Les systèmes fluvio-estuariens européens sont soumis à une anthropisation ancienne et multiple. La Loire y est souvent qualifiée, à tort ou à raison, de « dernier fleuve sauvage d'Europe ».

Cette synthèse rassemble les résultats des travaux menés depuis une vingtaine d'années par des équipes de recherche ligériennes au cours des phases successives du Plan Loire Grandeur Nature. Elle dresse l'état des connaissances acquises sur le fonctionnement de l'environnement fluvial et estuarien de la Loire, les effets des activités humaines et les aménagements réalisés pour maintenir son équilibre.

L'ouvrage traite des aspects physiques, chimiques et écologiques, replacés dans leurs contextes historiques et la gestion d'un bassin dans un monde en perpétuelle évolution climatique et socio-économique. Il explique les articulations entre connaissances, gestion et protection des milieux aquatiques. Enfin, il aborde les impacts potentiels du changement climatique sur le fonctionnement du bassin ligérien.

À la fois rétrospective et prospective, cette étude s'adresse à un public scientifique et pluridisciplinaire : chercheurs, étudiants de licence et de master, gestionnaires des milieux aquatiques et des territoires…

Florentina Moatar, professeure en hydrologie environnementale à l'université François-Rabelais de Tours, travaille sur la Loire depuis une vingtaine d'années. Ses recherches portent sur l'analyse des transferts d'eau et de matière, les impacts du changement climatique et les activités anthropiques sur les systèmes fluviaux.

Nadia Dupont est maître de conférences en géographie à l'université Rennes-2. Ses travaux de recherches sont axés, d'une part, sur le risque « inondation » à travers les processus physiques, la perception et la prévention, d'autre part, les usages de l'eau à l'échelle des bassins versants et les conflits inhérents.

En couverture : vue aérienne de la Loire, Montjean-sur-Loire (49) ?
© Philippe Graindorge ?

cet ouvrage est cofinancé par l'union européenne. l'europe s'engage dans le bassin de la loire avec le fonds européen de développement régional.

?? €

ISBN : 978-2-7592-2401-2

ISSN : 1777-4624
Réf. : 02XXX

Éditions Cirad, Ifremer, Inra, Irstea
www.quae.com

Synthèses

La Loire fluviale et estuarienne F. Moatar et N. Dupont (coord.)

Synthèses

La Loire fluviale et estuarienne

Un milieu en évolution

Florentina Moatar
et Nadia Dupont (coord.)

éditions Quæ

Cadre

- Synthèse des travaux de recherche sur le bassin de la Loire
- Aspects physiques, chimiques, écologiques, et de gestion dans un contexte d'évolution climatique
- 3 visions :
  - Le continuum fleuve – estuaire
  - L'évolution longue terme
  - L'impact des activités anthropiques
- A destination des étudiants de licence, master, thèse, des gestionnaires, des chercheurs (références bibliographiques de la Loire)
- Une trentaine de contributeurs de plusieurs organismes : Universités de Tours, Nantes, Bordeaux, Rennes, Bourgogne, CNRS, IFREMER, Irstea, IRSN, bureaux d'étude Bi-Eau, Rive, ARTELIA
- Contribution du GIP Loire Estuaire

Chapitres du livre

1. Visions multiples d'un bassin fluvio-estuarien
2. Le continuum fluvio-estuarien dans son bassin
3. Dynamiques hydrologiques et thermiques des eaux fluviales et estuariennes
4. Transferts de particules dans le continuum fluvio-estuariens
5. Micropolluants métalliques, organiques et radiogéniques
6. Eutrophisation et fonctionnement biogéochimique
7. Ecologie aquatique et alluviale
8. Impacts du changement climatique en milieu et fin du XXIème siècle
9. Lacunes de connaissances scientifiques pour une meilleure gestion dans un milieu en évolution

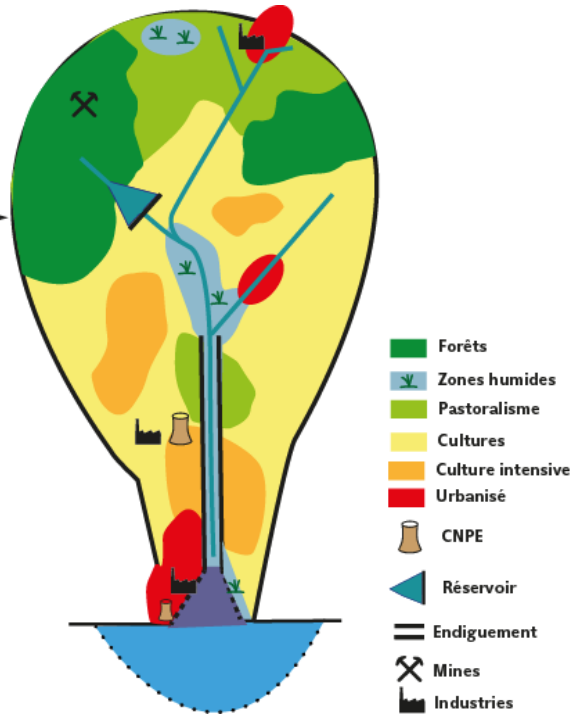
1 Visions multiples d'un bassin fluvio-estuarien

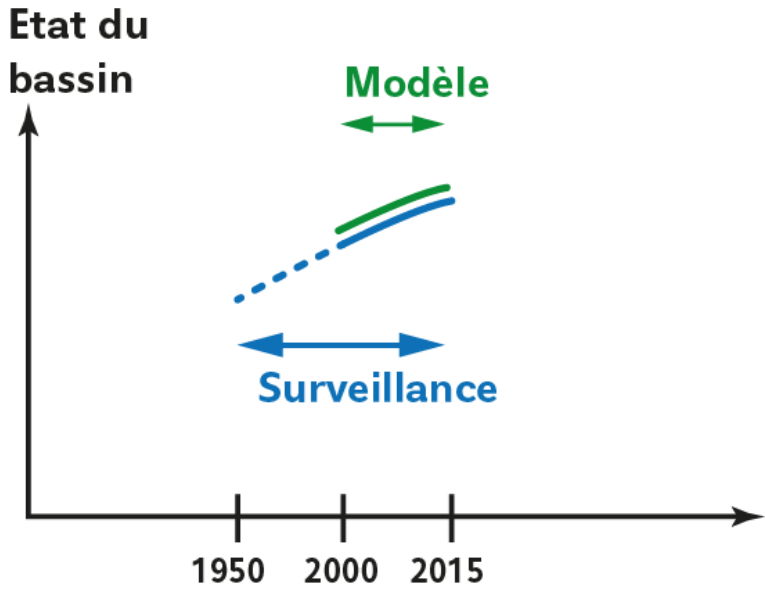
Michel Meybeck

Etat actuel : 2015

Facteurs internes

population
rejets
usage sol
usage eau
sécurité



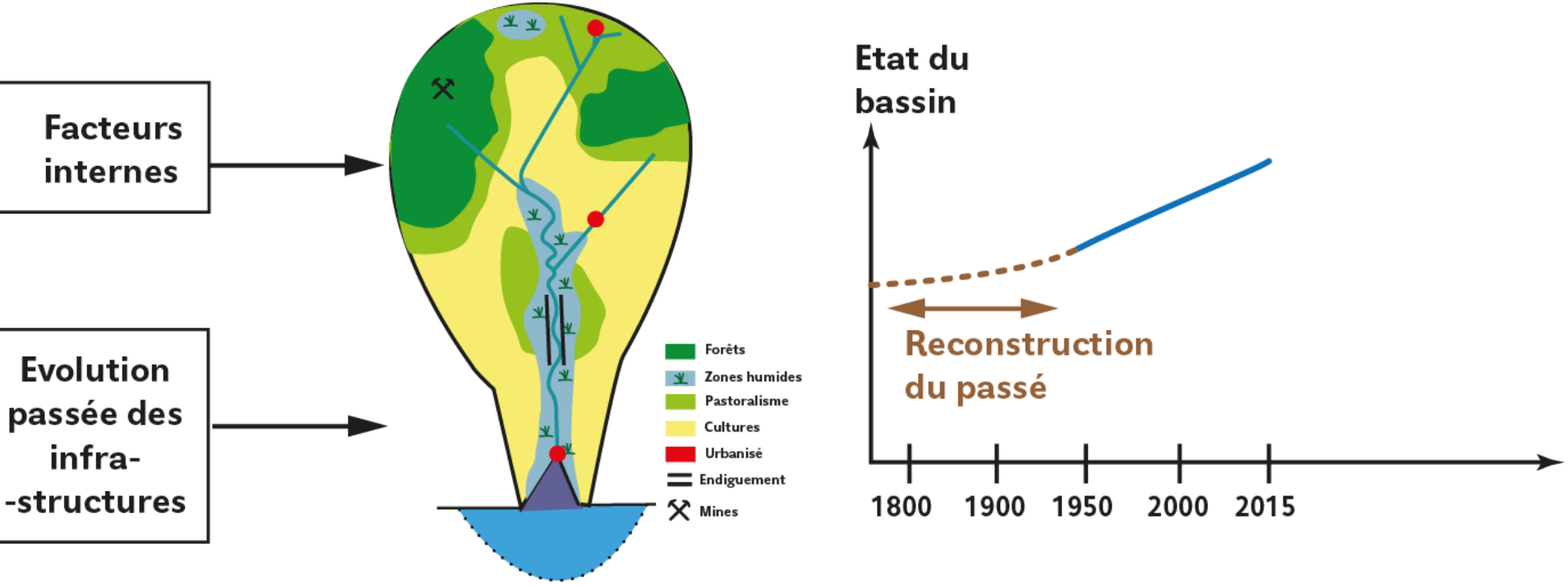


Le bassin versant est appréhendé avec toute sa complexité physique, écologique, économique.
La systématisation de la surveillance du fleuve et de son continuum abouti à la constitution de modèles (conceptuels ou mathématiques) permettant de mieux comprendre son fonctionnement.

1. Visions multiples d'un bassin fluvio-estuarien

Michel Meybeck

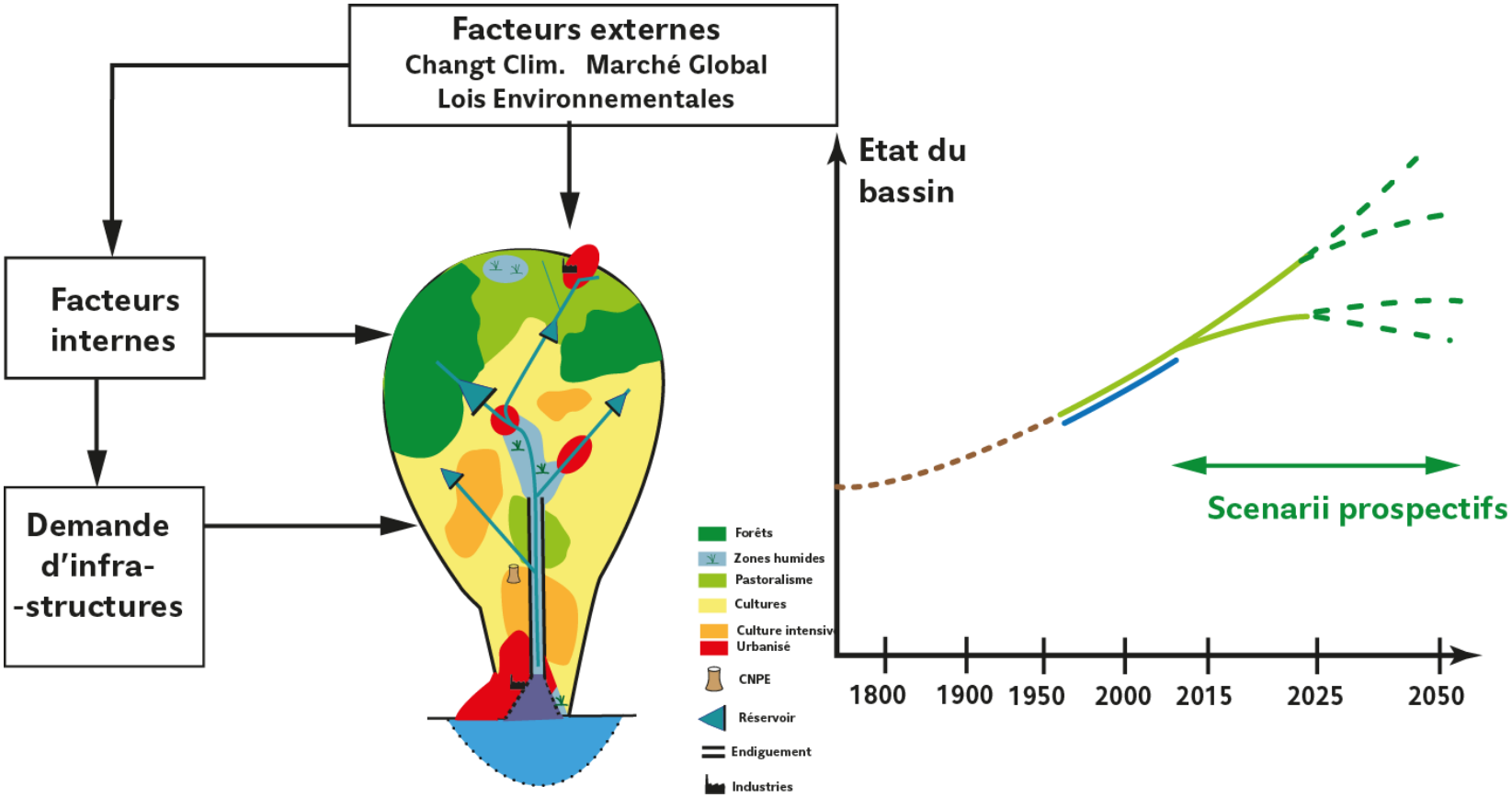
Evolution passée



Les modèles actuels, les archives (écrites, sédimentaires ..) permettent de reconstituer l'état antérieur du bassin sur le long terme.

Il faut alors tenir compte de la mise en place des aménagements et de leur historiques , souvent considérés comme des éléments stables dans les modèles présents.

Scénarios du futur



Le futur est exploré à partir des modèles actuels qui tiennent compte des scénarios sur l'évolution :

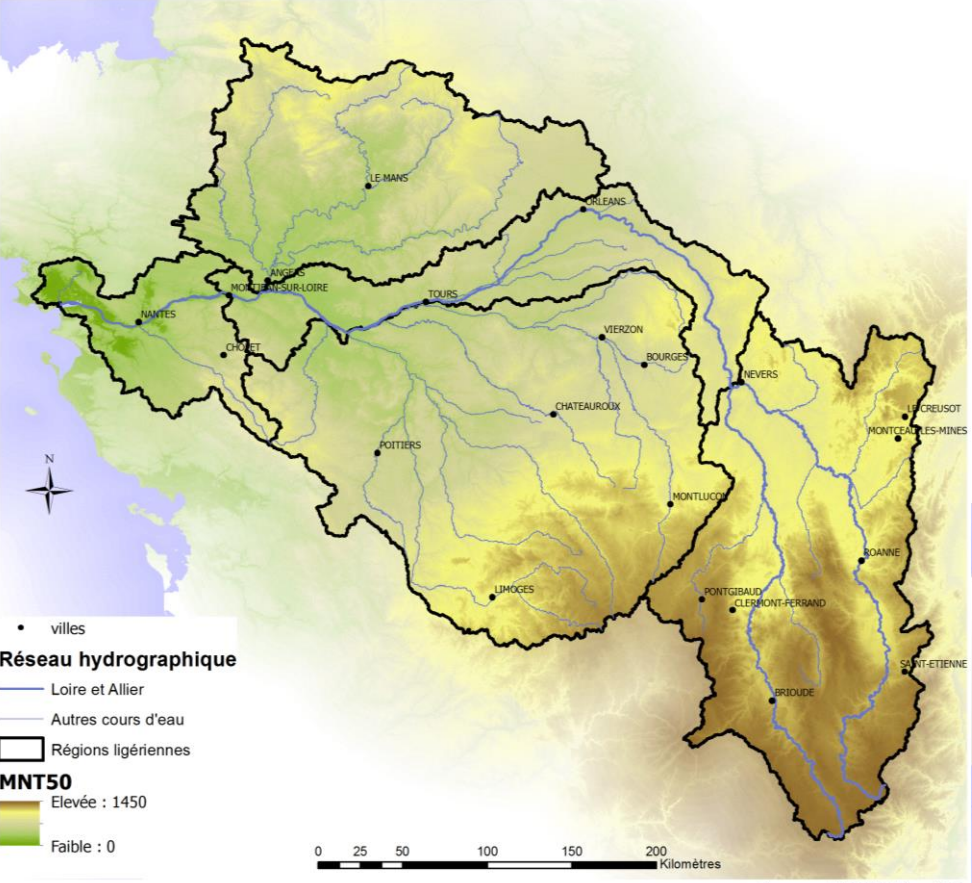
- des facteurs externes (ex. changement climatique)
- des facteurs internes (exemple adaptation, …)

2. Le continuum fluvio-estuarien dans son bassin

N. Dupont,
C. Poisvert
F. Curie
F. Moatar
A. Dumont

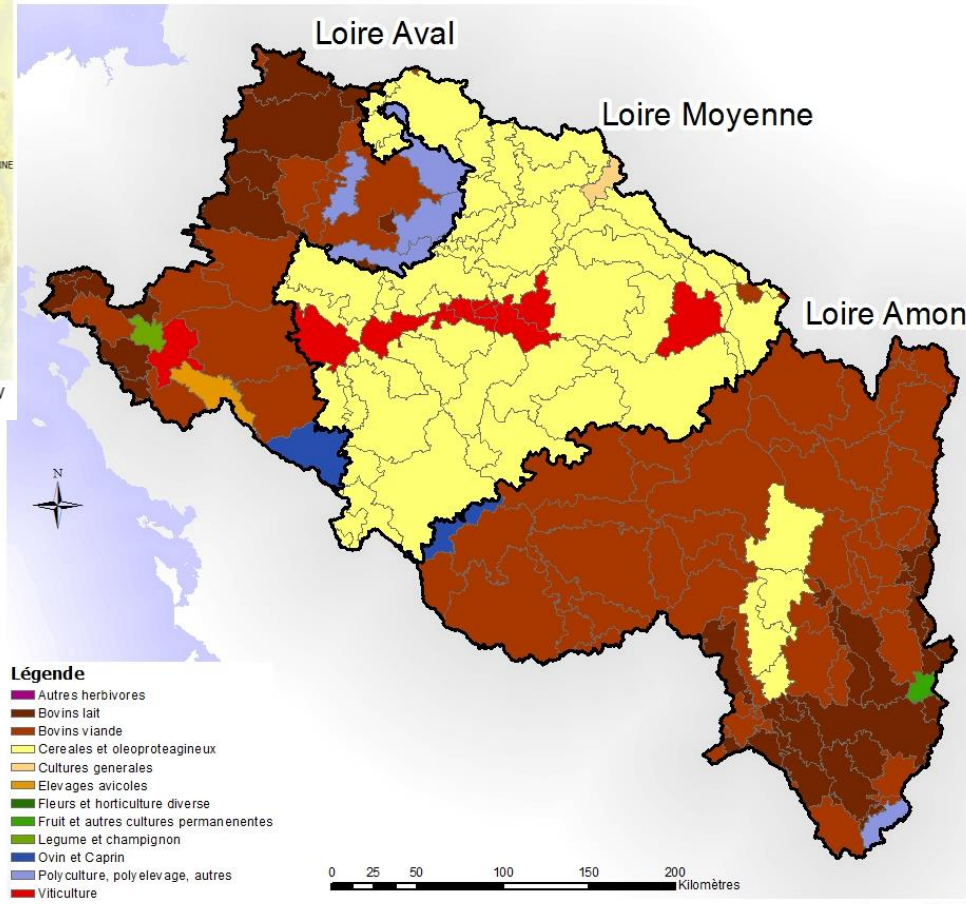
2.1. Les régions ligériennes
2.2. Un bassin diversement occupé
2.3. L'eau en tant que ressource dans le bassin
2.4. Les sectorisations paysagères de la Loire
2.5. Interactions homme-fleuve depuis 2000 ans

5 Régions Hydro-ligériennes



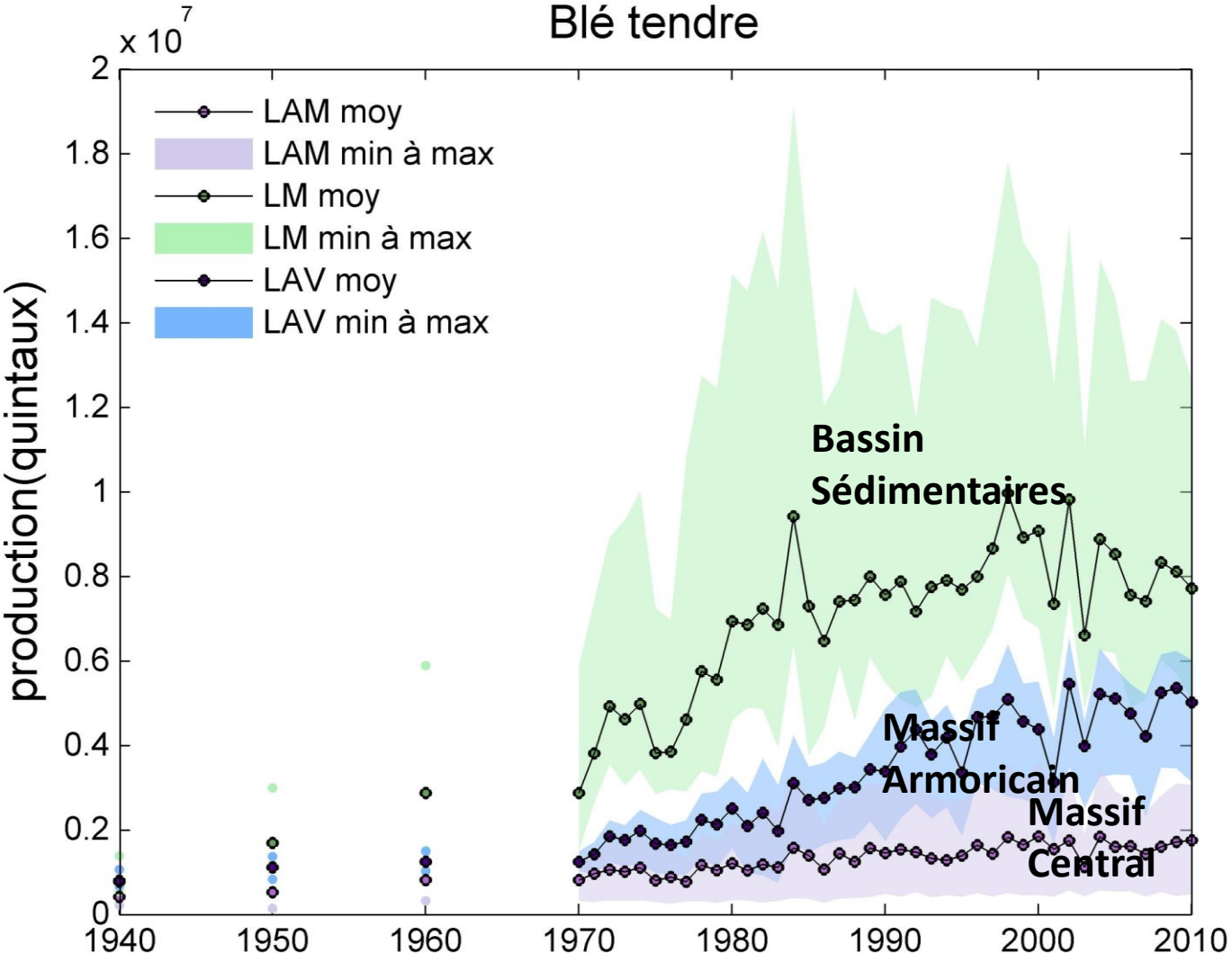
Source : BD Alti® 50 m IGN

3 Agro-Régions Ligériennes

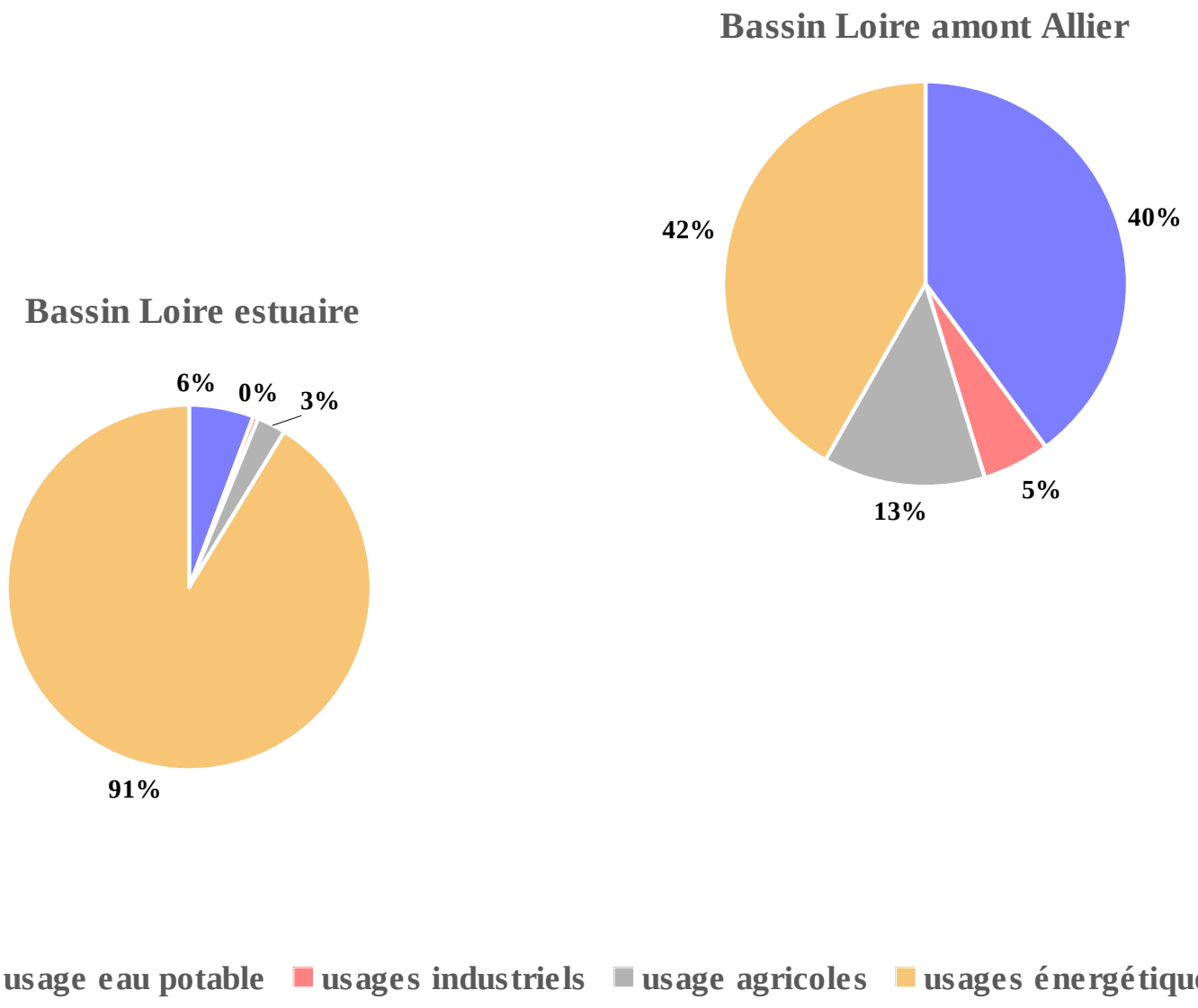


Source : RA 20

Analyse de l'évolution agricole depuis 1940



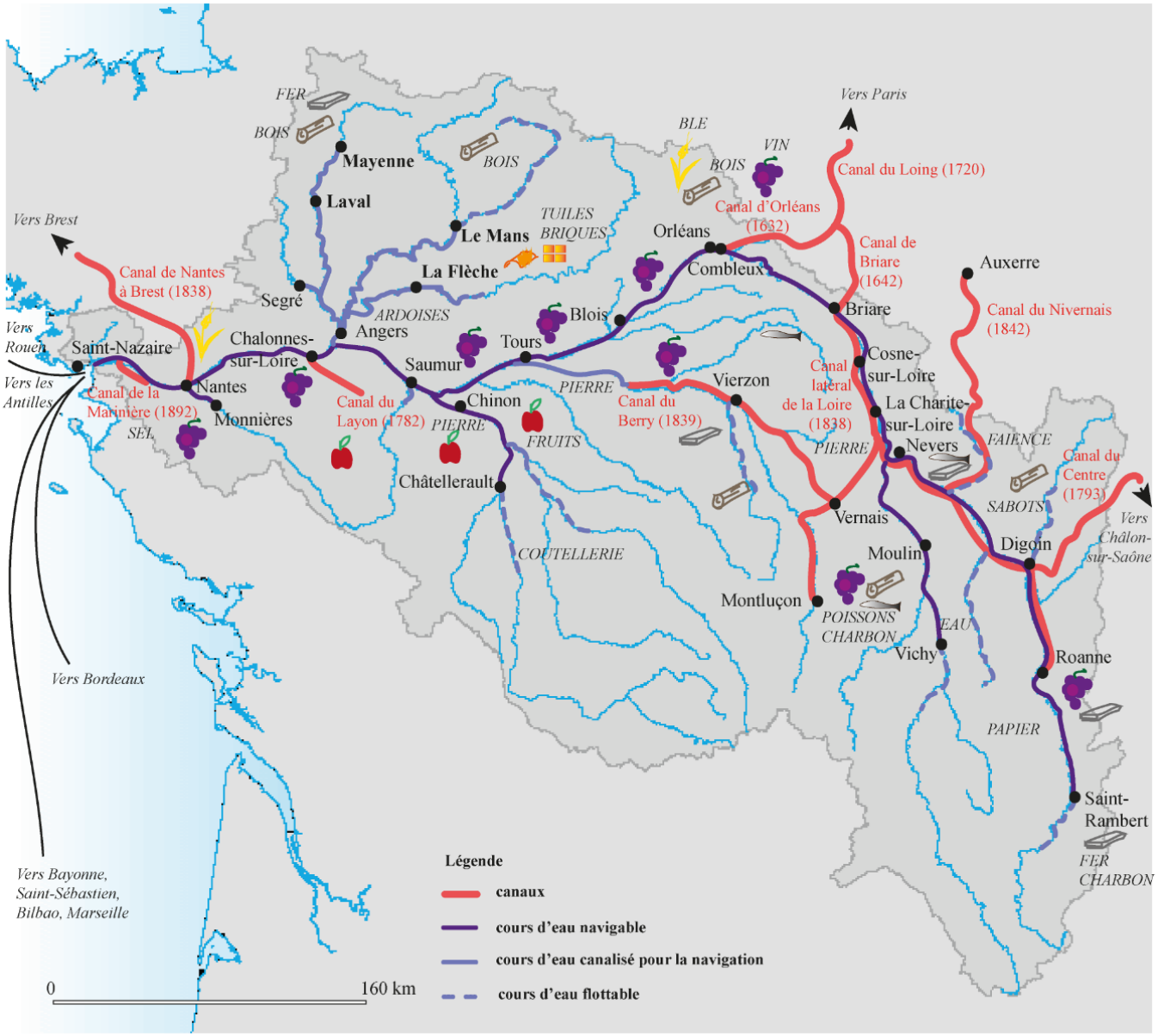
L’eau en tant que ressource dans le bassin de la Loire



Les sectorisations paysagères du corridor fluvio-estuarien

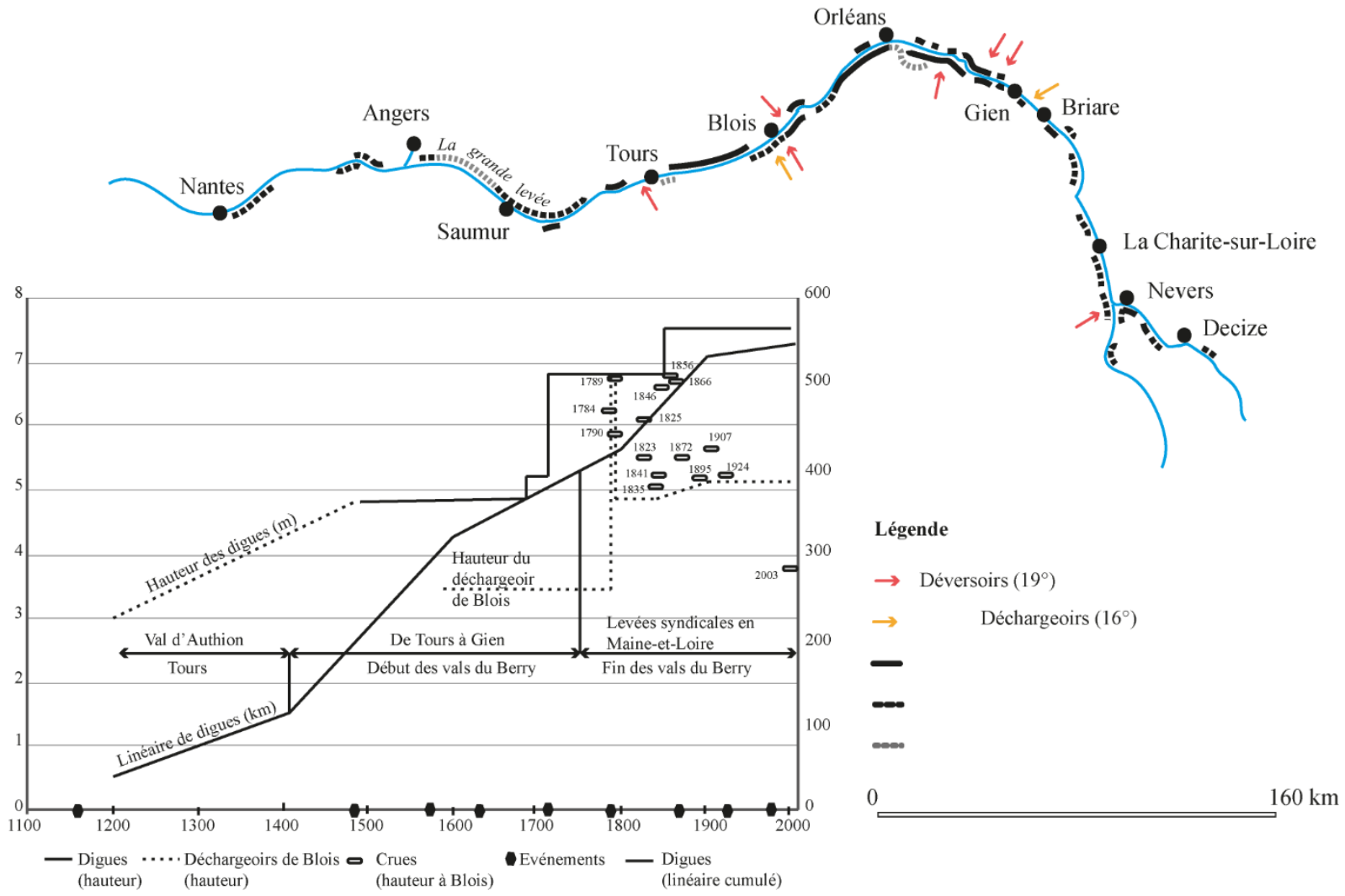
Histoire des aménagements sur le bassin

- Les usages de l'eau
- Ex : navigation



Un fleuve sous contrainte

➢ **Exemple Les levées**

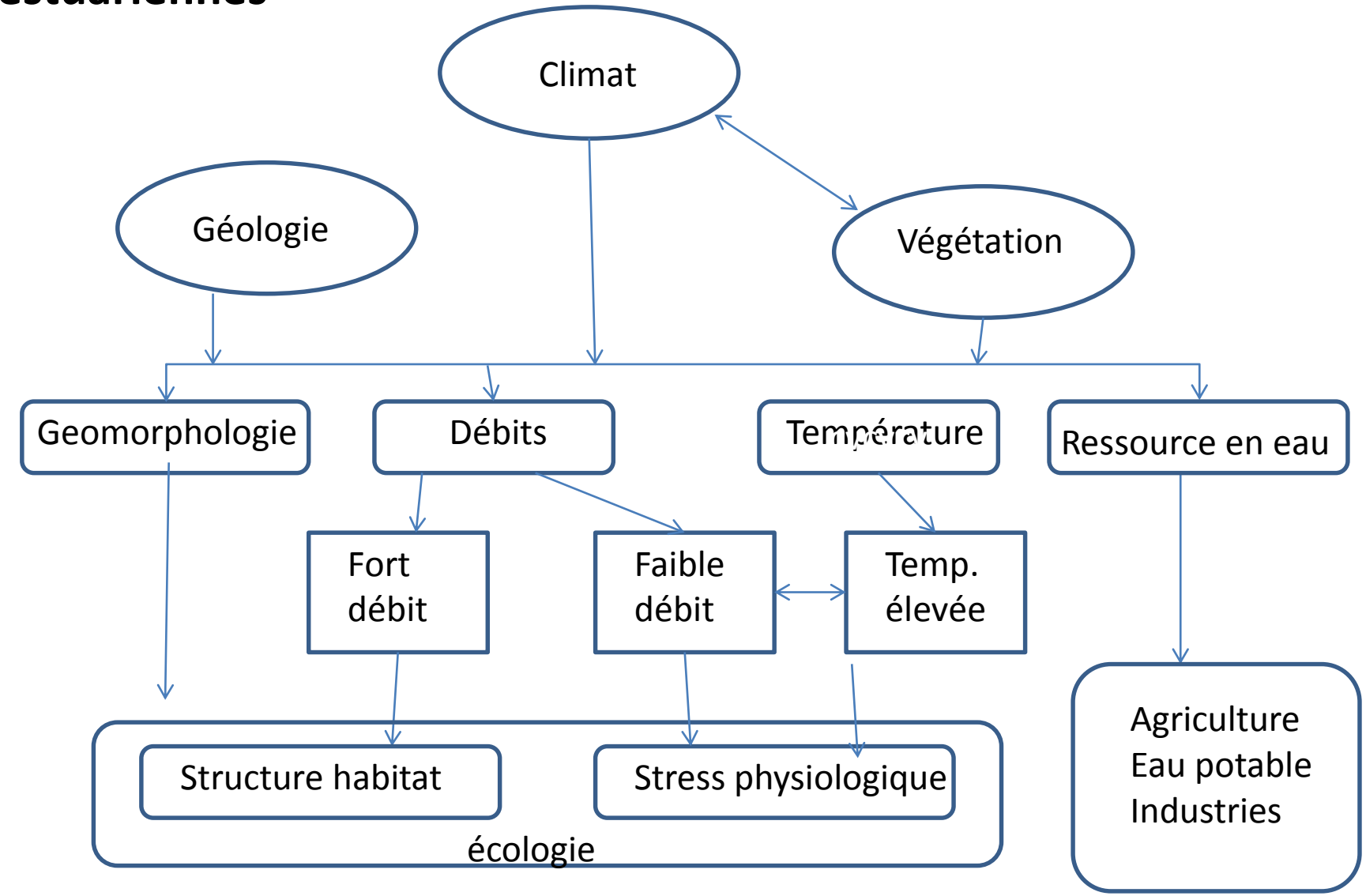


3. Dynamiques hydrologiques et thermiques des eaux fluviales et estuariennes

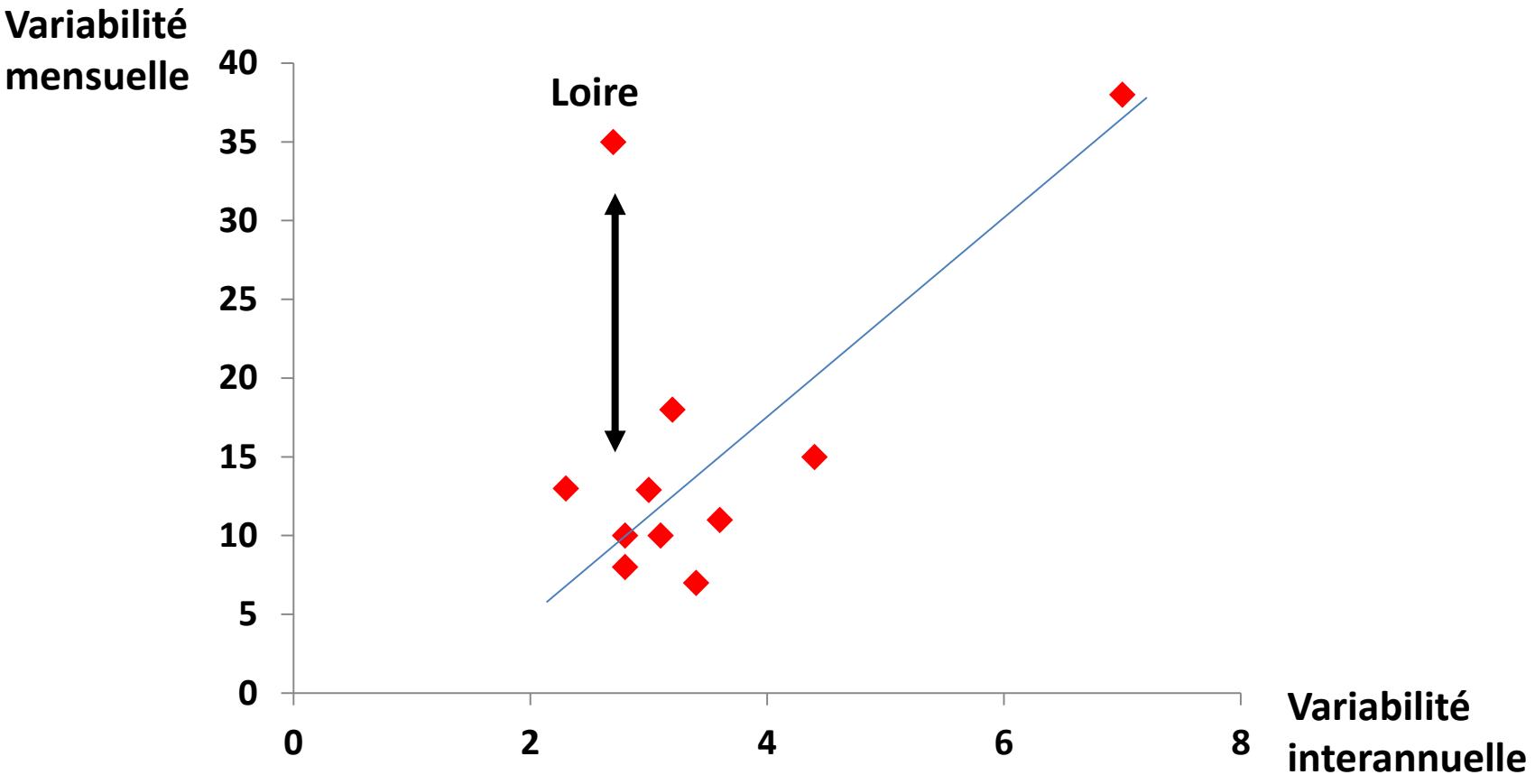
F. Moatar
J.Ph. Vidal
E. Sauquet
A. Beaufort
D. Raimbold
N. Flipo
A. Menesguen
N. Dupont

3.1. La Loire est-elle vraiment « sauvage » ?
3.2. Des régimes saisonniers contrastés
3.3. Tendances d'évolution des régimes
3.4. Les étiages
3.5. Les crues
3.6. Dynamiques hydrologiques et thermiques dans l'estuaire
3.7. Devenir maritime des eaux de la Loire

3. Dynamiques hydrologiques et thermiques des eaux fluviales et estuariennes

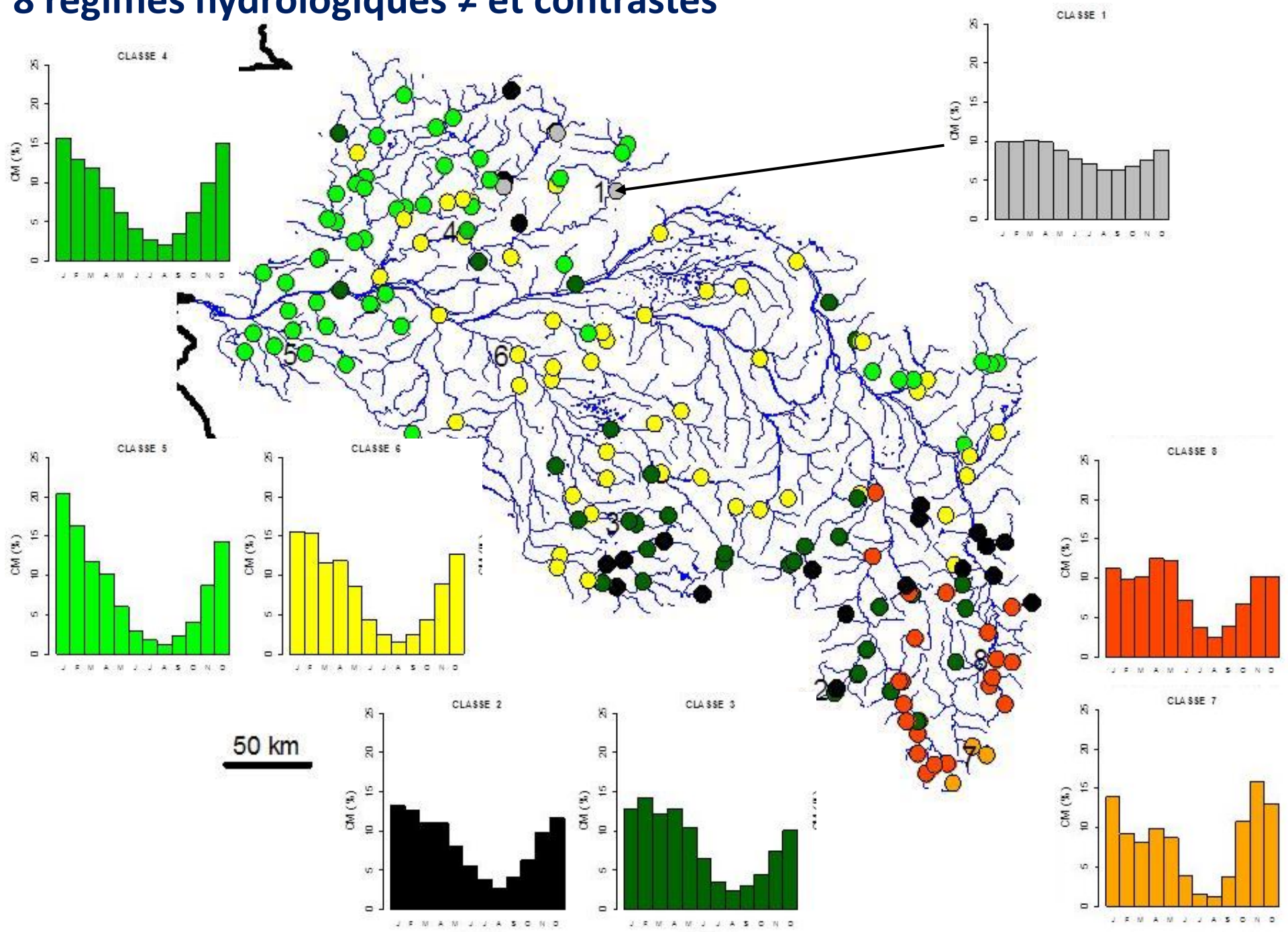


La Loire est-elle vraiment « sauvage » ?



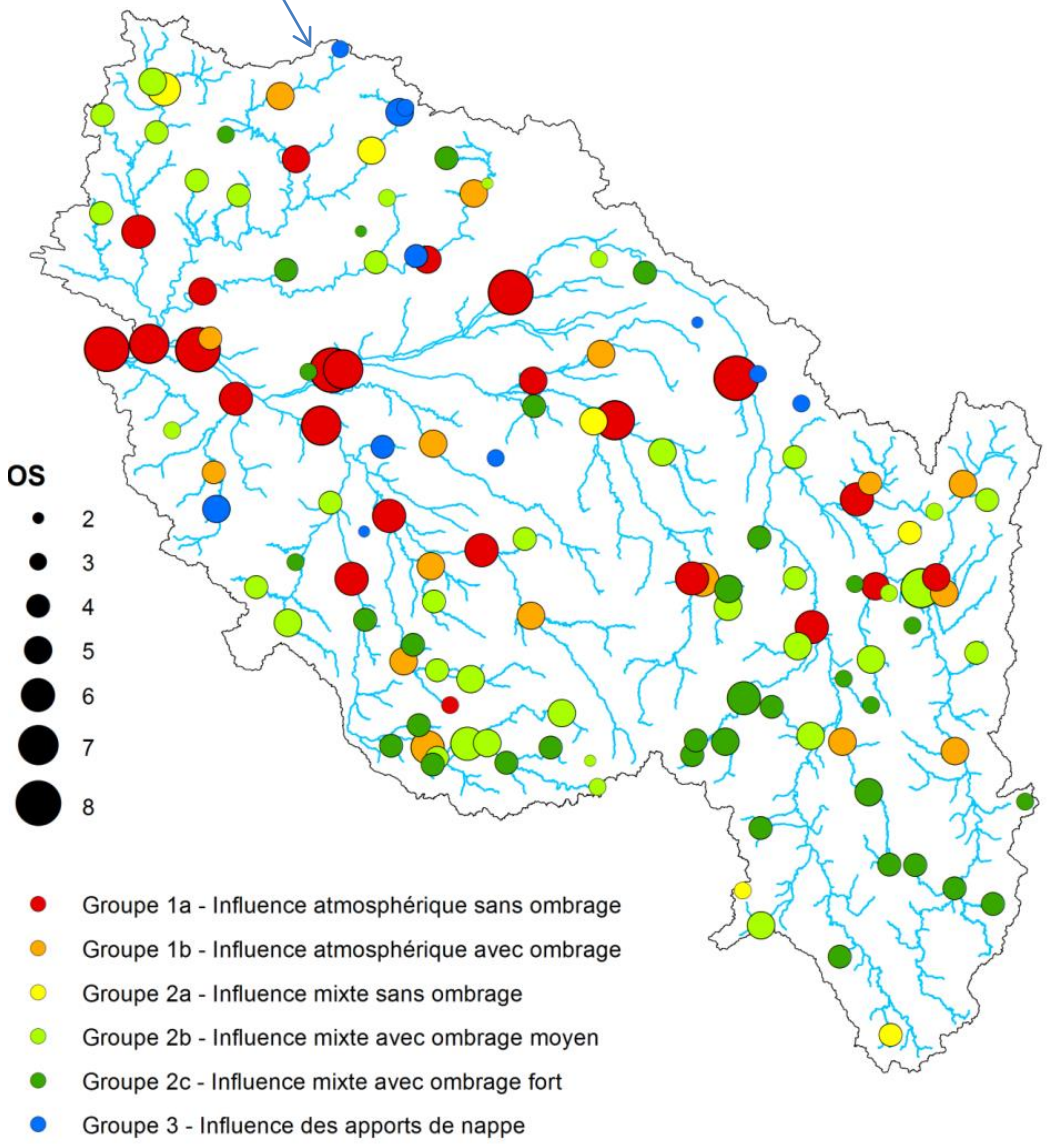
Variabilité de la Loire comparée avec 12 fleuves européens de la zone tempérée drainant des bassins versants de taille
comparable et disposant des chroniques longues

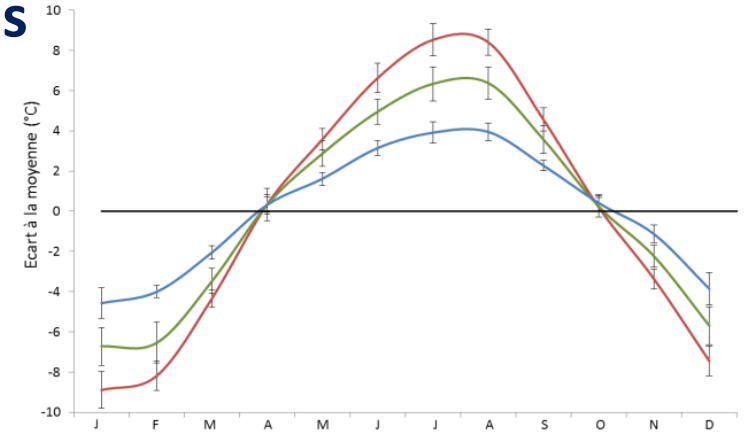
8 régimes hydrologiques ≠ et contrastés



Régimes thermiques saisonniers contrastés

Régime thermique tamponné
Réchauffement hiver/ refroidissement été

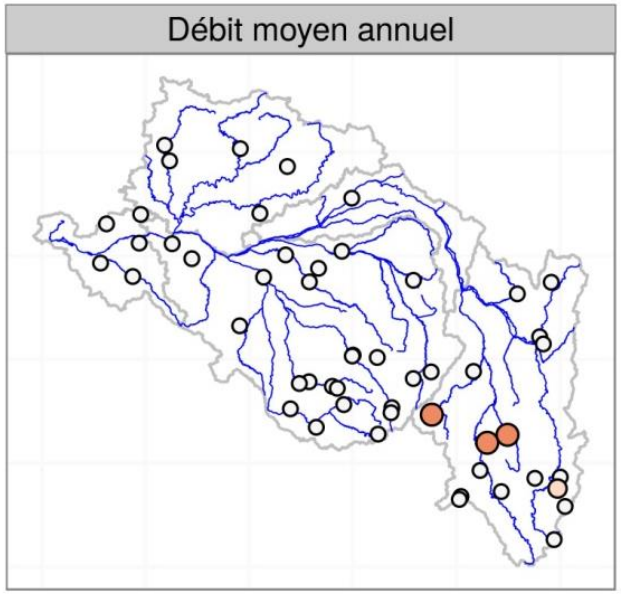


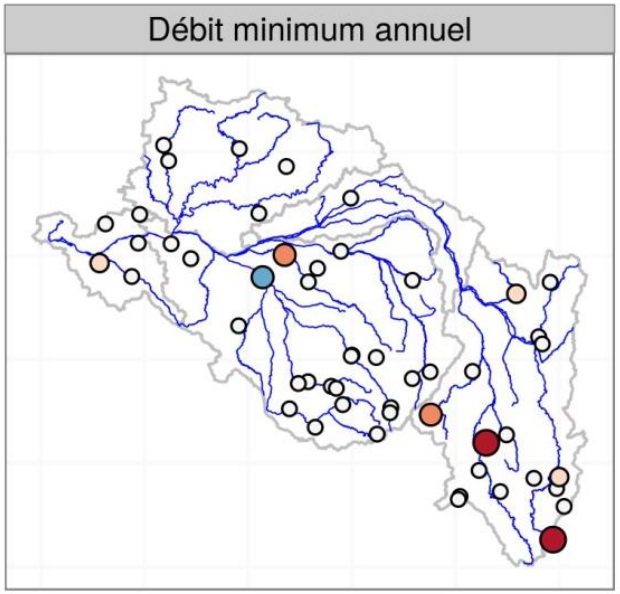


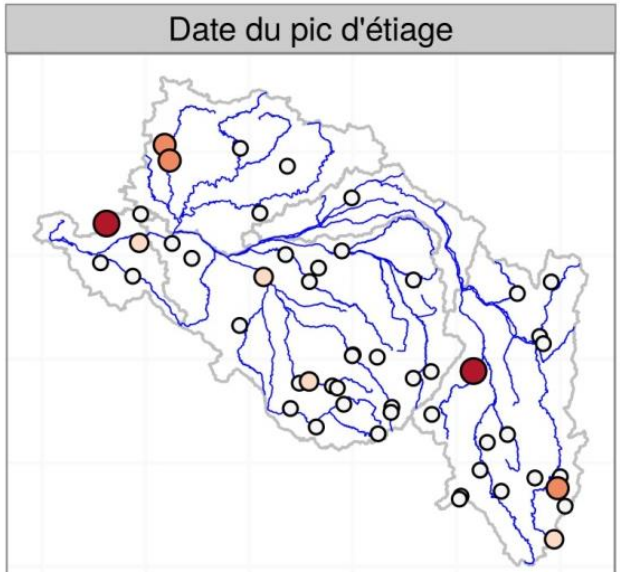
Les conditions locales influent sur le régime thermique

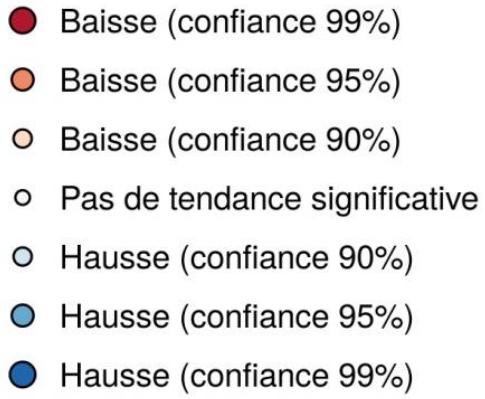
- **apport des eaux souterraines (ex nappe de Beauce)**
- **végétation**

Evolution des débits à partir des stations faiblement anthropisées entre 1968 et 2012)









Observations :

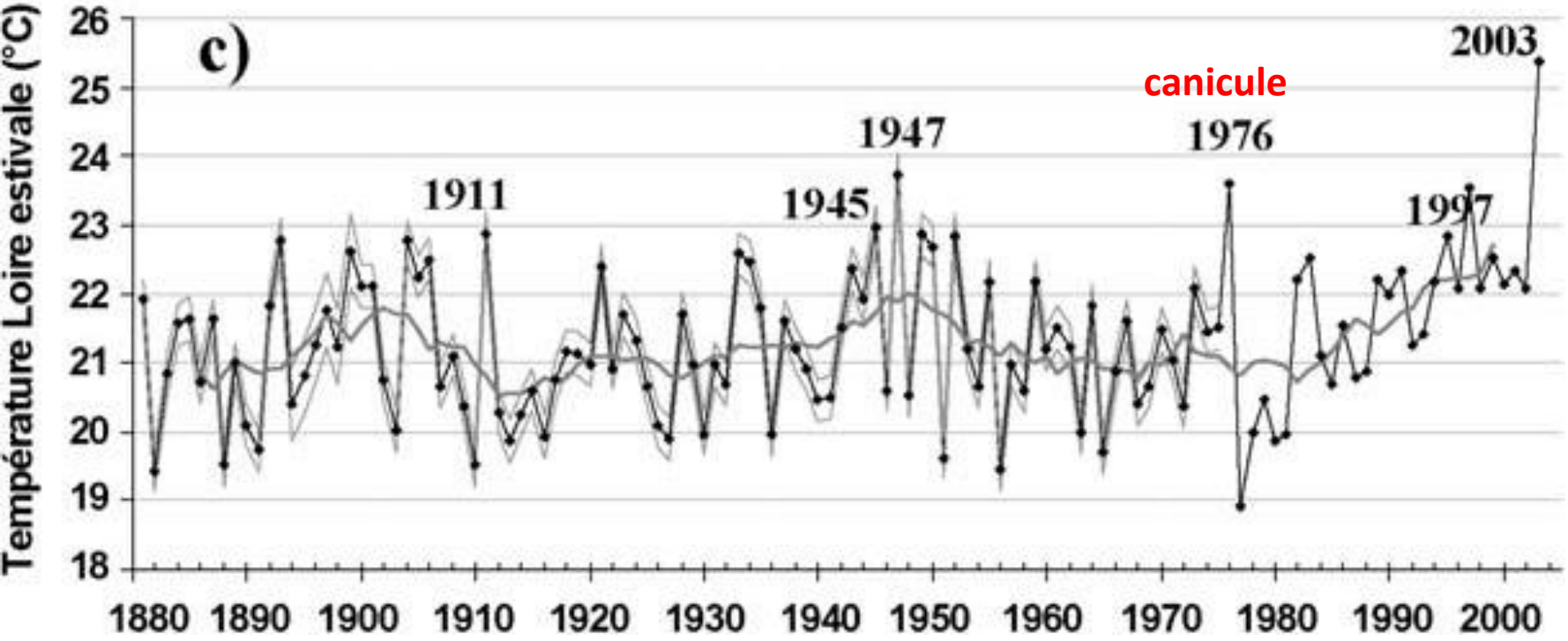
- Baisse significative du débit moyen annuel et du débit minimum annuel,
↳ Stations principalement sur l'amont du bassin

- Avancement de la date de l'étiage
↳ stations Amont et Pays de Loire

Etiages

Ex : Extrêmes thermiques (moyenne juillet/aout) en Loire Moyenne

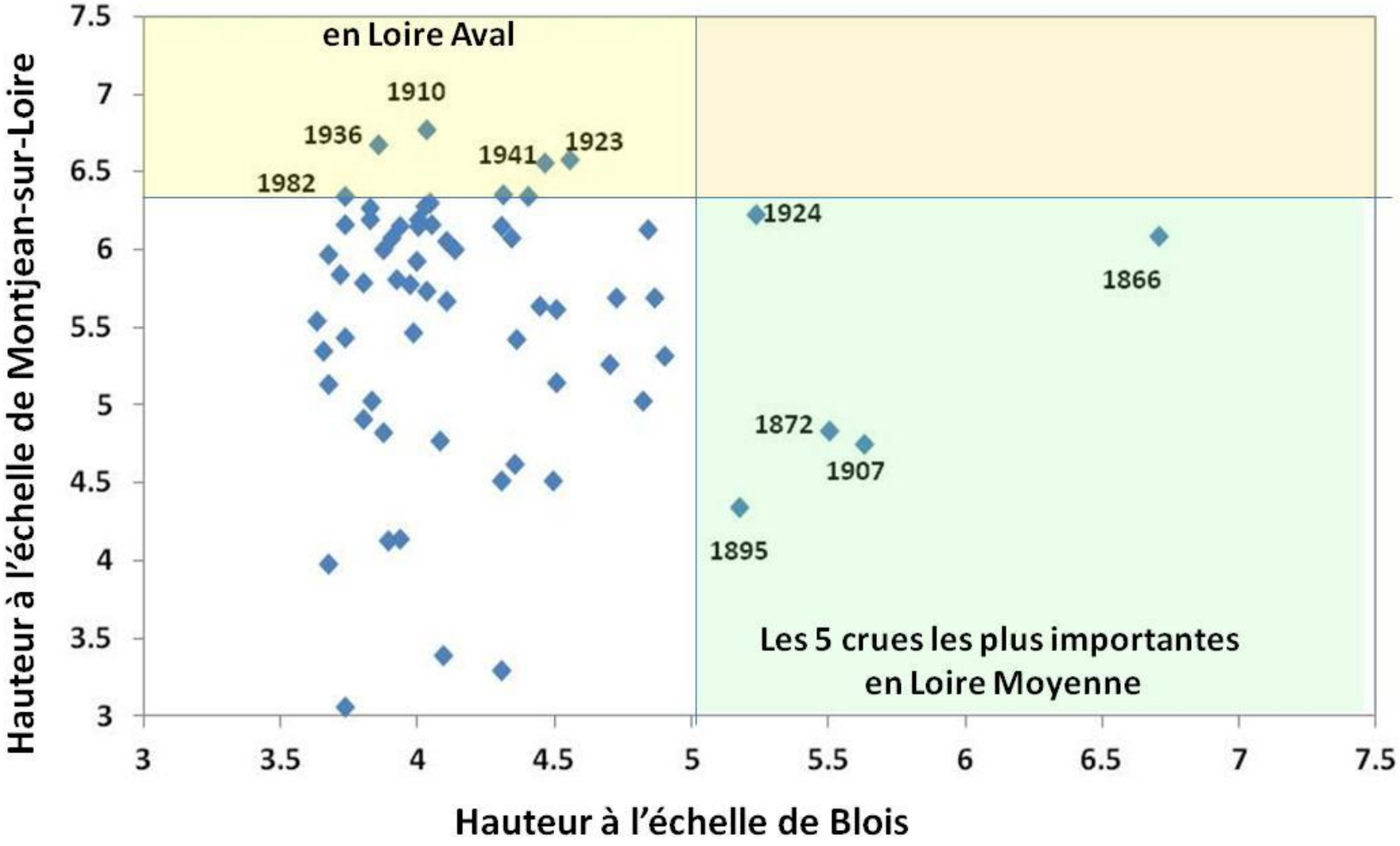
canicule



En Loire Moyenne, températures estivales en hausse en lien avec la sévérité des étiages

Malgré une alimentation relativement importante en 2003, les températures journalières sont supérieures à 30° pendant plusieurs journées

Crues : une forte différenciations amont /aval, des crues historiques marquantes



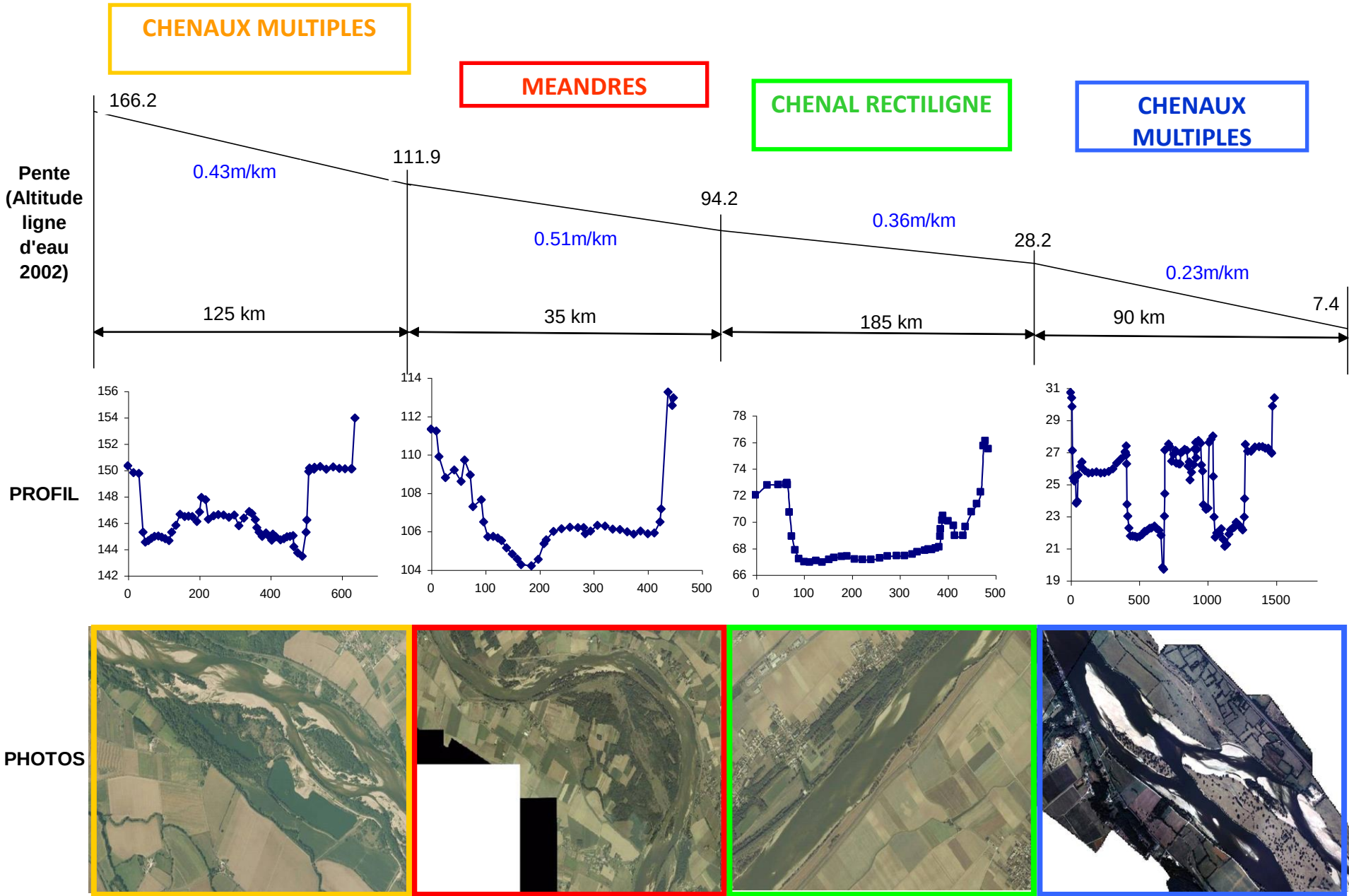
4. Transferts de particules dans le continuum fluvio-estuariens

S. Rodrigues
P. Le Hir
P. Bona
S. Braud

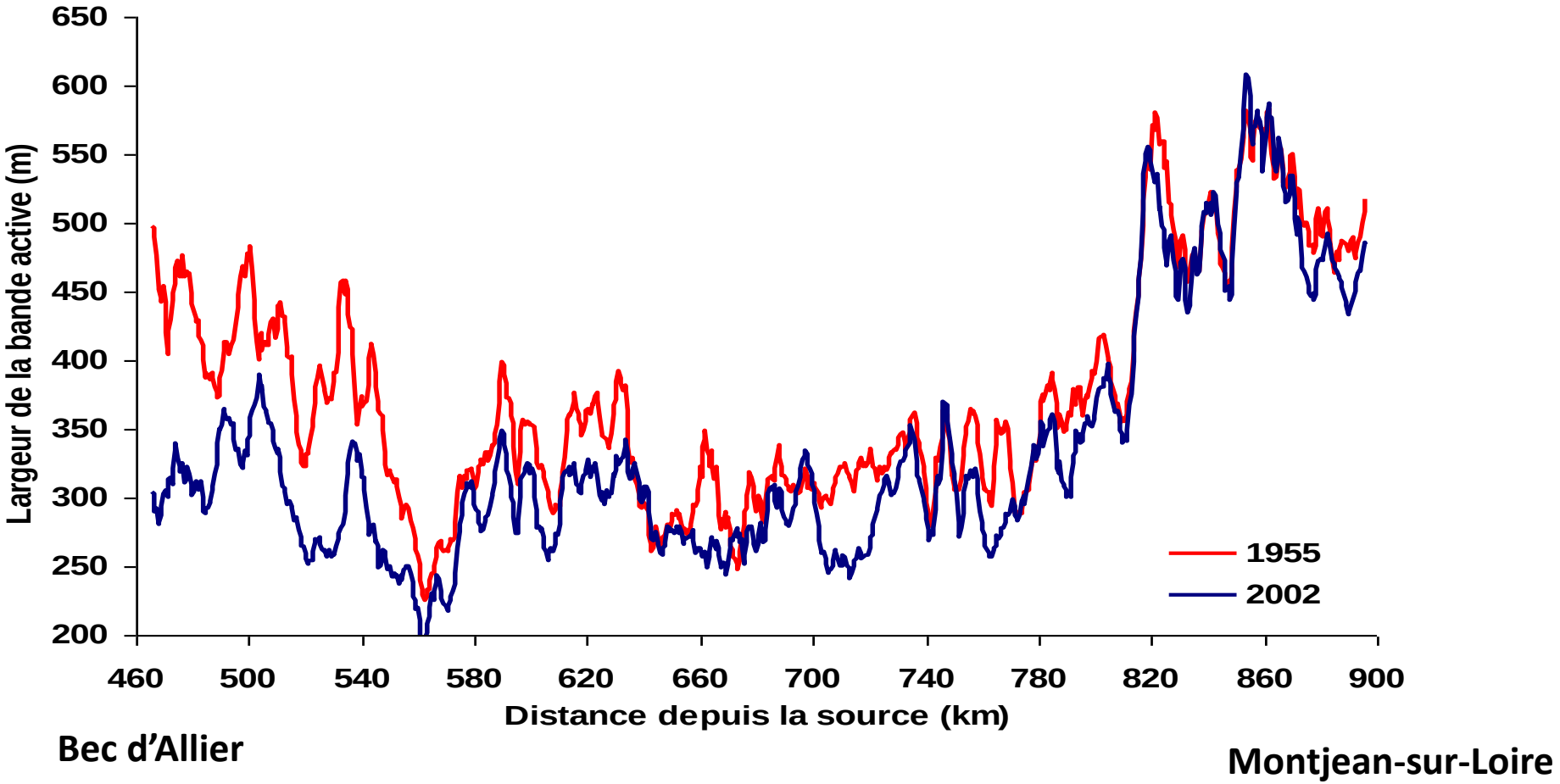
4.1. La continuité sédimentaire fluvio-estuarienne
4.2. Transport solide
4.3. Morphodynamique à large échelle et évolution au XXème siècle
4.4. Processus hydrosédimentaires des différents compartiments du lit.
4.5. Gestion de la continuité sédimentaire, préservation, restauration

Chapitre qui fait le lien entre transport, morphodynamique, style fluviaux et les aménagements effectués

Une continuité de style fluviaux

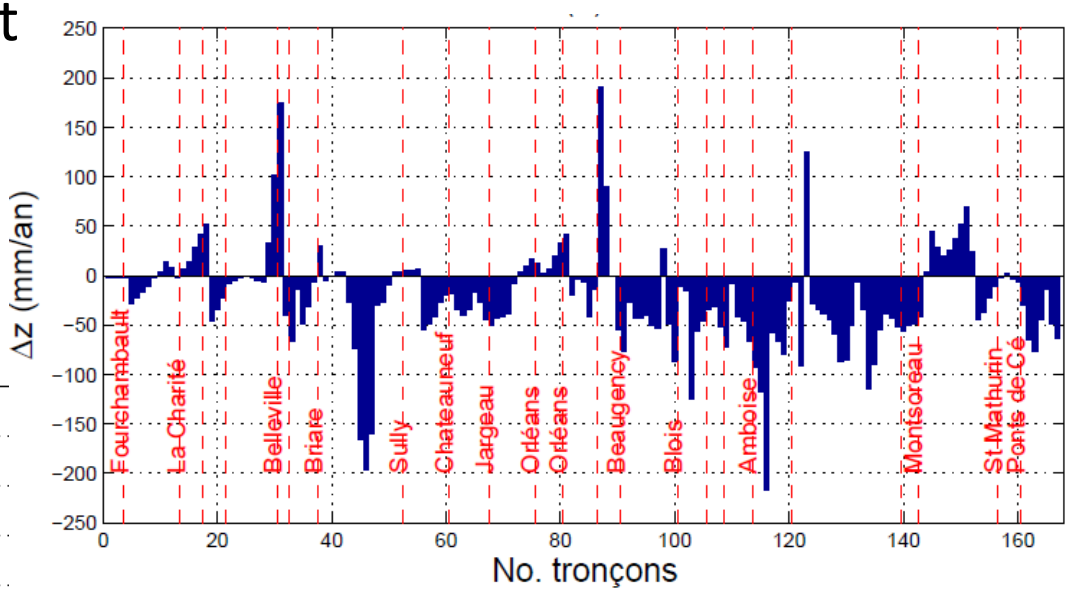


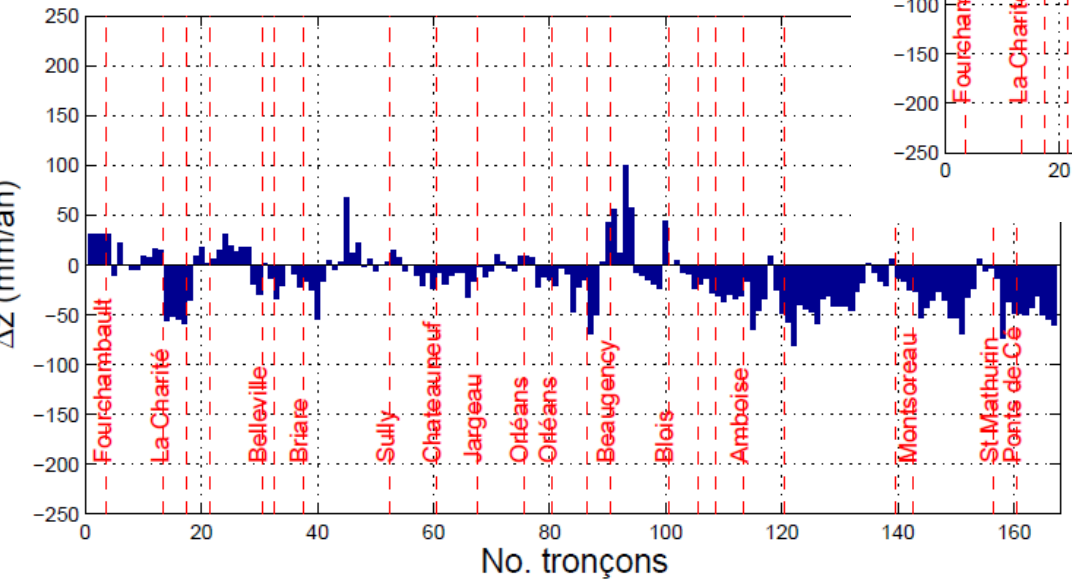
Une bande active qui se rétrécie entre 1955-2002



Corrélée a un abaissement du lit

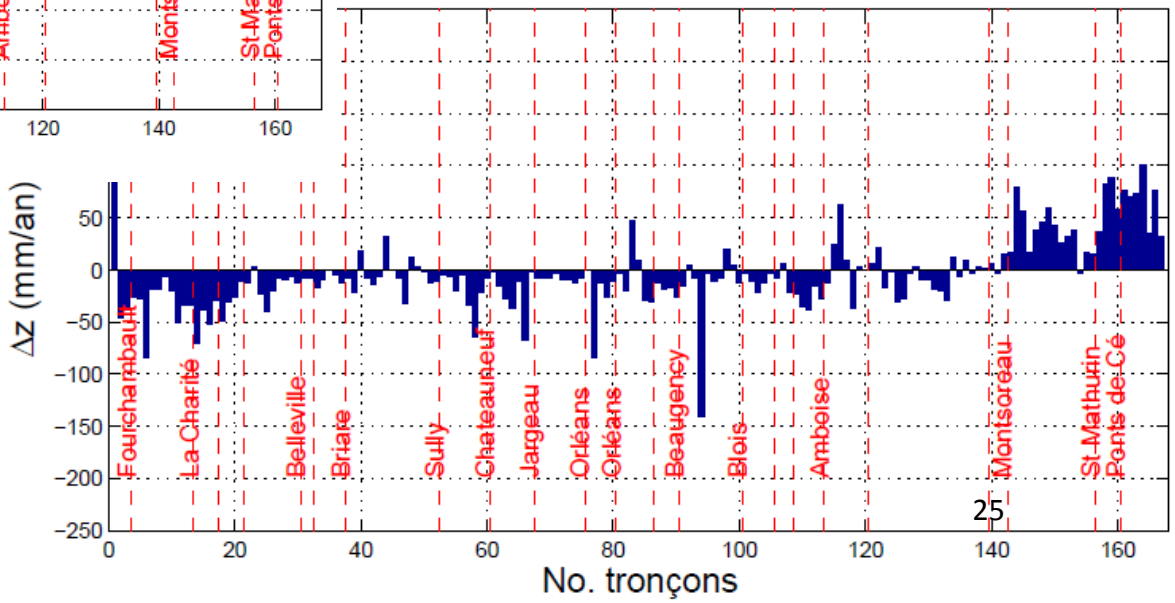
1978 - 1984





1984 - 1996

Fin des extractions de sédiments



1996 - 2002

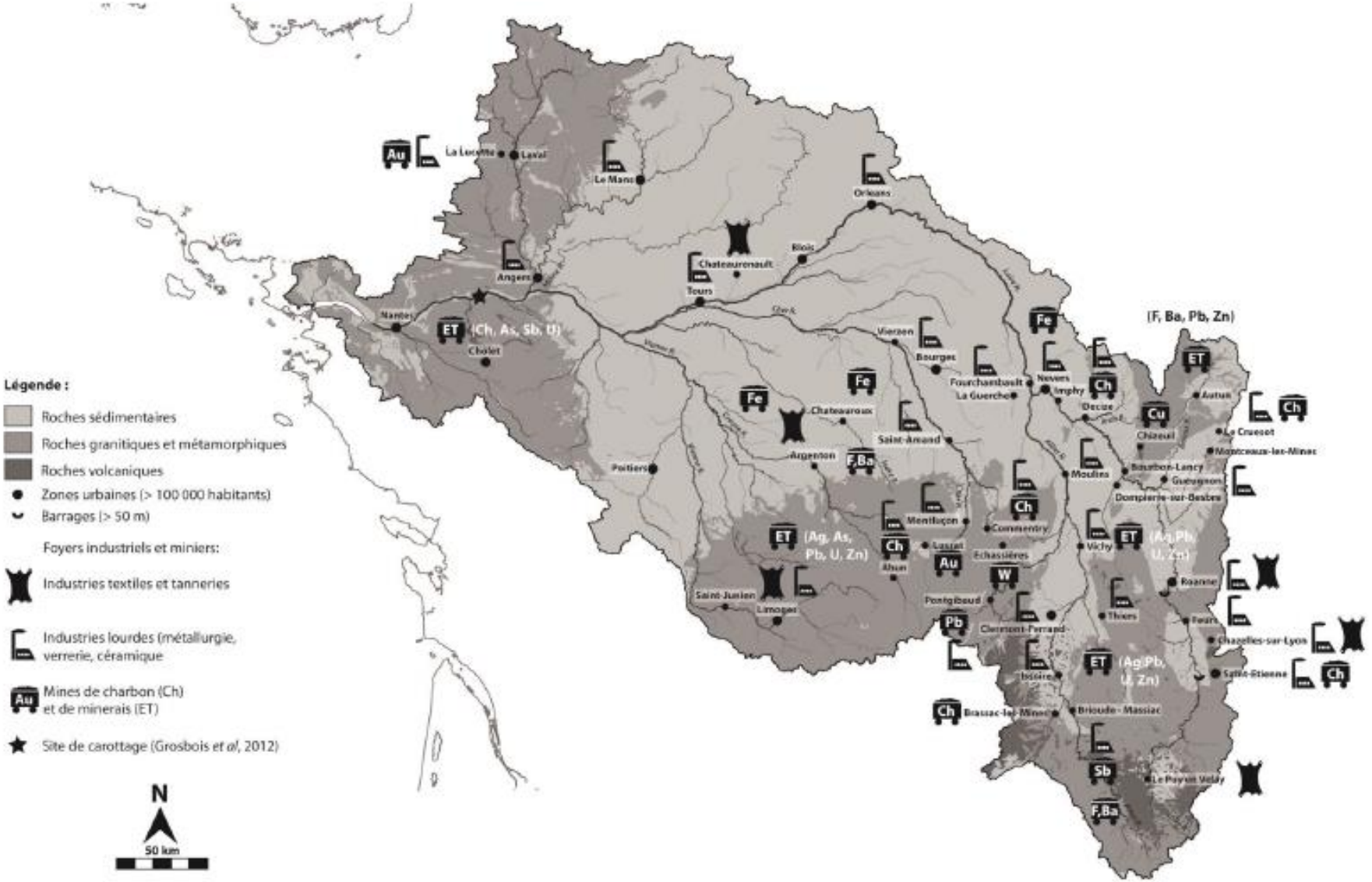
Latapie, 2011

5. Micropolluants métalliques , organiques et radiogéniques : depuis les eaux et sédiments vers le biote

C. Grosbois
L. Poirier
A. Coynel
F. Eyrolles
Ch. Lemarchand

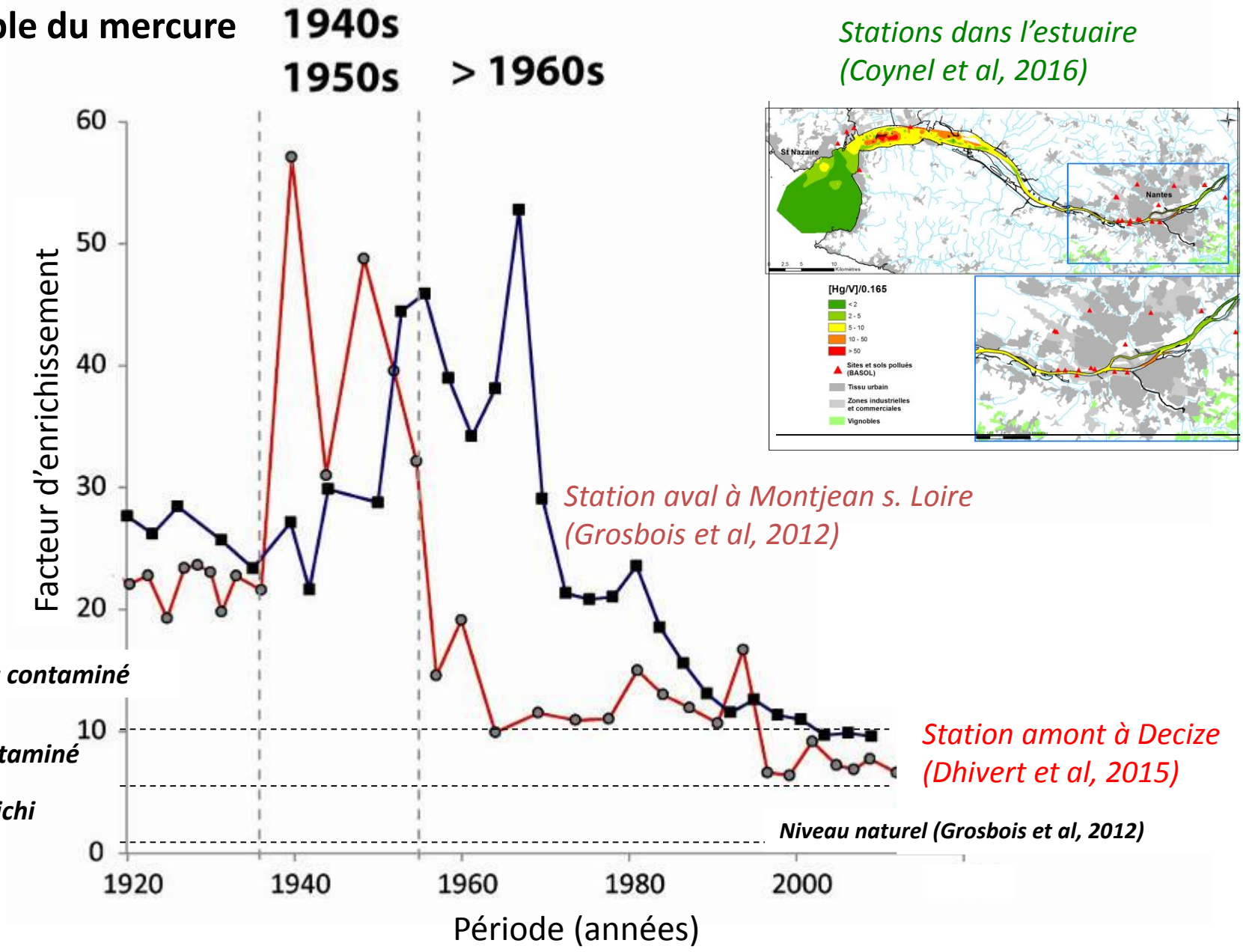
5.1. Origine, transfert et modes de contamination: du sédiment au biote
5.2. Les micropolluants métalliques
5.3. Les micropolluants organiques
5.4. Les radioéléments
5.5. Conclusion

Des sources de contamination métalliques anciennes et présentes en amont



Enrichissement en contaminants dans les sédiments du bassin de la Loire

Exemple du mercure



Stations dans l'estuaire
(Coynel et al, 2016)

6. Eutrophisation des eaux fluviales et hypoxie des eaux estuariennes

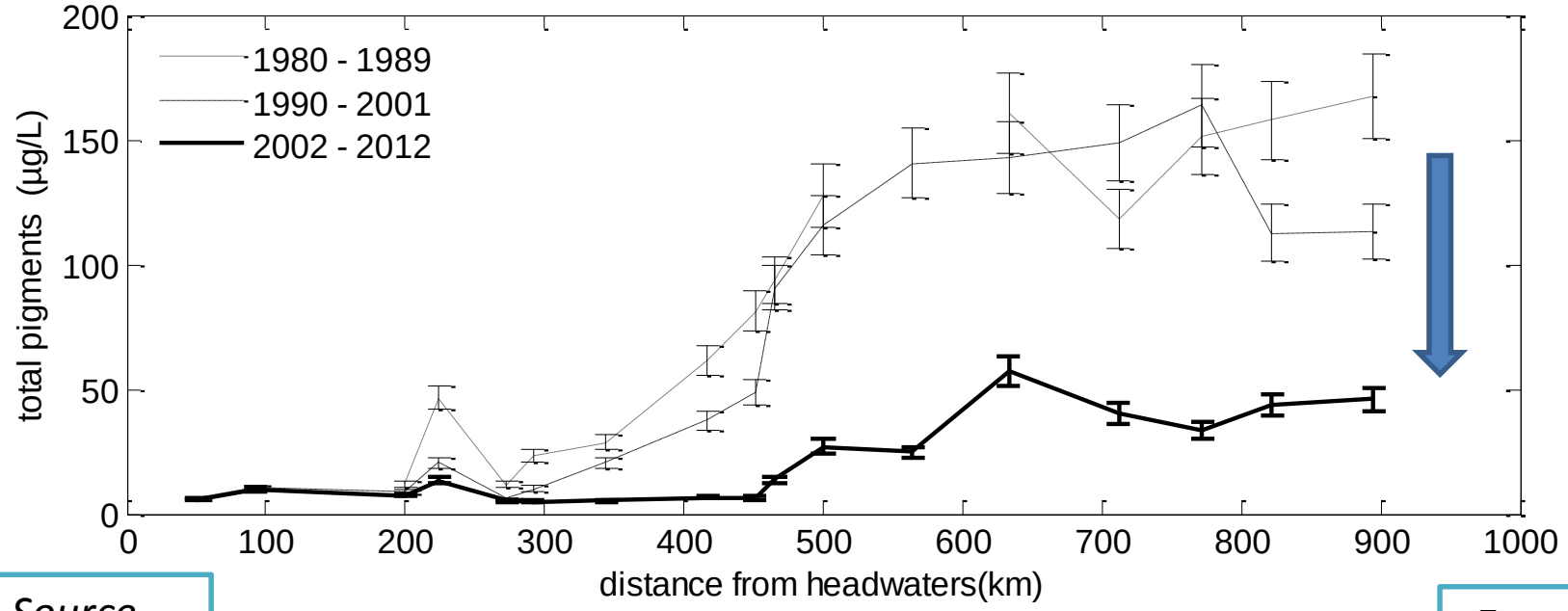
C. Minaudo
A. Menesguen
C. Poivert
G. Billen
N. Rollo

6.1. Le processus d'eutrophisation et le cas de la Loire
6.2. Bilans d'azote et de phosphore du bassin et évolution depuis 1940
6.3. Eutrophisation des eaux fluviales et estuariennes
6.4. Eutrophisation des eaux côtières et estuariennes
6.5. Les outils réglementaires de la reconquête de la qualité de l'eau
6.6. Conclusion

En terme de nutriment

- Des concentrations en azote encore élevées
- Diminution du Phosphore d'origine urbaine dans le bassin fluvial

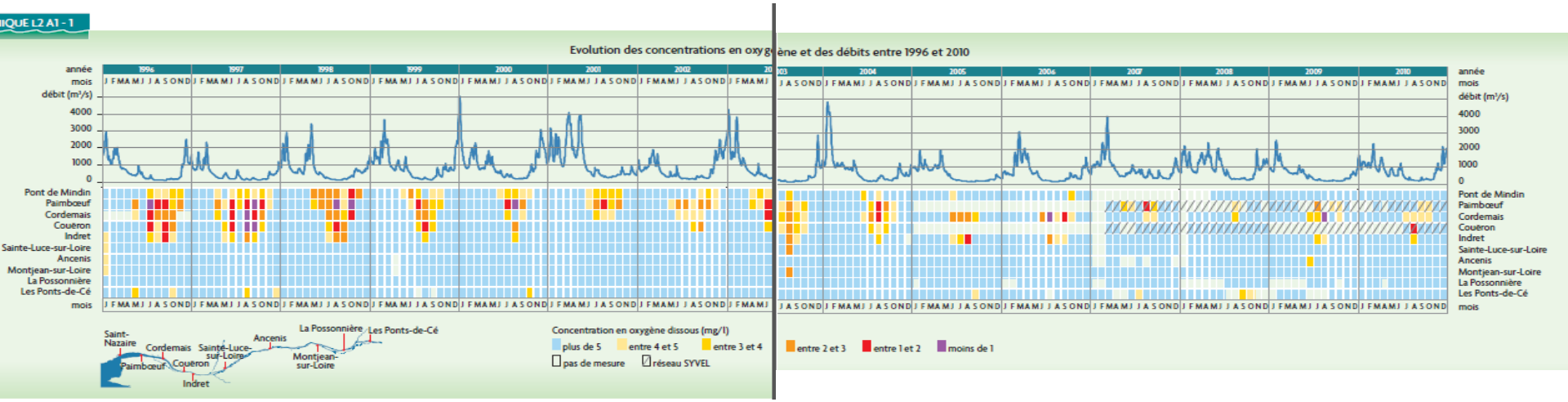
↳ Diminution par 3 depuis 1980 de la biomasse algale



Source

Estuaire

Une diminution des périodes d'hypoxie dans l'estuaire

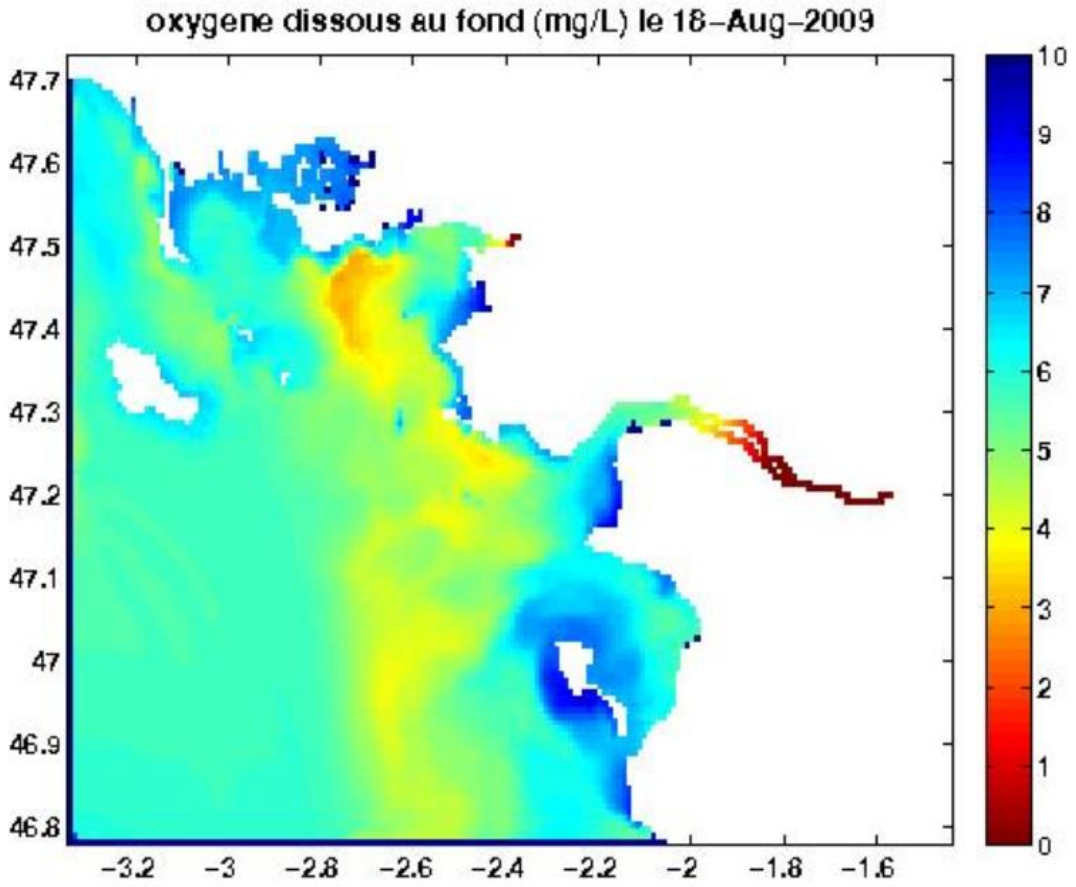


Source GIP Loire Estuaire

Diminution des flux de matière organique à l'entrée à l'estuaire

↳ diminution des périodes de hypoxie (faible teneur en oxygène dissout) dans l'estuaire

Une diffusion du phénomène dans les eaux côtières

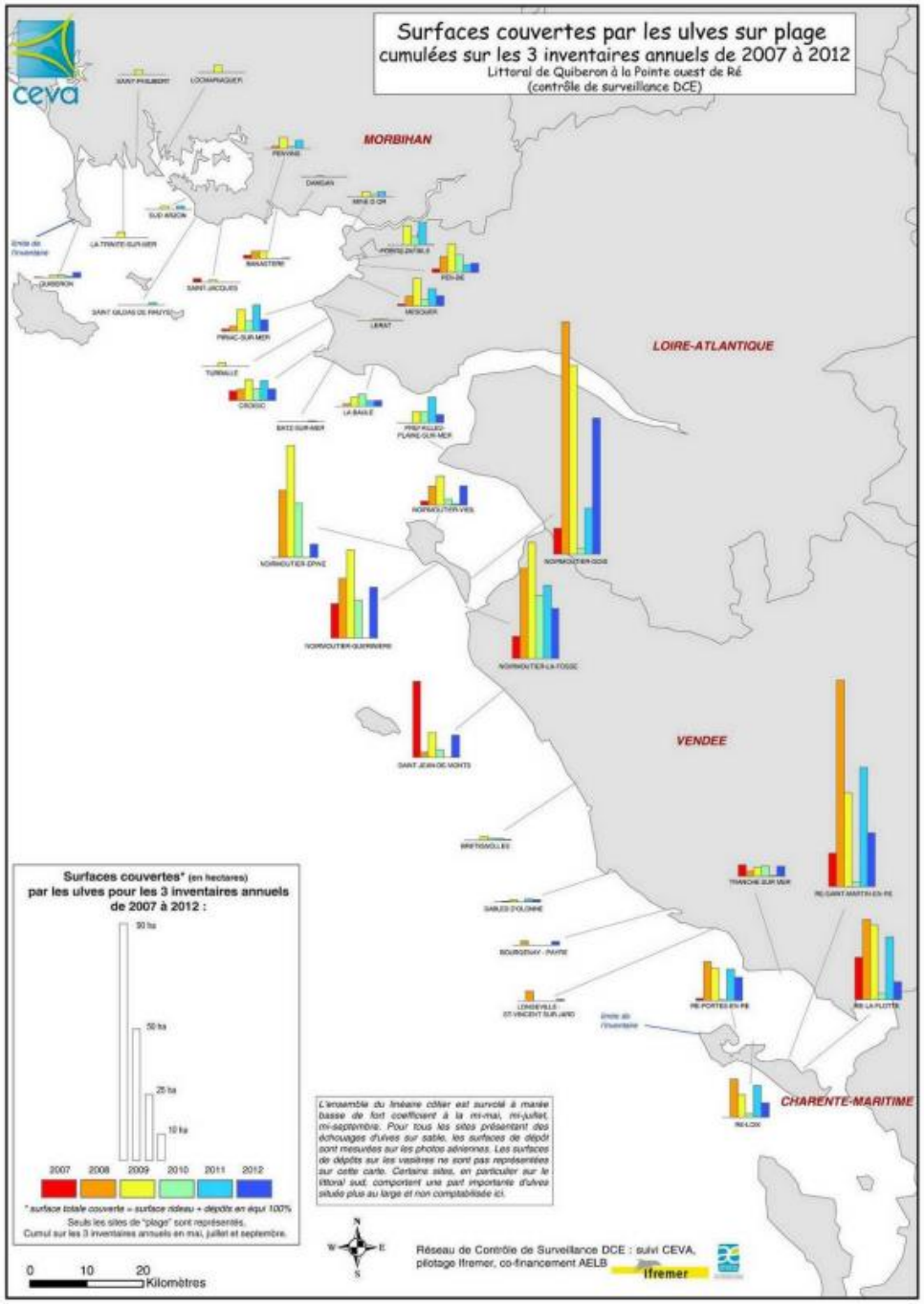


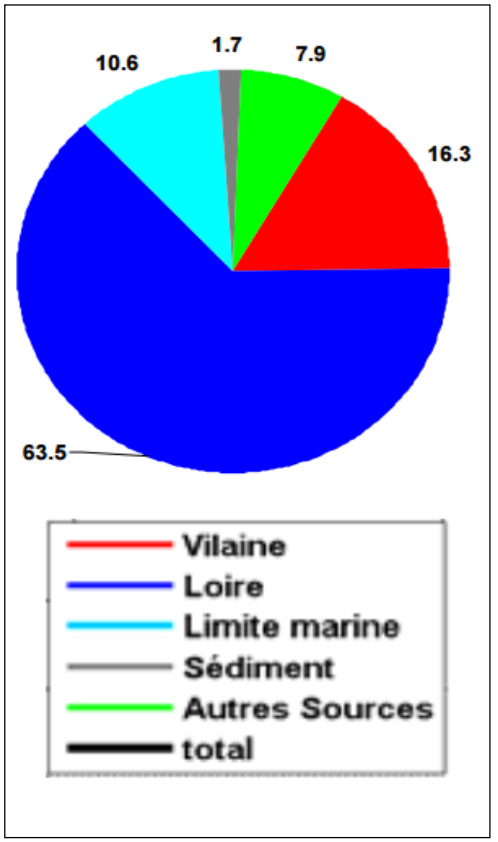
Concentration simulée en oxygène dissous (mg/L) le 18 août 2009 au fond (Dussauze, 2011)

Développement des phénomènes d'eau colorées sur la cote Atlantique

Eau colorée à *Lepidodinium chlorophorum* à Préfailles (sud de l'embouchure de la Loire) le 1er août 2014.

Développement d'algues vertes





Répartition des origines de l'azote des ulves de Noirmoutier (Perrot, 2014).

7. Ecologie aquatique et alluviale

S. Greulich
M. Wantzen
M. Leitao
L. Barrillé
M. Bacchi
C. Boisneau
E. Feuiteun
P. Hurel
S. Braud
B. Marchandour

7.1. Habitats du continuum fluvio-estuarien et fonctionnalités
7.2. Végétation vasculaire aquatique et alluviale
7.3. Phytoplancton et microphytobentos
7.4. Faune invertébrée
7.5. Faune piscicole
7.6. Mammifères et oiseaux
7.7. Gestion de la biodiversité
7.8. Conclusion

Une diversité d'habitats ex de la Loire Moyenne

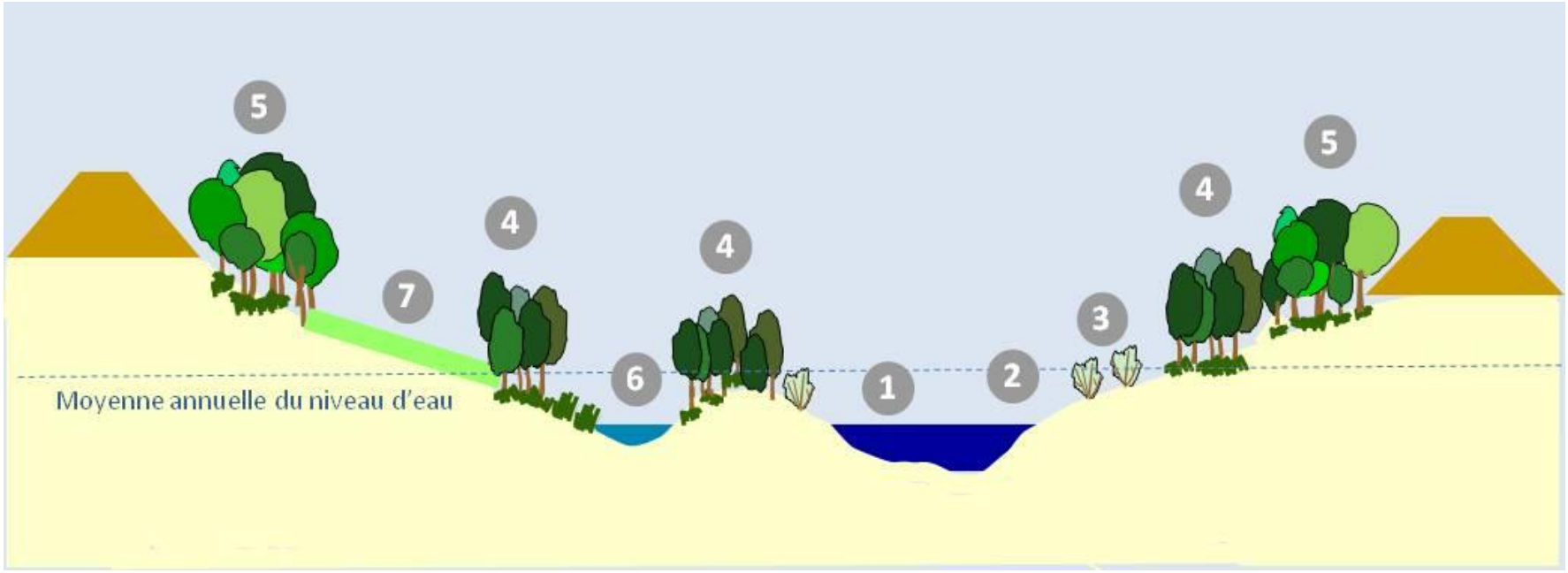


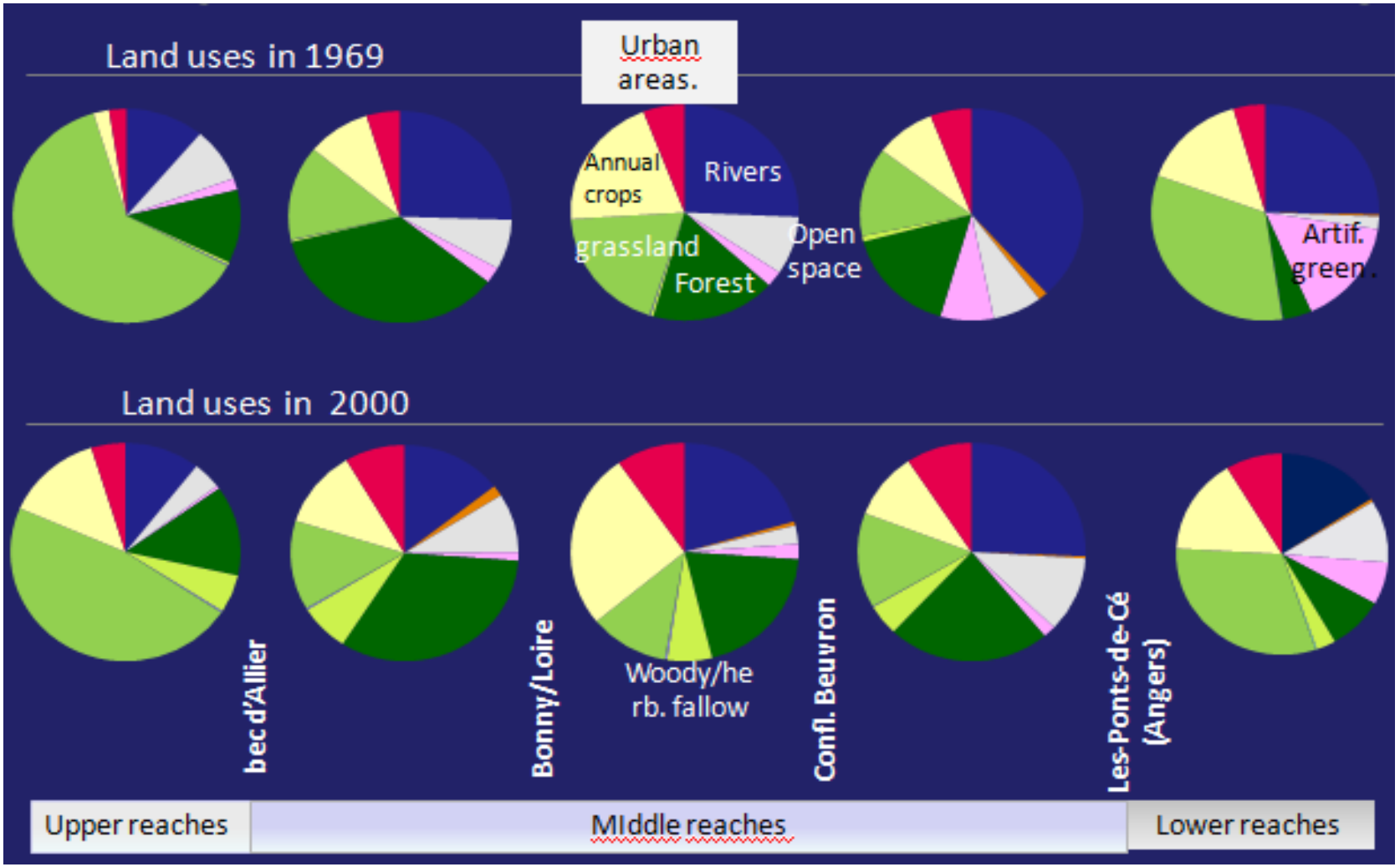
Schéma d'organisation des principaux types de végétation du lit endigué (situation à l'étiage).

1 : communautés d'hydrophytes du lit vif ; 2 : communautés des grèves ; 3 : pionniers ligneux arbustifs ; 4 : forêt de bois tendres ; 5 : forêts de bois durs ; 6 : communautés d'hydrophytes des annexes hydrauliques en eau ; 7 : prairies.

Exemple : Evolution de la végétation dans le temps

Jean-Pierre Houël (1769). La Loire à Lussault. Musée des Beaux Arts, Tours.

Evolution de l'occupation du sol entre les digue du bec d'Allier aux Pont-de-Cé 1969/2000



8 . Impacts du changement climatique en milieu et fin du XXI^{ème} siècle

F. Moatar
J.Ph Vidal
J. Garnier
L. Buisson
P. Le Hir
O. Planchon

8.1. Du climat global au climat régional : les modèles climatiques
8.2. Les contours possibles du climat futur
8.3. Evolution des débits fluviaux
8.4. Evolution des températures fluviales
8.5. Impacts sur la faune piscicole
8.6. Evolution des apports des flux de nutriments à l'estuaire
8.7. Evolution morphologique de l'estuaire
8.8 Vulnérabilités attendues (ressource en eau, vigne)

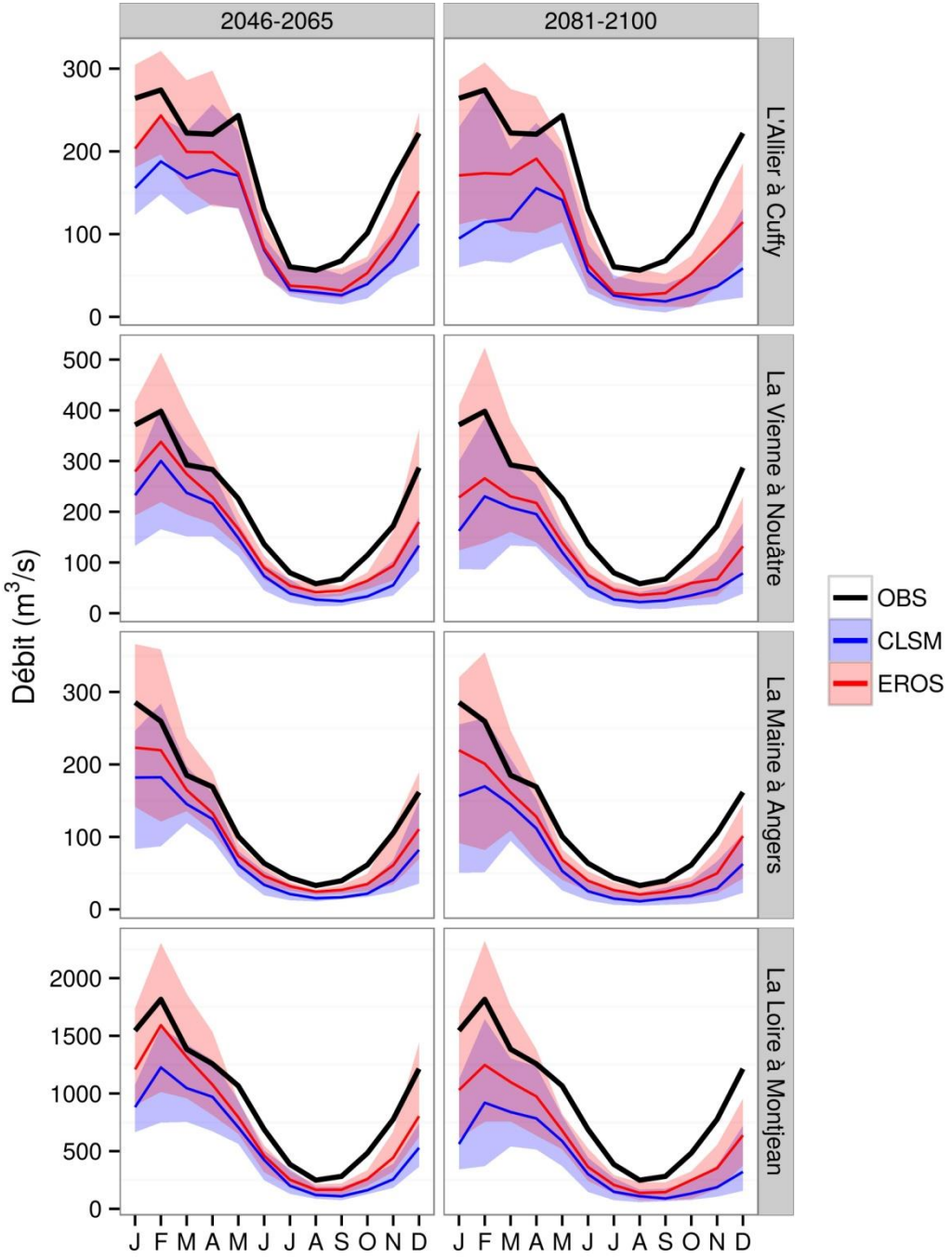
Evolution des débits fluviaux

Modèles hydrologiques et thermiques à résolution fine

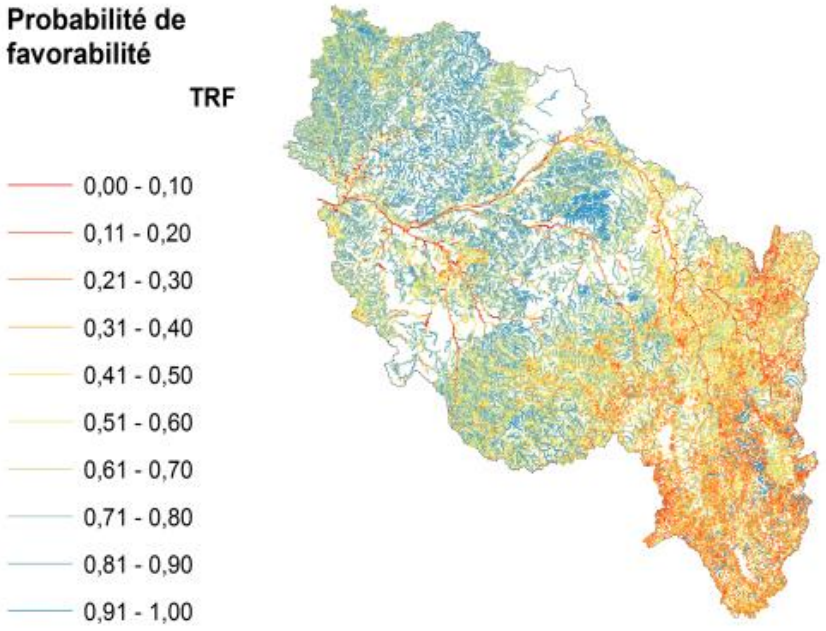
- ➢ Simulation des régimes saisonniers/ observation (1974-2000)

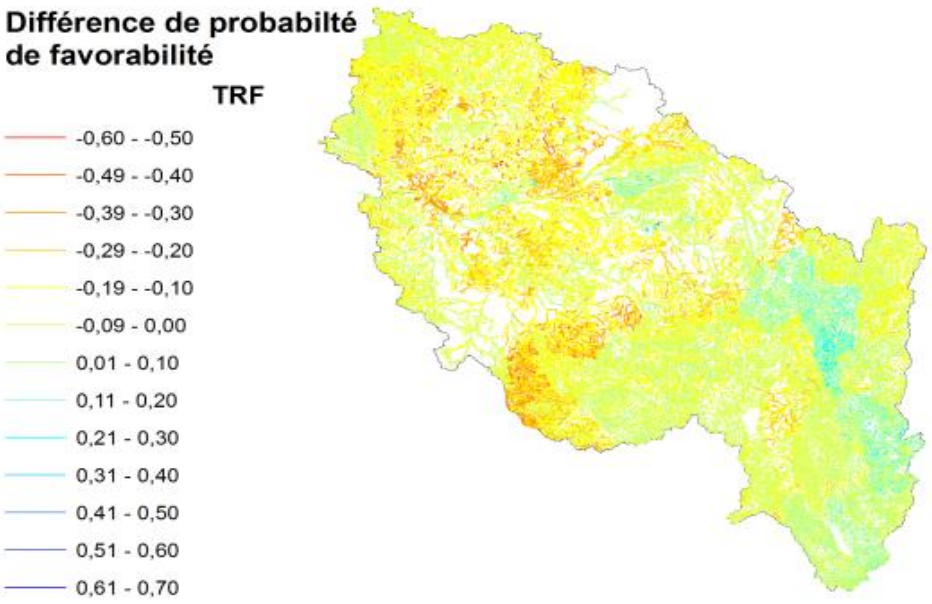
↳ Baisse des débits projetés sur toute l'année (augmentation de l'évapotranspiration)

↳ Larges incertitudes sur les dé bits d'hiver et de début du printemps (incertitude sur les précipitations)



Impacts sur la faune piscicole





Par Exemple de la **Truite commune** (espèce eau froide)

- Diminution des habitats potentiellement favorables à son maintien (Haute-Vienne par exemple)
- Certaines zones légèrement plus favorables (dans le Massif Central notamment).

CONCLUSION

Une monographie **plurisdiciplinaire** manquante sur le bassin de la Loire (Rhône, Seine) :

Axée sur la compréhension des phénomènes physiques, chimiques, écologique du bassin et de son estuaire

Originalité : aborder le **continuum fluvio-estuarien**

- Approche longitudinale de l'amont vers l'aval ;
- Approche temporelle : retracer l'évolution et analyser les perspectives d'évolution dans le futur

Approche couplée à une analyses des interfaces entre les milieux naturels et la société

Cet ouvrage

- Fait le point sur les connaissances existantes
- Se veut comme une aide pour la gestion du bassin
- Effectue une prospection sur les manques en terme de connaissance

Merci pour votre
attention