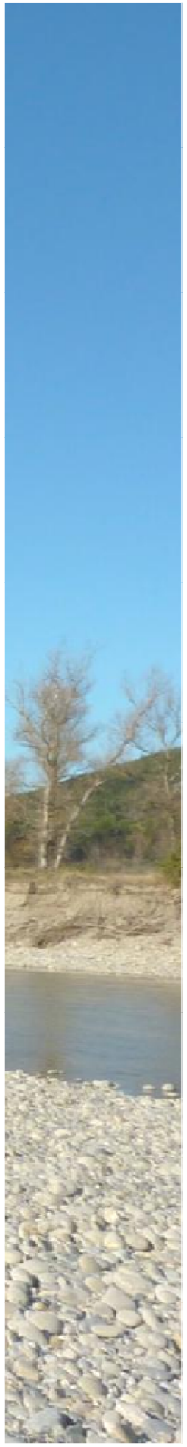


De la mobilité de la particule à la mobilité de la forme fluviale: continuités et dynamiques hydro-sédimentaires au sein du bassin versant

Margot CHAPUIS, chercheuse post-doctorale, University of Waterloo, Ontario, Canada

UNIVERSITY OF WATERLOO

GÉOSCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT CEREGE
CENTRE EUROPÉEN DE RECHERCHE ET D'ENSEIGNEMENT DE GÉOSCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

1. Contexte et enjeux

Contexte :

- BV soumis à une forte pression anthropique
- Rivières à sédiments mixtes (graviers+fraction fine importante)
- Dynamiques d'ajustement de surface marquées

Intégration des caractéristiques physiques et de l'histoire du bassin versant

Caractérisation et activité des sources sédimentaires + Historique des aménagements

Modification du régime hydrologique?

Rythmes des transferts sédimentaires?

1. Contexte et enjeux

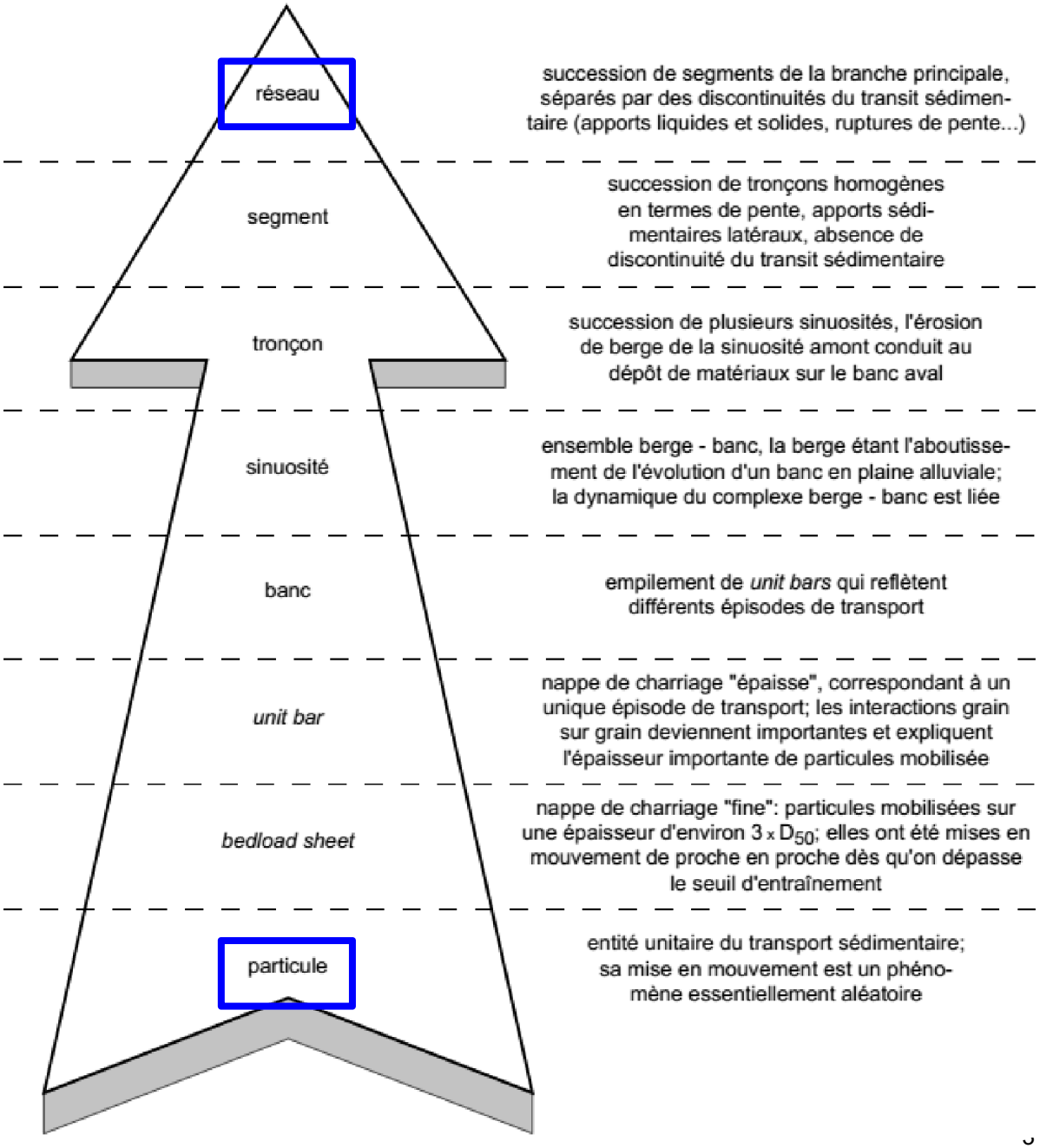
Enjeux et approche :

- rivières à moyenne/forte énergie

→ instabilité spatiale et temporelle

- enjeux globaux (éch. BV)

- enjeux locaux (éch. tronçon, éch. sinuosité)



Chapuis, 2012

2. Sites d'étude et méthodes

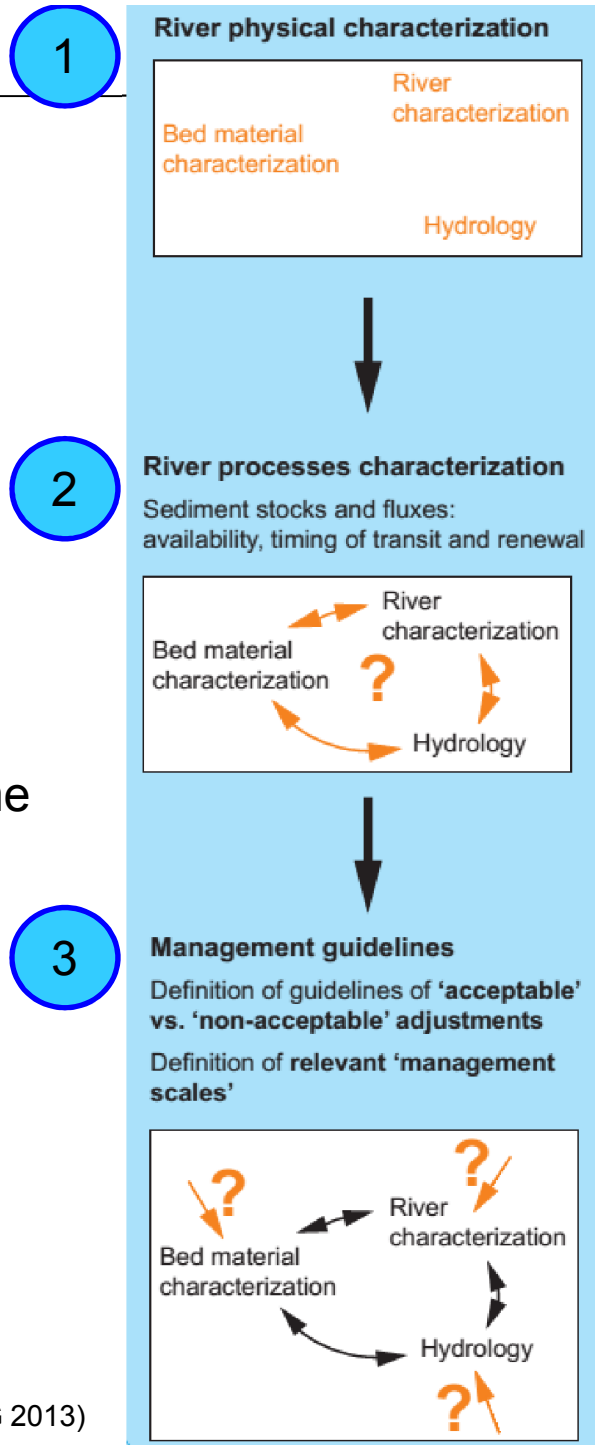
2. Sites d'étude et méthodes

➔ gestion des systèmes qui nécessite
une approche multi-scalaire et intégrative

Ainsi que la complémentarité des outils disponibles (terrain, modélisation phys.+num.)

Méthodologie :

1. Caractérisation physique du système
2. Caractérisation des processus régissant le système
3. Définition de principes de gestion du système



(Chapuis *et al.*, poster IAG 2013)

2. Sites d'étude et méthode

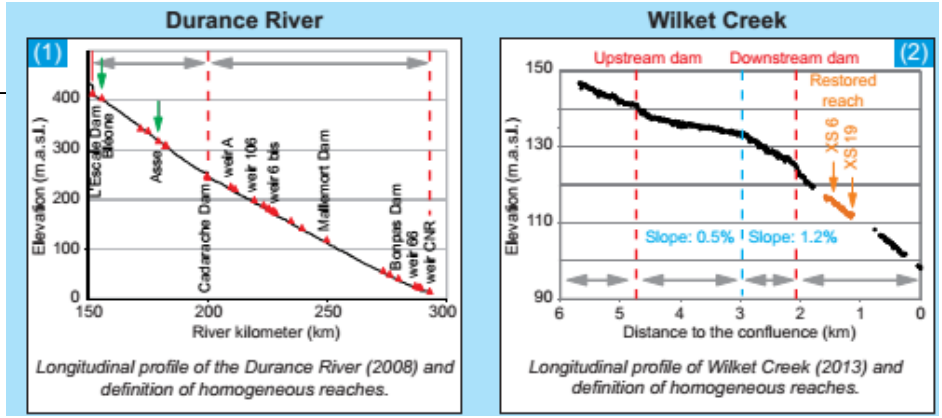
1

Méthodologie :

1. Caractérisation physique du système

→ collecte de données (topographie, hydrologie, matériaux du lit, mobilité des particules et des formes)
= approche terrain+SIG

→ définition de tronçons homogènes en fonction des discontinuités du transport sédimentaire



Longitudinal profile of the Durance River (2008) and definition of homogeneous reaches.

Longitudinal profile of Wilket Creek (2013) and definition of homogeneous reaches.

(Chapuis *et al.*, poster IAG 2013)

2. Sites d'étude et méthode

1

Méthodologie :

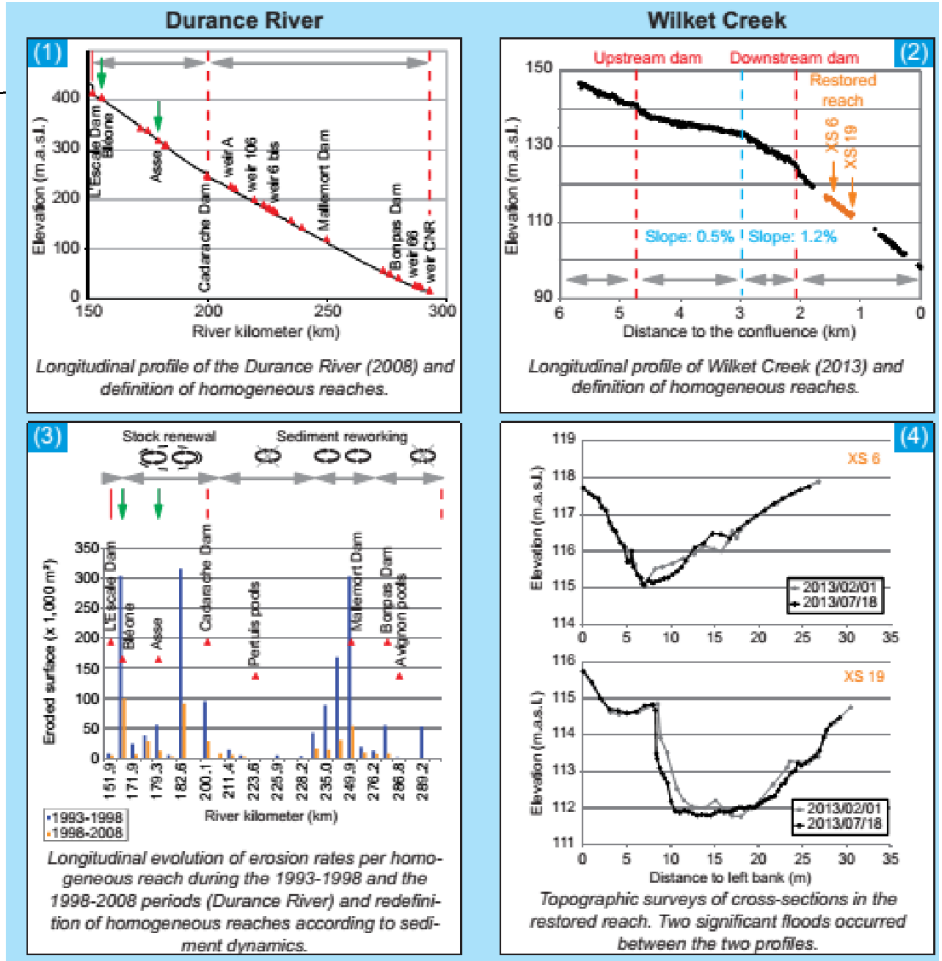
1. Caractérisation physique du système

2. Caractérisation des processus régissant le système

2

= analyse données de terrain et modélisations (numérique et/ou physique)

→ définition du renouvellement des stocks sédimentaires et des modalités de remaniement du stock dans le chenal



Longitudinal profile of the Durance River (2008) and definition of homogeneous reaches.

Longitudinal profile of Wilket Creek (2013) and definition of homogeneous reaches.

Longitudinal evolution of erosion rates per homogeneous reach during the 1993-1998 and the 1998-2008 periods (Durance River) and redefinition of homogeneous reaches according to sediment dynamics.

Topographic surveys of cross-sections in the restored reach. Two significant floods occurred between the two profiles.

(Chapuis *et al.*, poster IAG 2013)

2. Sites d'étude et méthode

1

<u>Méthodologie</u> :

1. Caractérisation physique du système

2. Caractérisation des processus régissant le système

2

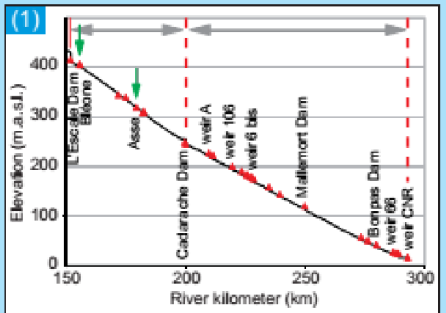
3. Définition de principes de gestion du système

= proposition des processus en jeu

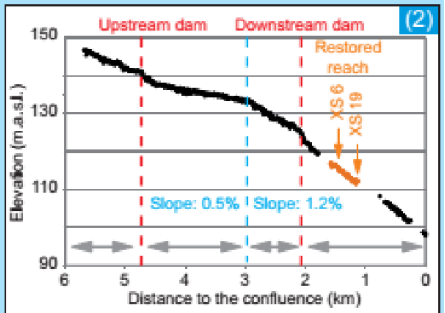
3

→ applicabilité des résultats

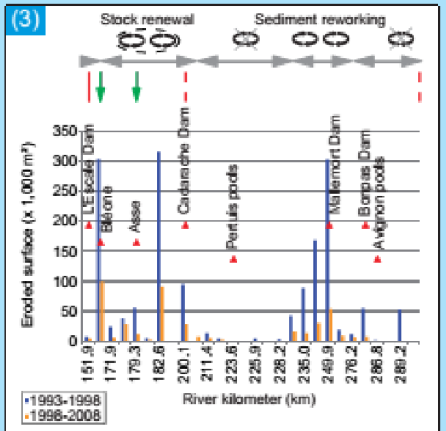
(Chapuis *et al.*, poster IAG 2013)



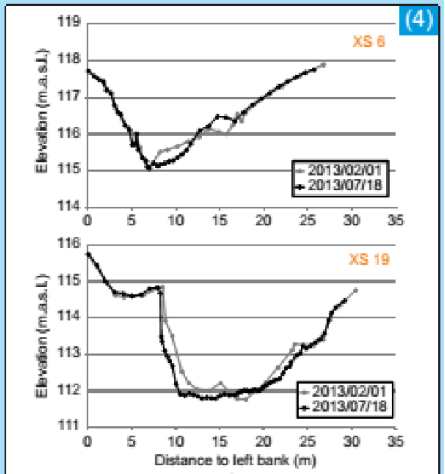
Longitudinal profile of the Durance River (2008) and definition of homogeneous reaches.



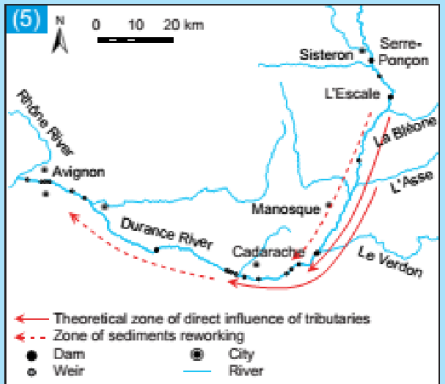
Longitudinal profile of Wilket Creek (2013) and definition of homogeneous reaches.



Longitudinal evolution of erosion rates per homogeneous reach during the 1993-1998 and the 1998-2008 periods (Durance River) and redefinition of homogeneous reaches according to sediment dynamics.



Topographic surveys of cross-sections in the restored reach. Two significant floods occurred between the two profiles.



Current longitudinal transfer processes of sediments in the Durance River, if the management procedures of dams remain the same as today.

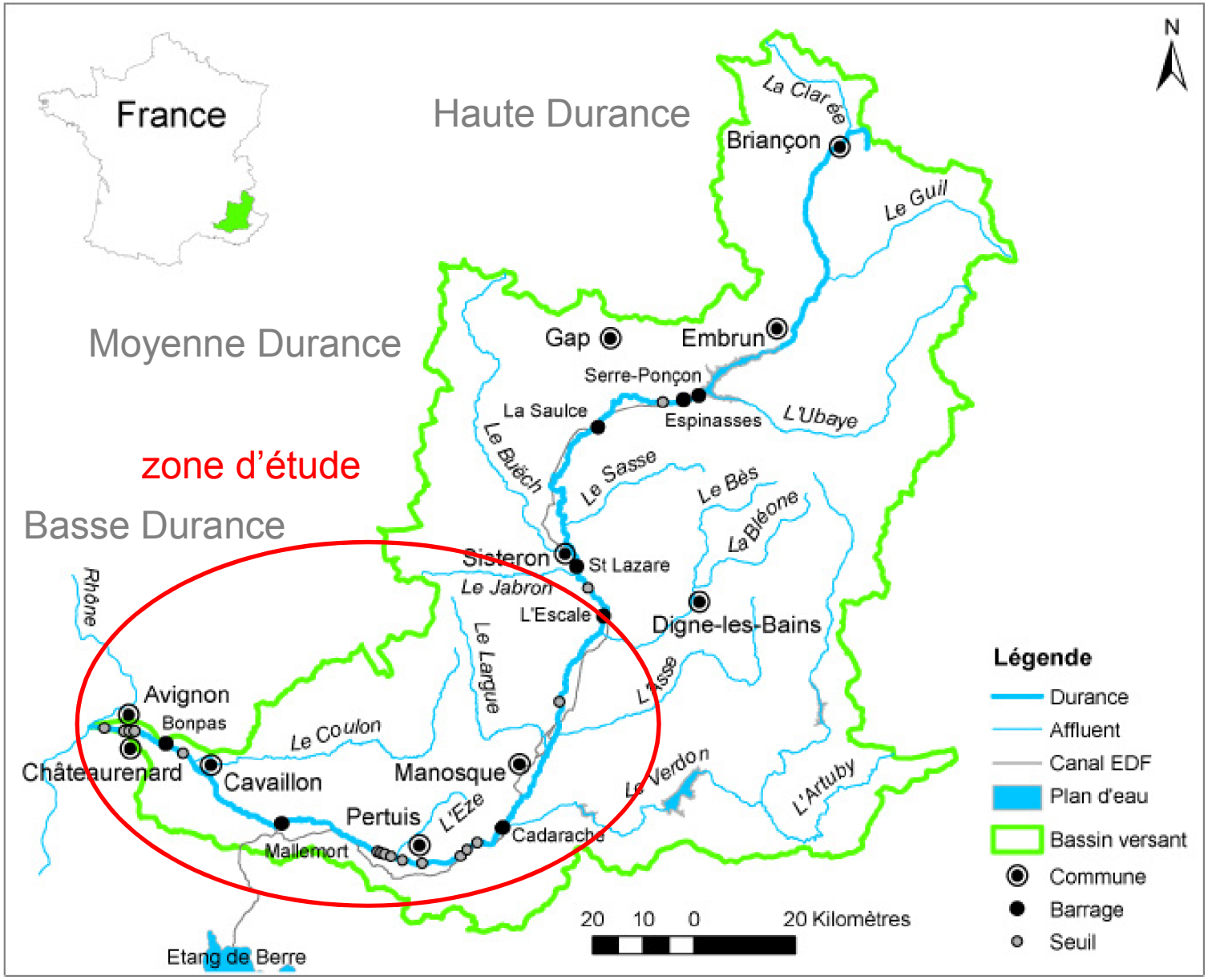
In Wilket Creek the information collected will be used to ensure the overall stability of the stream while maximizing ecosystem services, particularly in restored channel sections.

2. Sites d'étude et méthodes

Système	Durance	Wilket Creek
Lieu	Alpes du Sud, France	Toronto, ON, Canada
Description	Rivière divagante à charge grossière	Rivière sinueuse à charge grossière, contrôle local par du till glaciaire
Surface BV (km²)	14 000	15
Largeur (m)	300	15
Pente (%)	0,3	0,9
D_{50} (>8mm)	44	39
Principales infrastructures	Barrages, compétition pour l'occupation du fond de vallée	BV imperméabilisé, barrages, compétition pour l'occupation du fond de vallée
Hydrologie	Flash floods et crues longues	Flash floods

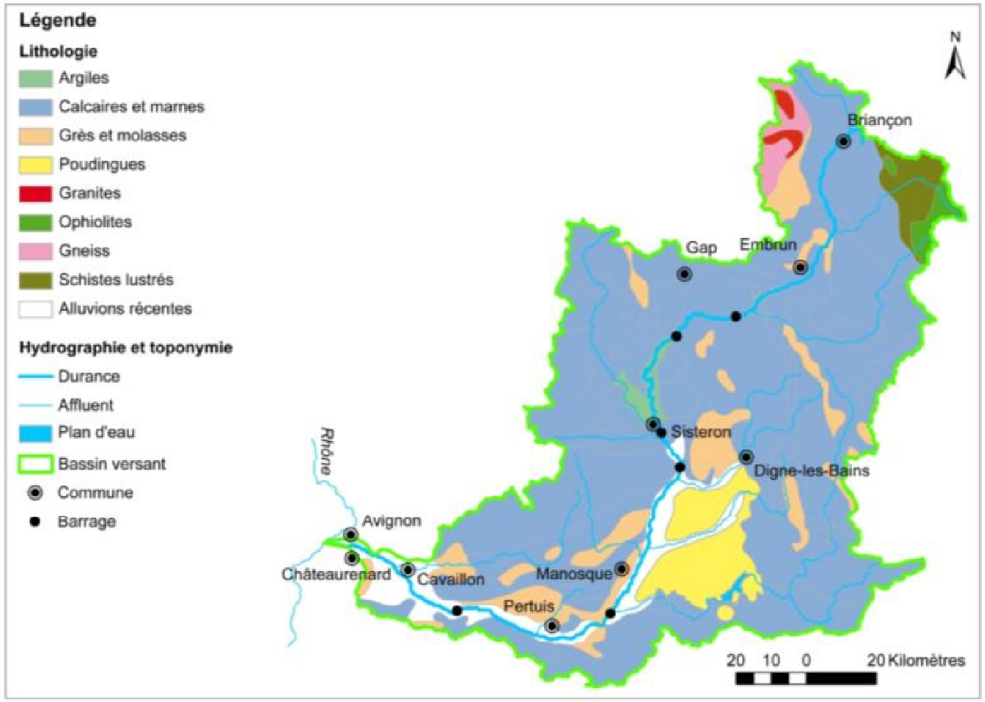
2. Sites d'étude et méthodes

Site d'étude : la **Durance**



2. Sites d'étude et méthodes

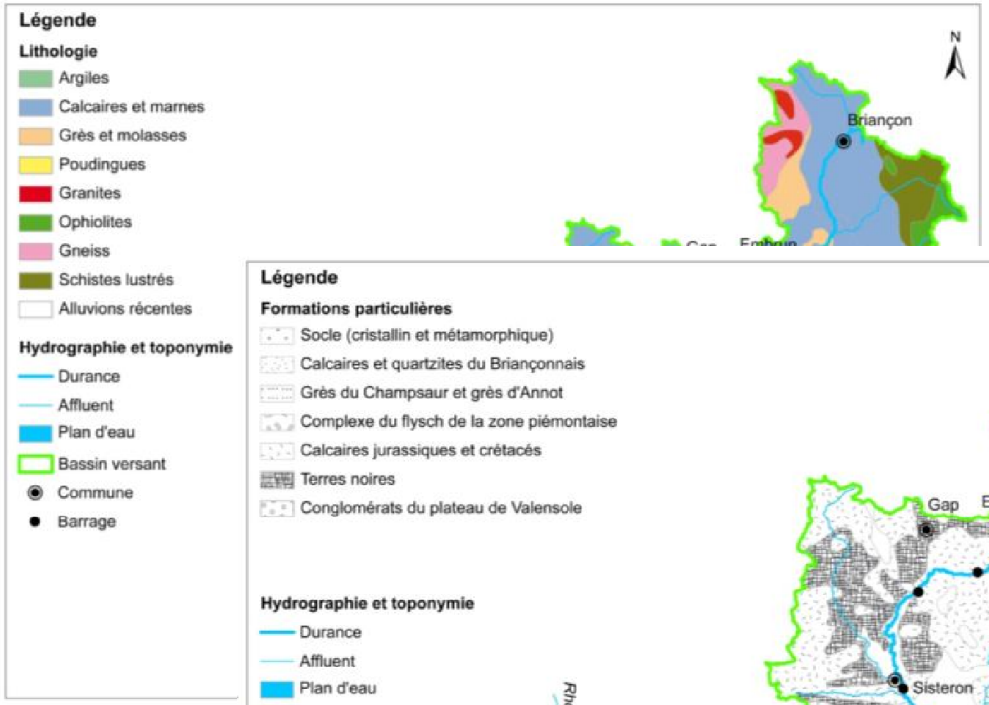
A l'échelle du BV: apports sédimentaires fins et grossiers:



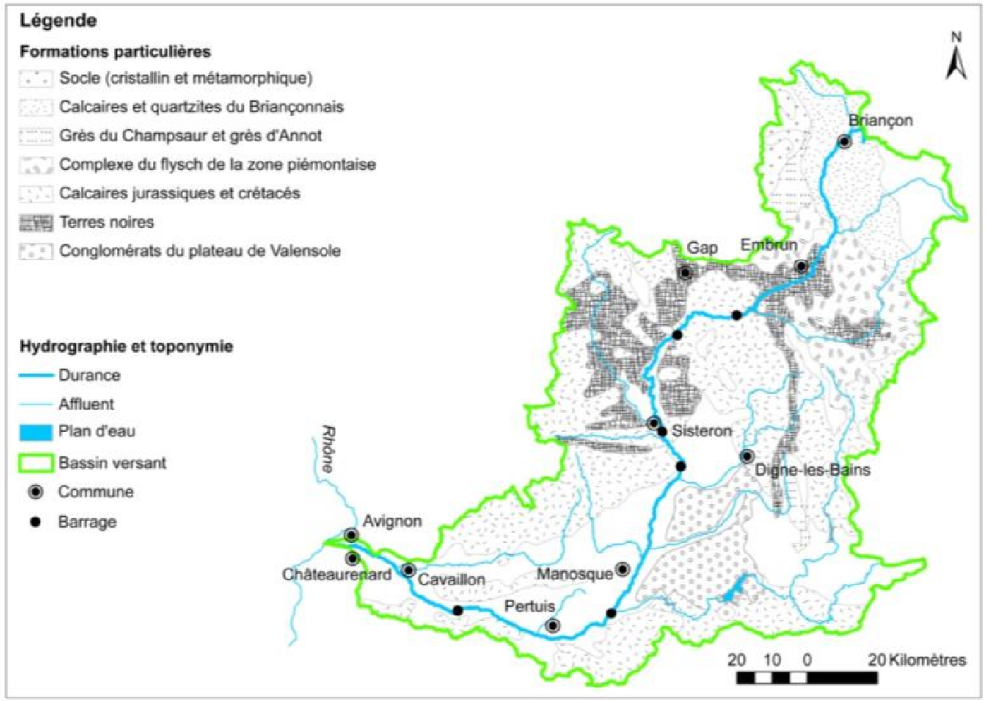
(Chapuis 2012: modifié d'après Jorda et Gabert, 1984)

2. Sites d'étude et méthodes

A l'échelle du BV: apports sédimentaires fins et grossiers:



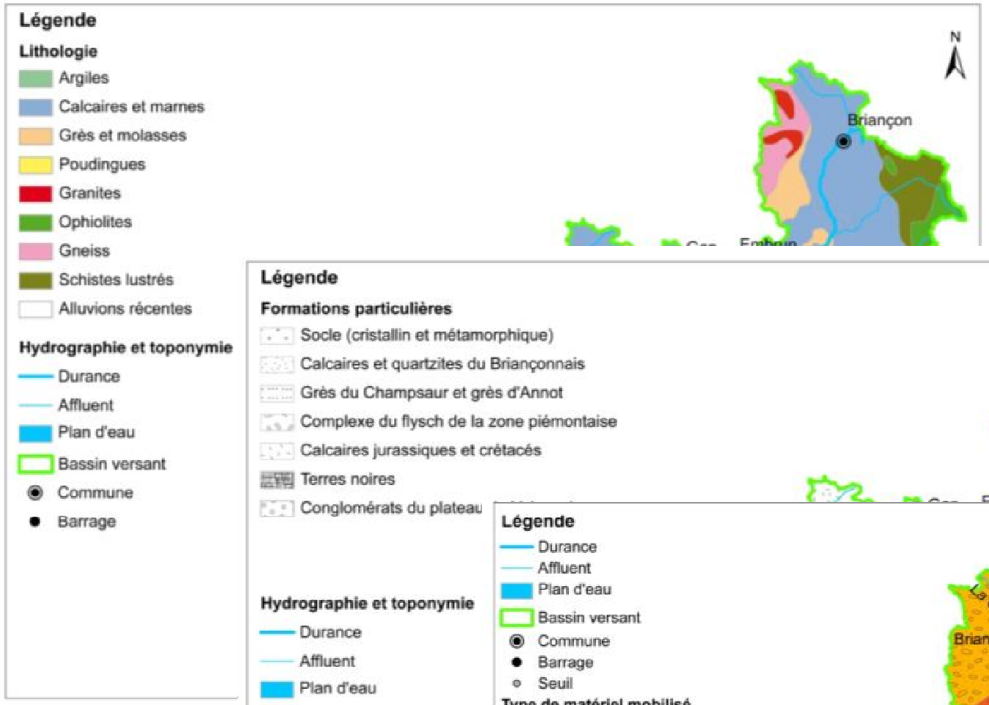
(Chapuis 2012: n



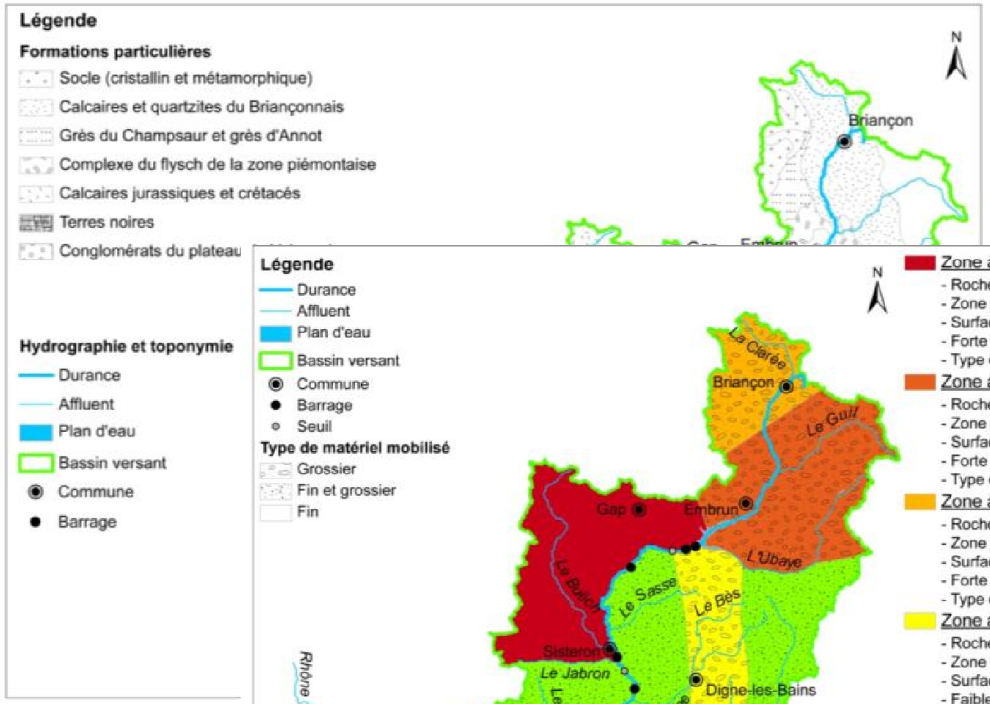
(Chapuis 2012: modifié d'après Jorda et Gabert, 1984)

2. Sites d'étude et méthodes

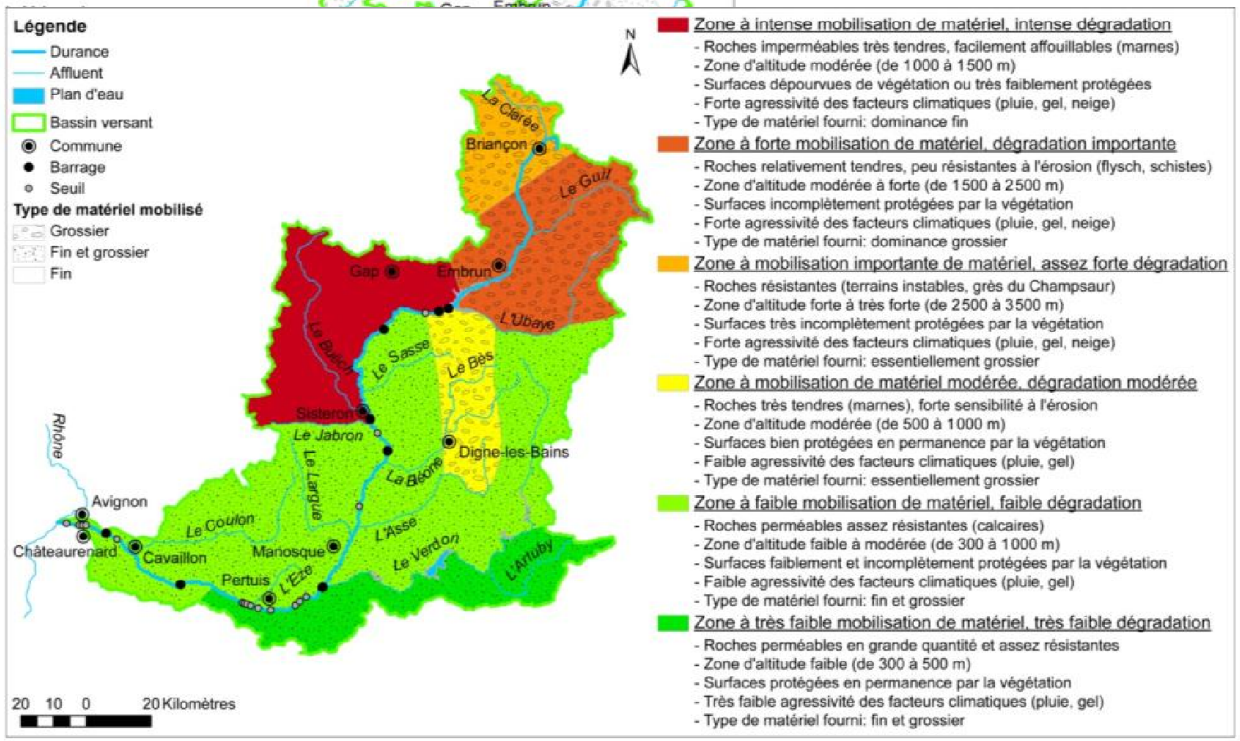
A l'échelle du BV: apports sédimentaires fins et grossiers:



(Chapuis 2012: n



(Chapuis 2012: n

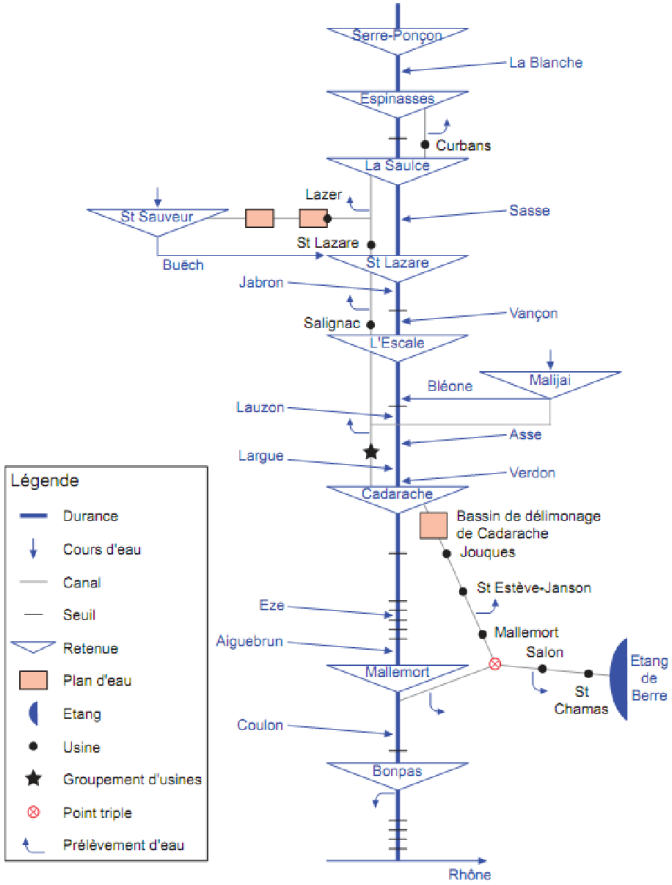


(Chapuis 2012: modifié d'après Juramy et Monfort, 1986)

2. Sites d'étude et méthodes

Une rivière méditerranéenne à charge grossière:
- contraste crues/étiages
- fortes pentes (Petts *et al.*, 2000)
- transport d'importants volumes de sédiments

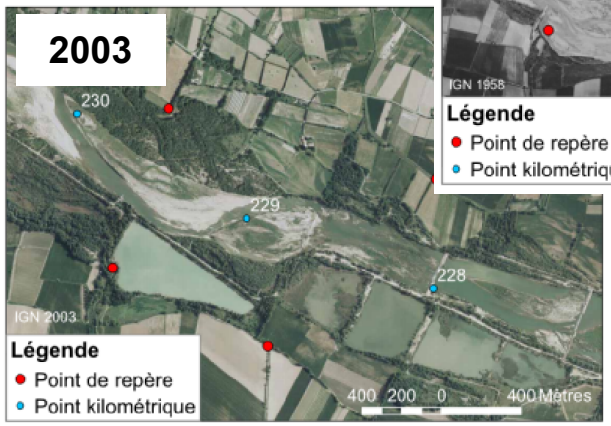
(Vericat *et al.*, 2006)

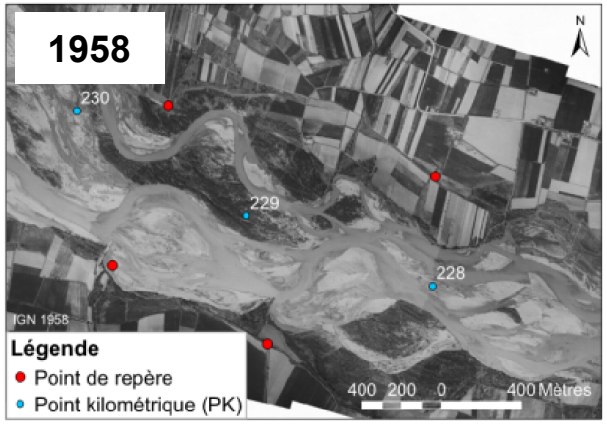


La Durance à Mirabeau

Un bassin soumis à de fortes pressions anthropiques:
- aménagements hydro-électriques
- extractions de graviers

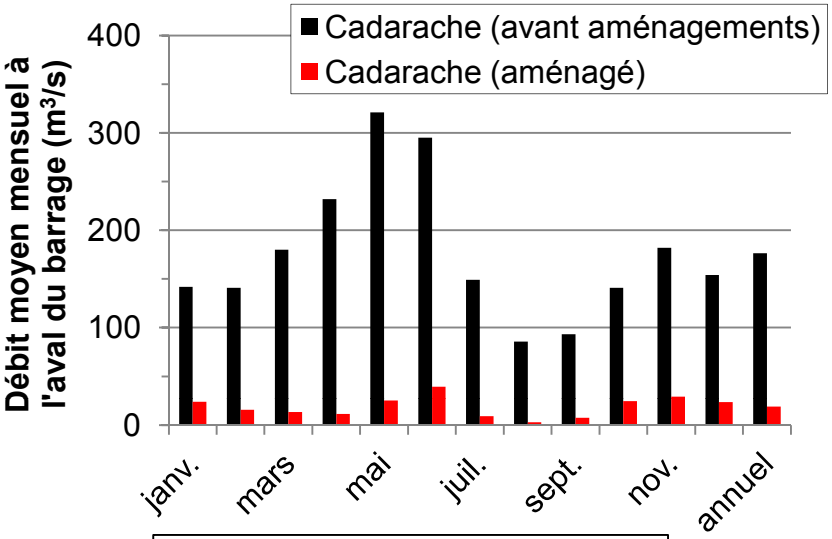
La Durance à Pertuis

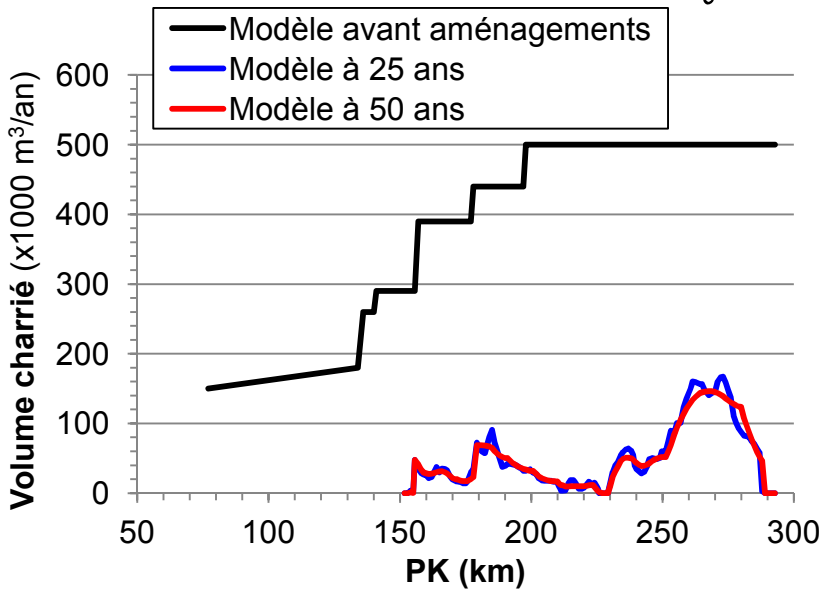




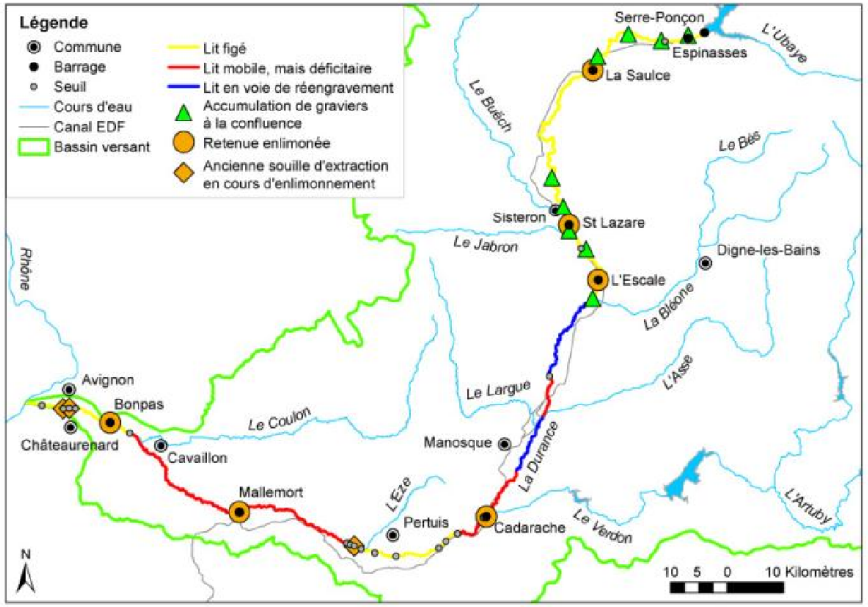
2. Sites d'étude et méthodes

Un bassin versant fortement modifié:
- régime hydrologique
- dynamique sédimentaire





Un fonctionnement hydro-sédimentaire sectorisé:
- réengravement progressif en moyenne Durance
- déficit d'apports solides en basse Durance



Enjeux du contrat de rivière:
- rétablir la continuité du transit sédimentaire grossier
- favoriser la dynamique latérale du lit (dynamique de la fraction fine)

2. Sites d'étude et méthodes

Objectifs :

Questions opérationnelles	⟺	Questions scientifiques
Comment améliorer la gestion physique de la Durance?		**Conditions de la mobilité des particules et des formes fluviales ?**

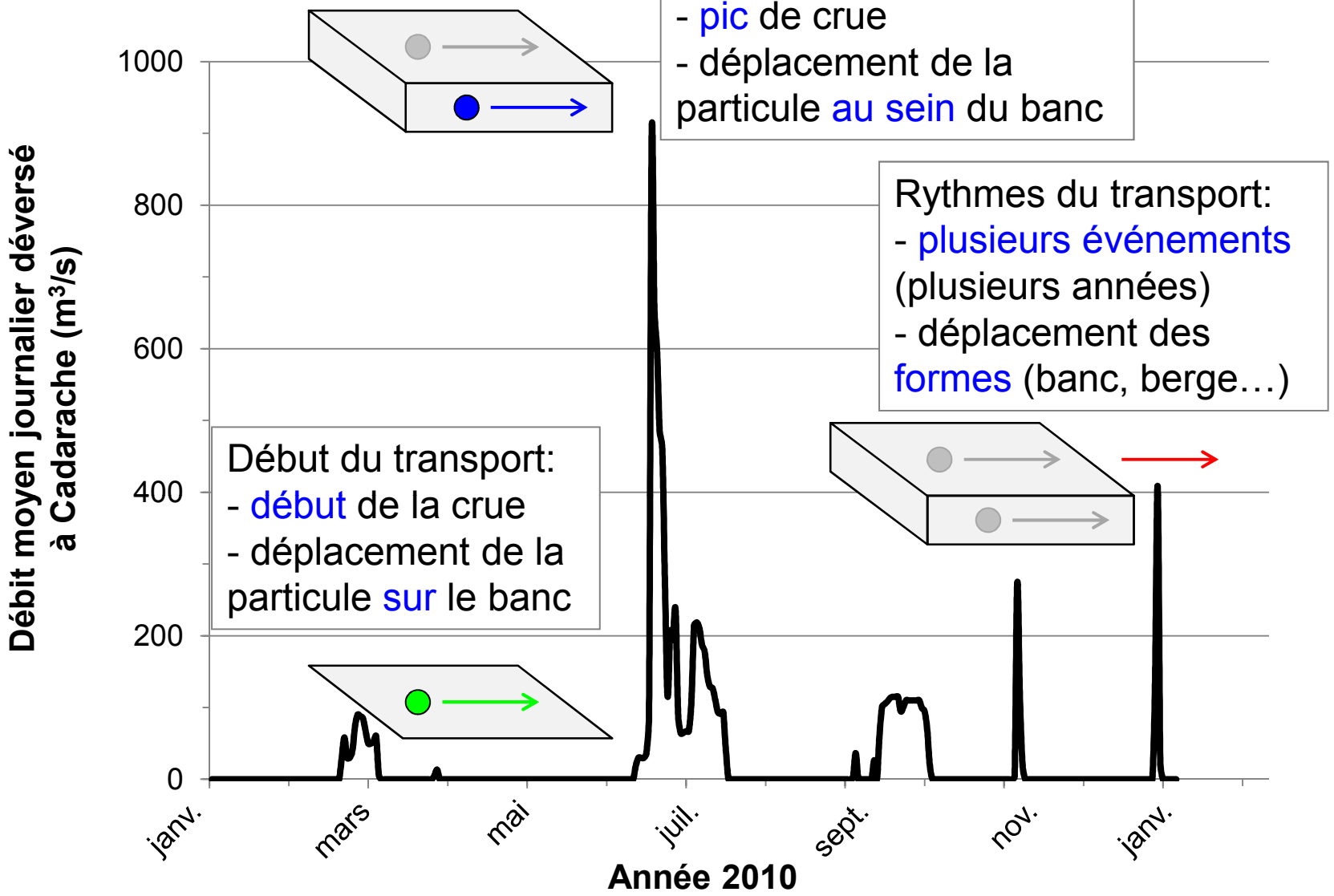
- Les débits restitués à l'aval de Mallemort sont-ils suffisants pour remanier le lit? (MRE *et al.*, 2010)
- Quel est le potentiel de recharge de la Durance en graviers *via* la remobilisation de terrasses hautes? (Lefort et Chapuis, 2012)
- Quel est le rôle des matériaux apportés par les affluents sur la dynamique sédimentaire de la Durance? (Lefort, 2005; Lefort et Chapuis, 2012)

⟺

- Quelles sont les modalités de la mobilité des particules et des formes sédimentaires en Durance (processus, seuil de mobilité, fréquence…)?
- Quelles sont les modalités du transfert des particules sédimentaires à l'échelle du réseau hydrographique durancien?

→ la mobilité des particules et des formes est fonction de l'échelle considérée
+ mobilité de la fraction grossière vs. mobilité de la fraction fine

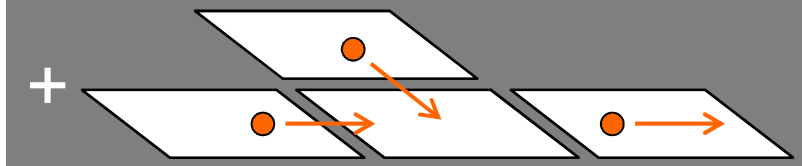
3. Résultats – Durance



Transport généralisé:
- pic de crue
- déplacement de la particule au sein du banc

Rythmes du transport:
- plusieurs événements (plusieurs années)
- déplacement des formes (banc, berge…)

Début du transport:
- début de la crue
- déplacement de la particule sur le banc



Transferts
à l'échelle du réseau
(échelle pluri-séculaire)

3. Résultats – Durance

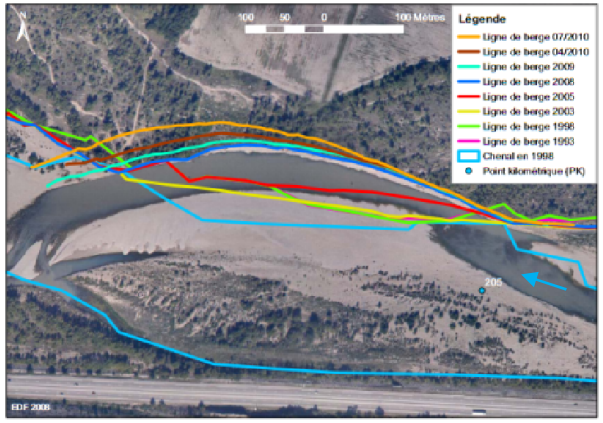
Complémentarités des outils → étude des processus à différentes échelles

1. Placettes peintes

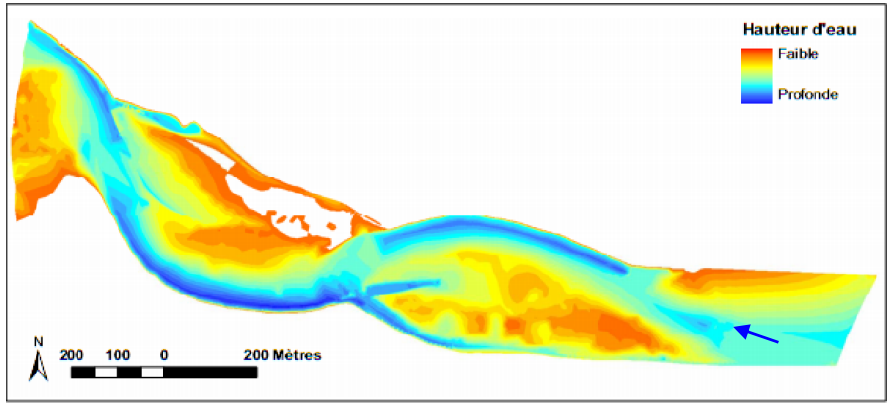
2. Traceurs RFID

3. Suivis topographiques

4. SIG - photos aériennes



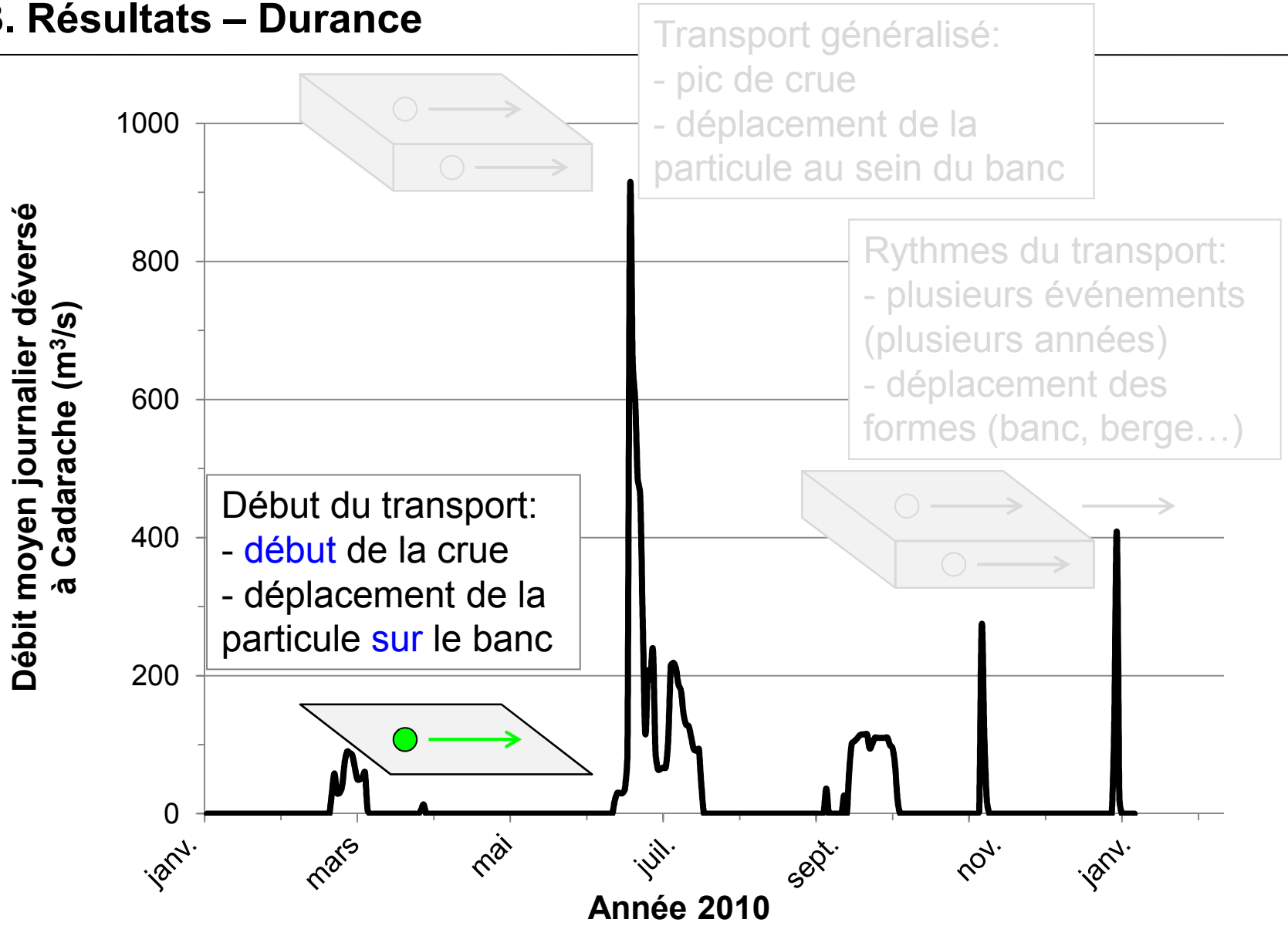
5. Modélisation hydraulique 3D (TELEMAC 3D)



+ relevés granulométriques, analyses de l'évolution morphologique des sites…

3. Résultats et propositions

3. Résultats – Durance

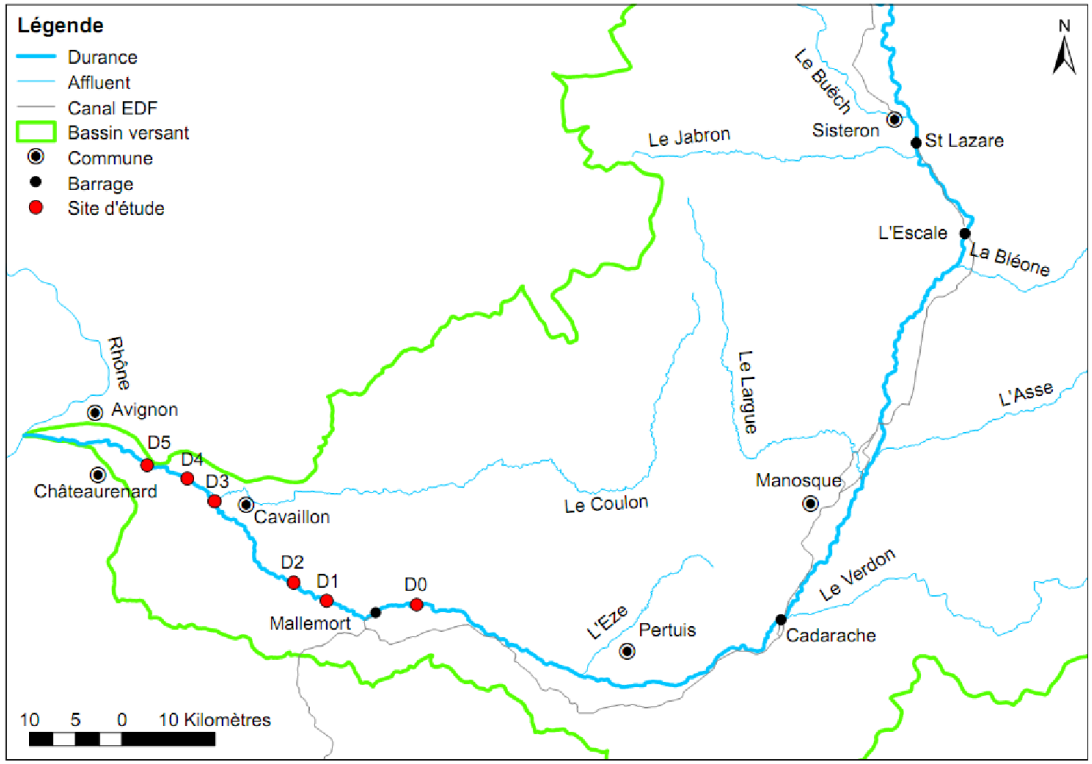


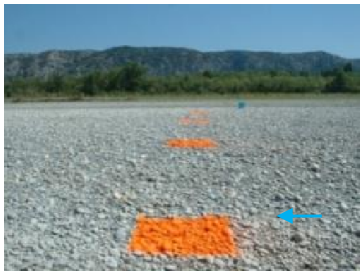
3. Résultats – Déplacement d'une particule sur le banc

Objectif:

seuil de mise en mouvement de la particule ?

- 2 indicateurs: le débit Q_c et la contrainte de cisaillement τ_c
- jamais mesuré depuis la mise en place des aménagements





Résultats:

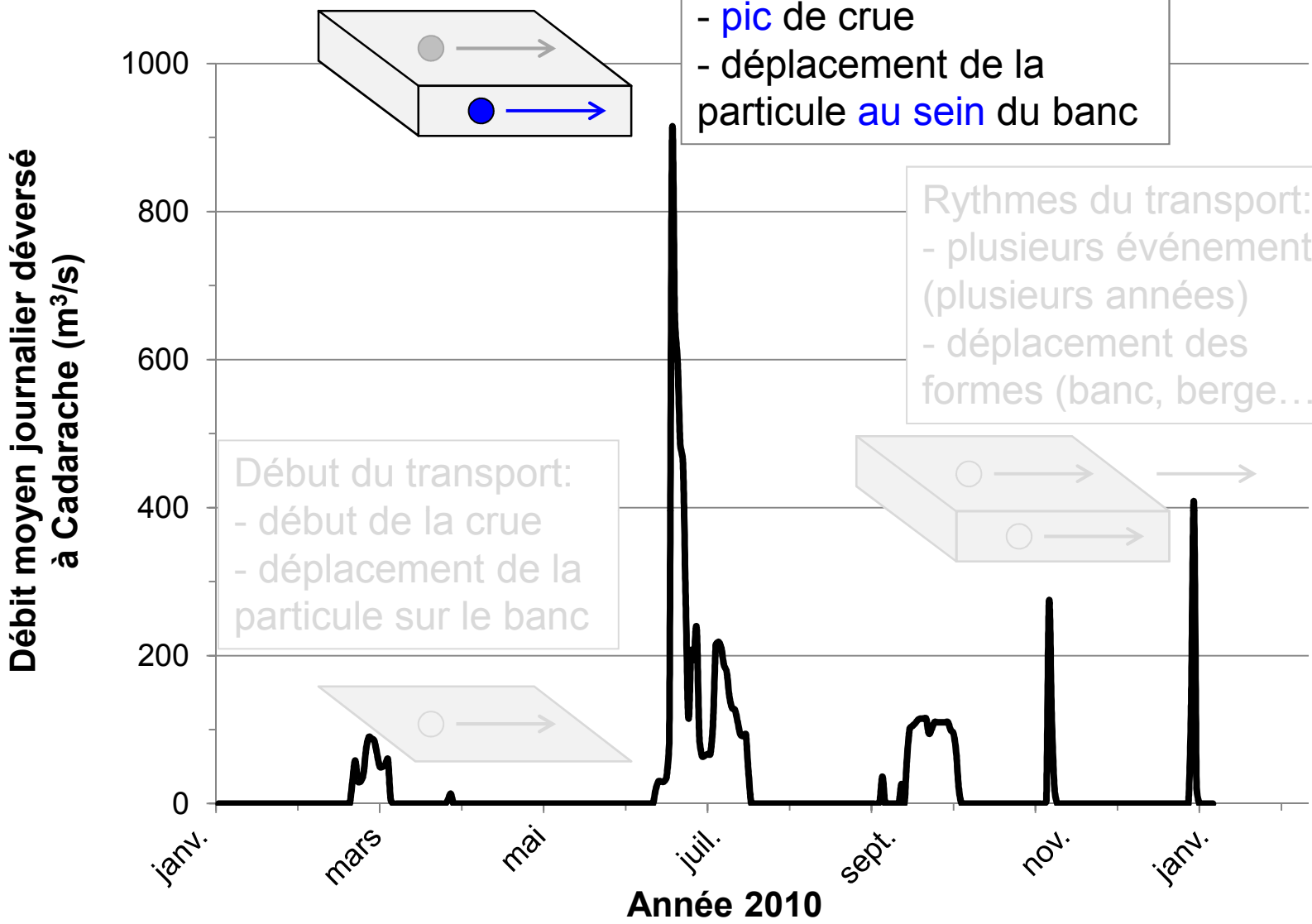
- suivi lors de restitutions à débit connu à l'aval de Mallemort:

Q_c = 170 m³/s (±15%)

≡ réévaluation de la fréquence de transport : 100 jours/an

3. Résultats – Durance

Transport généralisé:
- pic de crue
- déplacement de la particule au sein du banc



Rythmes du transport:
- plusieurs événements (plusieurs années)
- déplacement des formes (banc, berge…)

Début du transport:
- début de la crue
- déplacement de la particule sur le banc

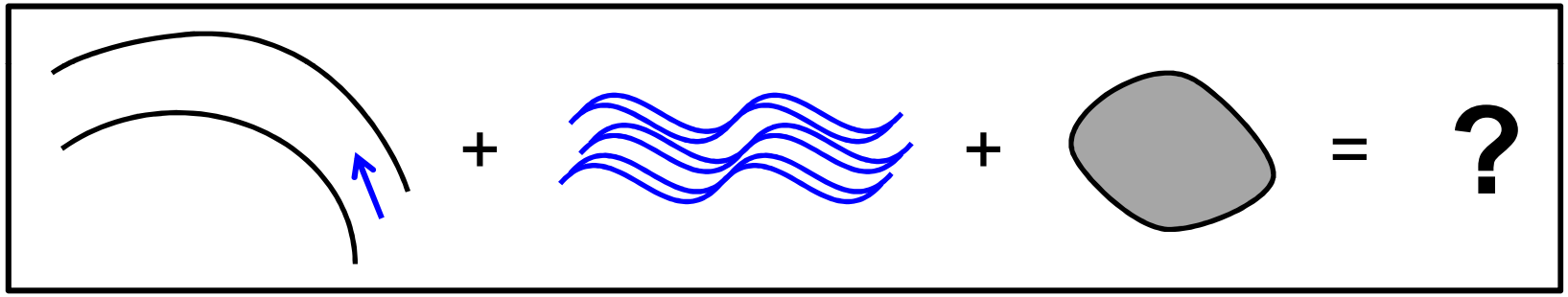
Transferts à l'échelle du réseau (échelle pluri-séculaire)

3. Résultats – Déplacement au sein du banc

Objectif:

modalités de la mobilité des particules au sein du banc?
(conditions de transport généralisé)

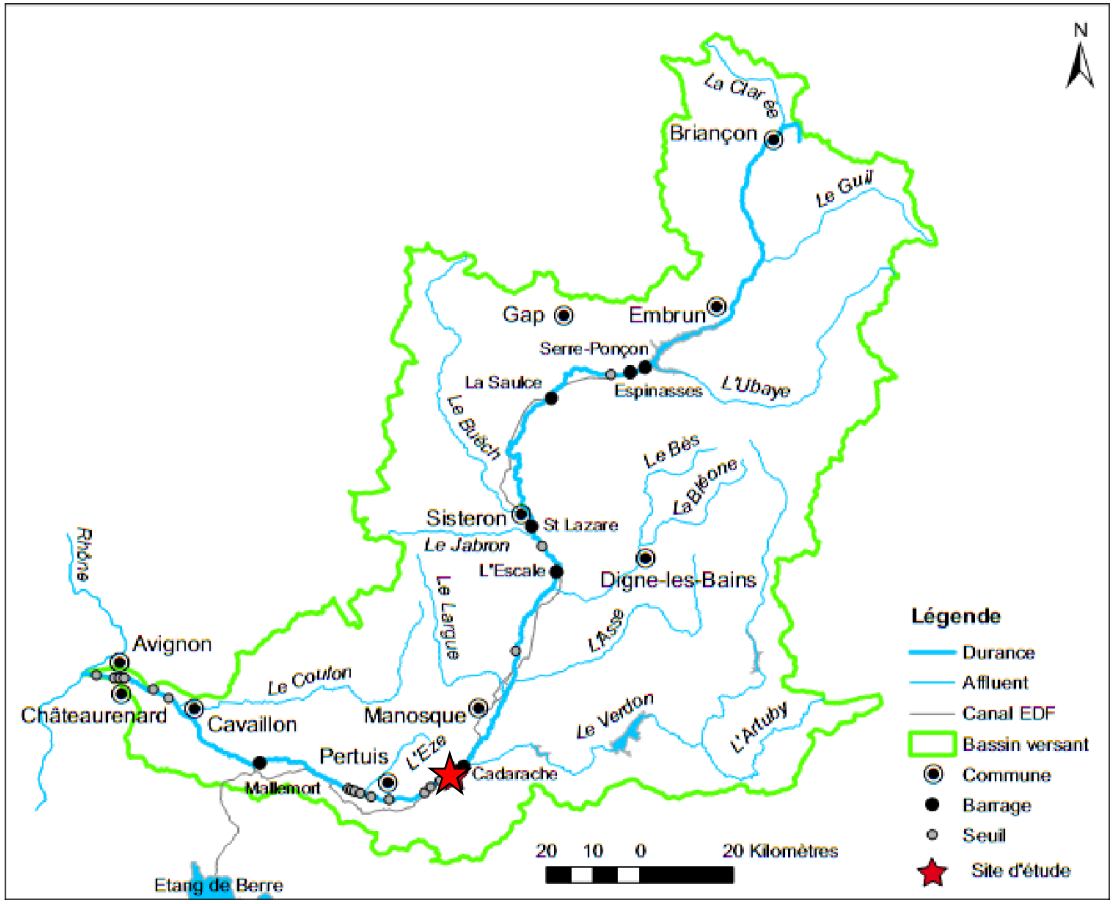
→ processus en jeu?
= lien entre flux liquides et flux solides au sein de la sinuosité?



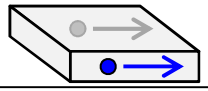
3. Résultats – Déplacement au sein du banc

Méthodologie:

- suivi d'un épisode de crue à l'aval de Cadarache (juin 2010, Q_{max} = 1200 m³/s)
- traçage RFID, suivi topographique, modèle hydraulique TELEMAC 3D

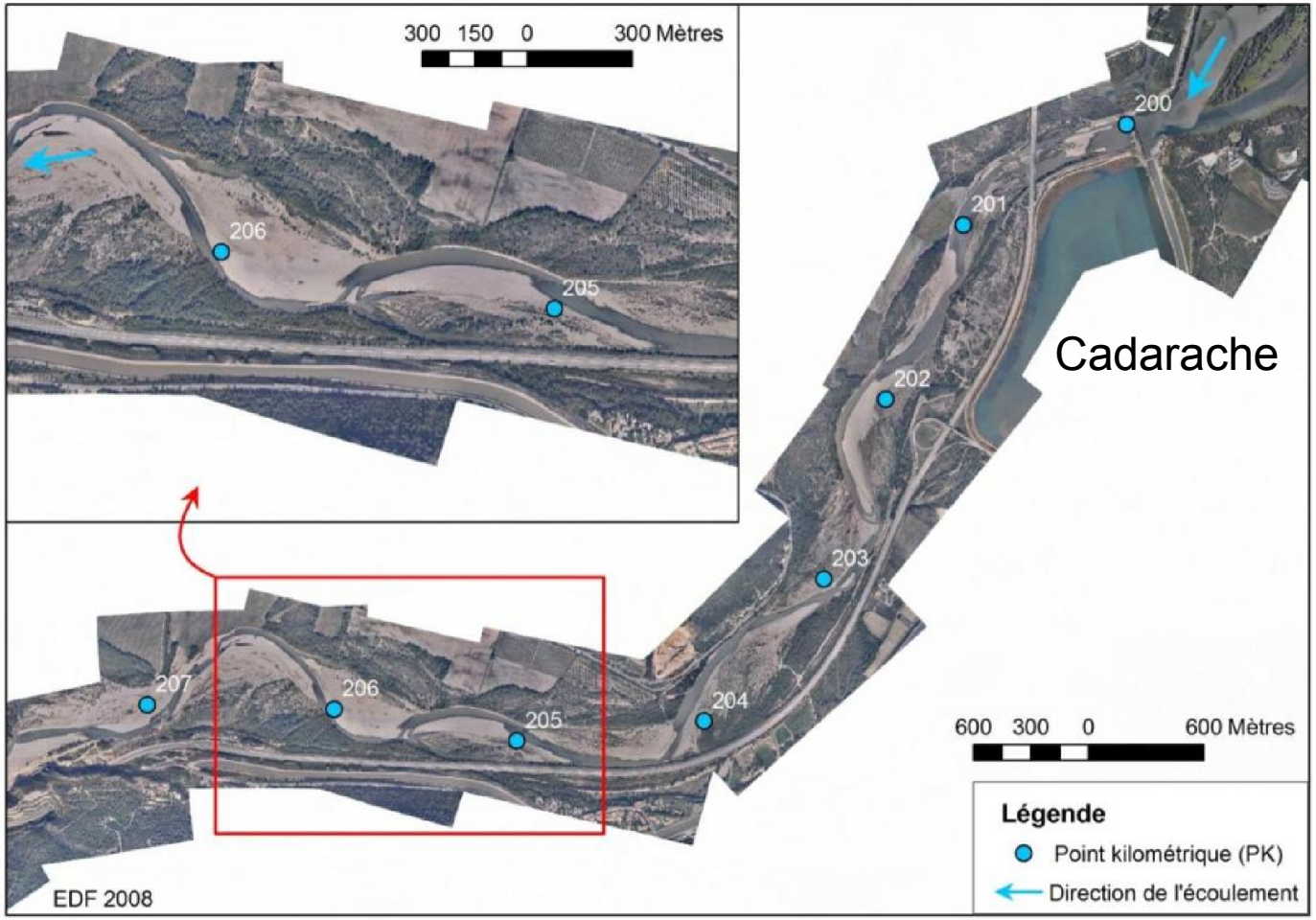


3. Résultats – Déplacement au sein du banc

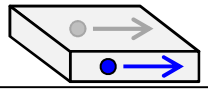


Méthodologie:

- suivi d'un épisode de crue à l'aval de Cadarache (juin 2010, Q_{max} = 1200 m^3/s)
- traçage RFID, suivi topographique, modèle hydraulique TELEMAC 3D

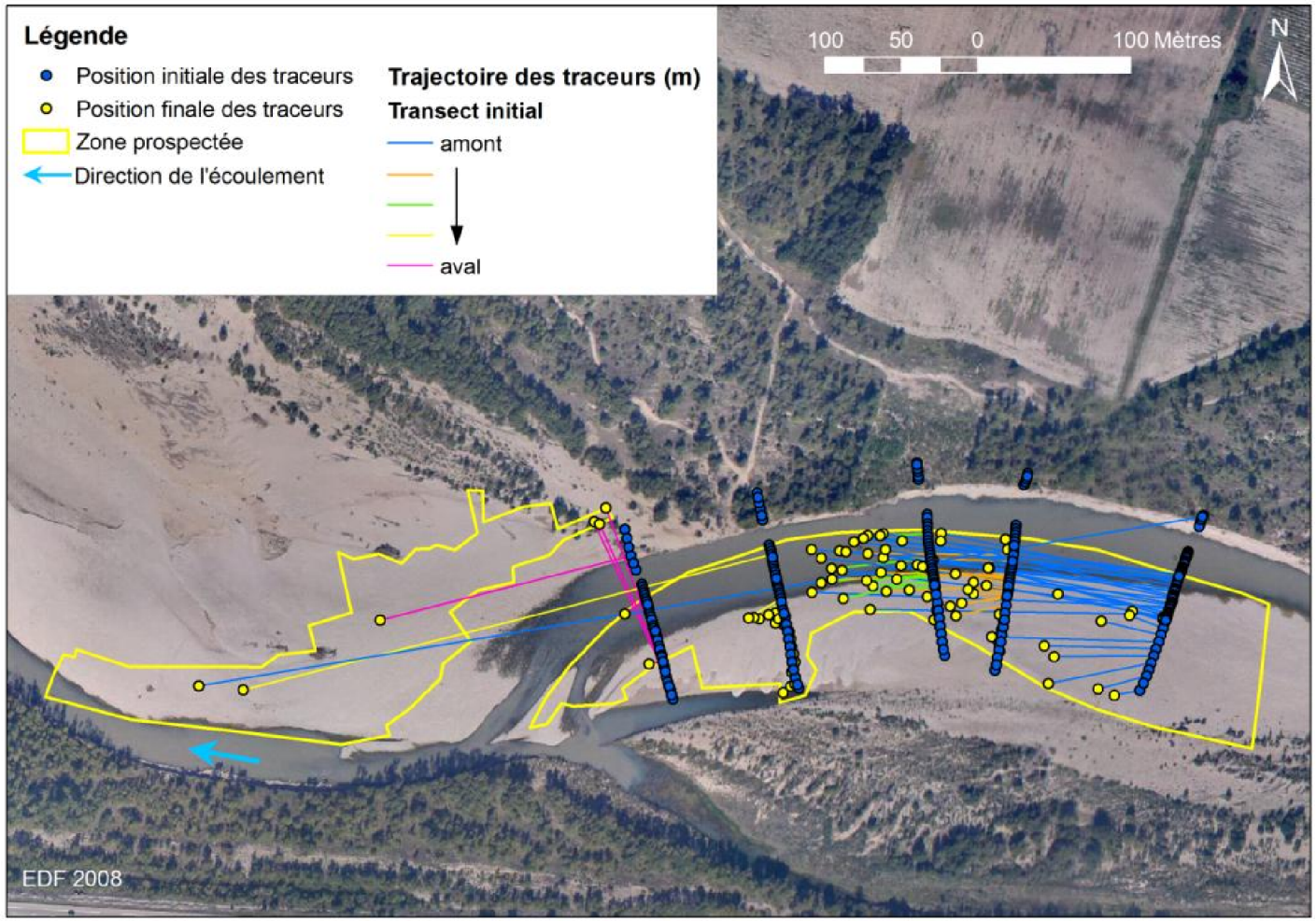


3. Résultats – Déplacement au sein du banc

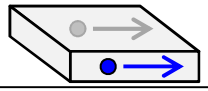


Résultats:

- mobilité des particules:
  - taux de retour: 41% (95/232 traceurs)
  - ∅ max: 181 mm, distance max: 668 m
  - mobilité intra et inter-forme

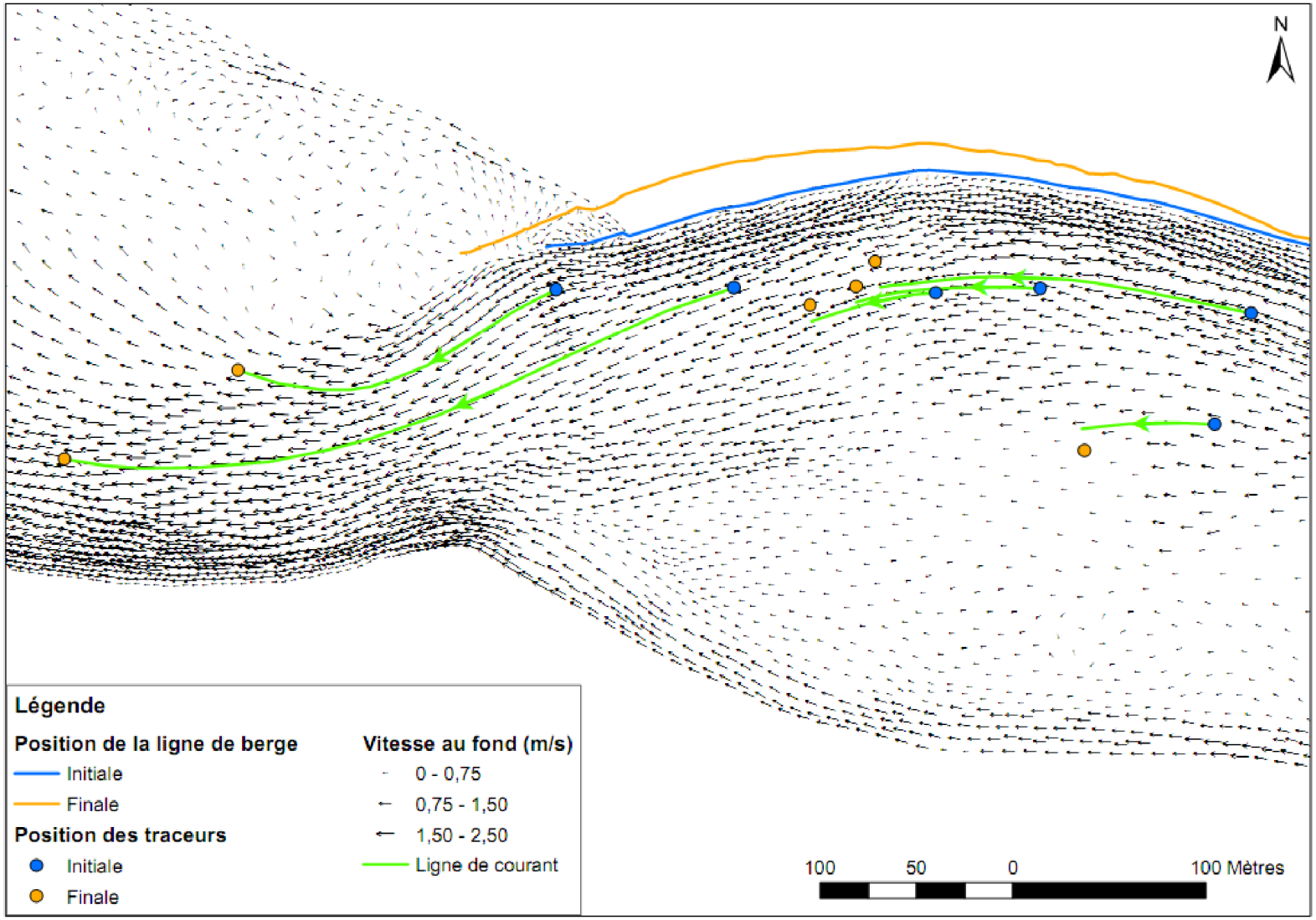


3. Résultats – Déplacement au sein du banc

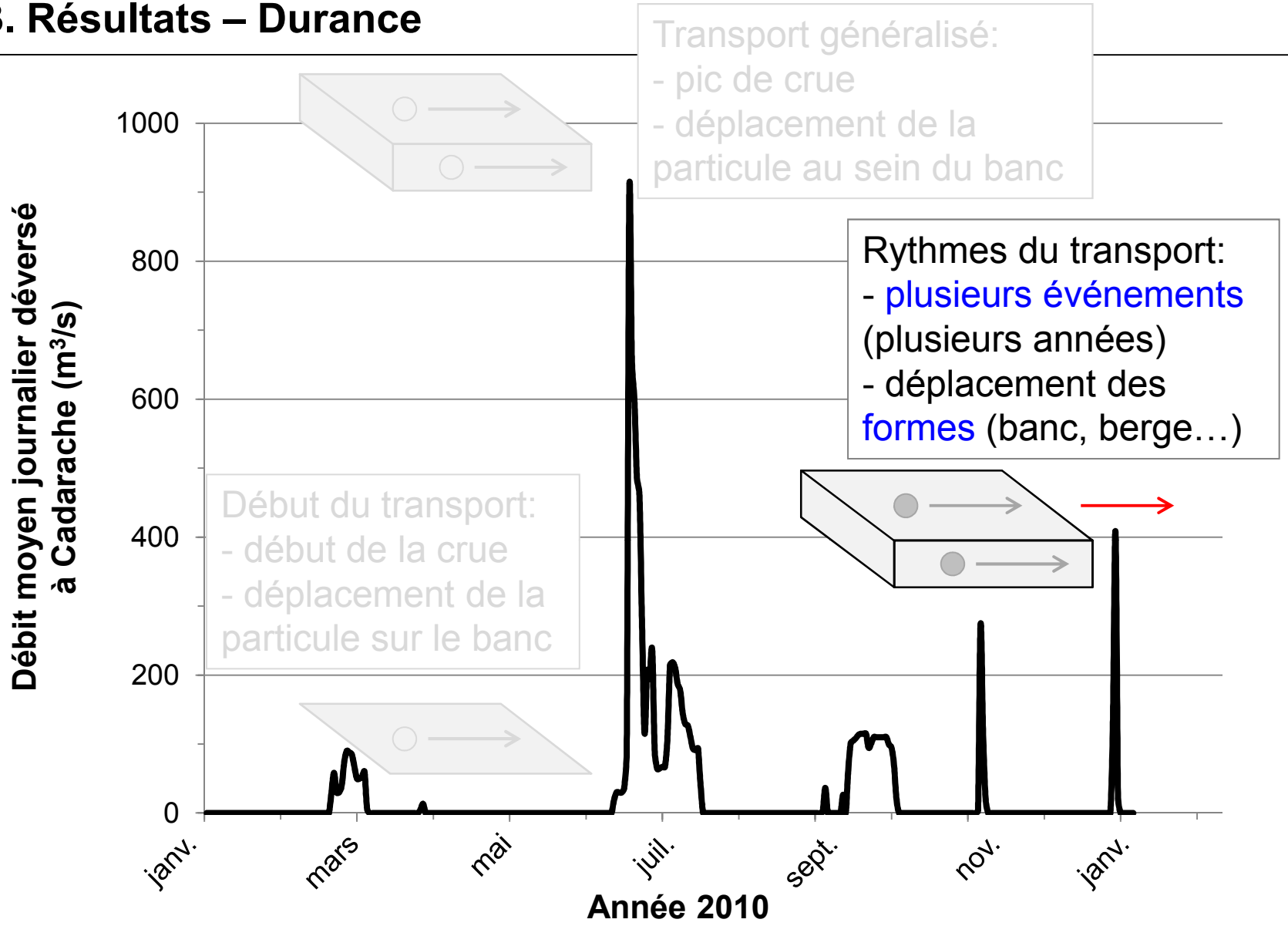


Résultats:

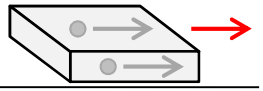
- lien entre mobilité des traceurs, direction des vitesses au fond et τ au fond



3. Résultats – Durance



3. Résultats – Déplacement de la forme fluviale



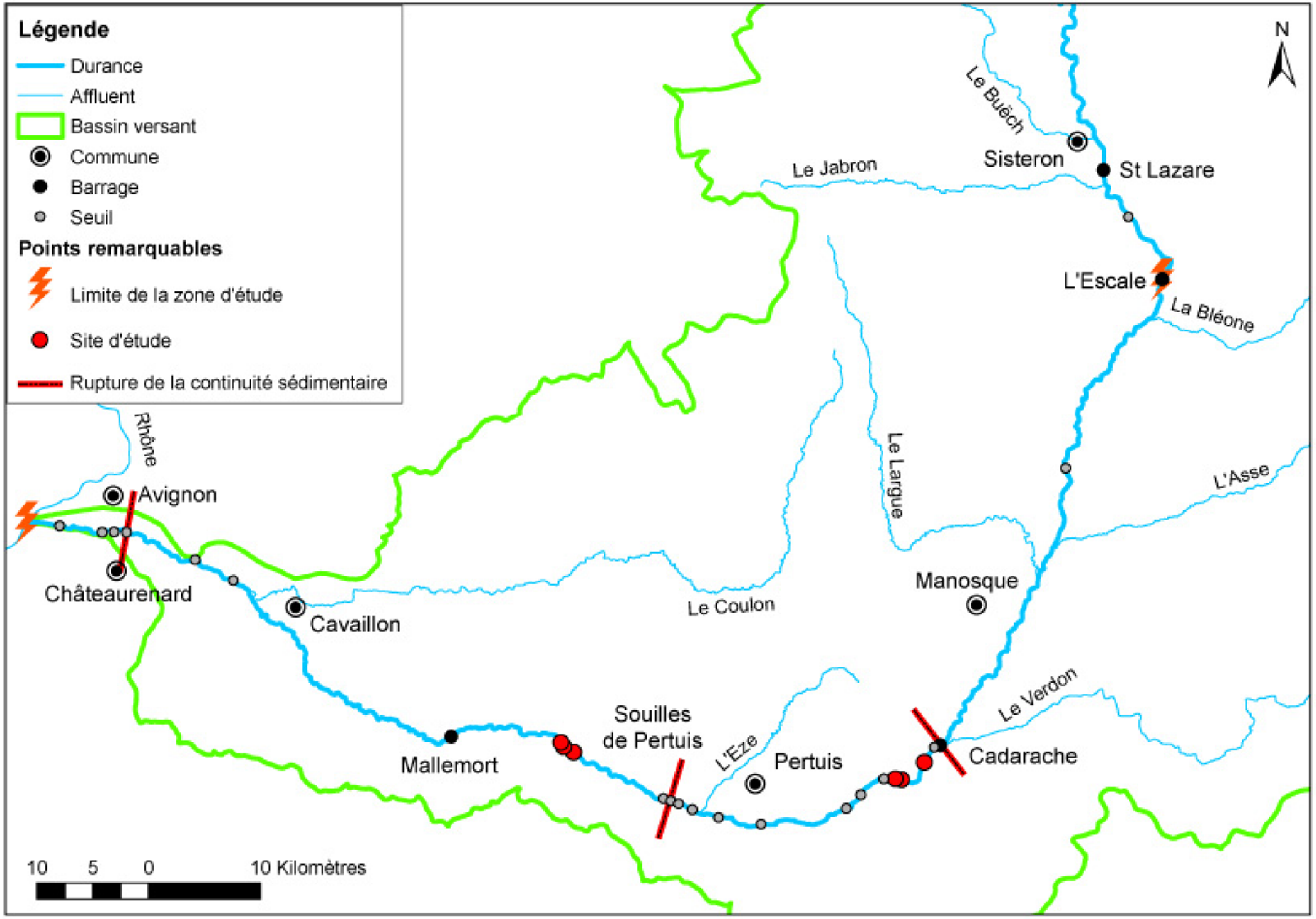
Objectif:

modalités de la mobilité de la forme fluviale ?
banc, berge, ensemble berge-chenal-banc
→ indicateur de la mobilité de la forme fluviale: la mobilité latérale

→ caractérisation:
- de la dynamique latérale du lit
- des rythmes de rétablissement de la continuité du transit
- du potentiel de recharge du système

→ étude de facteurs de contrôle de la mobilité des formes fluviales:
hydrologie, géométrie de la sinuosité et discontinuité sédimentaire

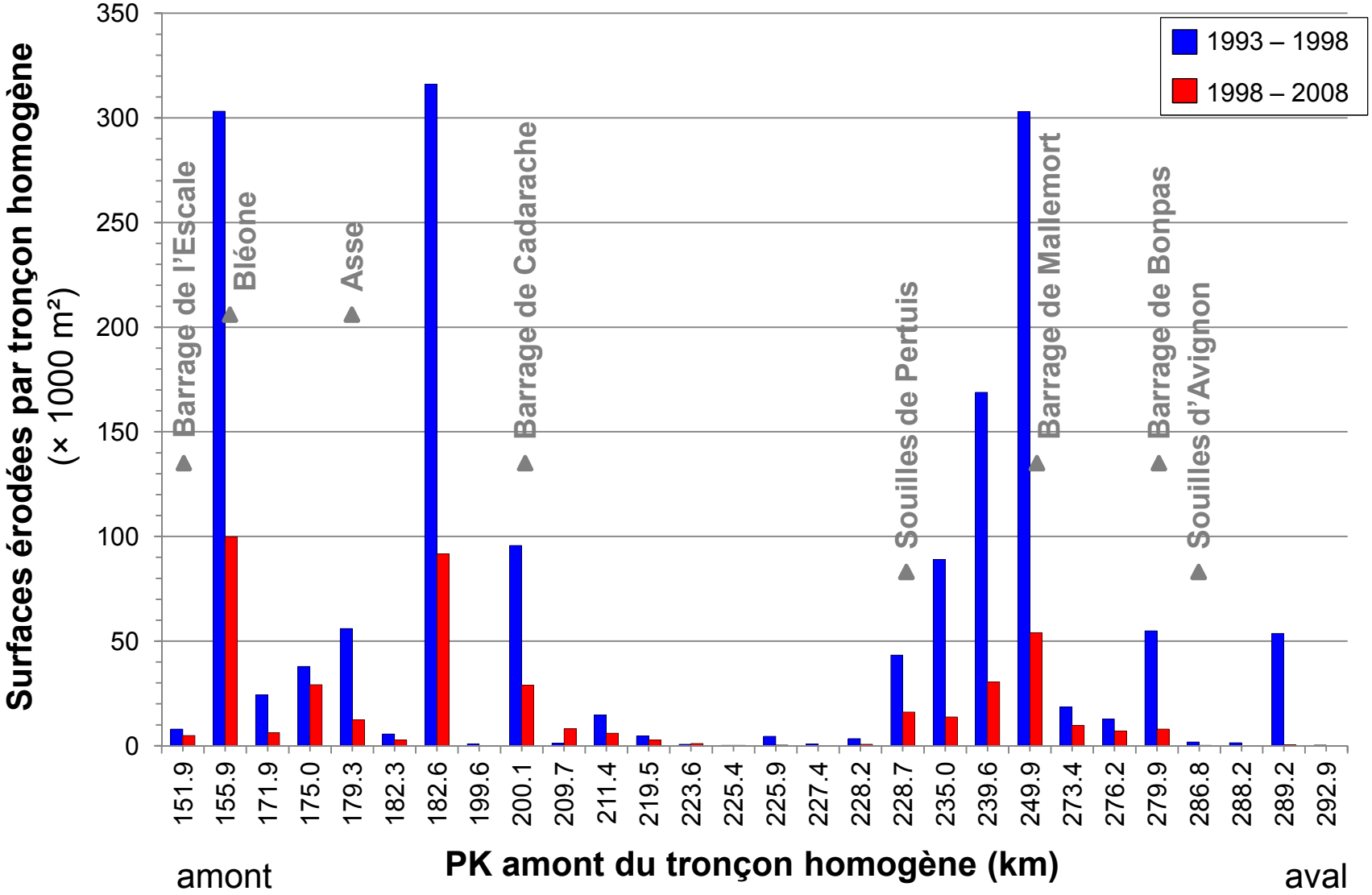
3. Résultats – Déplacement de la forme fluviale



3. Résultats – Déplacement de la forme fluviale

Résultats:

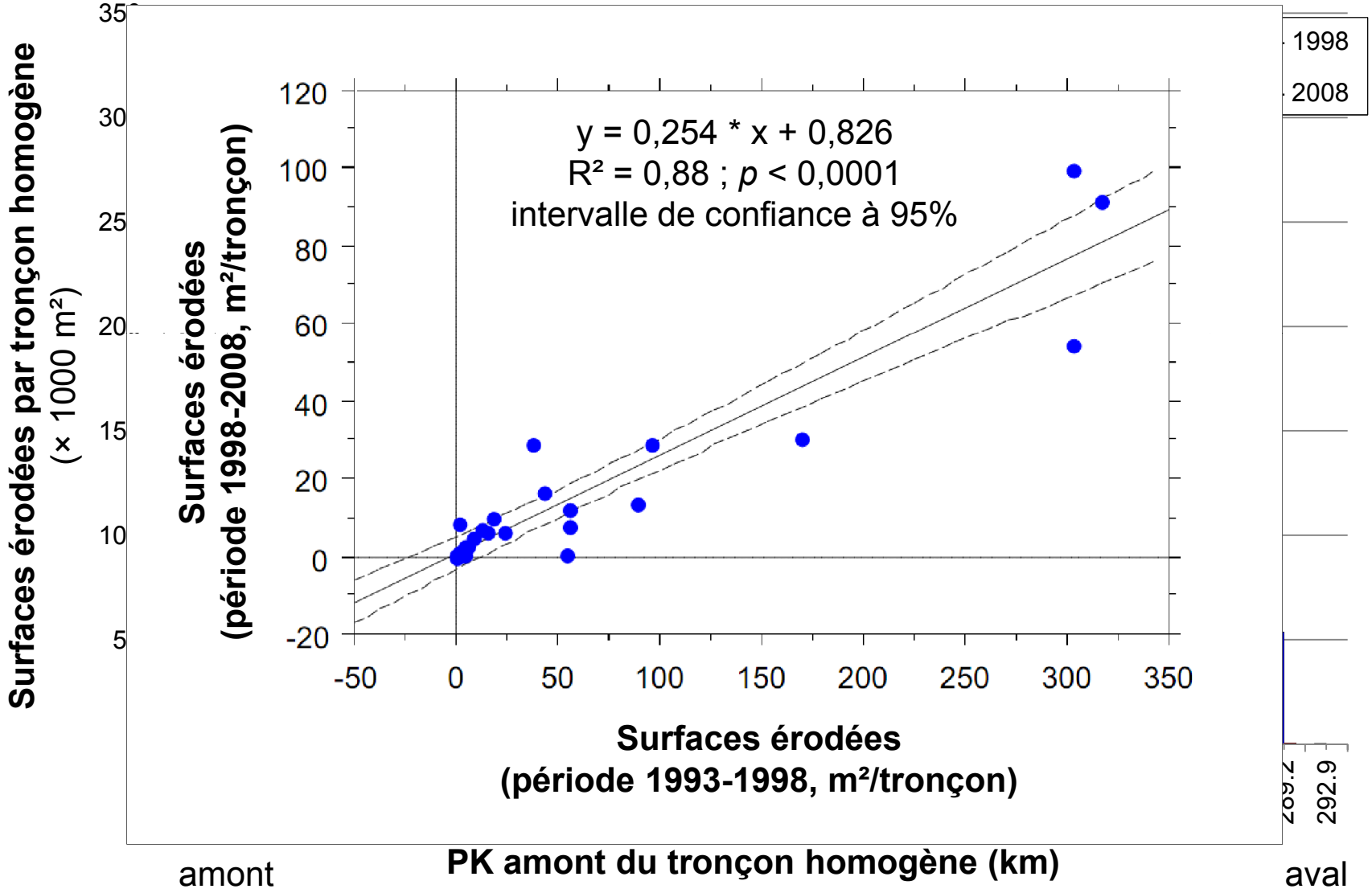
- quantification de la variabilité spatiale et temporelle de la mobilité latérale



3. Résultats – Déplacement de la forme fluviale

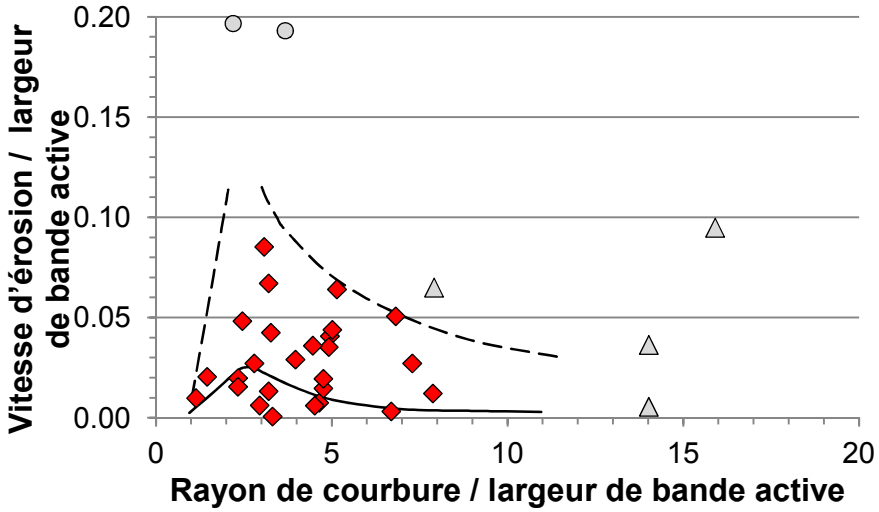
Résultats:

- quantification de la variabilité spatiale et temporelle de la mobilité latérale



3. Résultats – Déplacement de la forme fluviale

Résultats:

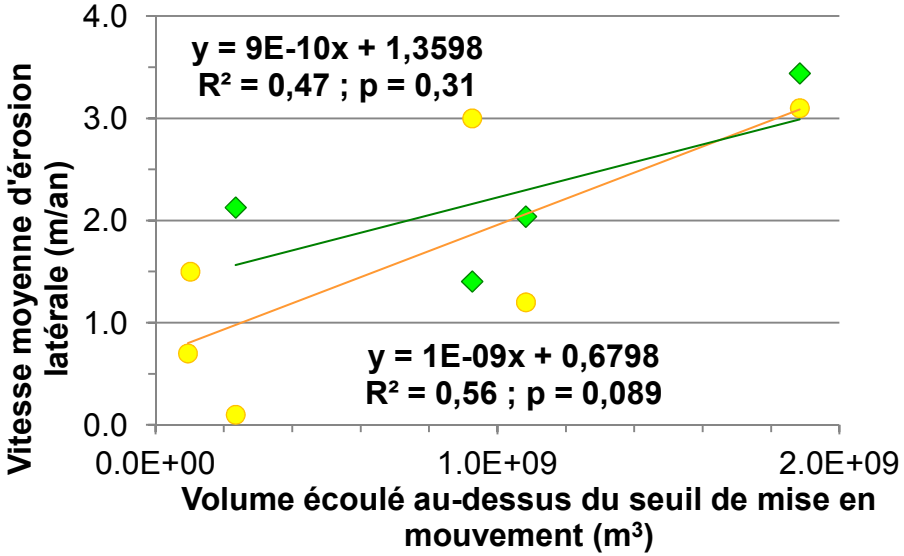


géométrie: lien

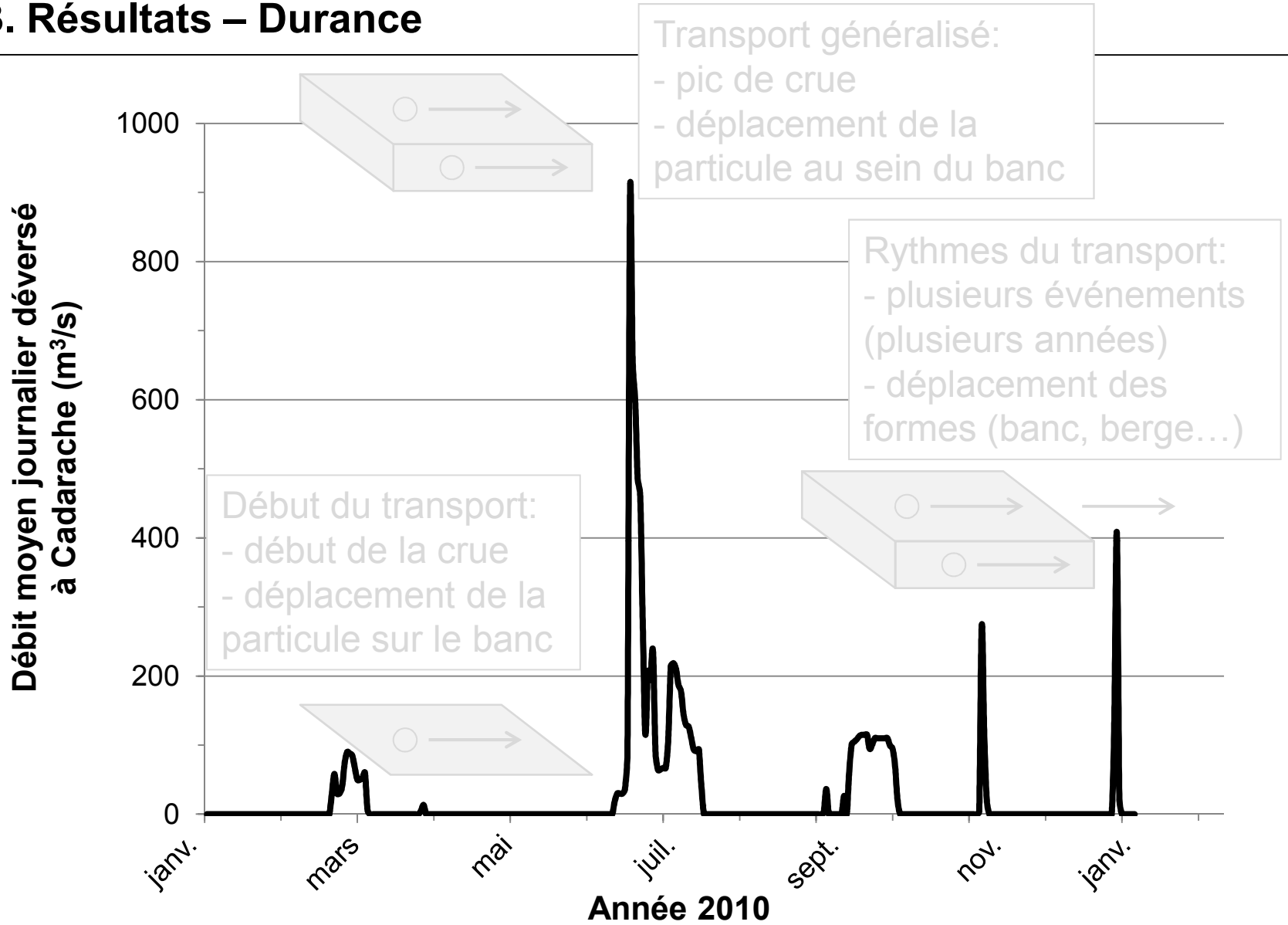
- Hickin et Nanson, 1984; Larsen et al., 2006
- Beatton River (Hickin et Nanson, 1975)
- Données Durance 1993-2010
- Capture de gravière (Durance, PK 239,5)
- Crue de juin 2010 (Durance, PK 205 et 206)

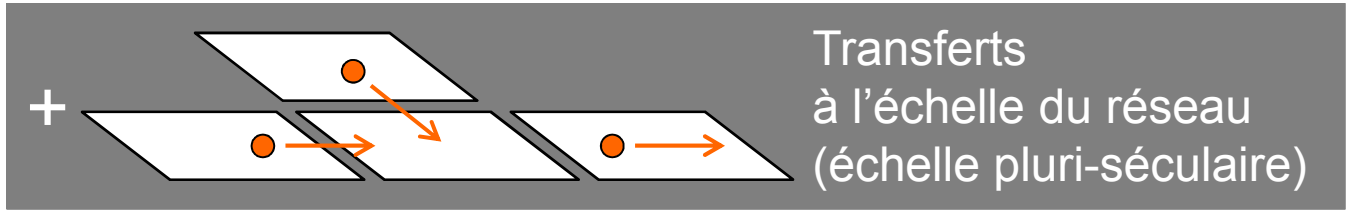
hydrologie: lien uniquement pour la sinuosité située immédiatement à l'aval de l'interruption du transit

- PK 202
- PK 230,5
- Linéaire (PK 202)
- Linéaire (PK 230,5)



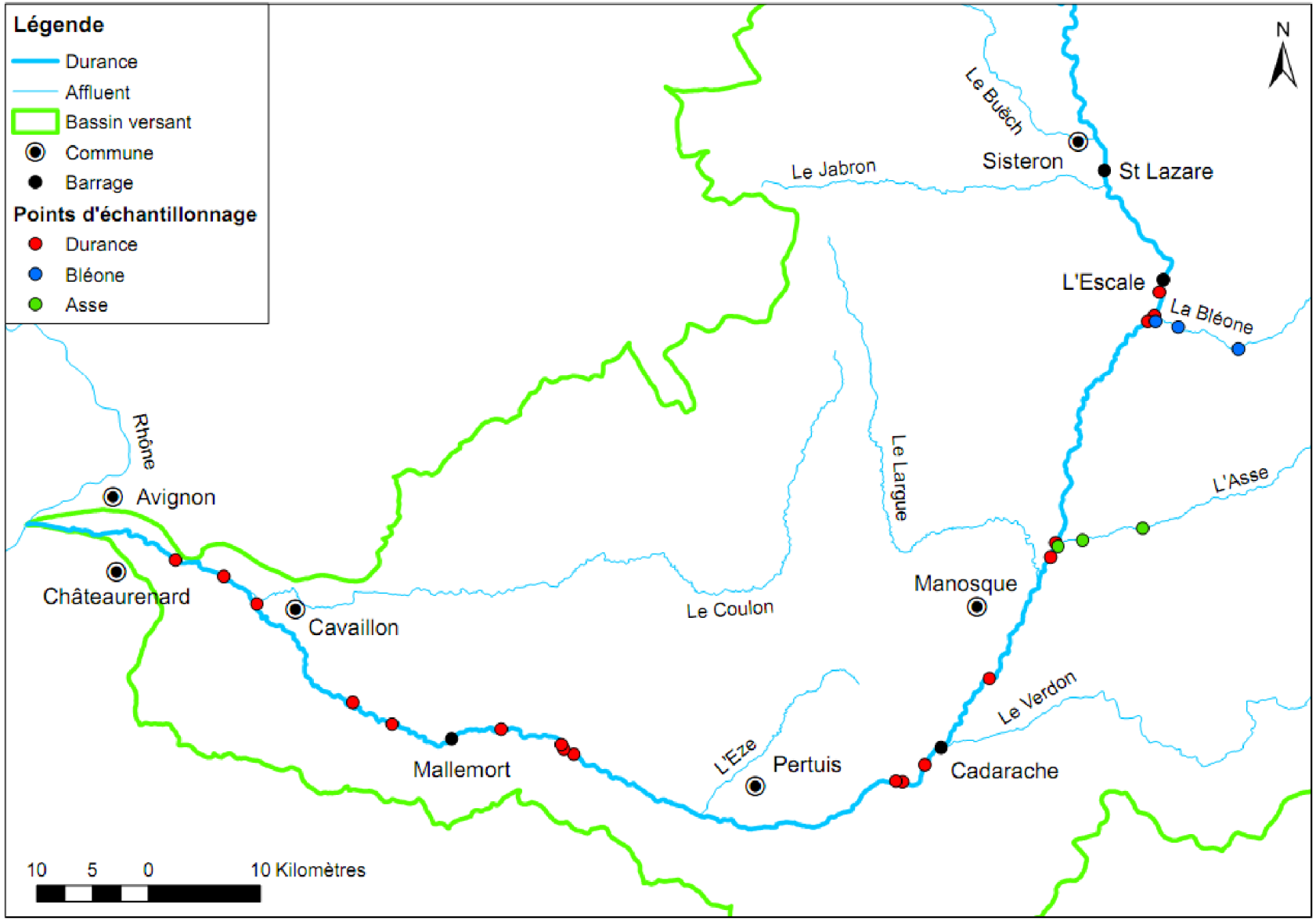
3. Résultats – Durance





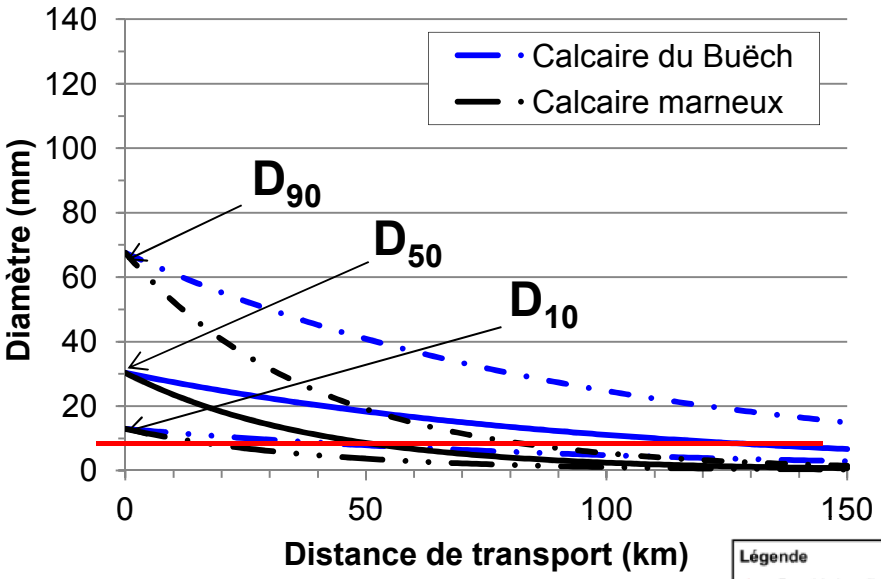
3. Résultats – Durance

24 sites d'étude, localisés en moyenne et basse Durance



3. Résultats – Durance

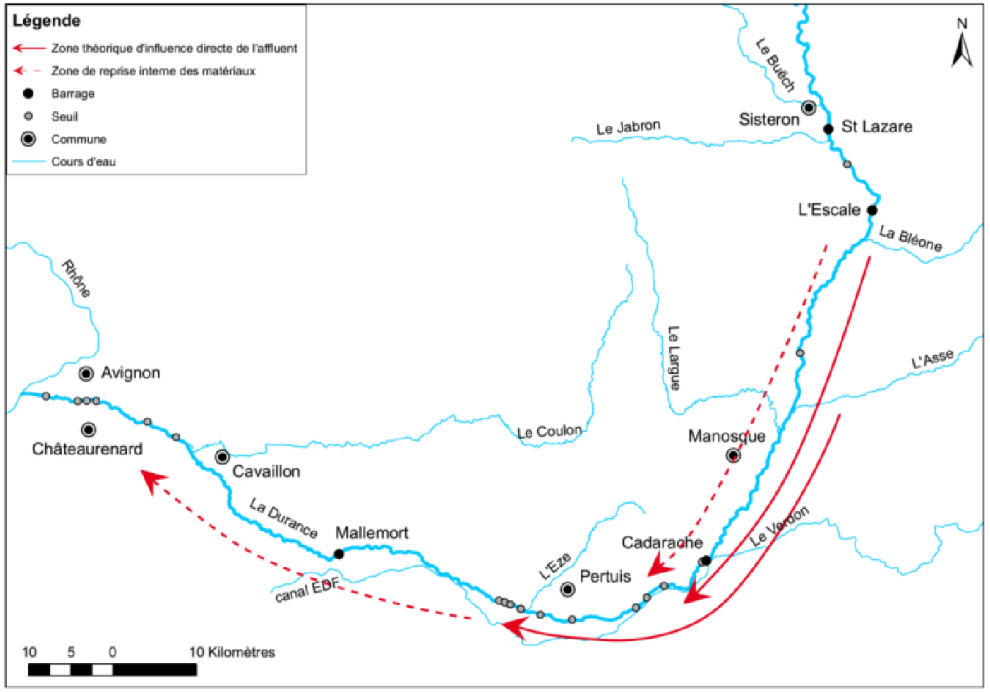
Influence des apports sédimentaires grossiers des affluents:



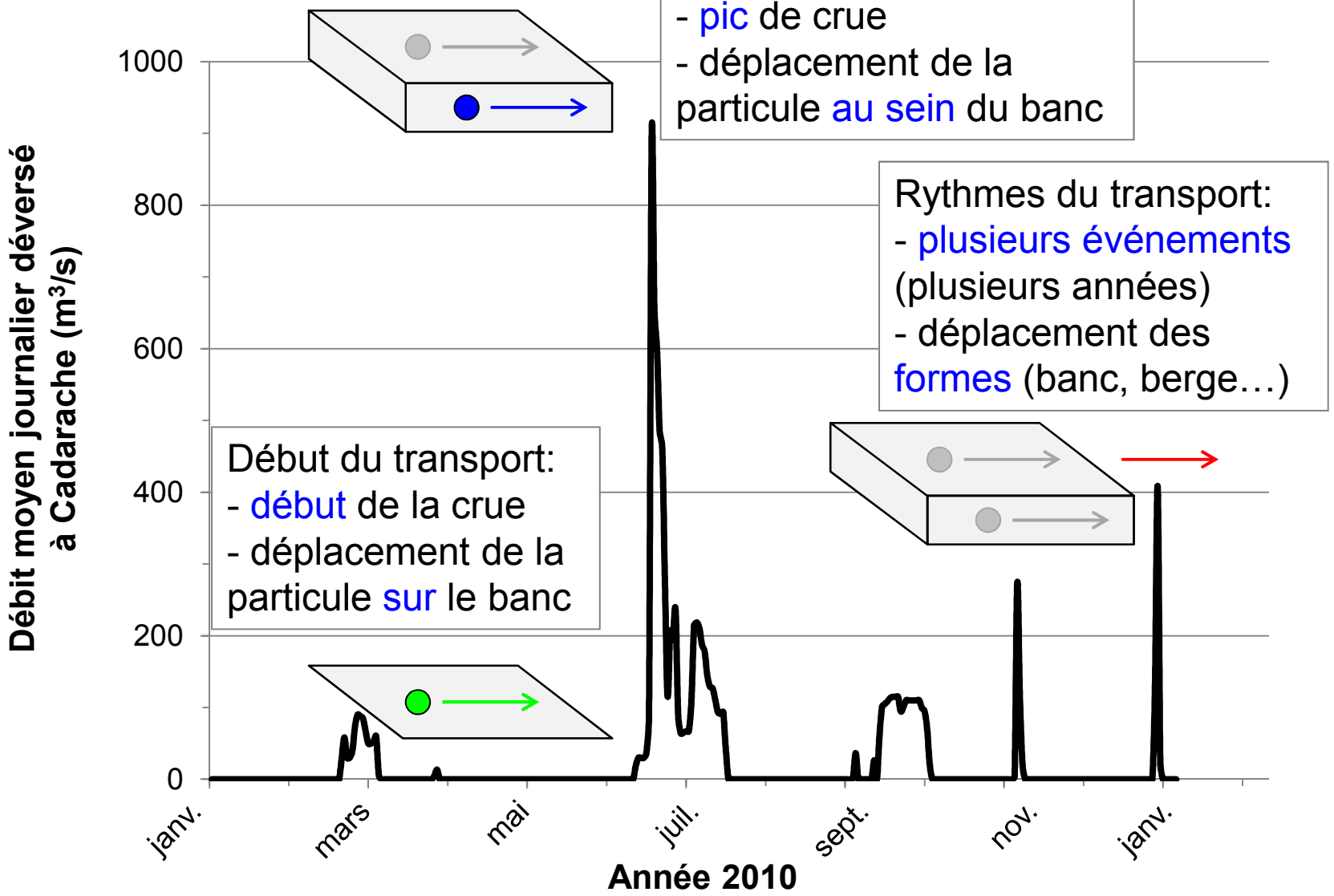
abrasion des graviers provenant des affluents:
recharge effective sur 50 à 70 km à l'aval des confluences

- intérêt de favoriser les apports des affluents: redynamisation du système

→ favorise le potentiel de recharge *via* l'érosion de terrasses hautes



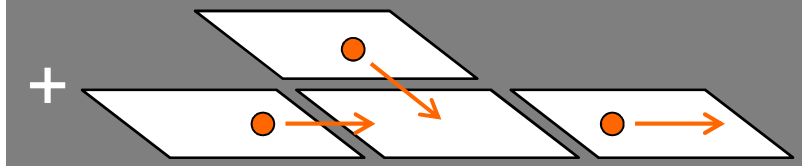
3. Résultats – Durance



Transport généralisé:
- pic de crue
- déplacement de la particule au sein du banc

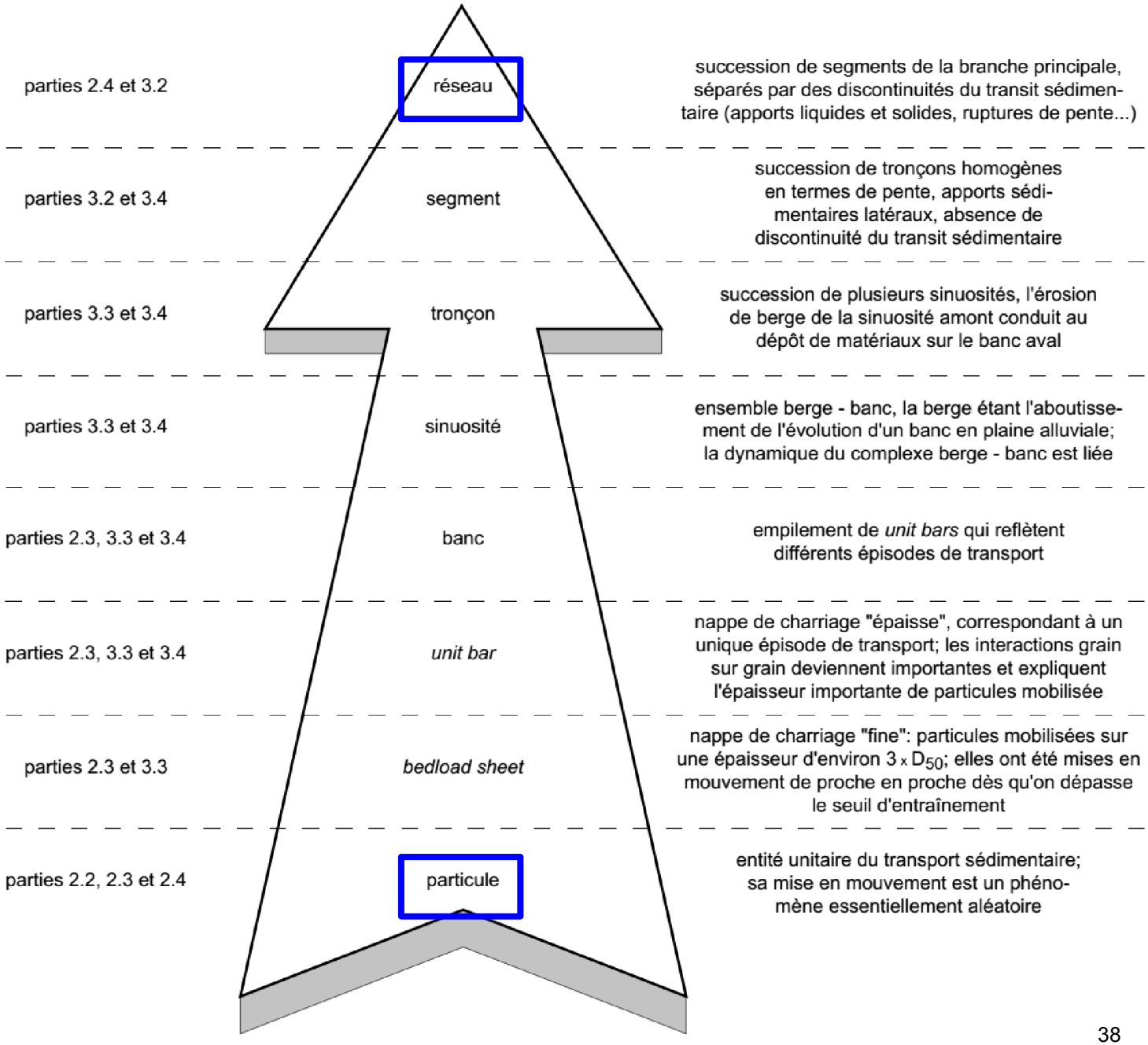
Rythmes du transport:
- plusieurs événements (plusieurs années)
- déplacement des formes (banc, berge…)

Début du transport:
- début de la crue
- déplacement de la particule sur le banc



Transferts
à l'échelle du réseau
(échelle pluri-séculaire)

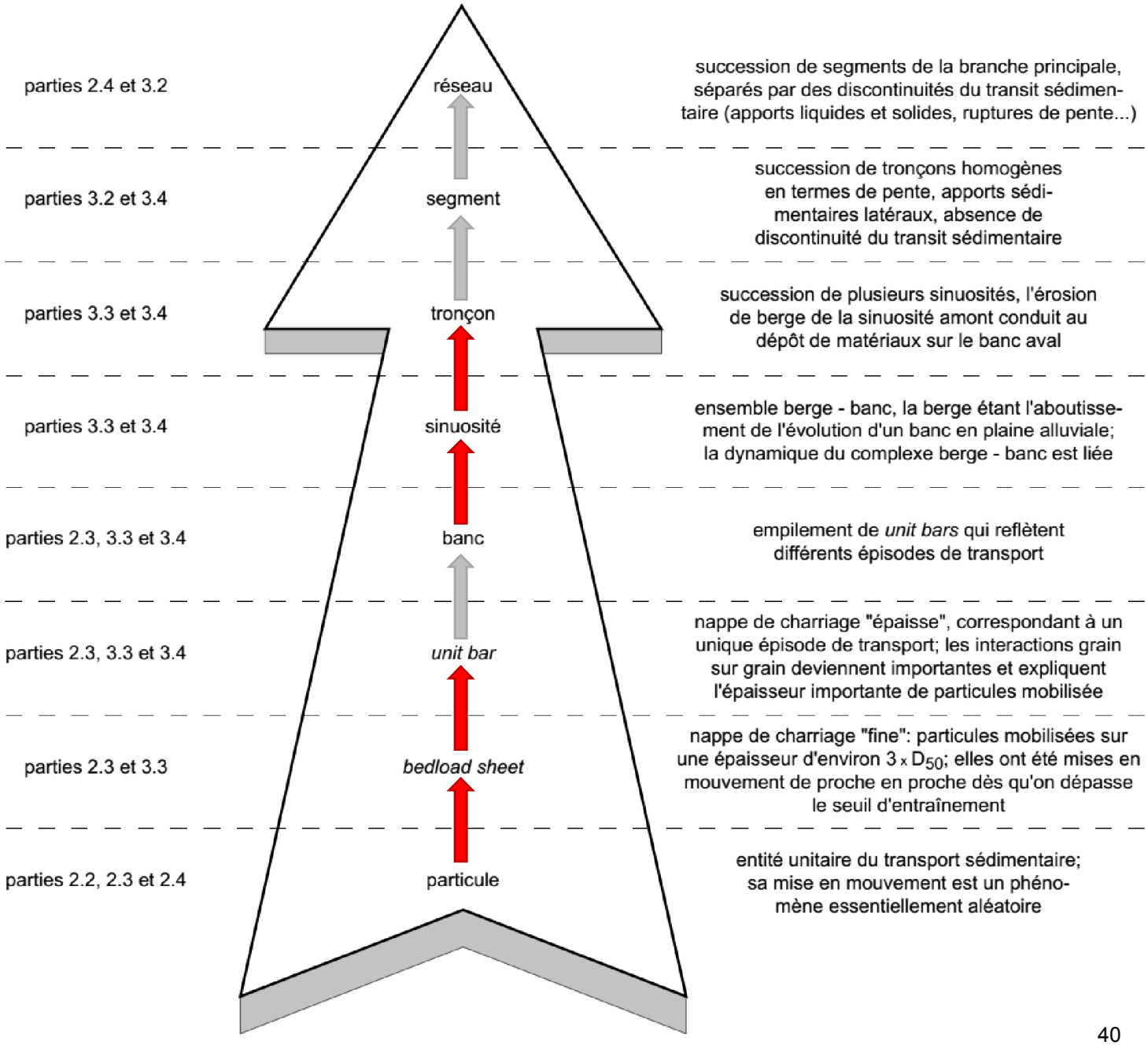
3. Résultats – Durance



Chapuis, 2012

4. Perspectives

4. Perspectives



Chapuis, 2012

4. Perspectives

Limites à l'approfondissement des interactions eau/sédiments
= axes de recherche à développer :

- *Point de vue sédimentaire* :
  - place des sables? = importante fraction souvent non prise en compte correctement
  - interactions fraction fine/fraction grossière?
    + interactions écoulements fluide/granulaire?
    (cf. collaboration U. Waterloo/Irstea Lyon?)
  - interactions entre lit vif et marges:
    fraction fine , végétation et mobilité du lit
    (Tal et al., 2004; Tal et Paola, 2010)
  → gestion des essartements (Lefort et Chapuis, 2012)

- *Point de vue hydraulique* :
  - caractérisation de l'influence de la forme de l'hydrogramme et de la séquence des crues (modalités+fréquence+enchaînement)
    = échelle large de l'influence de l'hydrologie
    (cf. projet post-doc U. Waterloo en cours)
  - étude de la turbulence et des écoulements non stationnaires, et de leur influence sur la mobilité des particules (→ et des formes) sédimentaires
    = échelle fine de l'influence de l'hydraulique

La Durance, PK 205, 2011/11/18