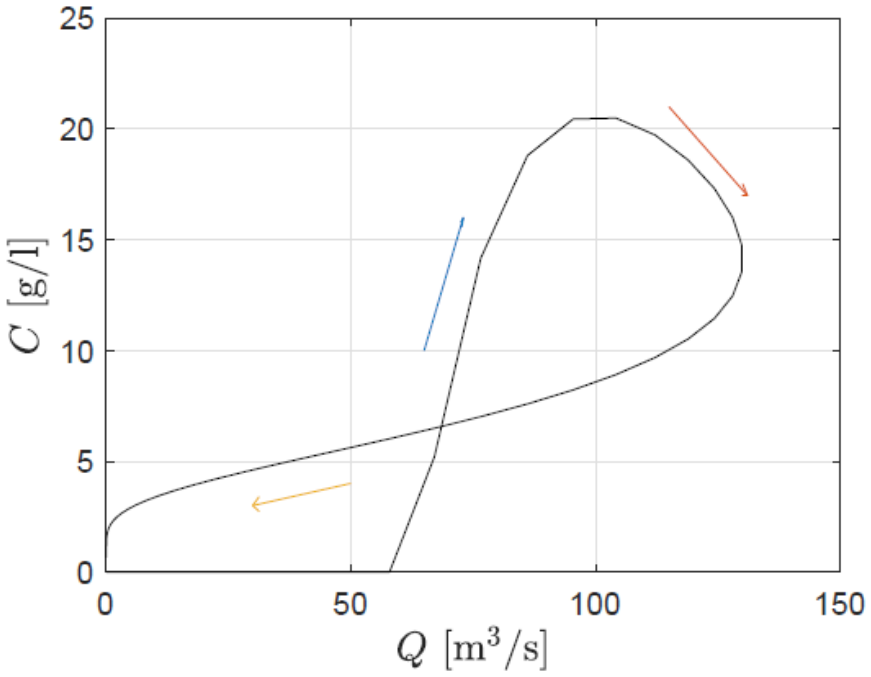
EVOLUTION DE L'HYSTERESE ENTRE DEBIT ET CONCENTRATION LE LONG D'UN TRONÇON DE RIVIERE

Benoît CAMENEN (1),

Junjian DENG (1)

(1) Inrae UR RiverLy, centre de Lyon-Grenoble, 5 rue de la Doua 69100 Villeurbanne

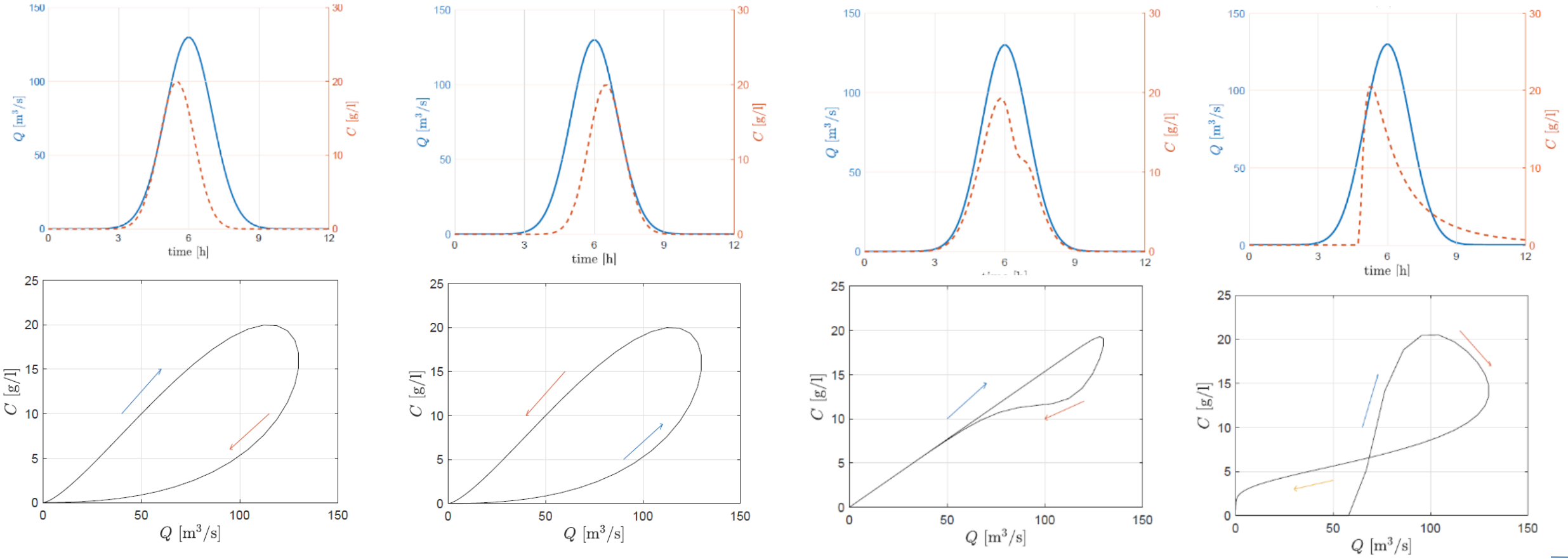


Hystérèse entre débit et concentration

- Pas (ou rarement) de relation bijective entre la concentration en MES (Matières En Suspension) et le débit en une section donnée d'une rivière
  - Pour un débit donné, variation de la quantité et qualité de sédiments fins érodée dans en bassin versant selon la localisation et le type de pluie ayant engendré l'érosion (Walling & Webb, 1996)
  - Location du stock mobilisé de sédiments fins sur le bassin versant mais aussi directement dans le lit de la rivière (Navratil et al., 2010)
  - Possible épuisement des stocks au cours de l'événement (Nistor & Church, 2005)
- Hystérèse principalement fonction de la distance à la source (propagation plus lente que l'onde de crue en fluvial)

Classification des hysterèses (William, 1989)

(I) hystérèse horaire, (II) hystérèse anti-horaire, (III) hystérèse à seuil, (IV) hystérèse en 8

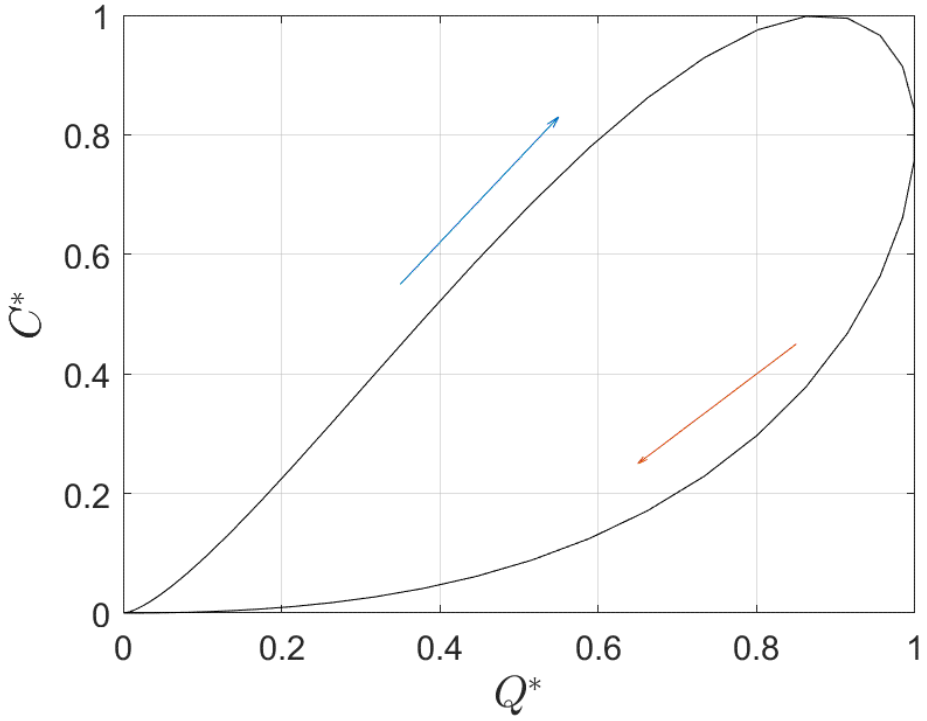


Paramétrisation de la forme de l'hystérèse (Lloyd et al., 2016)

- Index de Lloyd $$I_{HL} = \text{mean}\left[C^*_{i,rising}(Q^*_i) - C^*_{i,falling}(Q^*_i)\right]_{i=1:n}$$

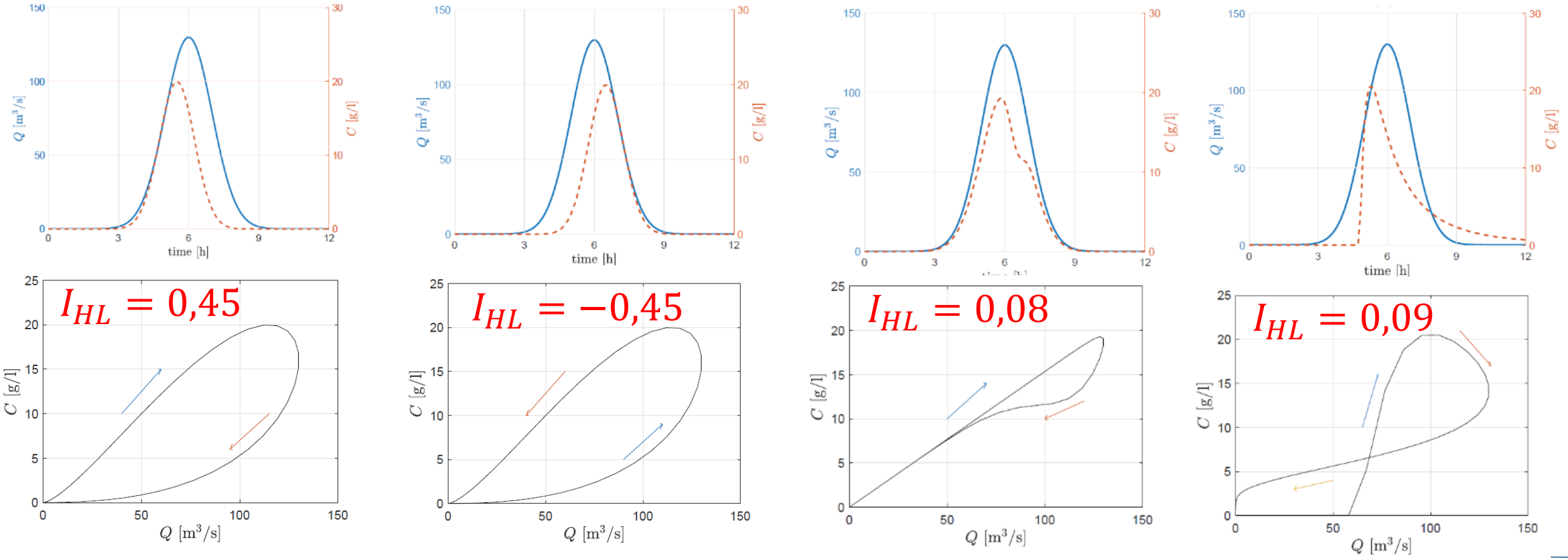
$$C^* = \frac{C - C_{min}}{C_{max} - C_{min}}$$

$$Q^* = \frac{Q - Q_{min}}{Q_{max} - Q_{min}}$$



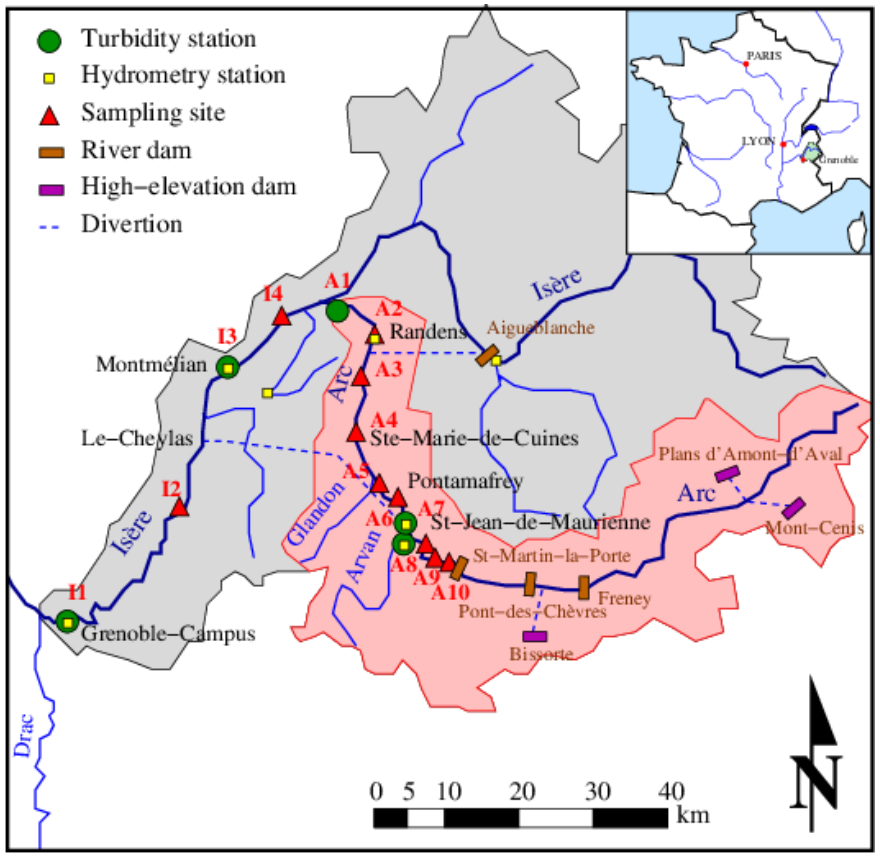
Classification des hysterèses (William, 1989)

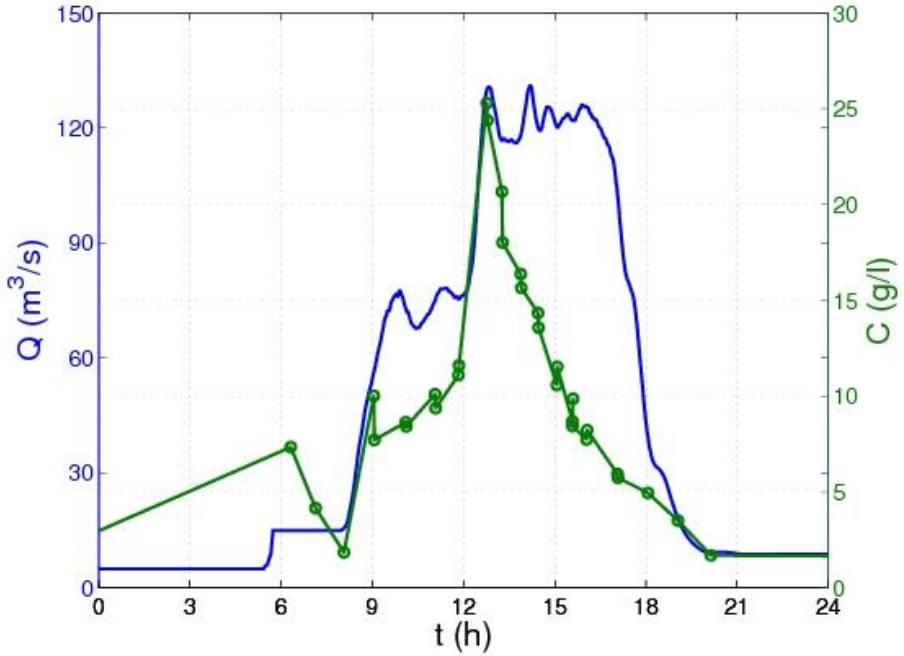
(I) hystérèse horaire, (II) hystérèse anti-horaire, (III) hystérèse à seuil, (IV) hystérèse en 8



Evolution de l'hystérèse le long de l'Arc-en-Maurienne (chasses de barrages)

- Application aux chasses de barrage de l'Arc-en-Maurienne

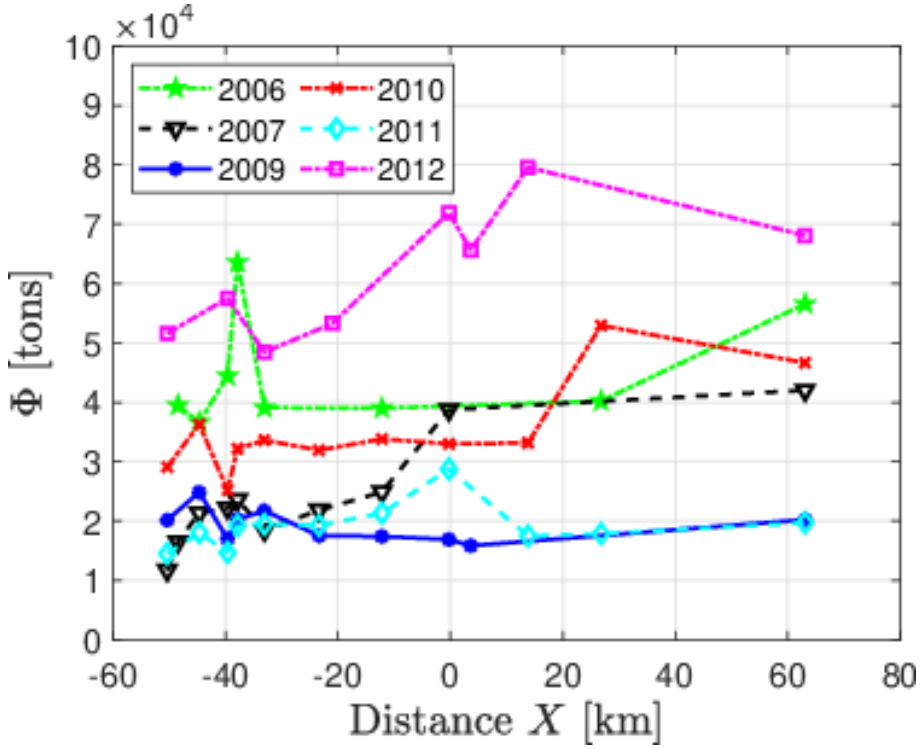


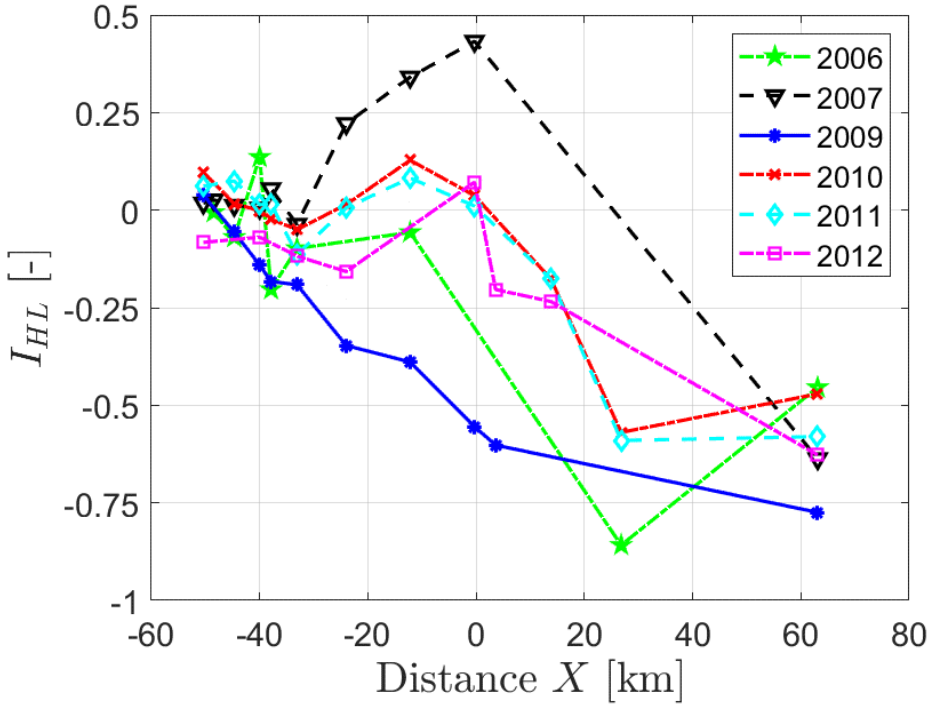


Camenen et al., 2008

Evolution de l'hystérèse le long de l'Arc-en-Maurienne (chasses de barrages)

- Application aux chasses de barrage de l'Arc-en-Maurienne





Antoine et al., 2020

Modélisation de l'hystérèse le long d'un tronçon de rivière théorique

- Analyse de sensibilité à partir d'un modèle hydro-sédimentaire 1D (Mage-AdisTS, Guertault et al., 2016; Launay et al., 2015, 2019)
- Analyse de sensibilité sur un tronçon uniforme de section trapézoïdale
  - Section de 50m de large
  - Hydrogramme et sédigramme amont théoriques symétriques (i.e. $I_{HL,0} = 0$)
  - Diffusion (Iwasa & Aya, 1991), coef. 2,0 – 20 - 200
  - Pente: 0,1% - 1%
  - Coefficient de Strickler: 20 - 30 - 50 $m^{1/3}s^{-1}$
  - Débit de base: 10% débit max ou 40% débit max

Modélisation de l'hystérèse le long d'un tronçon de rivière théorique

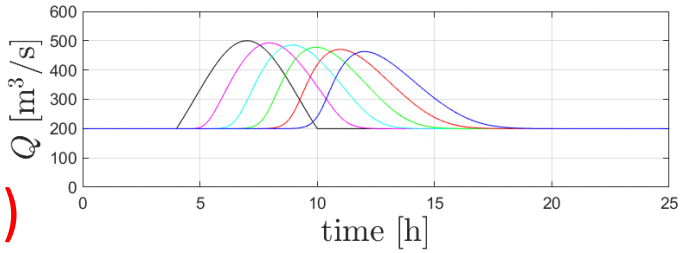
- Effet de la diffusion

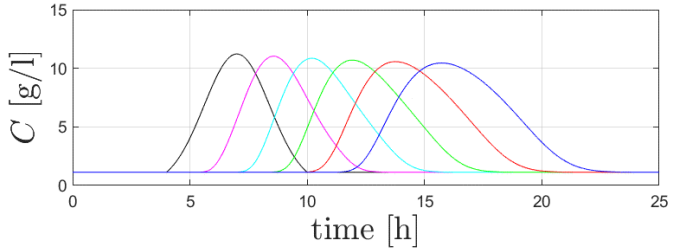
  $S = 0{,}1\%$

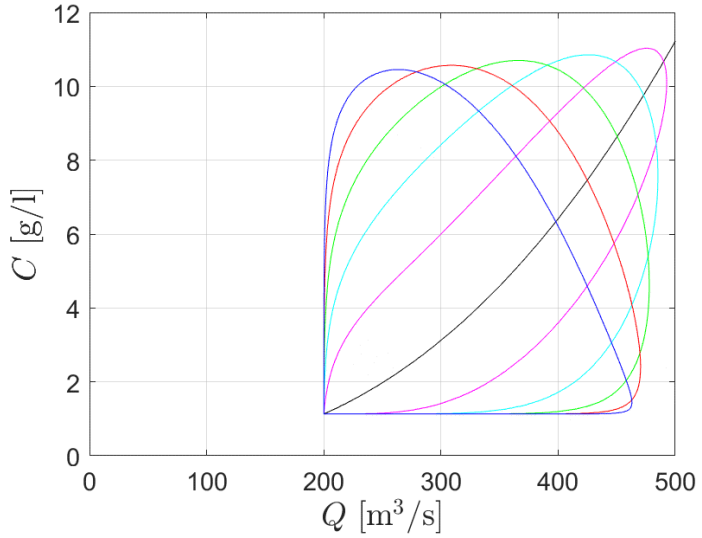
  Iwasa & Aya (1991)

  Coef = 2,0

  ➢ Réduction du pic de concentration

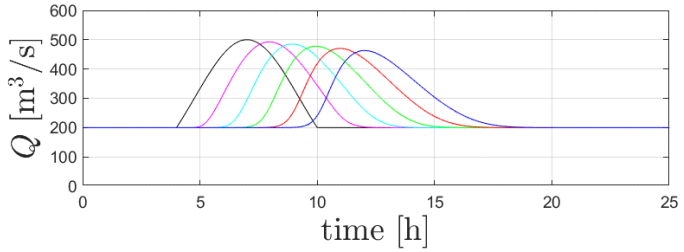


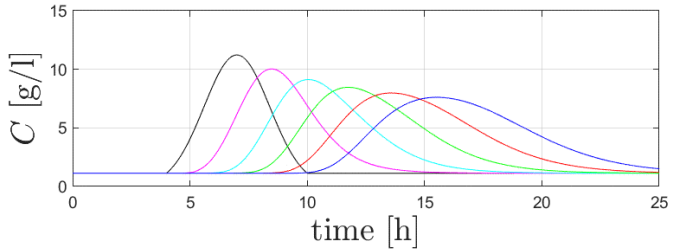


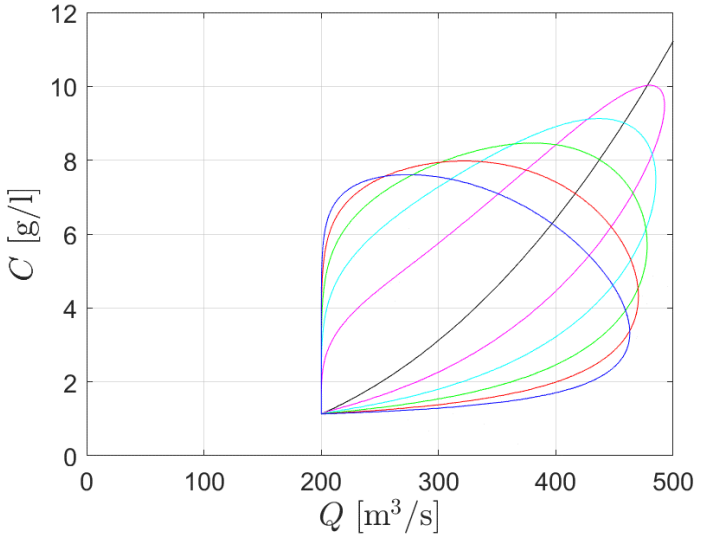


Iwasa & Aya (1991)

Coef = 20







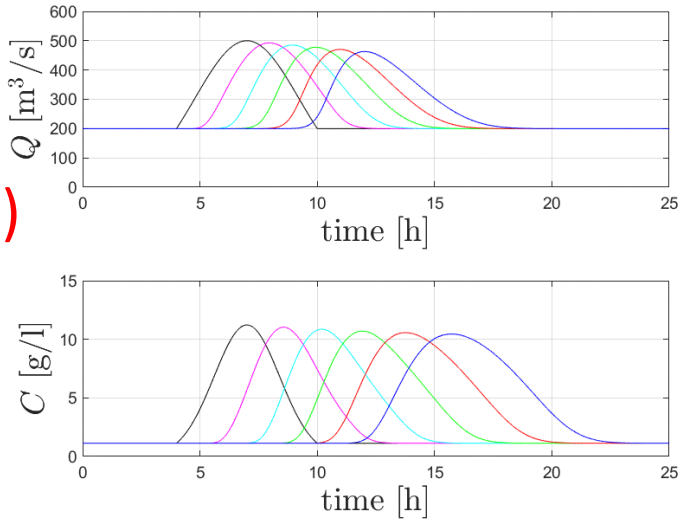
Modélisation de l'hystérèse le long d'un tronçon de rivière théorique

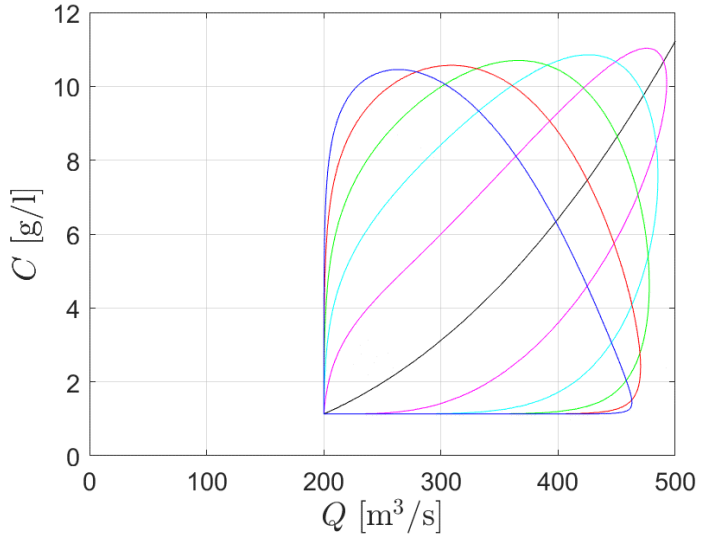
- Effet de la diffusion

  $S = 0{,}1\%$

  Iwasa & Aya (1991)

  Coef = 2,0

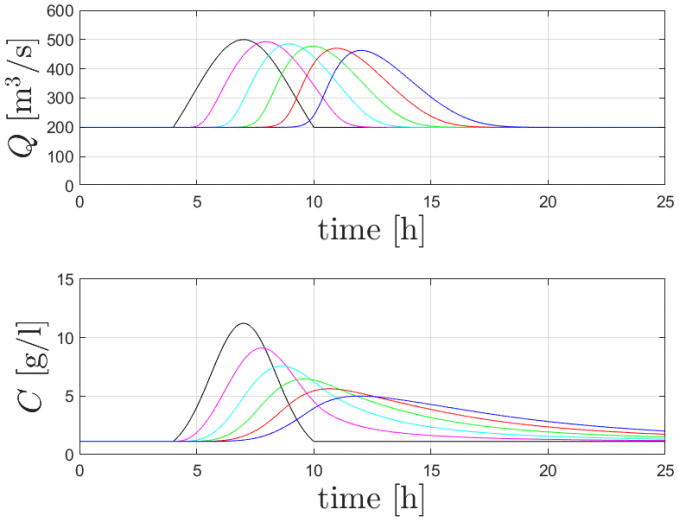


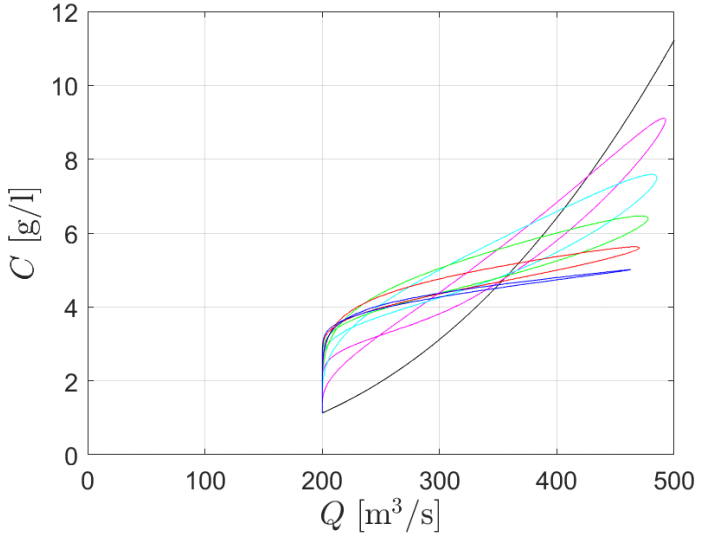


- ➢ Réduction du pic de concentration
- ➢ Pseudo accélération du pic de concentration

Iwasa & Aya (1991)

Coef = 200





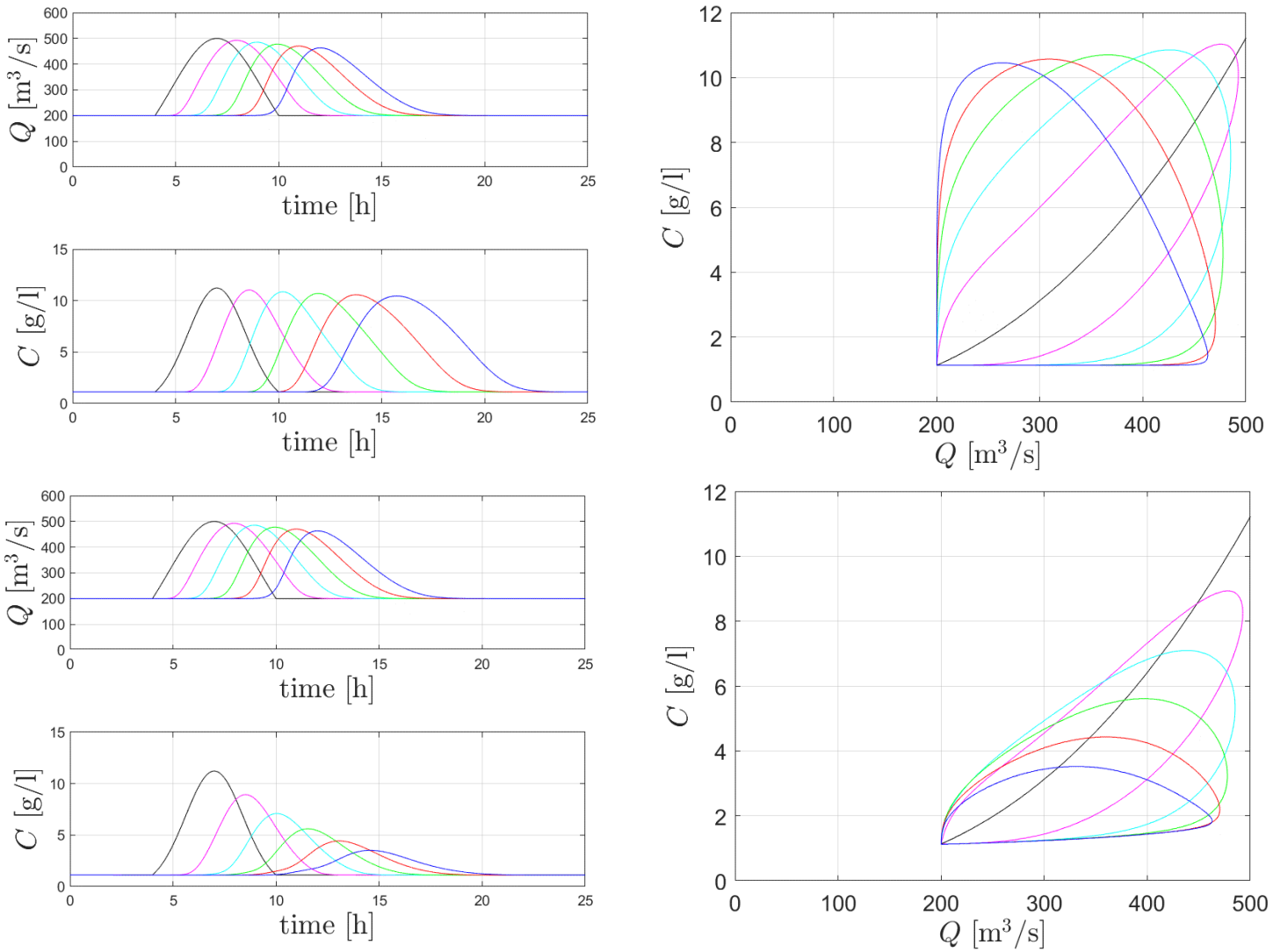
Modélisation de l'hystérèse le long d'un tronçon de rivière théorique

- Effet d'un dépôt
  $S = 0{,}1\%$, Diff: I&A2,0

Pas dépôt

➢ Réduction du pic de concentration

Dépôt continu
(40% au bout de 50km)



Modélisation de l'hystérèse le long d'un tronçon de rivière théorique

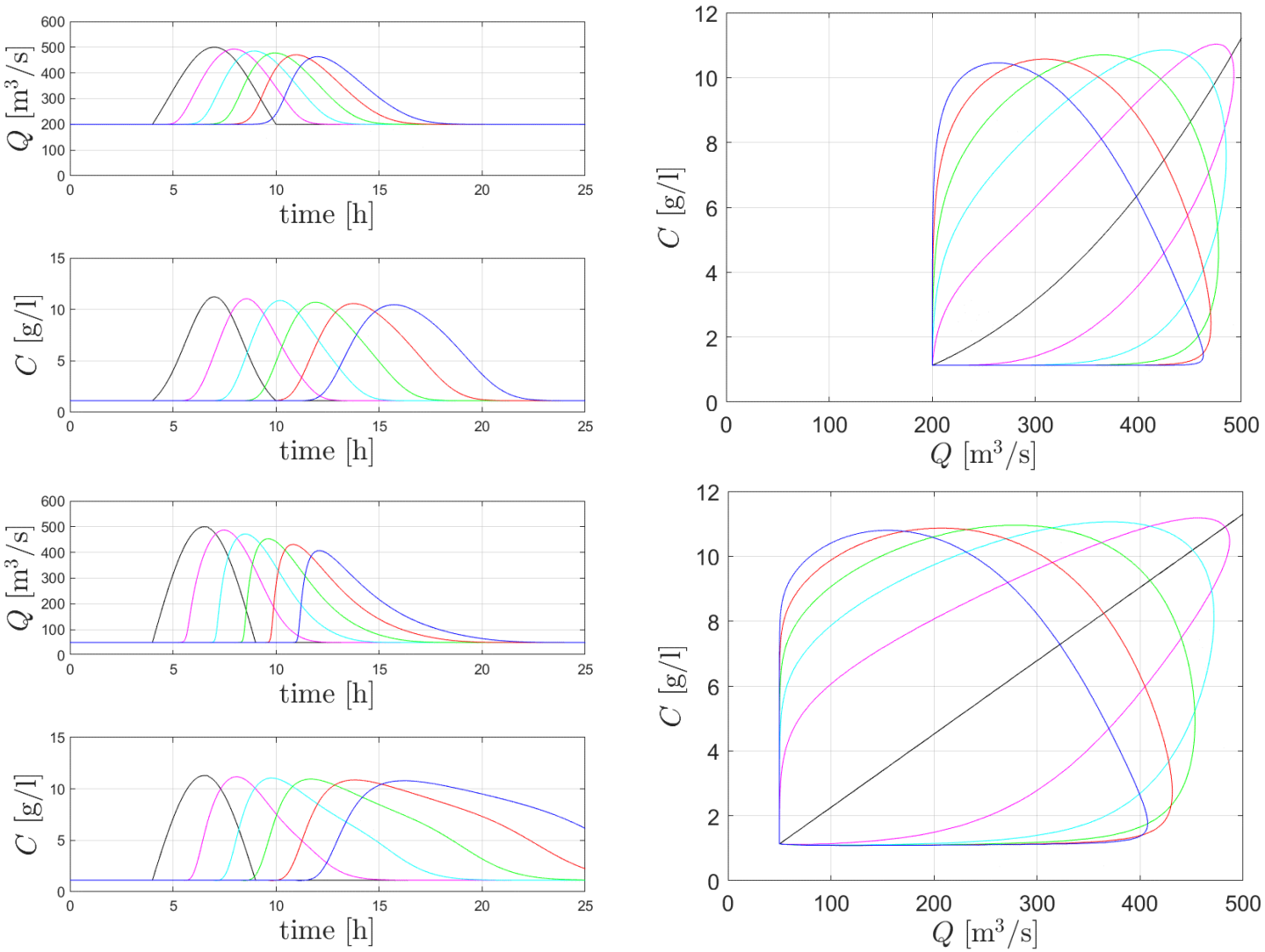
- Effet du débit de base

  $S = 0{,}1\%$, Diff: I&A2,0

$Q_0 = 200\mathrm{m}^3/\mathrm{s}$

➢ Déformation du signal de crue

$Q_0 = 50\mathrm{m}^3/\mathrm{s}$



Modélisation de l'hystérèse le long d'un tronçon de rivière théorique

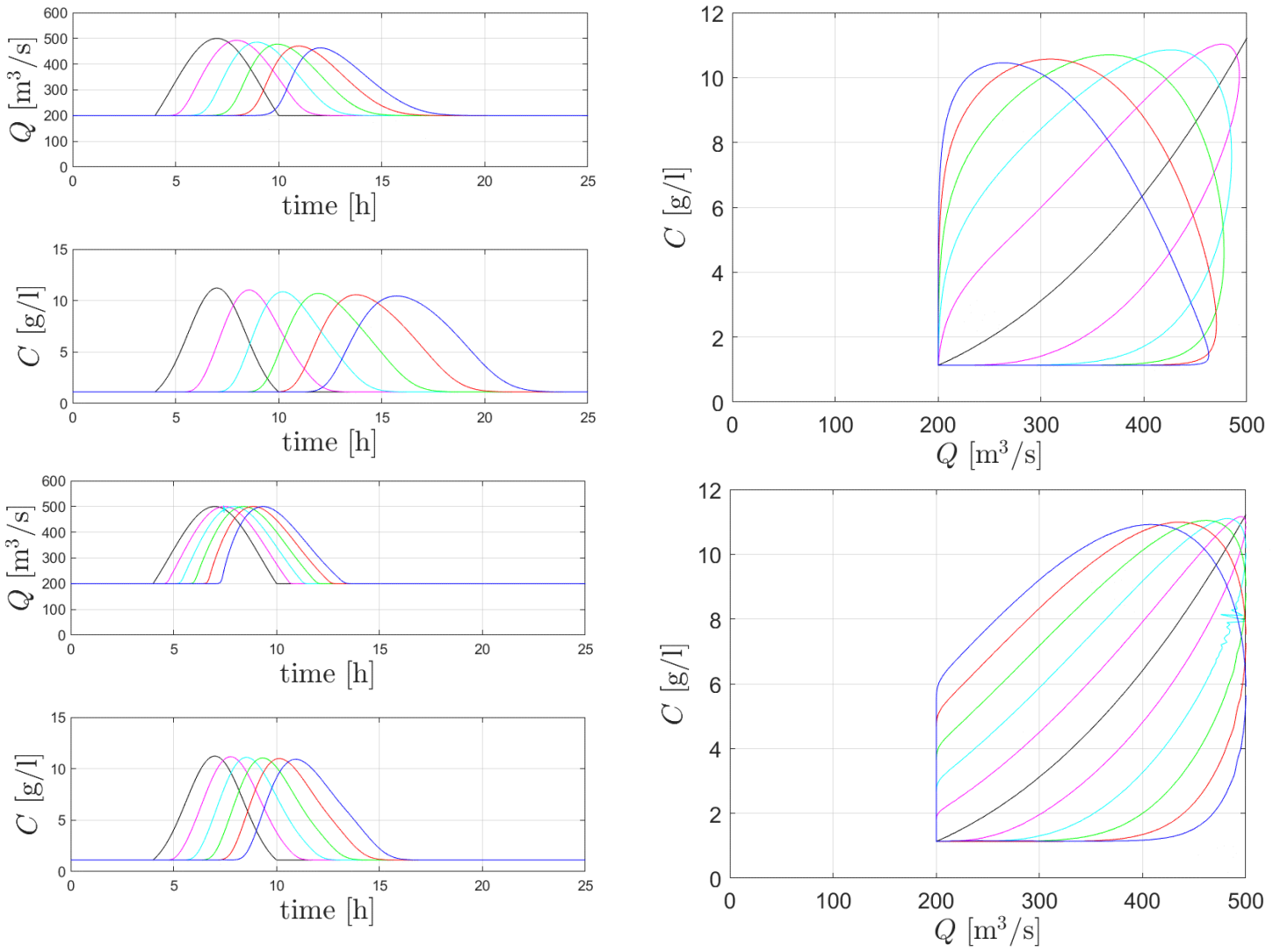
- Effet de la pente

  Diff: I&A2,0

$S = 0{,}1\%$

- Accélération des ondes de débit et concentration
- Légère atténuation de la diffusion

$S = 1\%$



Modélisation de l'hystérèse le long d'un tronçon de rivière théorique

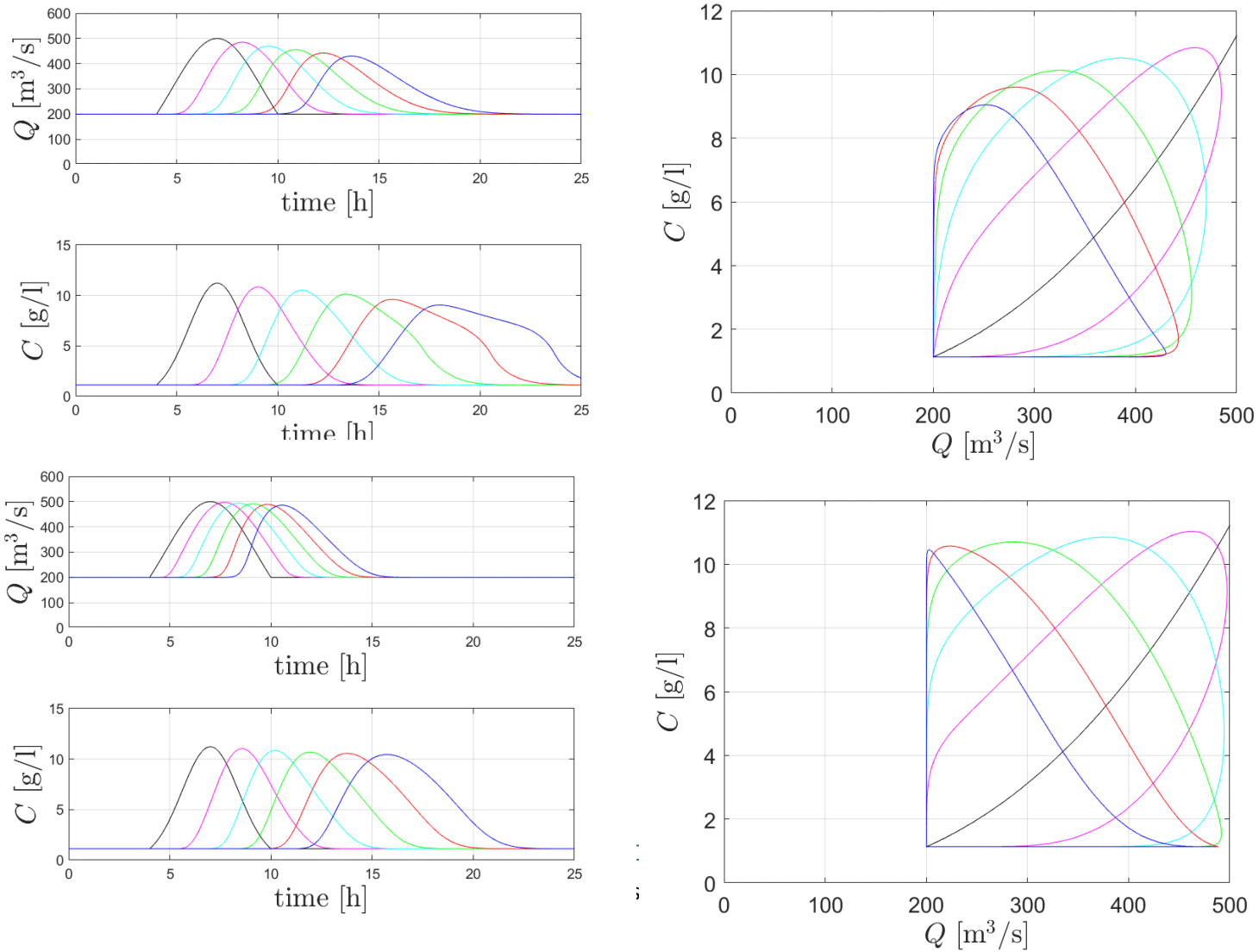
- Effet du Strickler

  $S = 0{,}1\%$, Diff: I&A2,0

  $K_s = 20\ \mathrm{m}^{1/3}/\mathrm{s}$

  - Accélération de l'onde de débit mais peu concentration
  - Impact des forts Strickler sur la diffusion

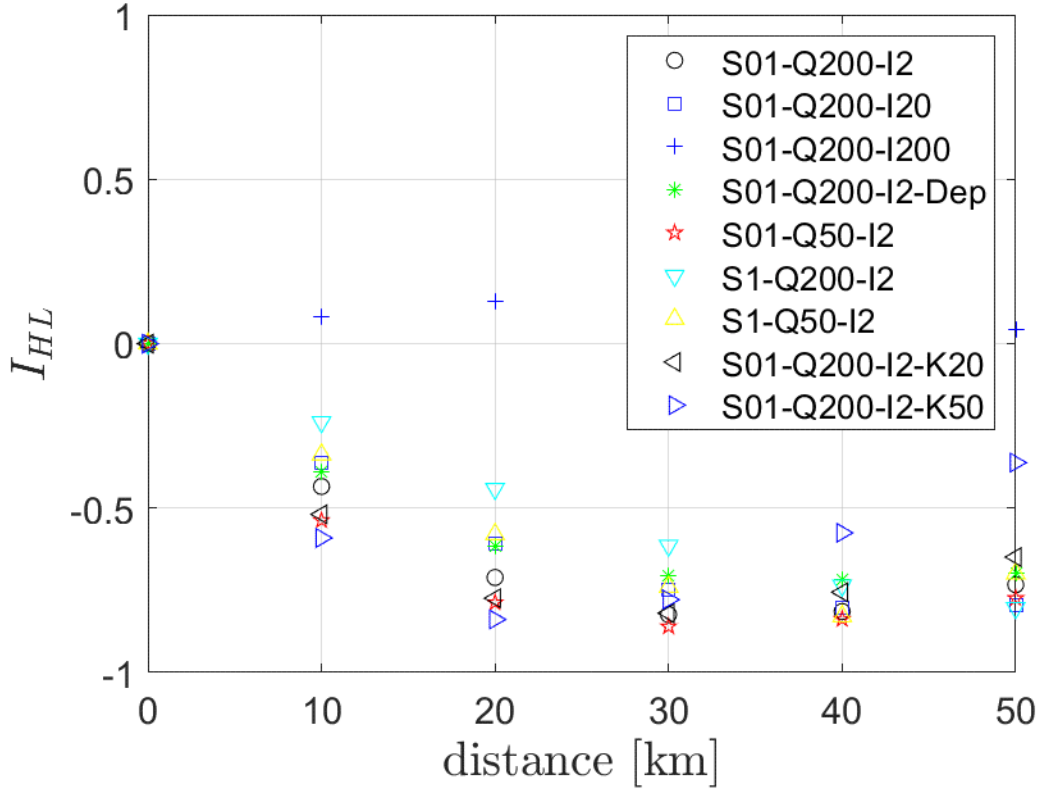
  $K_s = 50\ \mathrm{m}^{1/3}/\mathrm{s}$



Modélisation de l'hystérèse le long d'un tronçon de rivière théorique

- Influence des paramètres sur l'hystérèse
  - Diffusion plus élevée $\longrightarrow I_{HL}$ plus élevé
  - Dépôt $\longrightarrow I_{HL}$ plus élevé
  - Débit de base plus faible $\longrightarrow I_{HL}$ plus faible
  - Pente plus élevée $\longrightarrow I_{HL}$ plus élevé
  - Strickler plus élevé $\longrightarrow I_{HL}$ plus faible?

  $\longrightarrow$ Impact du nombre de Froude?
- Paramètre de Lloyd I_{HL}
  - « saturation » quand $I_{HL} < -0.8$
  - Augmentation réaliste par la suite?
  - Non réaliste si perte de matière



Conclusions

- Impact de la distance à la source sur la propagation du signal *Q-C*
  - Propagation de l'onde de crue avec une célérité c=√gh
  - Propagation des particules avec (au mieux) la vitesse de l'écoulement
- Evolution de l'hystérèse (I_{HL}) décroissante le long d'un tronçon de rivière s'il n'y a aucun échange avec le fond; a priori principalement fonction du nombre de Froude
- Très forte sensibilité à la diffusion (et donc au frottement)
- En cas de dépôt local, l'hystérèse est atténué ($|I_{HL}|$ décroissant)
- En cas d'érosion locale (reprise de stock en montée de crue), évolution de l'hystérèse (I_{HL}) croissante mais difficile à évaluer
- Importance du débit de base (par rapport sur au pic de crue et la durée de la crue) sur l'évolution de l'onde de crue

Perspectives

- Possible prédiction de I_{HL} lié à la propagation de l'onde de crue?
- Amélioration du paramètre de Lloyd ?
- Besoin d'une analyse plus poussée des effets de chacun des paramètres