

# Apport des modèles physiques hydrauliques pour l'évaluation des risques et la conception d'aménagements hydrauliques dans le contexte des rivières torrentielles de la Réunion

Sébastien ROUX – [CACOH CNR](#),

Christophe PETEUIL – [CACOH CNR](#)



# Spécificité des cours d'eau de montagne

Crués des rivières de plaine



Vitesses plutôt lentes  
Lit majeur actif et capacitif

Crués torrentielles



Vitesses plutôt rapides  
Lit majeur actif

# Spécificité des cours d'eau de montagne

Cruces des rivières de plaine



Évolutions morphologiques  
limitées et lentes

Cruces torrentielles



Évolutions morphologiques  
intenses et très rapides

# Spécificité des cours d'eau de montagne

Cruces des rivières de plaine



**Transport solide peu intense +  
sédiments de faible taille**

Cruces torrentielles



**Transport solide intense +  
sédiments fins à grossiers**

# Le contexte Réunionnais

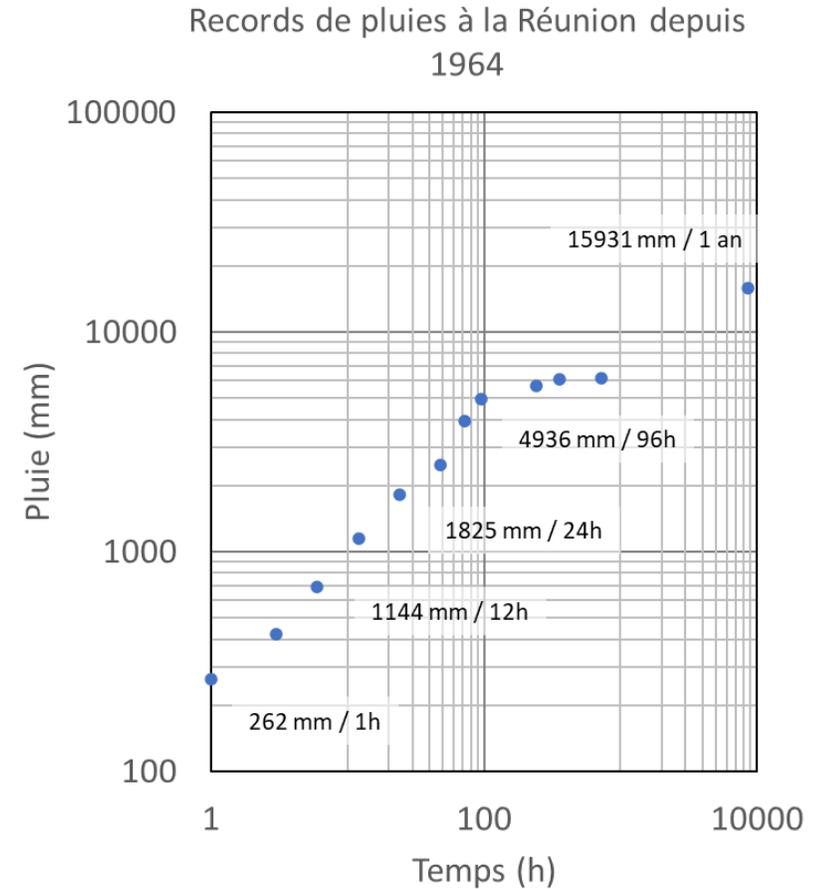
- des cyclones et des tempêtes tropicales à l'origine de pluies diluviennes,



Pendant le cyclone Gamède - dimanche 25 février 2007

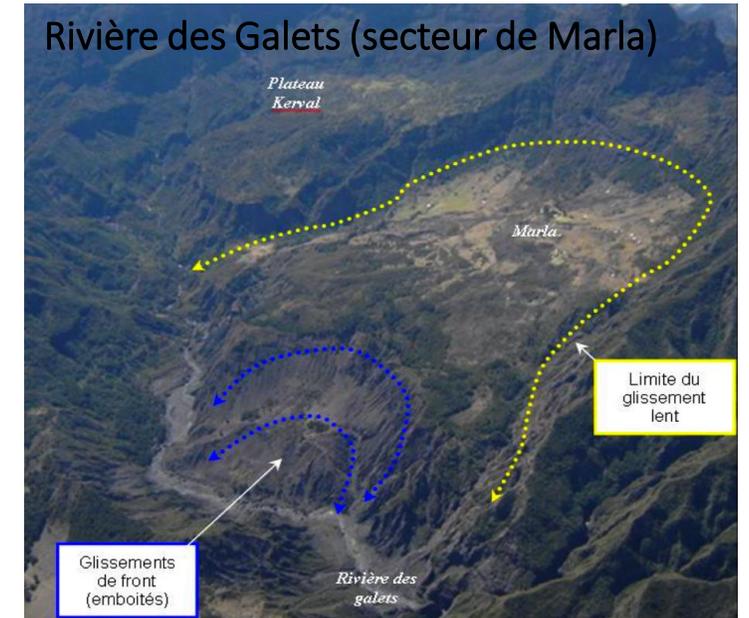


Rivière des Marsouin – Diwa (mars 2006)



# Le contexte Réunionnais

- des reliefs abrupts donnant aux écoulements une énergie considérable,
- des terrains volcaniques fragiles alimentant une charge sédimentaire abondante



# Le contexte Réunionnais

- une population densément concentrée en bordure des ravines à la rupture de pente entre les versants et le littoral
- Des restrictions des espaces de divagations des rivières pour augmenter l'espace urbanisable
  - Cas de la Rivière des Galets
    - Cône de déjection géologique (en vert)
    - Lit actif en 1949 (en jaune)
    - Espace de mobilité résiduel après 1999 (en rouge)



# Le contexte Réunionnais

- Des aménagements massifs et monumentaux mais soumis à de fortes contraintes
  - Vitesses d'écoulement jusqu'à 10-12 m/s
  - Profondeurs d'affouillement pluri-métriques au cours d'une crue
  - Abrasion fortes causée par les chocs des galets sur les ouvrages



Souscavement le long du pied de l'endiguement amont RD

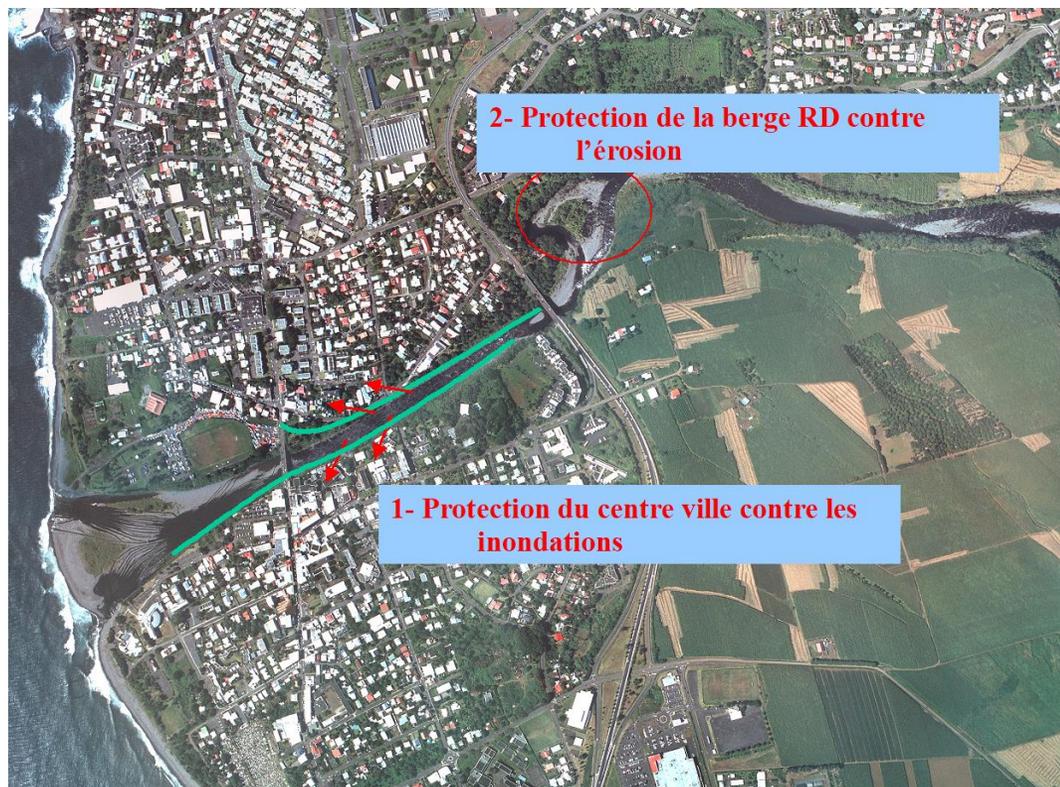


Post Gamède  
pile du pont métallique  
photo DDE

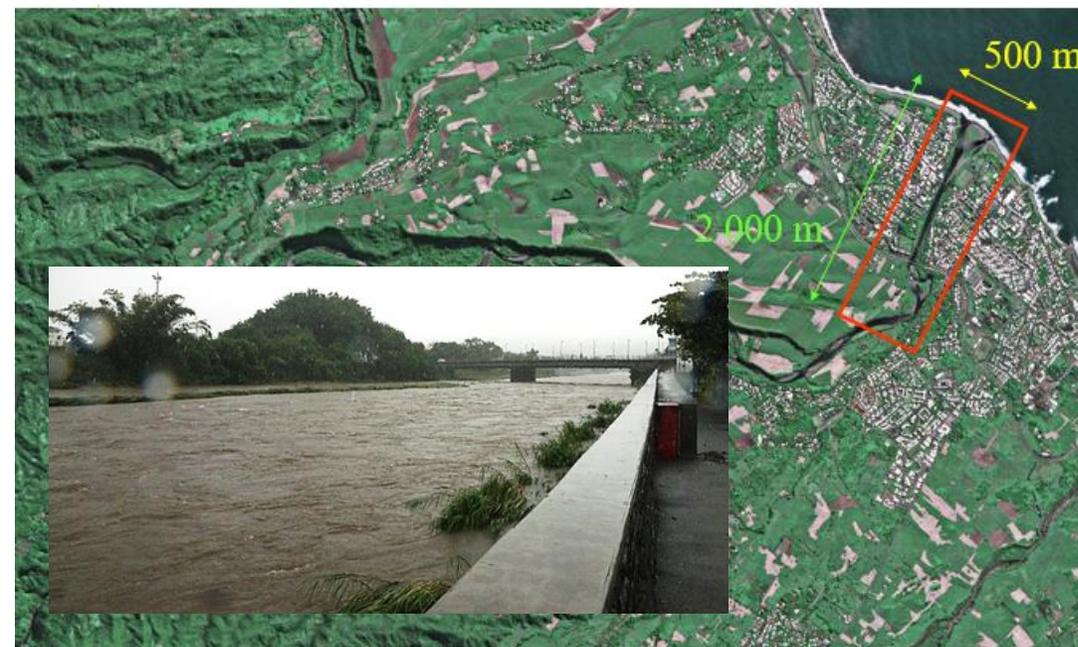


# Etude des aménagements de protection contre les crues de la Rivière de Marsouins

- Objectifs de l'étude : préciser les aménagements à réaliser sur le secteur aval de la rivière des Marsouins pour protéger le centre ville de St-Benoit contre les inondations



Périmètre de l'étude sur modèle physique



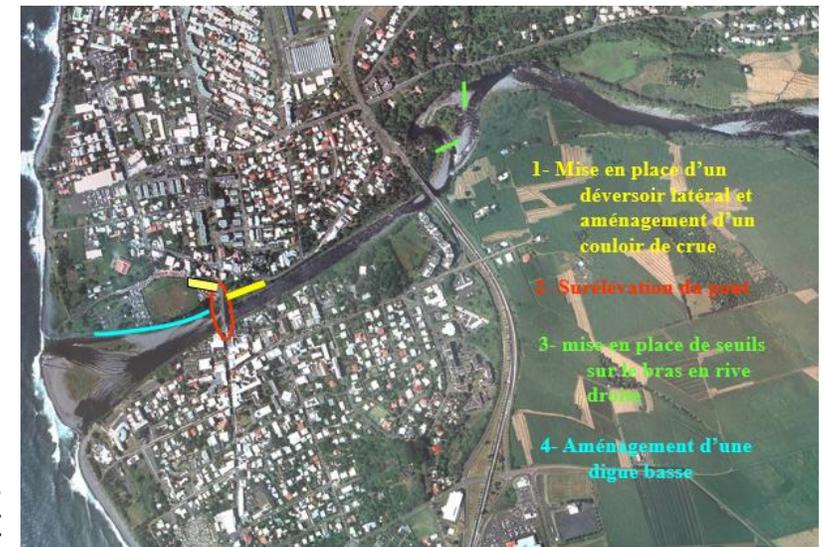
# Etude des aménagements de protection contre les crues de la Rivière de Marsouins

- Démarche mise en œuvre avant la mise en œuvre du modèle physique
  - ✓ Synthèse des données d'entrée et estimation des débits caractéristiques
    - Mise en œuvre d'un modèle pluie-débit mais peu de données disponibles pour le calage
    - Evaluation d'un ordre de grandeur des débits caractéristiques :  $Q_{10} \sim 1\,355 \text{ m}^3/\text{s}$  ;  $Q_{50} \sim 2\,050 \text{ m}^3/\text{s}$  ;  $Q_{100} \sim 2\,610 \text{ m}^3/\text{s}$  ;  $Q_{1000} \sim 4\,700 \text{ m}^3/\text{s}$
  - ✓ Etude de faisabilité pour la mise en place de protections en centre ville par la réalisation d'une étude à l'aide d'un modèle numérique 1D (ISIS) du secteur étudié
    - Modèle à fond fixe pas adapté aux conditions d'écoulement sur les rivières de l'île
    - Données de calage issues des crues historiques insuffisantes pour réaliser un « calage » du modèle

- Conclusions suite à l'étude réalisée avec le MN1D

- ✓ Q20 – Début de débordement en RD en amont du pont du centre ville
- ✓ Q50 - Mise en charge du pont et débordements en RD et en RG
- ✓ Q100 - Débordements forts et généralisés en RD et RG en centre ville; de nombreuses zones d'aléa fort sont impactées (zones résidentielles, maternité)

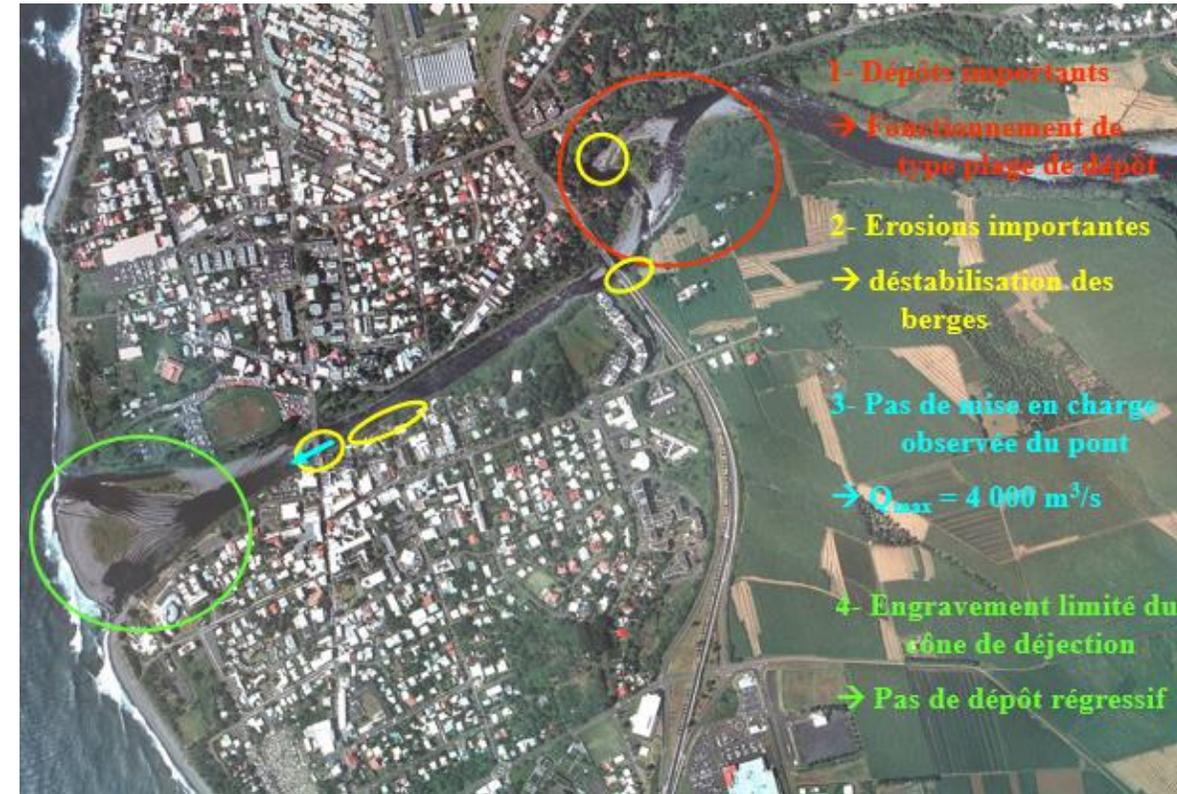
Aménagements proposés pour un coût total estimé des travaux de 10 M€





# Etude des aménagements de protection contre les crues de la Rivière de Marsouins

- Conclusions à l'issue des essais réalisés sur le modèle physique
  - ✓ Observation de fortes érosions dans le chenal du centre ville, en pieds des endiguements et des piles de pont (jusqu'à 4-5 m) sous l'effet des fortes vitesses d'écoulement (7-8 m/s)
  - ✓ Débordements observés en RG uniquement à partir de  $Q_{50}$
  - ✓ Débordements sporadiques observés en RD du centre ville uniquement à partir de  $Q_{100}$
  - ✓ Pas de mise en charge du pont avant la  $Q_{1000}$



# Etude des aménagements de protection contre les crues de la Rivière de Marsouins

- Apport de la modélisation physique dans l'étude :
  - Prise en compte du fond mobile et de l'interaction eau sédiments
  - Test de plusieurs scénarios d'apport solide et de configuration du lit (prise en compte du pavage)
  - Observations des phénomènes liquide et solide instationnaires et transitoires
  - Ajustement de la conception des ouvrages de protection initialement envisagés

# Etude des affouillements en pieds d'ouvrage sur modèle partiel

Réalisation d'un nouveau franchissement sur la Rivière de Galets

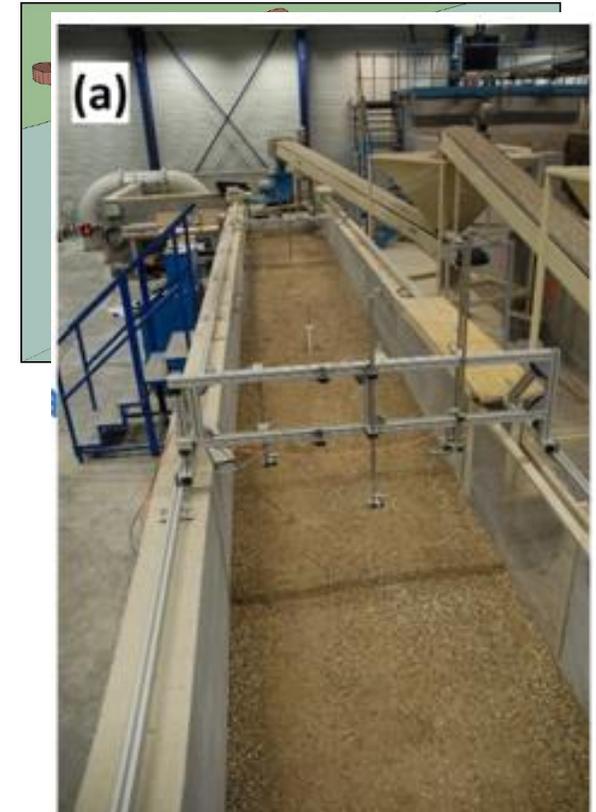


## • Objectifs de l'étude :

- ✓ Préciser l'amplitude des affouillements autour des appuis du futur pont (piles et culées), afin de pouvoir optimiser la hauteur des piles et des fondations sans prendre de risque pour la stabilité de l'ouvrage.
- ✓ Observer d'éventuels débordements sur le tablier et une mise en charge du pont

## • Représentation à l'échelle du 1/50 d'un tronçon de 75 m de large de la Rivière des Galets :

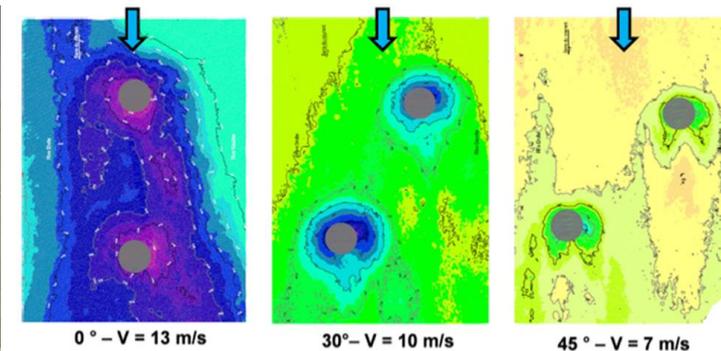
- ✓ Modèle à fond mobile avec alimentation solide
- ✓ Mesure de la vitesse incidente (7 à 15 m/s), de la hauteur d'eau,
- ✓ Mesures de la bathymétrie avant, pendant et après essais.



# Etude des affouillements en pieds d'ouvrage sur modèle partiel

## Réalisation d'un nouveau franchissement sur la Rivière de Galets

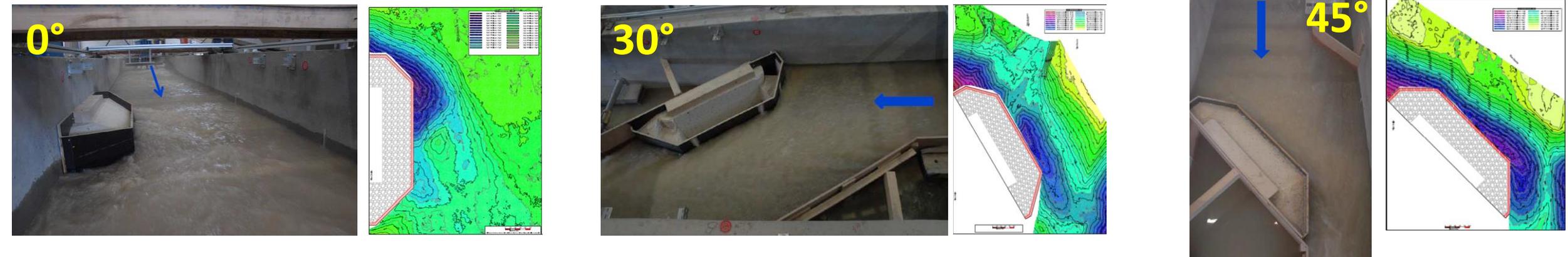
- Détermination des profondeurs d'affouillements autour des différentes sections des appuis de l'ouvrage en fonction de la vitesse et de l'angle de l'écoulement incident
  - ✓ Une seule pile circulaire de différents diamètres (3, 5 et 7m) ;
  - ✓ Deux piles circulaires de 3 m de diamètre orientées à 0°, 30° et 45° par rapport à l'axe de l'écoulement ;
  - ✓ Des jeux de barrettes d'un appui du pont ;
  - ✓ D'un appui complet (fût circulaire, semelle, bouton et barrettes) orientées à 0°, 30° et 45° par rapport à l'axe de l'écoulement.



# Etude des affouillements en pieds d'ouvrage sur modèle partiel

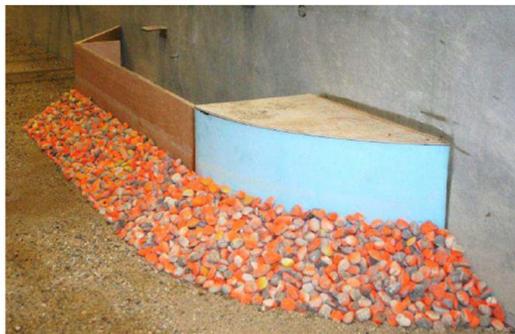
## Réalisation d'un nouveau franchissement sur la Rivière de Galets

- Détermination des profondeurs d'affouillements le long des culées en fonction de la vitesse et de l'angle de l'écoulement incident



- Test de plusieurs systèmes de protections en pieds de culée

Protection en enrochements libres autoplaçant



Protection en enrochements liés



Protection en enrochements artificiels tétrapodes



# Etude des affouillements en pieds d'ouvrage sur modèle d'ensemble

## Etude du nouveau franchissement de la Rivière de Pluies

- Objectifs de l'étude :

- ✓ Définition architecturale des éléments du ponts : géométrie des piles et du tablier
- ✓ Evaluation des risques d'affouillement et de mise en charge pour les crues caractéristiques en tenant compte des spécificités des écoulements sur le secteur

- Mise en œuvre d'un modèle au 1/80 d'un tronçon d'environ 1 200 m de la Rivière des Pluies :

- ✓ Modèle à fond mobile avec alimentation solide
- ✓ Mesure des lignes d'eau et des vitesses ponctuelles
- ✓ Mesures de la bathymétrie avant, pendant et après essais.



# Etude des affouillements en pieds d'ouvrage sur modèle d'ensemble

## Etude du nouveau franchissement de la Rivière de Pluies

- Mise en évidence des spécificités de l'écoulement de la Rivière des Pluies grâce aux 1<sup>ers</sup> essais réalisés permettant d'orienter les choix de dimensionnement de la structure :
  - ✓ Formation d'un bras vif d'une largeur généralement inférieure à 140 m
  - ✓ Hauteur d'eau modeste (quelques mètres) et très fortes vitesses (jusqu'à 10 m/s)
  - ✓ Formation d'anti-dunes de très grande ampleur (dépassant localement une hauteur de 7m)

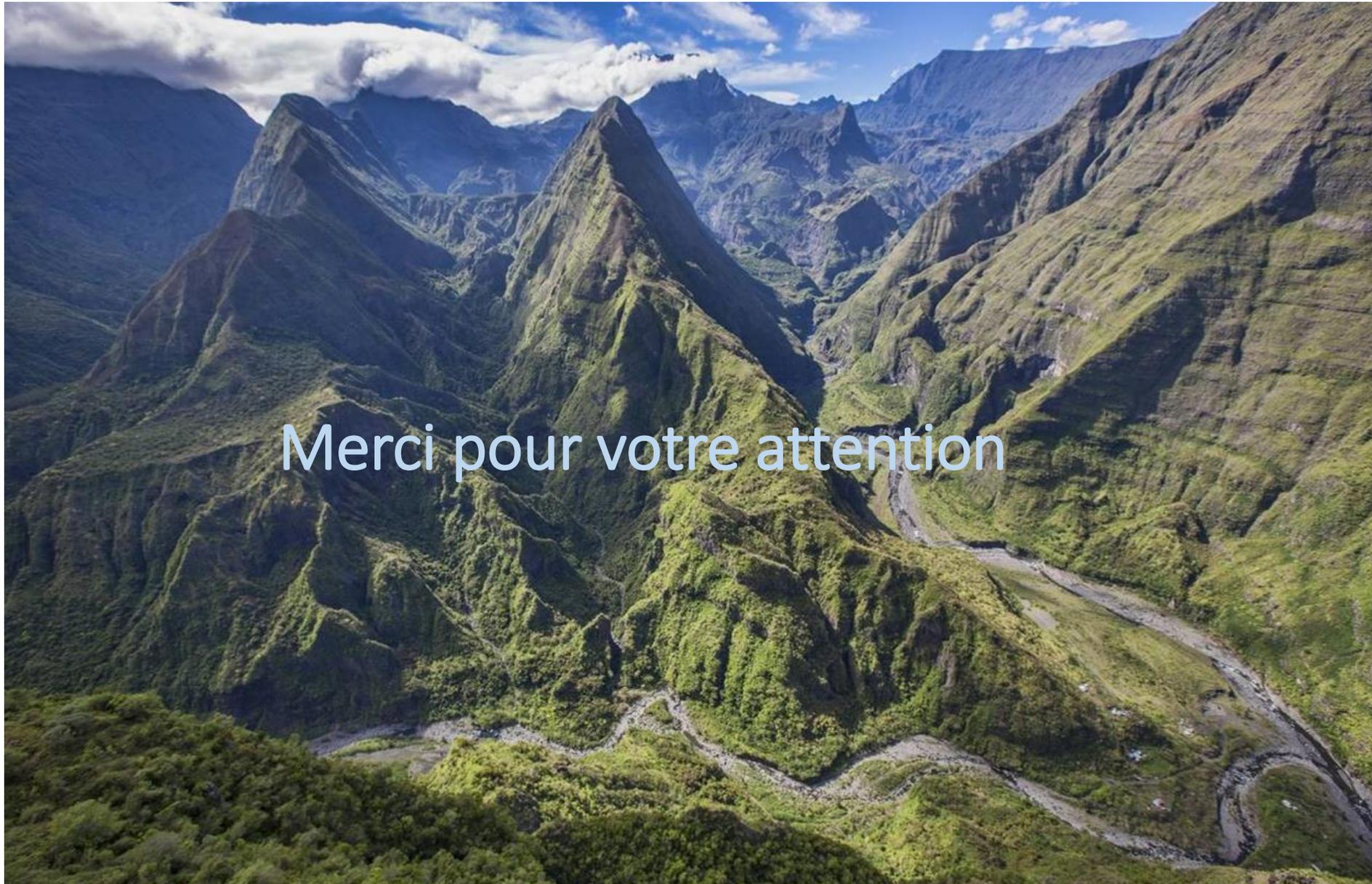


# Etude des affouillements

- Apport de la modélisation physique dans l'étude :
  - Evaluation des affouillements par approche expérimentale pour une structure complexe en fonction des conditions hydrauliques et de l'état d'enfoncement du lit de la rivière;
  - Approches « paramétriques » en fonction de la vitesse incidente ou de l'angle d'attaque indépendante du débit total qui permet une extrapolation à d'autres projets;
  - Approches « par scénario » en fonction d'un débit de crue
  - Optimisation des hauteurs des fondations à prendre en compte en comparaison de l'application des formules utilisées classiquement en régime fluvial ;
  - Estimation du remblaiement des fosses d'affouillement en fin d'évènement ;
  - Test de l'efficacité des types de protections en pieds des piles ou des culées.

# Conclusion

- Approche fond mobile indispensable.... Les études sont encore aujourd'hui très souvent réalisées avec un fond fixe !
- Les modèles physiques constituent aujourd'hui les seuls outils permettant de prendre en compte l'interaction forte entre l'écoulement et les matériaux et les évolutions rapides des phénomènes.
- L'approche paramétrique par modèle physique partiel permet de combler le déficit ou les incertitudes éventuels liés aux données d'entrée (hydrogramme, débit de pointe, apports solides...).
- La mise en œuvre de modèles d'ensemble reste la seule approche pour l'évaluation de la dynamique sédimentaire globale ou les problématiques de submergence des ouvrages.



Merci pour votre attention