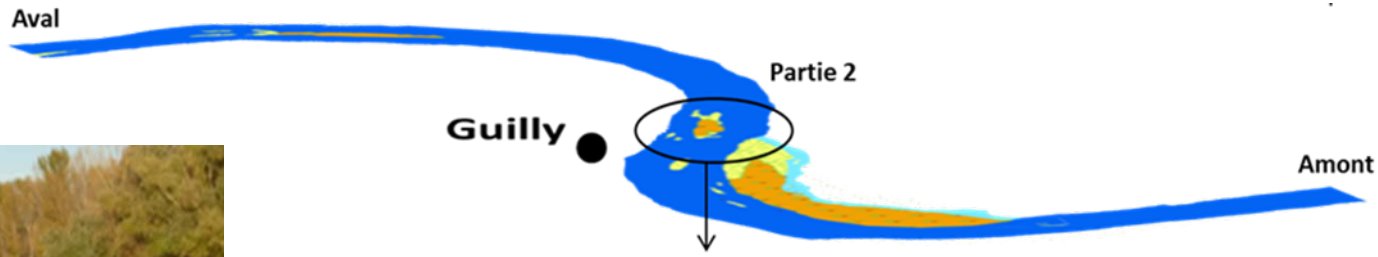
Résultats



une tendance permanente à la sédimentation



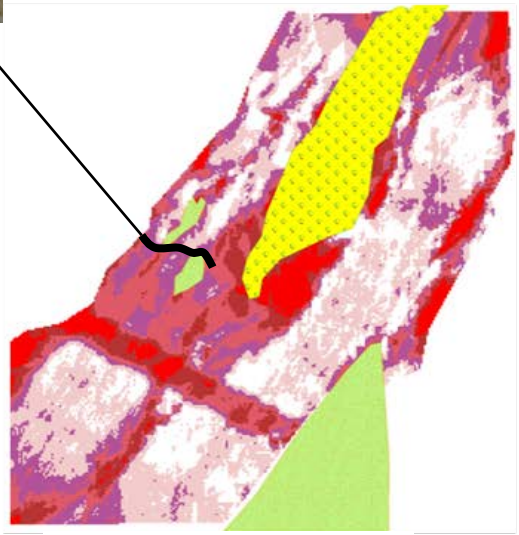
Résultats



une tendance permanente à la l'érosion

N

2008 - 2009

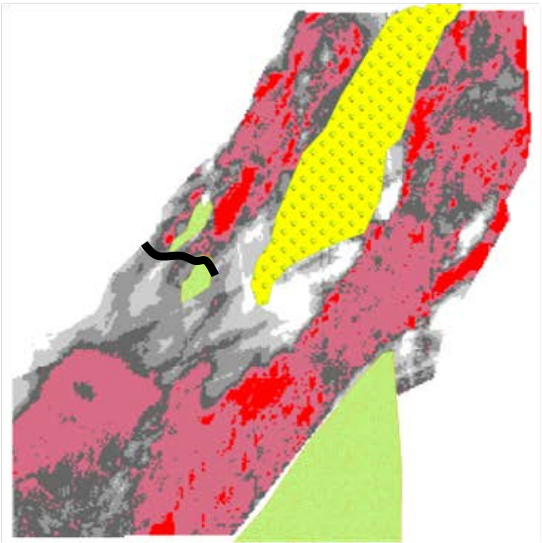


Légende
-1,314 - -0,6309
-0,6308 - -0,4237
-0,4236 - -0,255
-0,2549 - -0,1016
-0,1015 - 0,03652
0,03653 - 0,6425
île
franc-bord
séquences pionnières

Bilan sédimentaire :

- 55 400 m³

2009 - 2010



Légende
-0,6247 - -0,08602
-0,08601 - 0,05391
0,05392 - 0,1868
0,1869 - 0,3338
0,3339 - 0,5297
0,5298 - 1,159

- 13 330 m³

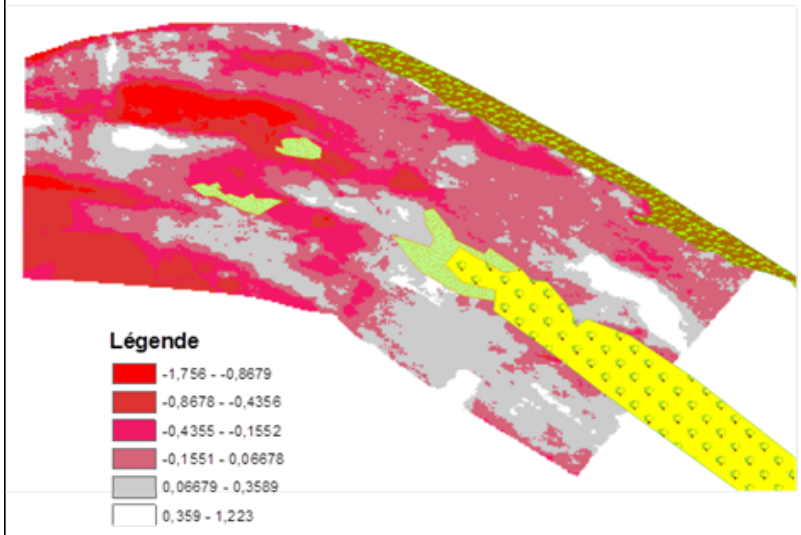
0 200 m

Résultats

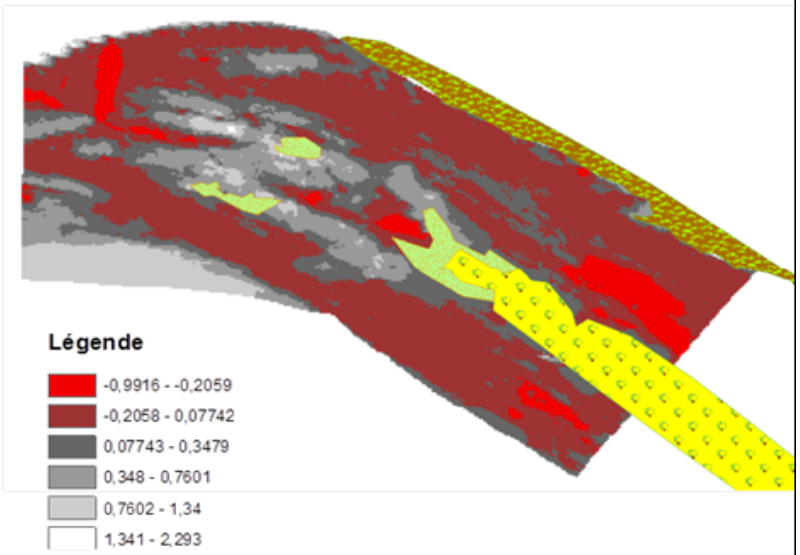
une tendance permanente à l'érosion

N

2008 - 2009



2009 - 2010



Bilan sédimentaire :

- 24 000 m³

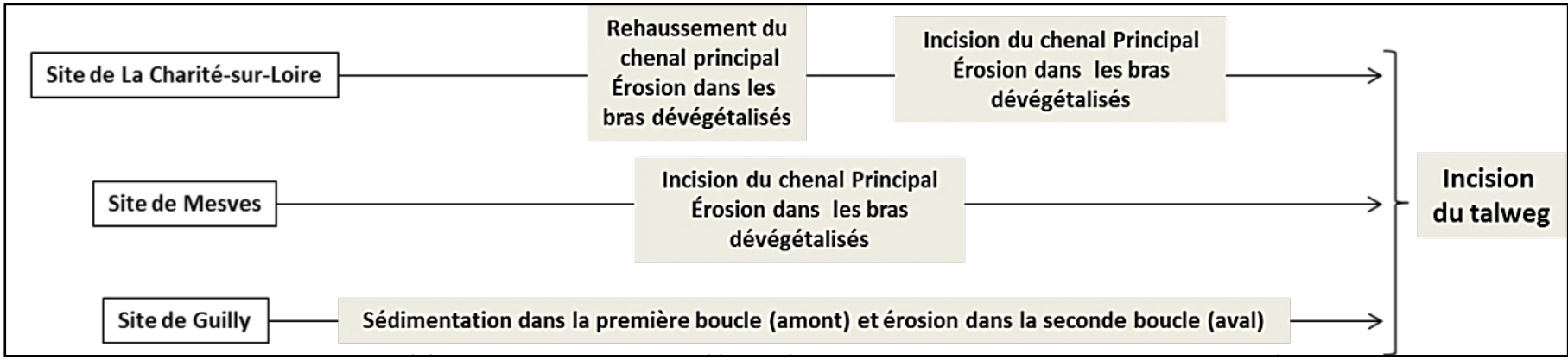
- 5 450 m³

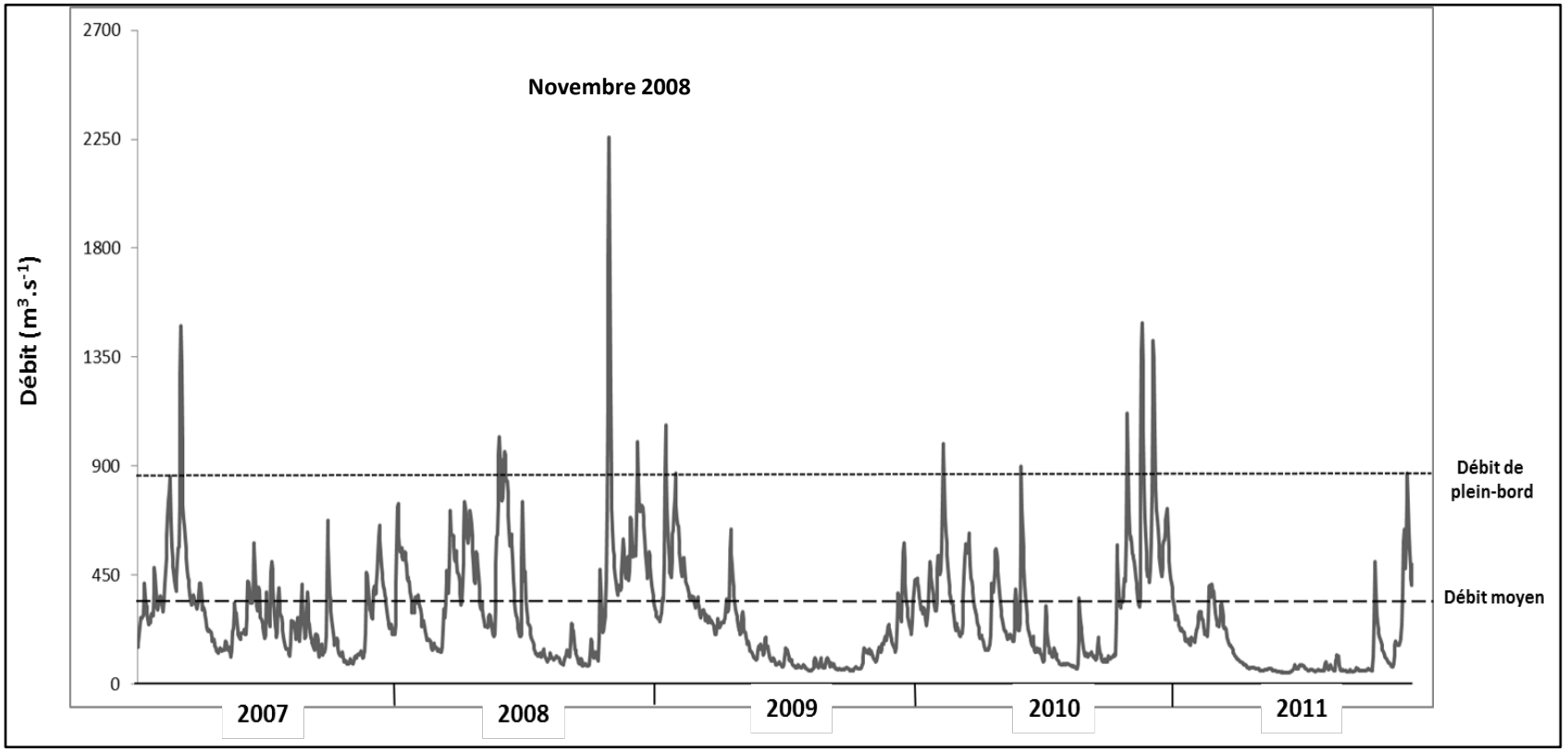
île
franc-bord
séquences pionnières

0 200 m

Résultats

Synthèse de l'évolution topographique



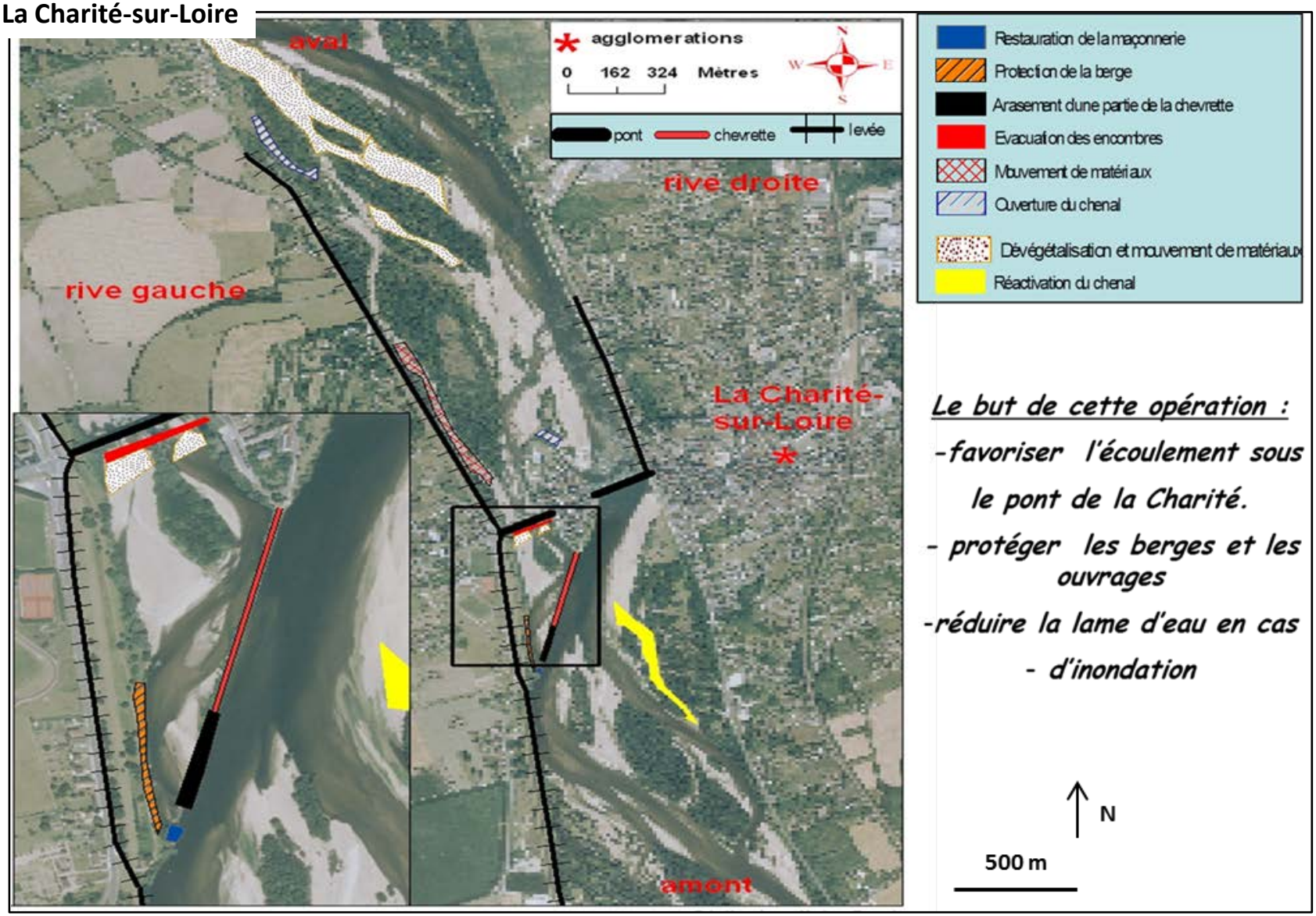


Évolution des conditions hydrologiques

❑ Optimisation des travaux de restauration

Perspectives de restauration : au sein des sites ateliers

La Charité-sur-Loire



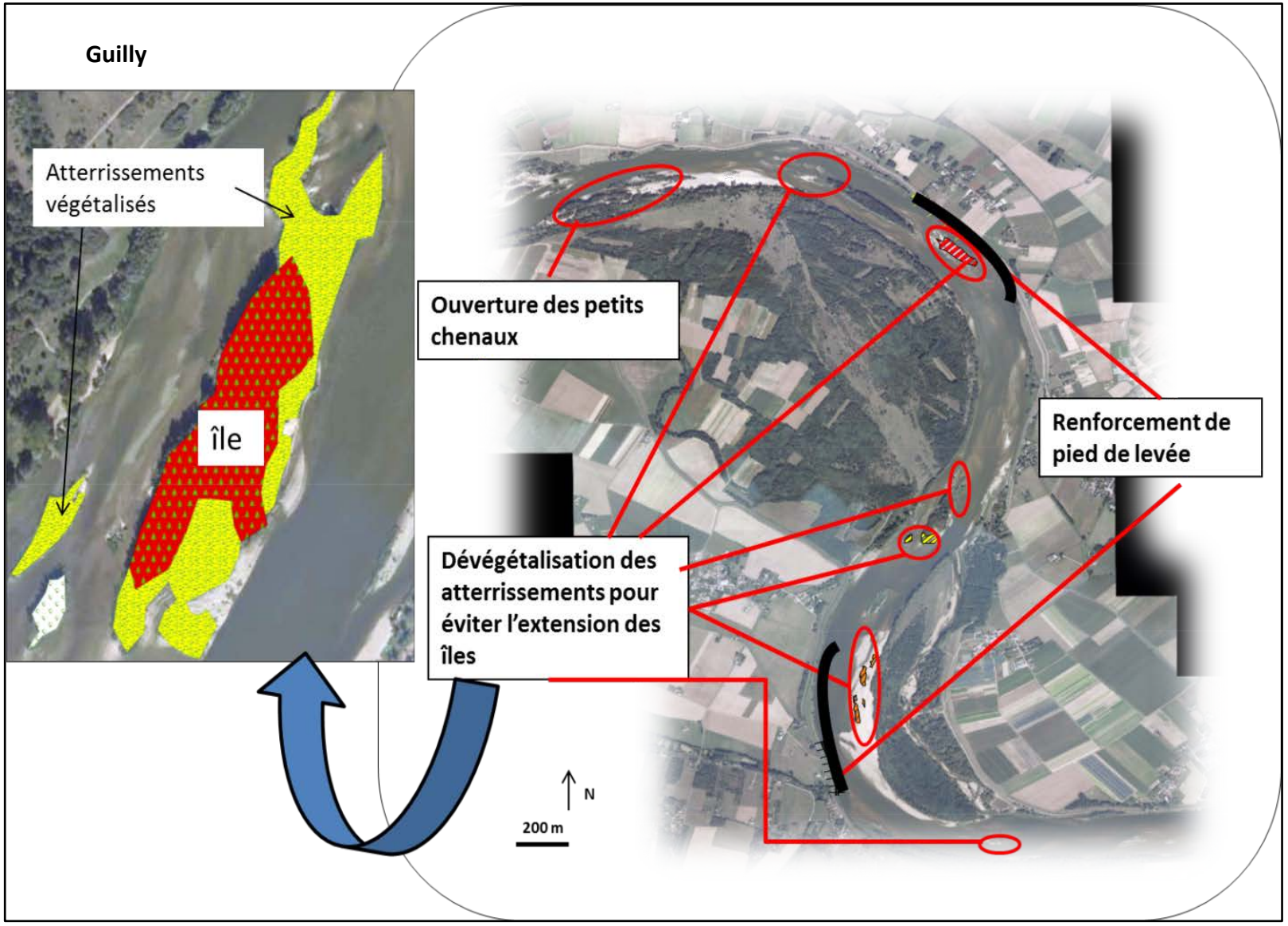
❑ Optimisation des travaux de restauration

Perspectives de restauration : au sein des sites ateliers

Mesves

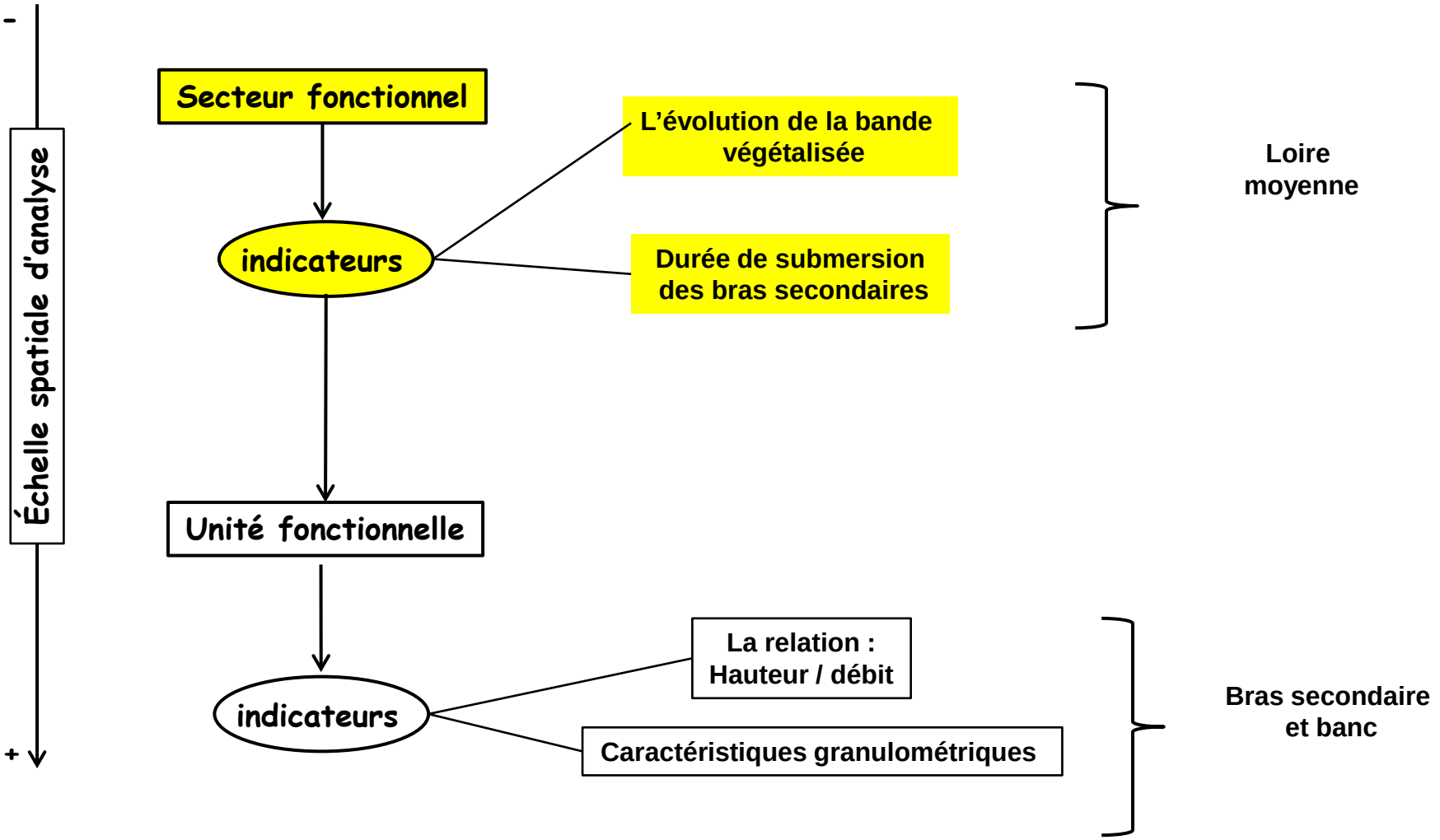
❑ Optimisation des travaux de restauration

Perspectives de restauration : au sein des sites ateliers



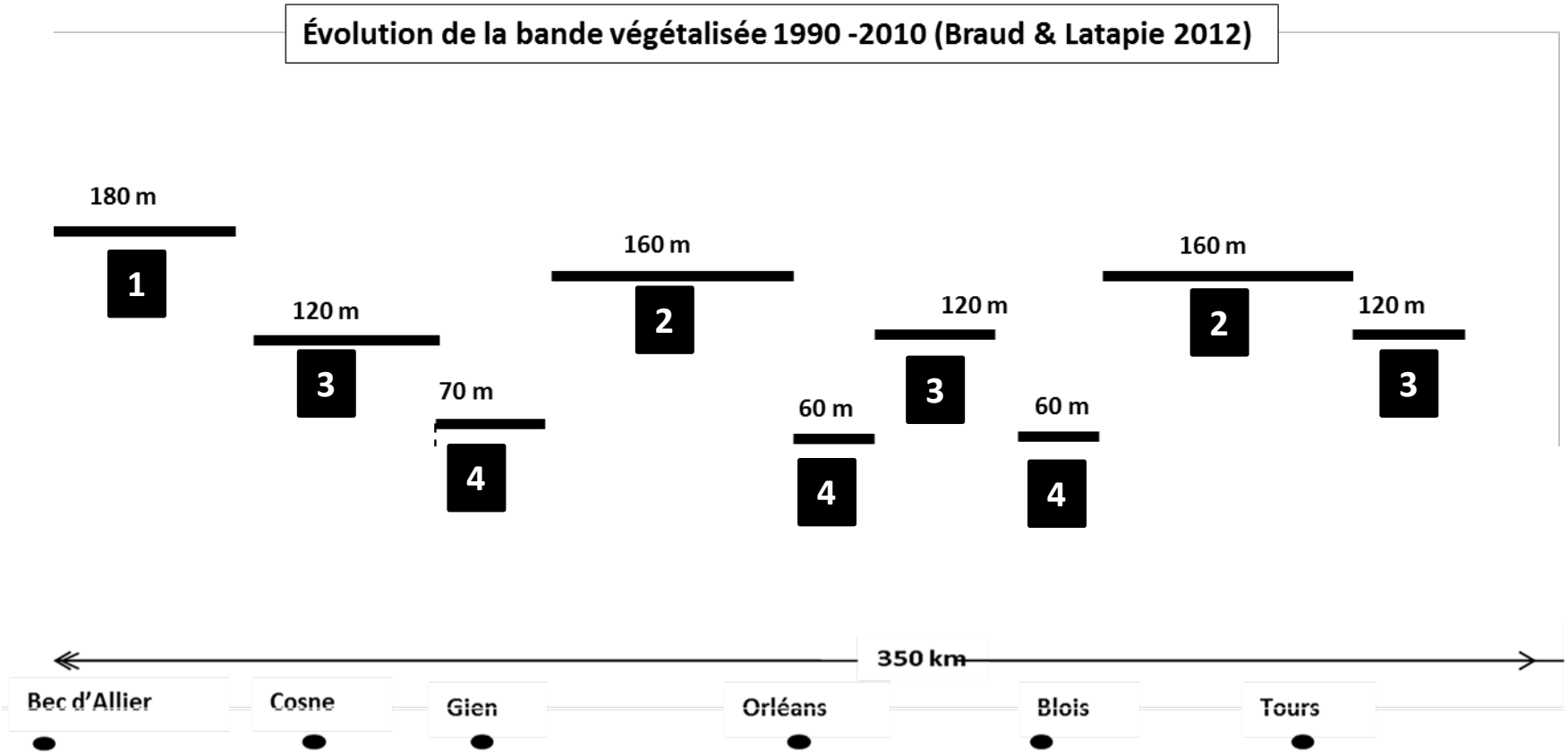
❑ Optimisation des travaux de restauration

Protocole d'analyse pour améliorer les travaux de restauration du lit



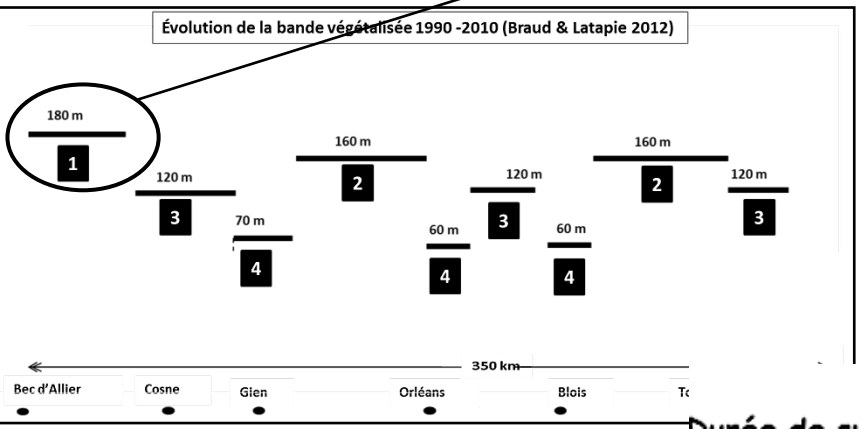
❑ Optimisation des travaux de restauration

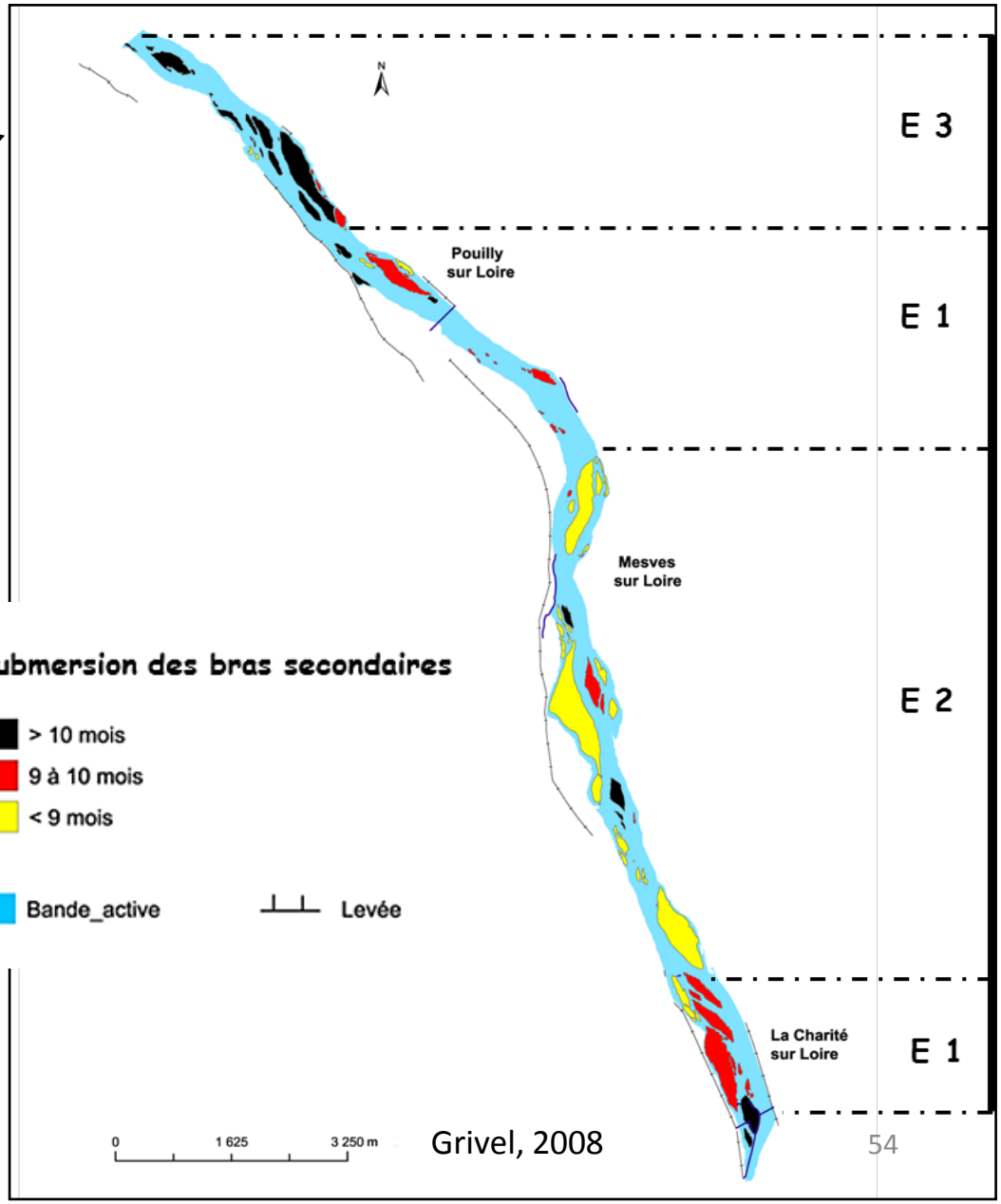
Délimiter des sous-secteurs en fonction du rythme d'évolution du couvert végétal



❑ Optimisation des travaux de restauration

Délimiter les ensembles hydrologiques homogènes en fonction des durées de submersion des bras secondaires

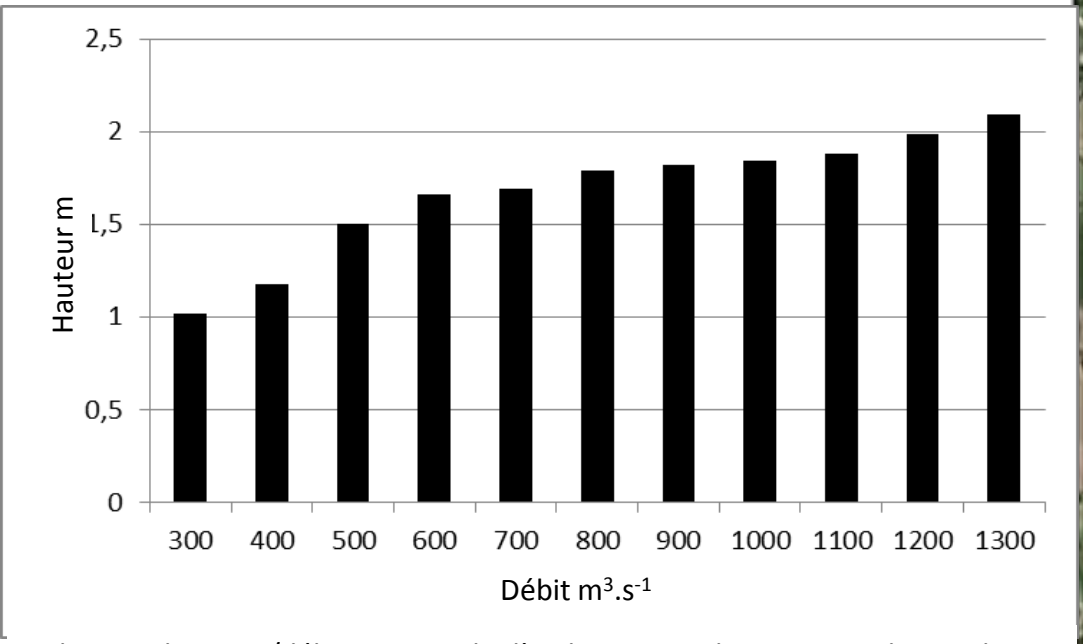




Grivel, 2008

❑ Optimisation des travaux de restauration

La relation : Hauteur/débit, *calculer le tirant d'eau*

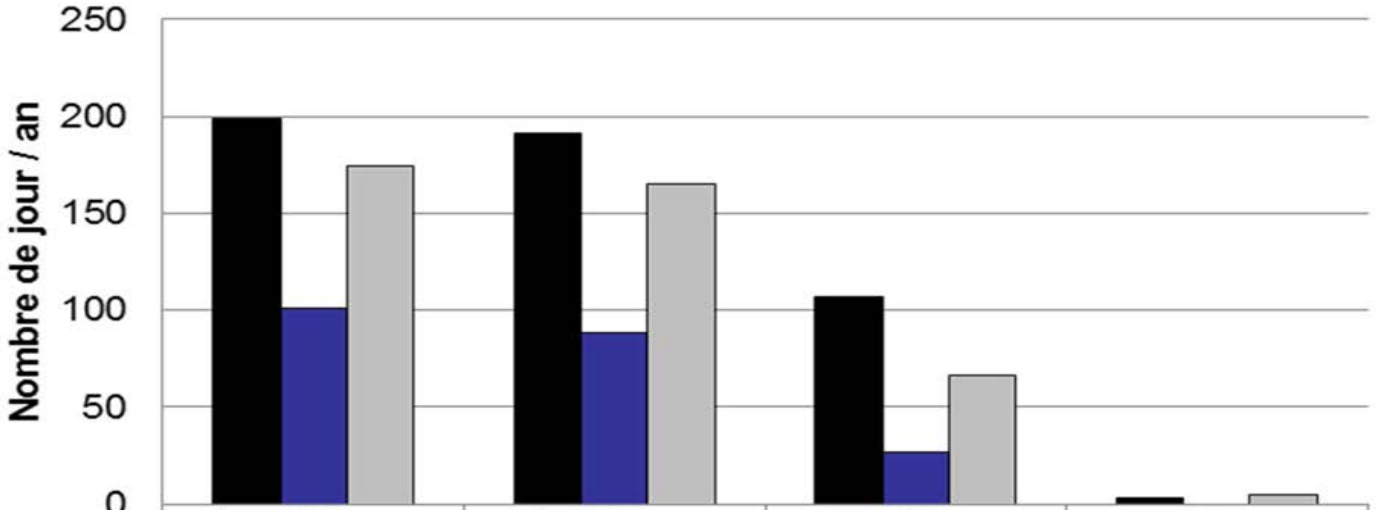


Relation « hauteur/débit », exemple d'un bras secondaire au sein du site de La Charité-sur-Loire

❑ Optimisation des travaux de restauration

Exemple d'application du modèle de transport solide : connexion aval du site atelier de La Charité-sur-Loire

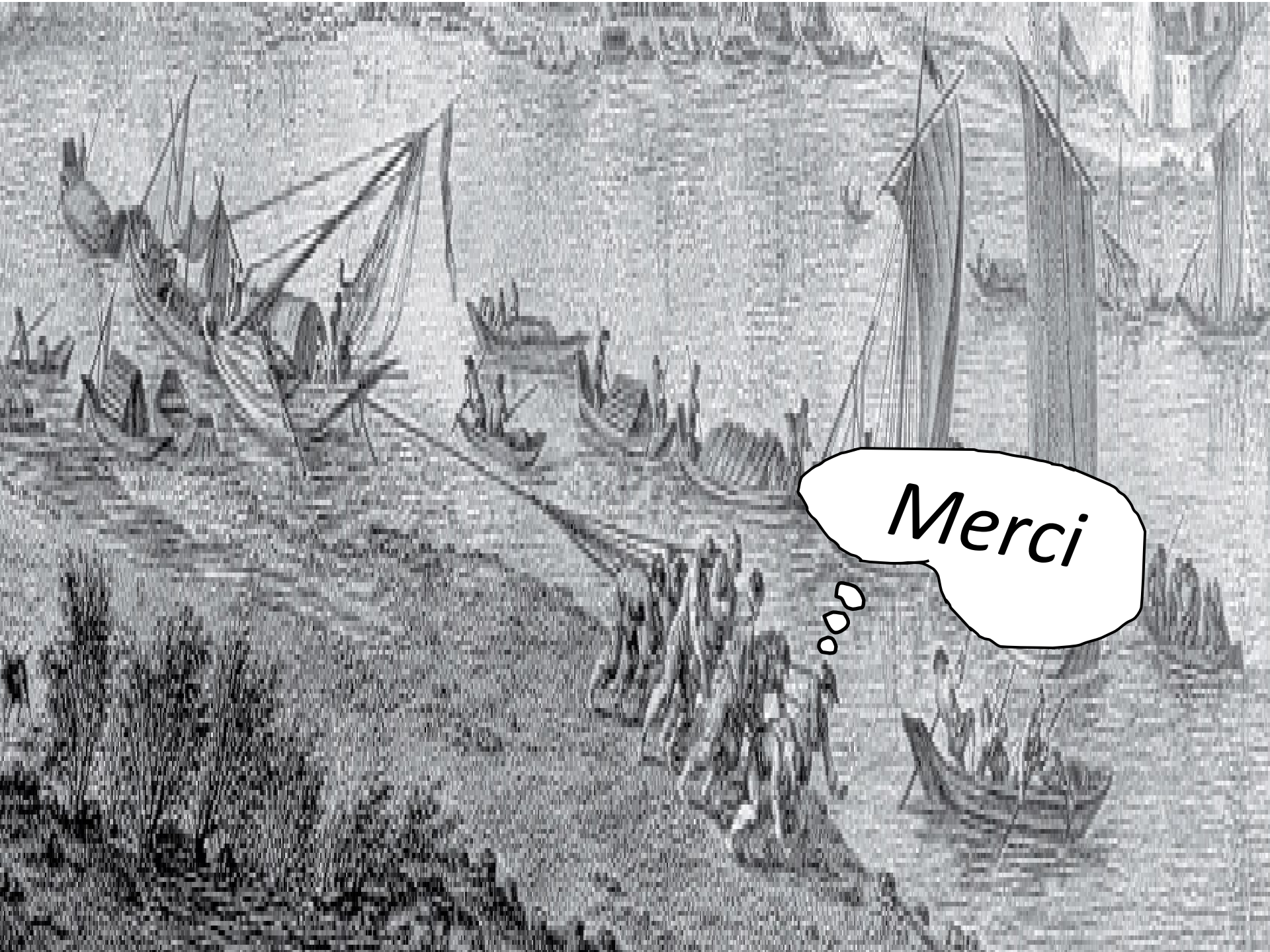
D50 (mm)	R (m)	Débit du début d'entrainement des grains ($m^3\ s^{-1}$)
0,62	0,24	280
1,2	0,47	280
1,5	0,59	280
1,7	0,67	280
1,9	0,75	300
3,9	1,5	500
6,2	2,47	1300



Débit ($m^3\ s^{-1}$)	> 280	> 300	> 500	> 1300
2008	199	191	107	3
2009	101	88	27	0
2010	174	165	66	5

Conclusion

- **La poursuite de l'incision du chenal principal**
- **L'impact des seuils artificiels sur l'évolution morpho-sédimentaire de la bande active**
- **Les travaux de restauration : utiles mais pas suffisants**
- **La compréhension des processus hydrologiques et sédimentaires comme clé pour mieux guider les travaux de restauration**
- **Des résultats de travaux de recherche au service des gestionnaires de l'Etat impliqués dans les enjeux de lutte contre les risques hydrologiques**


Merci