

Vers une méthodologie opérationnelle pour la caractérisation et la modélisation numérique de la dynamique des sédiments fins dans les retenues

Matthieu De Linares, Olivier Cazaillet (ARTELIA)
Christophe Peteuil, Damien Alliau (CNR)
Germain Antoine, Magali Jodeau, Eric Valette (EDF)

Symposium du CFBR du 28 janvier 2018 à Chambéry



SOMMAIRE

- 1. Introduction**
- 2. Modélisation numérique 2-3D**
- 3. Mesures in & ex-situ**
- 4. Cas de validation récents**
- 5. Conclusions et perspectives**

Introduction

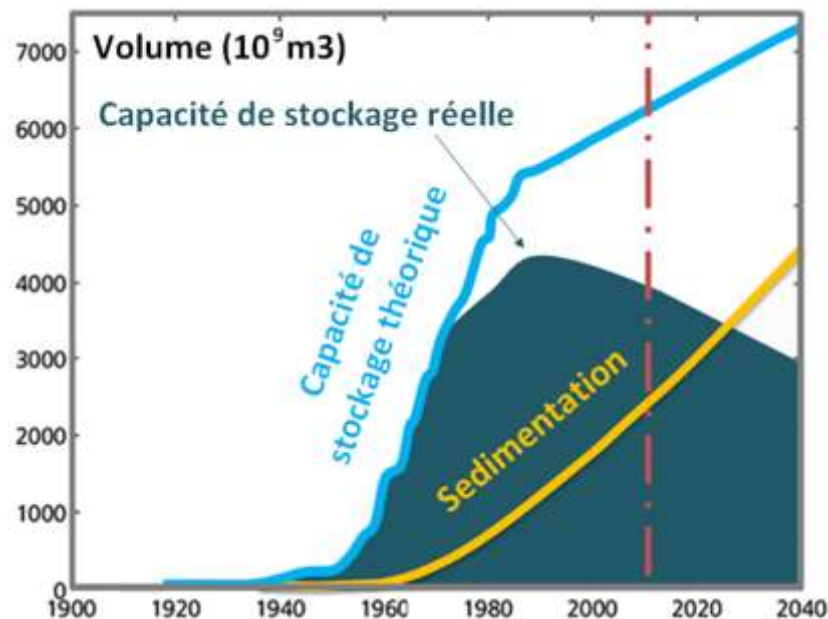
■ Nombreux enjeux concernés par la gestion sédimentaire des retenues

- Capacité de stockage utile (irrigation, crues, énergie...)
- Exploitation & maintenance
- Sûreté (crues, séismes...)
- Milieux aquatiques
- Usages aval

■ Contribution des particules fines en suspension

- Prépondérante dans le flux solide total transporté par les cours d'eau
- D'autant plus élevée dans la sédimentation des réservoirs que la capacité de stockage est grande au regard du débit entrant

■ Besoins croissants autour de la connaissance et de la modélisation de la dynamique des sédiments fins cohésifs ou non dans les retenues



D'après Schleiss et Oehy, EPFL (2002)

Introduction

▪ Outils de simulation à disposition des ingénieurs

Type	Principaux avantages et/ou usages
Modèle numérique 1D	<ul style="list-style-type: none">• Données d'entrée limitées• Rapidité des simulations (notamment long terme)• Informations globales sur les évolutions liées aux sédiments cohésifs et non-cohésifs
Modèle numérique 2D	<ul style="list-style-type: none">• Représentation pertinente de la courantologie au droit de singularités• Aperçu plus fin / 1D du comportement des sédiments cohésifs et non-cohésifs
Modèle numérique 3D	<ul style="list-style-type: none">• Simulation fidèle des écoulements complexes• Aperçu encore + fin du comportement des sédiments cohésifs et non-cohésifs• Archivage à long terme du modèle utilisé
Modèle physique	<ul style="list-style-type: none">• Simulation fidèle des écoulements complexes• Aperçu très fin du comportement des sédiments non-cohésifs (torrents et rivières torrentielles notamment)

Introduction

▪ Outils de simulation à disposition des ingénieurs

Type	Principaux avantages et/ou usages
Modèle numérique 1D	<ul style="list-style-type: none">• Données d'entrée limitées• Rapidité des simulations (notamment long terme)• Informations globales sur les évolutions liées aux sédiments cohésifs et non-cohésifs
Modèle numérique 2D	<ul style="list-style-type: none">• Représentation pertinente de la courantologie au droit de singularités• Aperçu plus fin / 1D du comportement des sédiments cohésifs et non-cohésifs
Modèle numérique 3D	<ul style="list-style-type: none">• Simulation fidèle des écoulements complexes• Aperçu encore + fin du comportement des sédiments cohésifs et non-cohésifs• Archivage à long terme du modèle numérique
Modèle physique	<ul style="list-style-type: none">• Simulation fidèle des écoulements complexes• Aperçu très fin du comportement des sédiments non-cohésifs (torrents et rivières torrentielles notamment)

Modélisation numérique 2-3D

- **Système TELEMAC** www.opentelemac.com
 - Couplage d'un module hydrodynamique et d'un module sédimentaire
 - Permet de considérer les évolutions éventuelles du lit à chaque pas de temps et d'actualiser les conditions hydrauliques résultantes
 - Incertitudes sensiblement réduites si calage possible sur observations
 - ❖ Nature et intensité des **flux solides entrant et sortant**
 - ❖ Evolutions bathymétriques à \pm court terme
 - ❖ **Composition et distribution des dépôts**
 - ❖ Lois d'érosion, de transport et de dépôt adaptées aux sédiments mobilisables et en mouvement
- Sédiments grossiers et fins non-cohésifs**
- Transport souvent considéré à l'équilibre et \pm proche du fond selon le diamètre
 - Intensité fonction de l'hydraulique locale et du diamètre des grains
- Sédiments fins cohésifs**
- Transport en suspension et généralement hors équilibre
 - Intensité fonction de la diffusion des apports amont et des échanges entre l'écoulement et le lit (↘ **vitesse de chute** ; ↗ **paramètres d'érosion**)

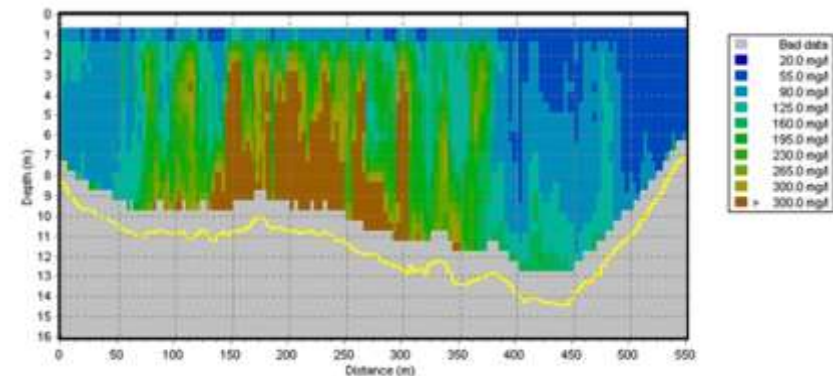
Mesures in & ex-situ

Flux solides

- Modes de transport
 - ❖ Charriage : galets, graviers et sables \pm grossiers
 - ❖ Suspension graduée : sables \pm fins
 - ❖ Suspension de lessivage : limons et argiles
- Méthodes de mesure
 - ❖ Mesure directe (préleveurs)
 - ❖ Mesure indirecte instantanée ou moyennée
- Durée d'acquisition
 - ❖ De préférence en phase avec les observations bathymétriques
 - ❖ Une à plusieurs années hydrologiques a minima



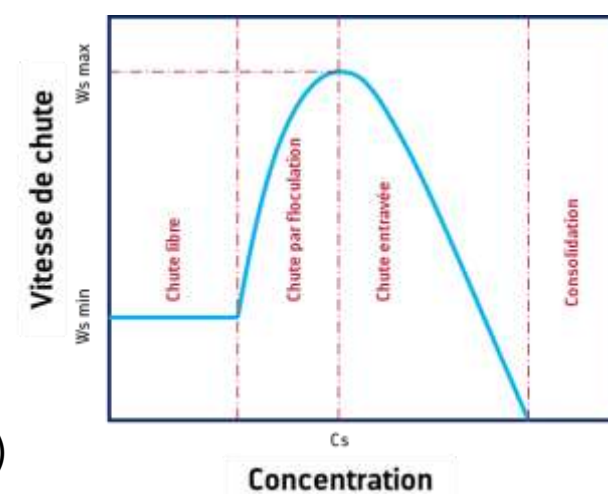
Crédit photos : C. Peteuil (CNR)



Mesures in & ex-situ

■ Vitesse de chute (W_s)

- Complexité du mécanisme de sédimentation dans un fluide en mouvement
 - ❖ Interactions entre particules (floculation, entravement)
 - ❖ Effet de l'écoulement (turbulence)
- Données encore rares en milieu fluvial
- Mode opératoire classique
 - ❖ Pipette d'Andreasen → long et laborieux
- Dans les études
 - ❖ Mesure d'un diamètre au granulomètre laser et calcul d'une vitesse de chute pour l'échantillon de sédiments
 - ❖ Formule usuelle de Stokes → particules isolées
- Motivation récente pour le développement d'une méthode de mesure quasi in-situ de W_s
 - ❖ Projet ANR 2012-2016 (LTHE-IRD, EDF LNHE et DTG)
 - ❖ SCAF : Système de Caractérisation des Agrégats et des Flocs dans les cours d'eau et rivières chargées
 - ❖ Déploiement : printemps 2018

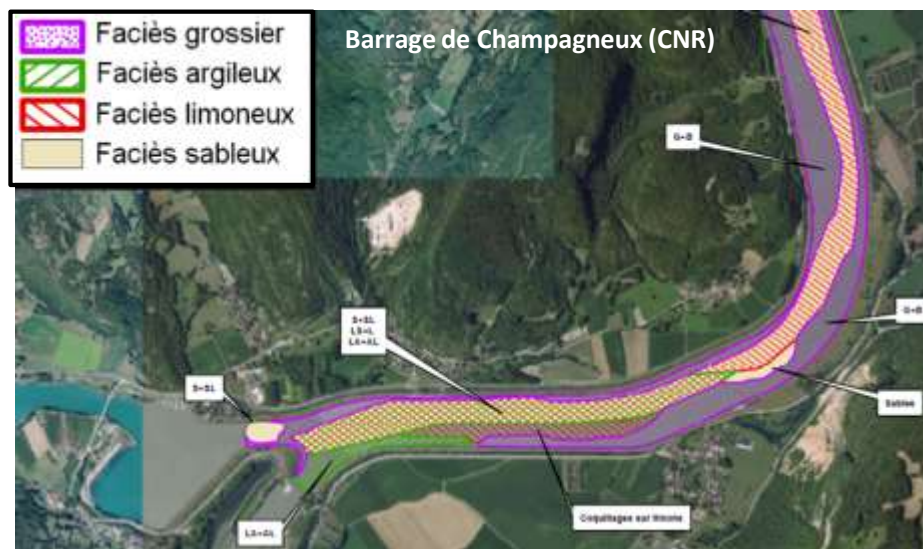


Crédit photos : IGE et M. Jodeau (EDF)

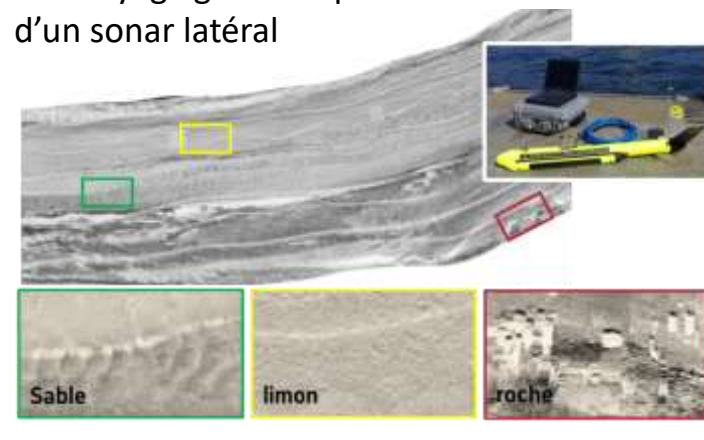
Mesures in & ex-situ

■ Distribution des dépôts

- Forte dépendance aux contraintes hydrauliques et aux conditions d'apports
- Vision globale requise pour comprendre la dynamique de dépôt et optimiser la localisation des sites de prélèvements
- Emergence de techniques combinées inspirées du domaine maritime



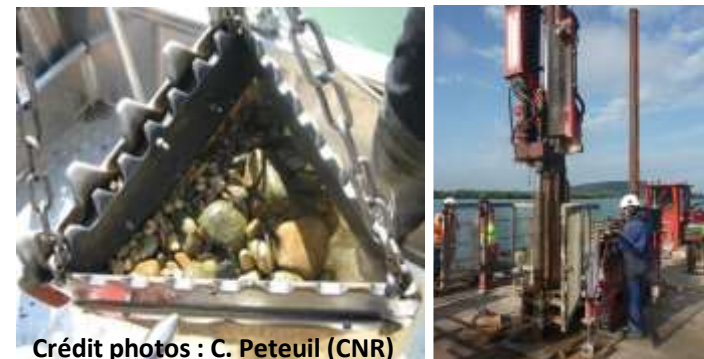
1. Balayage global et préliminaire à l'aide d'un sonar latéral



2. Auscultation de transects à l'aide d'une caméra sub-aquatique



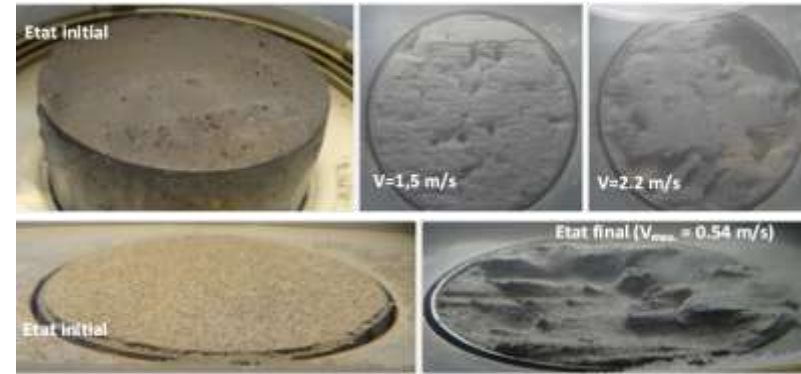
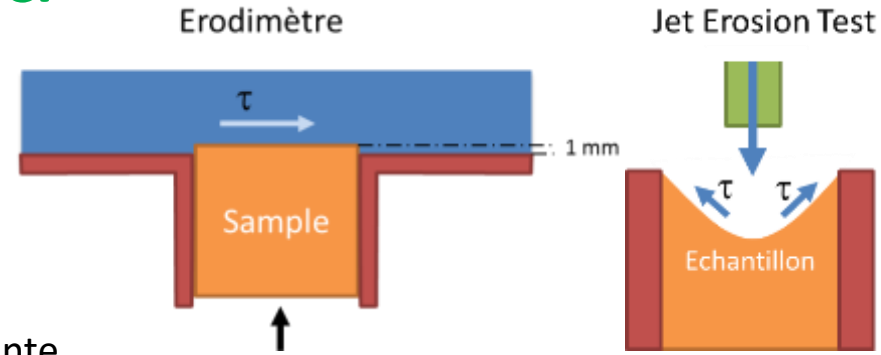
3. Prélèvements directs pour vérification et analyse granulométrique



Mesures in & ex-situ

Paramètres d'érosion

- Variables usuelles
 - ❖ Contrainte de cisaillement critique (ou vitesse critique d'érosion)
 - ❖ Taux d'érosion en fonction de la contrainte (ou de la vitesse)
- Détermination par essais expérimentaux (in & ex-situ)



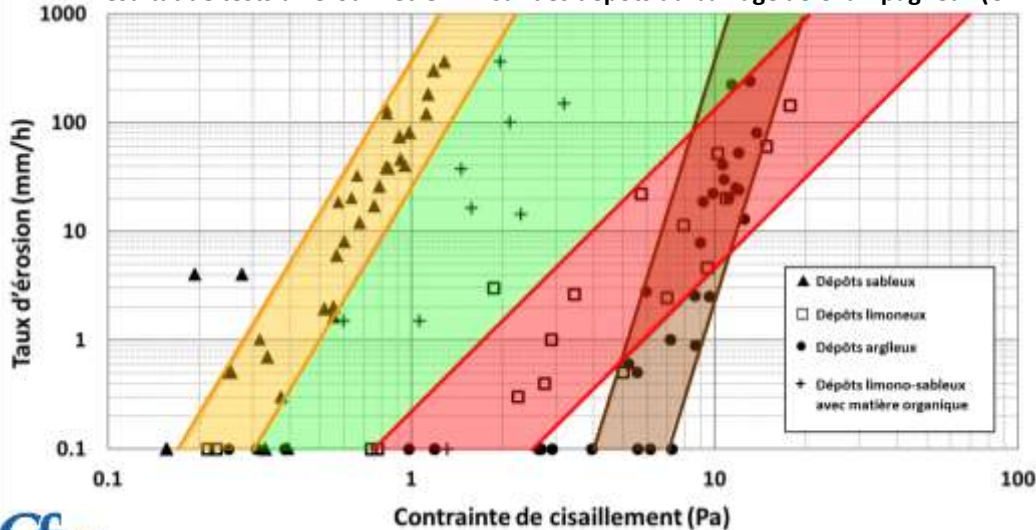
Crédit photo : ESTP



Vase Sable Vase Sable Vase Sable

0 10 20 30 cm

Résultat de tests à l'érodimètre EFA sur des dépôts du barrage de Champagneux (CNR)



Cas de validation récents

- **Barrage de Champagneux, France (CNR)**

Conditions de remobilisation et modalités de gestion des dépôts fins accumulés en amont du barrage

- **Aménagement d'Inga, RDC (Artélia)**

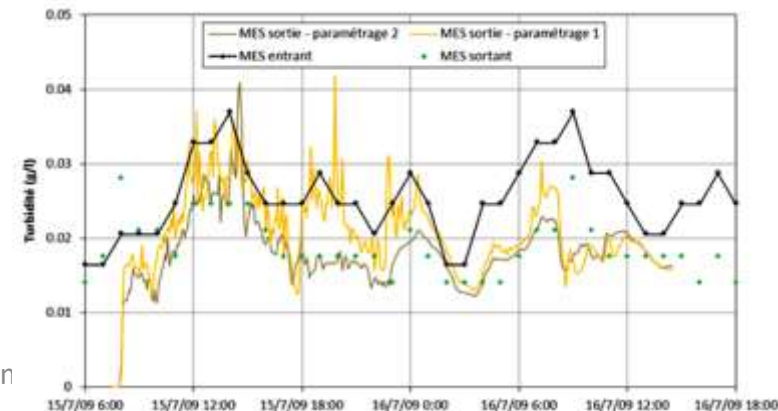
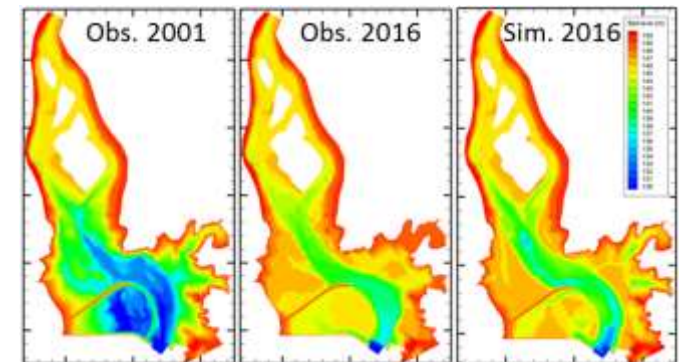
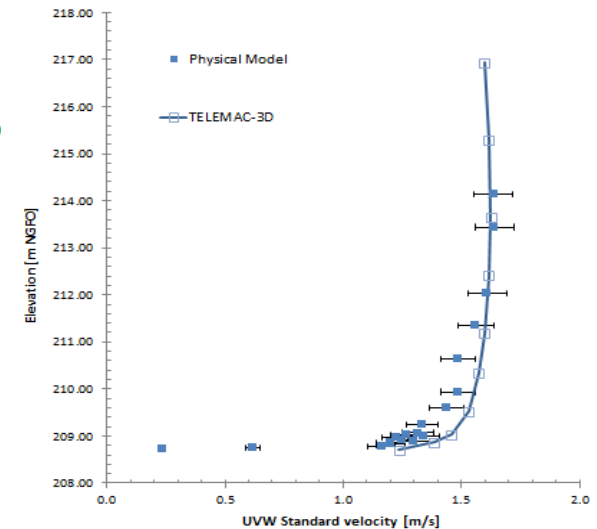
Amélioration de la débitance du canal d'amenée de l'aménagement hydroélectrique d'Inga (fleuve Congo)

- **Retenue de Kapichira, Malawi (Artélia)**

Position, design et optimisation des modalités de gestion d'une nouvelle prise d'eau d'irrigation installée dans la retenue

- **Bassin de Longefan, France (EdF & Artélia)**

Evaluation des gains possibles en termes de capacité de décantation et optimisation des modalités de chasse du bassin



Cas de validation récents

Avancée technique ou méthodologique	Cas d'étude	Sédiments
Besoins marqués en mesures de terrain spécifiques aux sites d'études pour caractériser les flux solides et les dépôts	Inga	Non-cohésifs
	Kapichira	Mixtes
	Champagneux Longefan	Cohésifs
Pertinence des tests à l'érodimètre pour calibrer les paramètres d'érosion des dépôts fins cohésifs	Champagneux Longefan	Cohésifs
Précision satisfaisante de la contrainte au fond estimée à partir du profil vertical de vitesse calculé avec TELEMAC-3D	Champagneux	Cohésifs
Convergence adéquate des évolutions morphologiques simulées sur modèle physique et modèle numérique 2-3D	Inga	Non-cohésifs
Convergence adéquate des évolutions morphologiques observées in-situ et simulées sur modèle numérique 2-3D	Inga	Non-cohésifs
	Kapichira	Mixtes
	Champagneux Longefan	Cohésifs

Conclusion

■ Campagnes in-situ et essais sur dépôts

- Une étape incontournable pour le calage des modèles déployés pour les études de sédimentation de retenues
 - ❖ Quantification des flux entrants
 - ❖ Evaluation de la vitesse de chute des particules en suspension
 - ❖ Composition et distribution des accumulations
 - ❖ Paramètres d'érosion des dépôts
- Des propriétés souvent très difficilement transposables à d'autres sites

■ Modèles numériques hydro-sédimentaires 2-3D

- Nombreux cas de validation récents fournis par l'ingénierie hydraulique française
- Un bon niveau de confiance accordé au modèle numérique TELEMAC
 - ❖ Pour représenter la dynamique des sédiments fins dans les retenues mais
 - ❖ Sous réserve d'un calage exhaustif (hydraulique ET sédimentaire)

Perspectives

■ Flux sableux

- **Challenges** : très difficiles à mesurer et à quantifier, fort impact pour les réservoirs et aménagements hydro-électriques
- **Besoins RiD** : techniques de mesure et de post-traitement, incertitudes, courbes de tarage sédimentaires... (Cf. thèses IRSTEA en cours)

■ Distribution des dépôts

- **Challenges** : représentation de l'agencement des accumulations sédimentaires, optimisation des prélèvements (échantillons « intacts »)
- **Besoins RiD** : méthodes de reconnaissance indirecte du sous-sol fluvial, techniques d'échantillonnage

■ Paramètres d'érosion

- **Challenges** : pas de méthode standardisée, manque de prestataires répondant aux besoins industriels
- **Besoins RiD** : méthode de référence, bancarisation des données, proxy pertinents...

Merci pour votre attention
et pour vos questions

