

# Étude hydrogéomorphologique de la Rivière des Pluies

Comité technique risques

29/05/2024

Clément Misset, ONF-RTM



## Contexte :

- Fort transport solide et nombreux enjeux sur la Rivière des Pluies
- Problématiques d'évolutions géomorphologiques/évolutions du lit (verticalement et latéralement)
- Réflexions sur l'éventualité de modification du pont Domenjod
- Nombreuses études réalisées / certaines contradictoires vis-à-vis de l'aléa torrentiel / pas d'évaluation de la problématique de formation d'embâcles
- Demande de la DEAL pour la réalisation d'une étude « type » sur la Rivière des Pluies

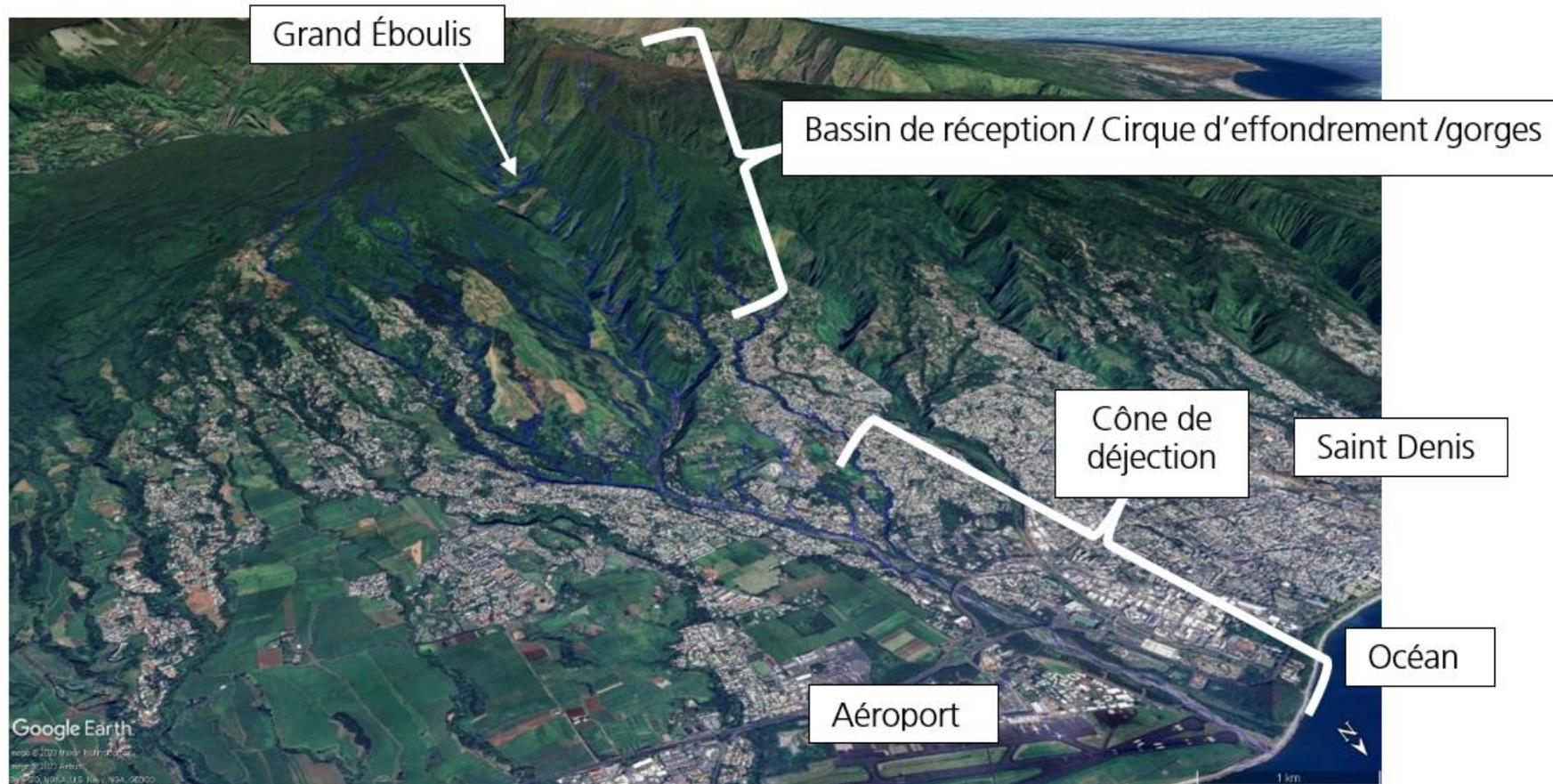
## Objectifs de l'étude :

- Caractériser les pentes représentatives des apports solides
- Évaluer les fluctuations possibles du profil en long
- Proposer des profils maximums des fonds et profils minimums objectifs post curage
- Évaluer la susceptibilité de formation d'embâcle au droit du pont Domenjod



# Présentation du bassin versant (rappel/issu des données disponibles)

Bassin versant



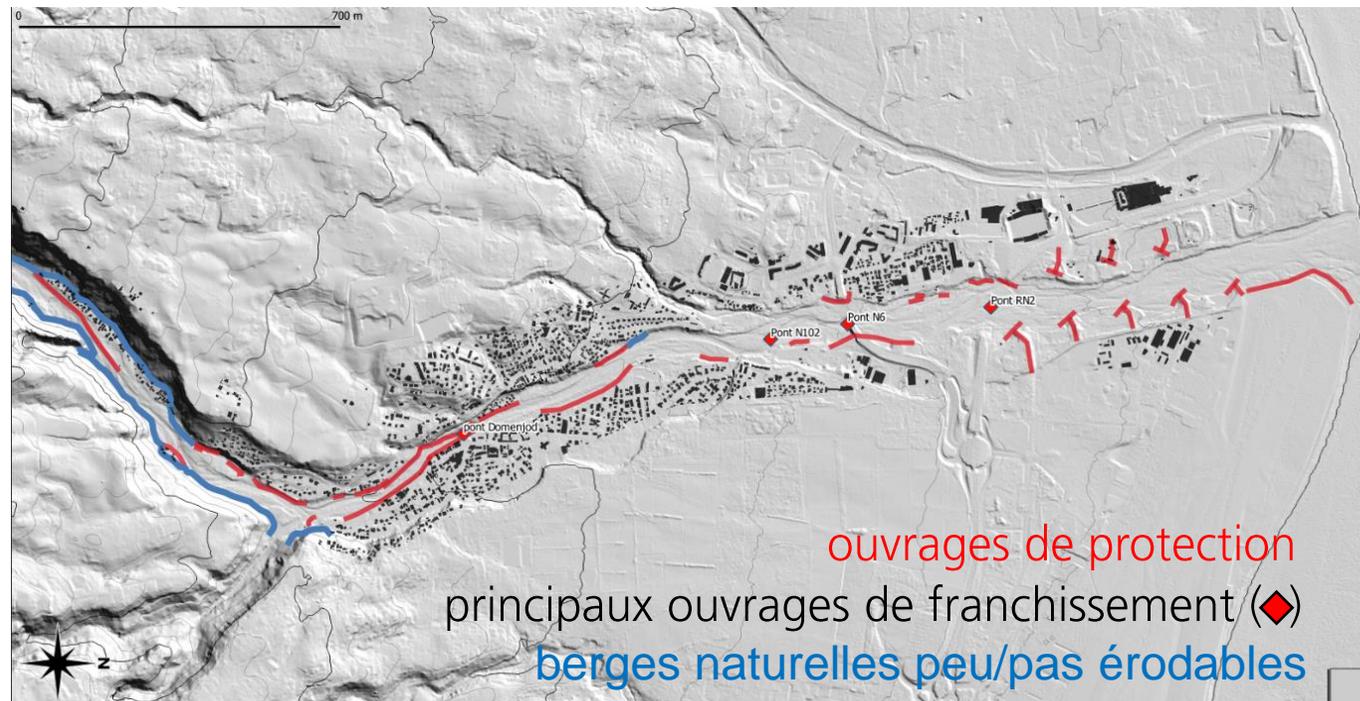
## Présentation du bassin versant (rappel/issu des données disponibles)



Évolution de l'occupation et  
la morphologie du cône



Ouvrages et berges non érodables



# Présentation du bassin versant (rappel/is)

## Géomorphologie générale du BV



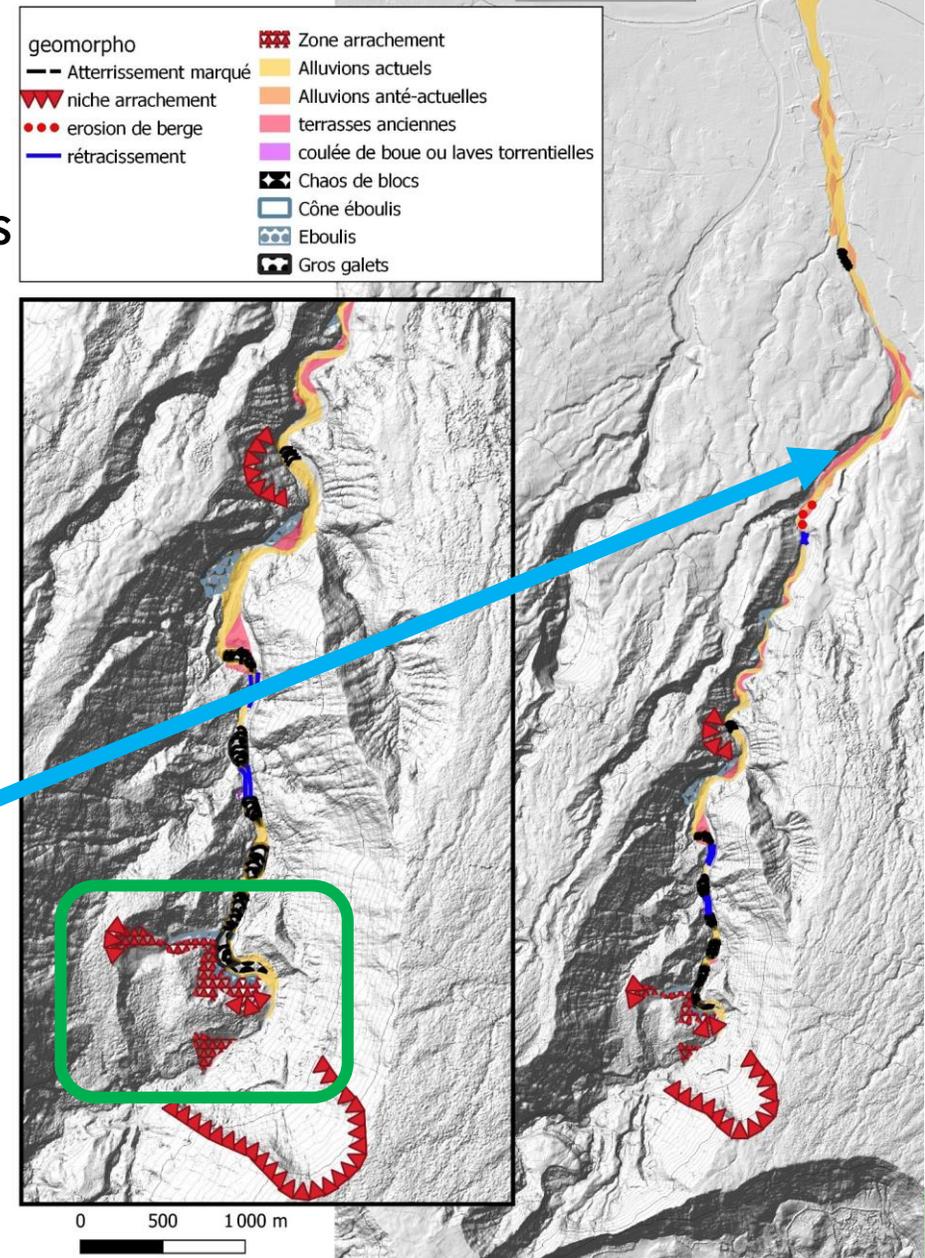
Barrage naturel formé en 2002  
(cliché BRGM 05/03/2002)



Érosion du pied du Grand Éboulis, étude BRGM de 2003



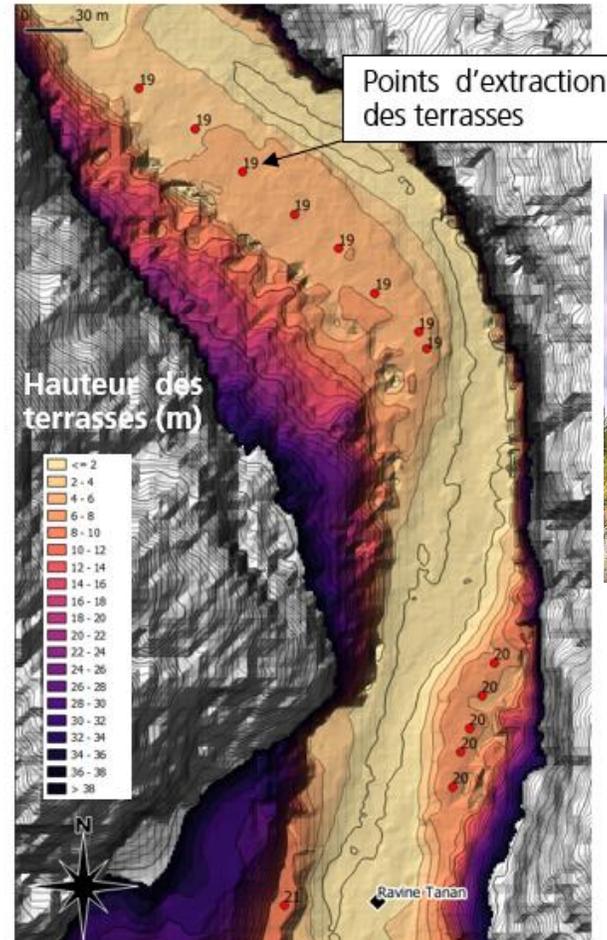
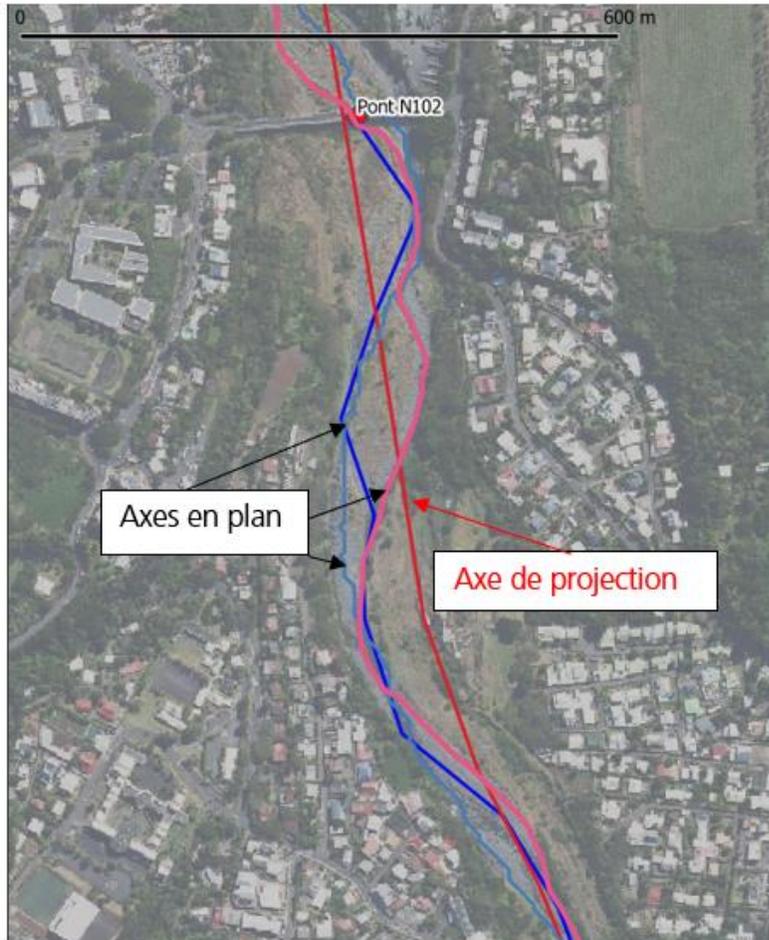
Tempête Diwa , 7 mars 2006  
Îlet Quinquina; Source : Sogreah



Carte géomorphologique d'après l'étude PGRi d'Artelia (2008)

# Analyses du profil en long

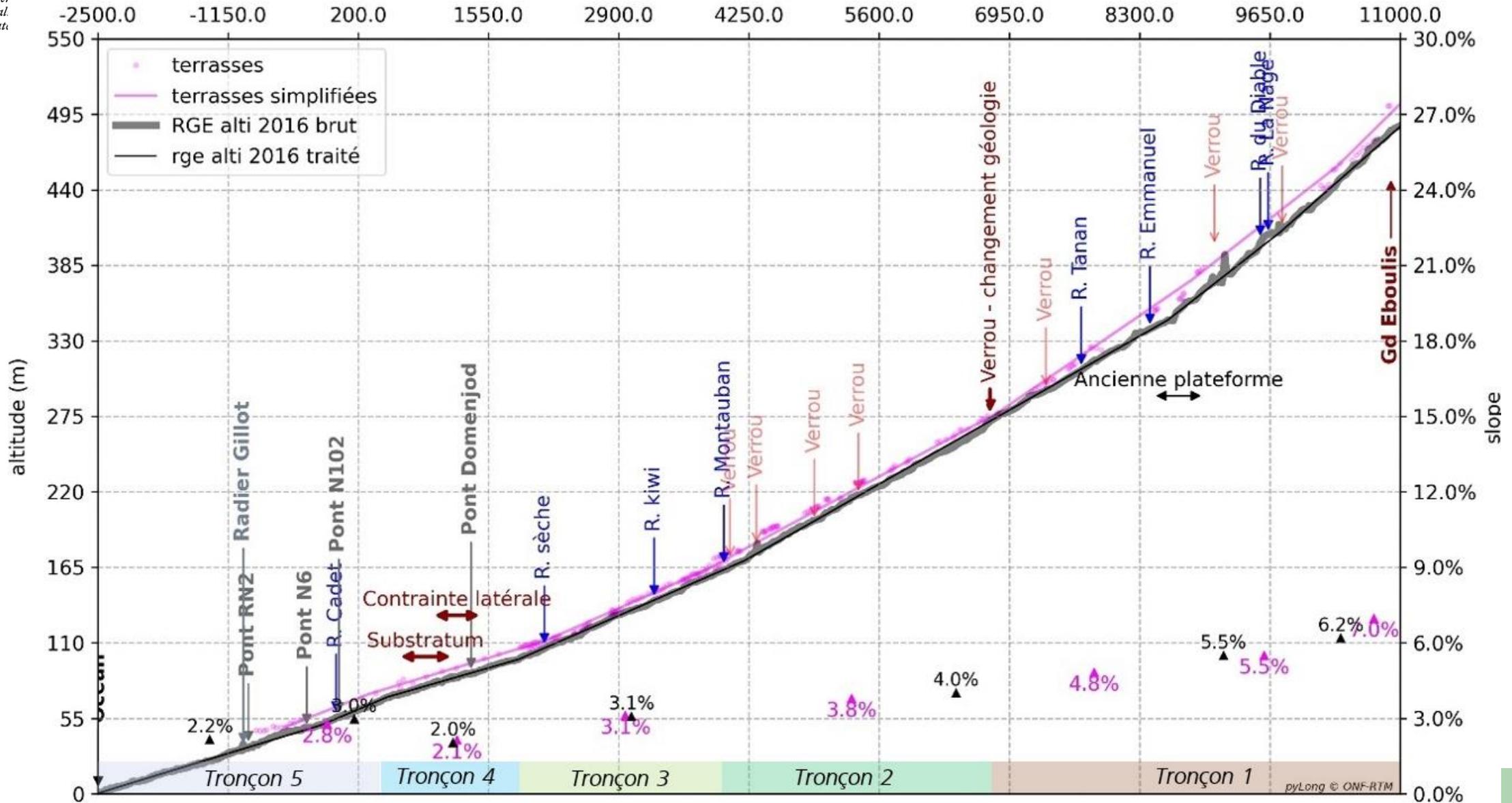
Méthodologie  
(projection, filtrage, etc.)



terrasses

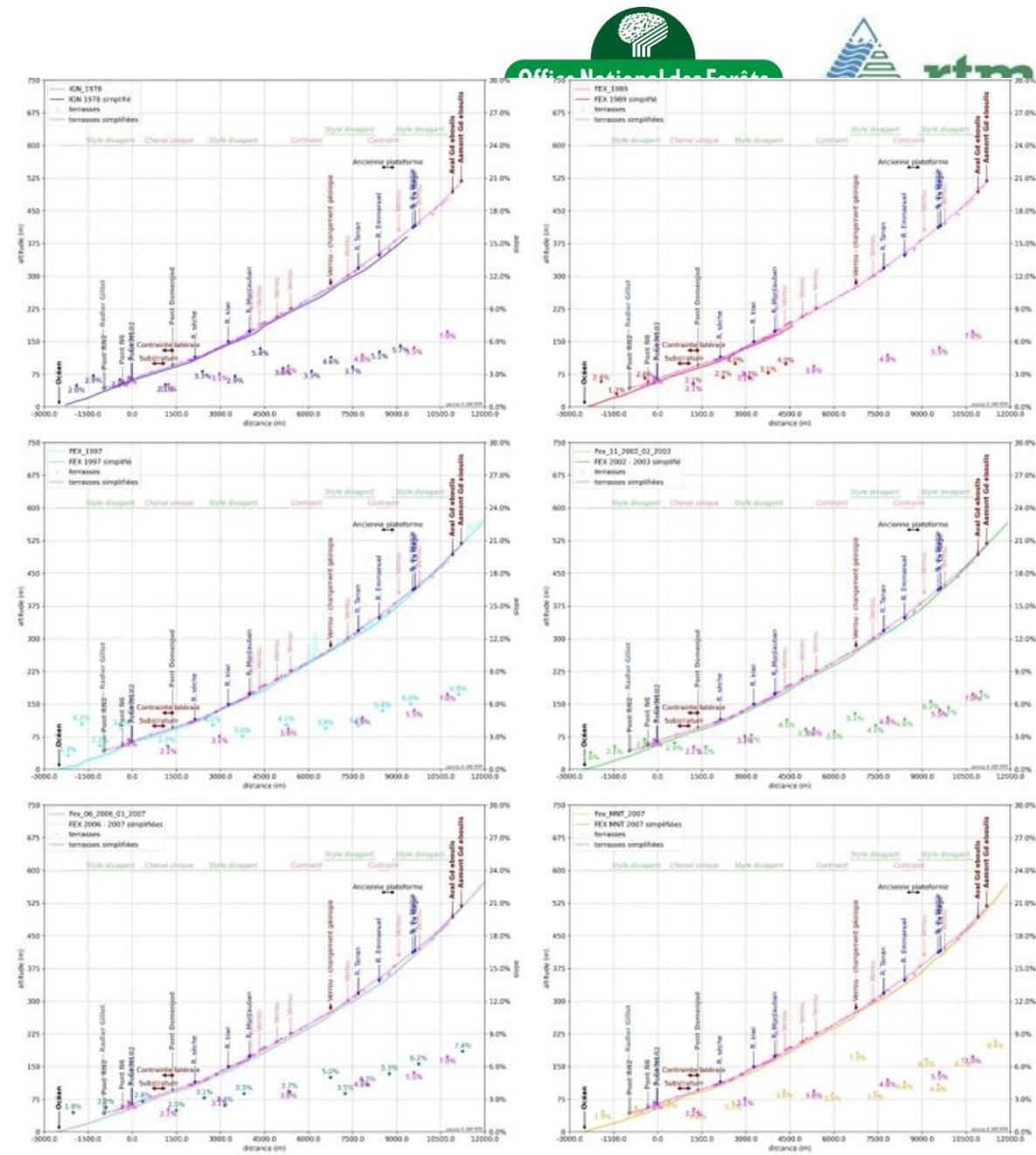
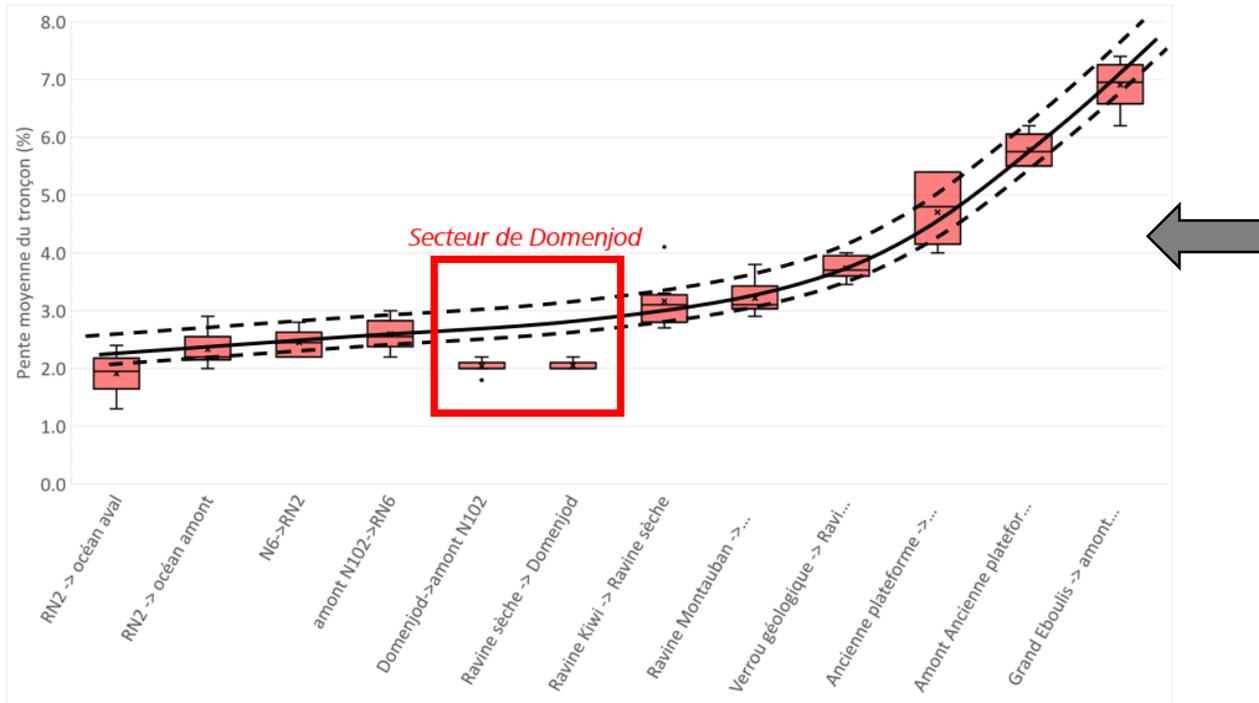


# Analyses du profil en long



# Analyses du profil en long

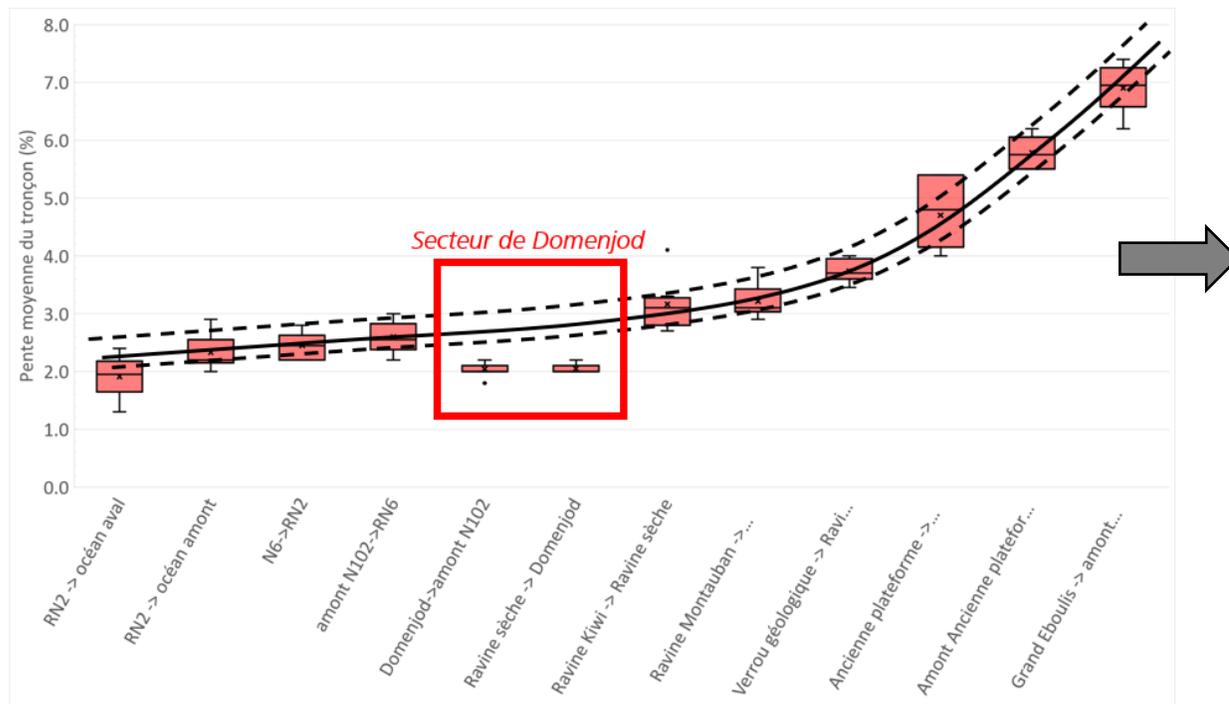
Variabilité de la pente moyenne pour 12 tronçons homogènes en aval du Grand Éboullis d'après les levés de 1978 à aujourd'hui.



Profils en long généraux historiques de 1978 à 2007

# Analyses du profil en long

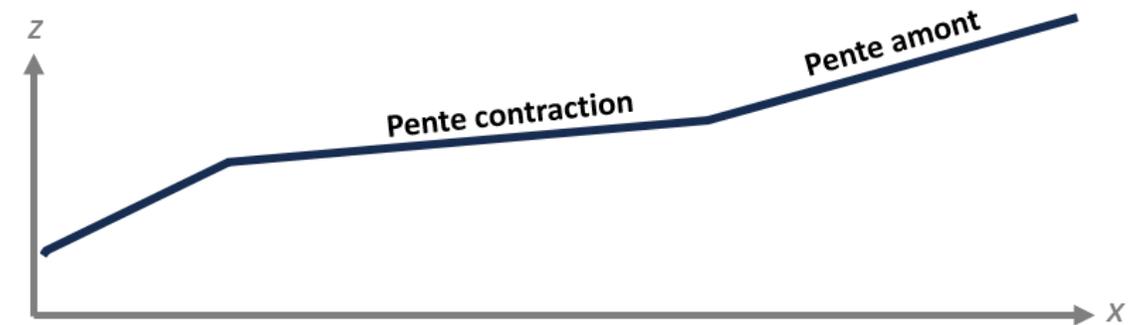
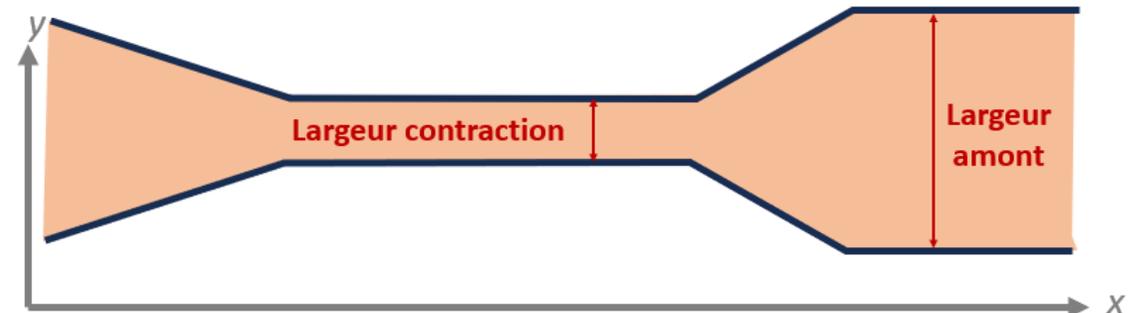
Variabilité de la pente moyenne pour 12 tronçons homogènes en aval du Grand Éboullis d'après les levés de 1978 à aujourd'hui.



- **Le secteur alluvionnaire en amont des principaux enjeux** et de la contraction de Domenjod présente des pentes modérément variables au cours du temps, globalement de l'ordre de 3.1% avec une gamme de variation de 2.8-3.2% pour le tronçon Ravine Kiwi-Ravine Sèche ;
- **Le secteur correspondant à la contraction de Domenjod** possède des valeurs de pente peu variables dans le temps, de l'ordre de 2.1% en médiane avec une gamme 2-2.2% ;
- **Les secteurs de l'amont de la N102 à l'amont de l'océan** passant de 2.5 à 2.2% en allant vers l'aval avec des fluctuations de l'ordre de  $\pm 0.4\%$  ;
- **Le secteur terminal arrivant dans l'océan** a des pentes qui chutent à des valeurs médianes de 1.95% avec des fluctuations de 1.65 à 2.2%.

# Analyses du profil en long

## Effet de la contraction de Domenjod



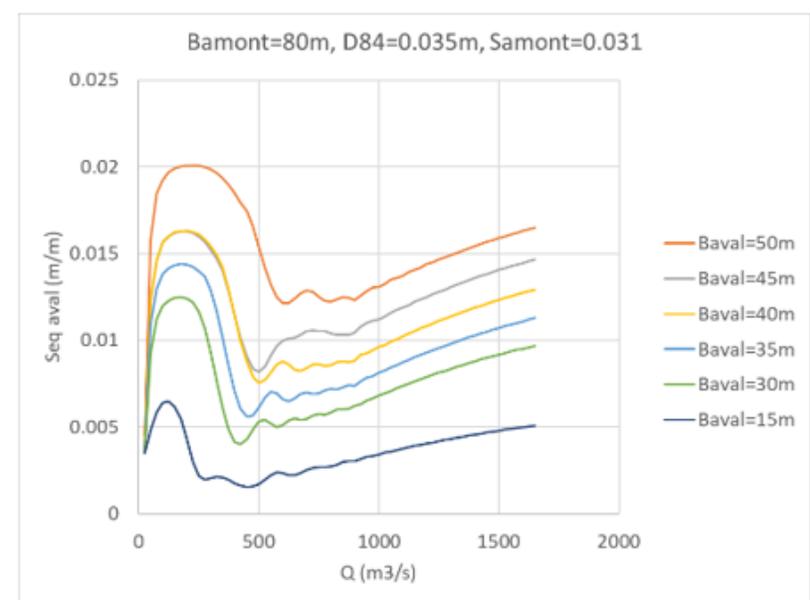
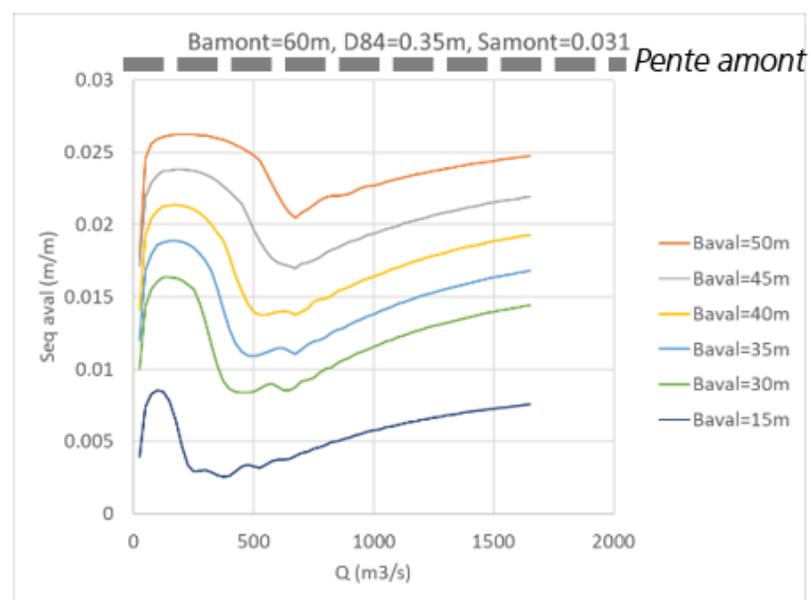
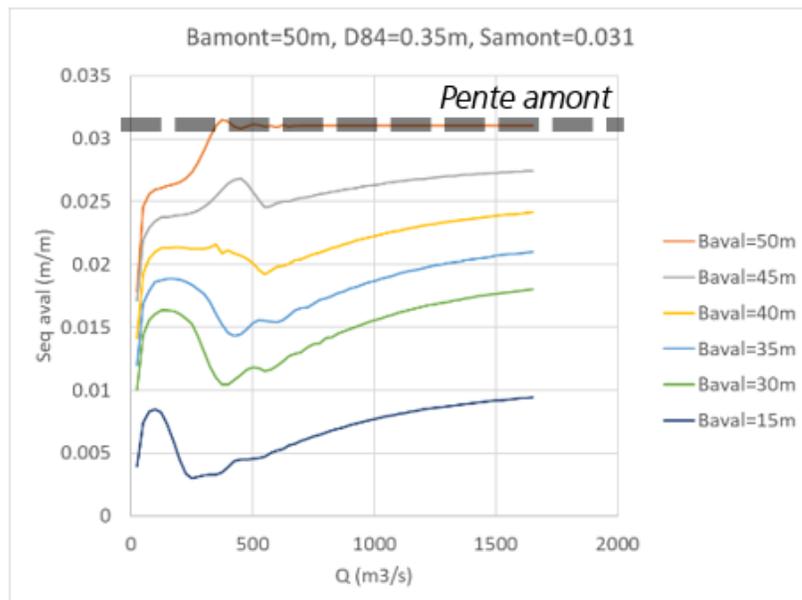
# Analyses du profil en long

Effet de la contraction de Domenjod

Flux solide aval = Flux solide amont

-> pente aval = f(Pente amont, largeur amont, largeur aval, granulométrie, débit)

La réduction de pente au droit du pont Domenjod est cohérente avec les variations de largeurs liées à la contraction et peut être expliquée à l'aide de calculs de capacité simplifiés



# Analyses du profil en long

Présence de points durs en aval de la contraction de Domenjod



Photo n°3 – AFFLEUREMENTS DU SUBSTRATUM ROCHUEUX DANS LE LIT MINEUR EN AVAL DU PONT DOMENJOD

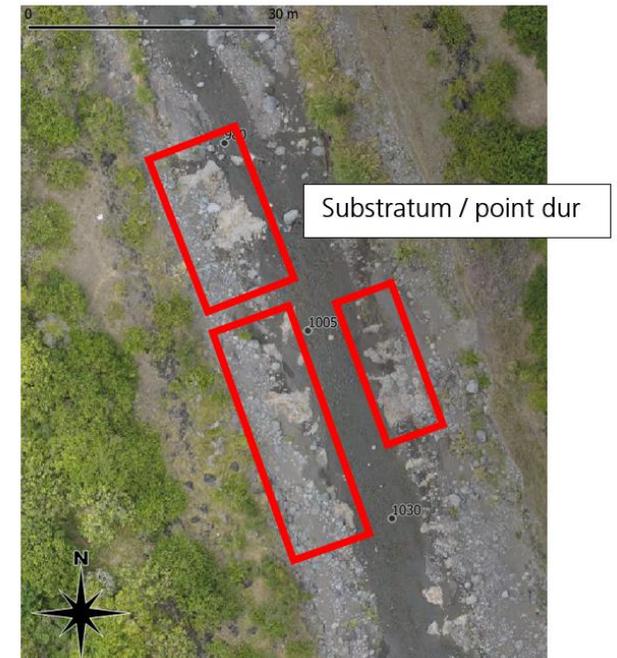
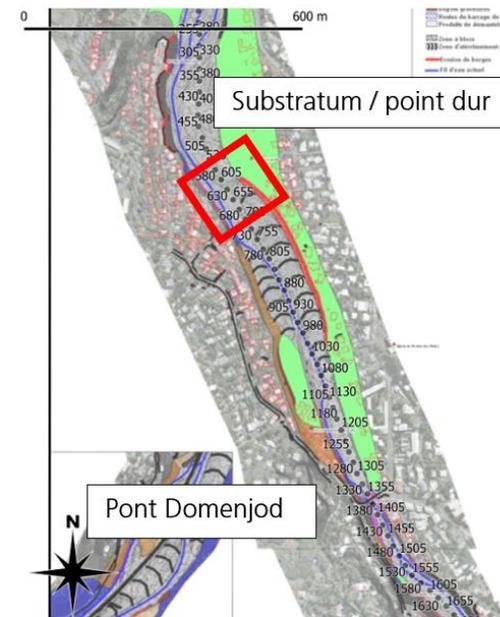


Photo n°5 – ALTERATION "EN BOULES" DU SUBSTRATUM SUR LE COURS A



Photo n°4 – AFFLEUREMENT EN RIVE GAUCHE DES DERNIERES BARRES ROCHUEUSES SUR LE COURS AVAL

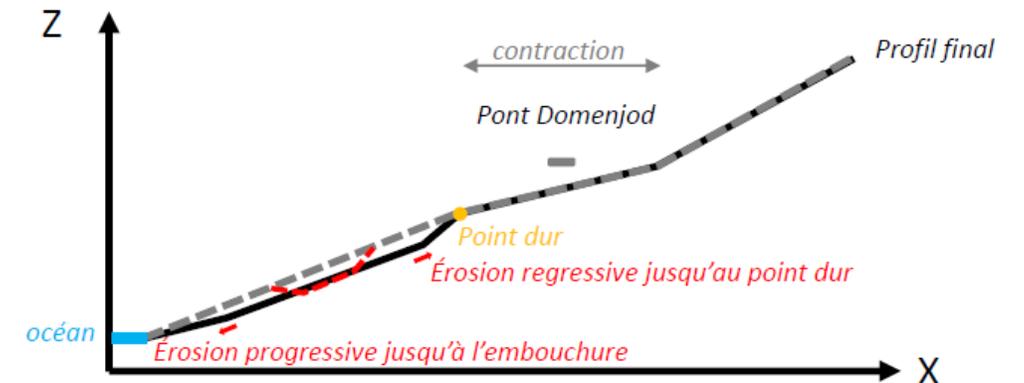
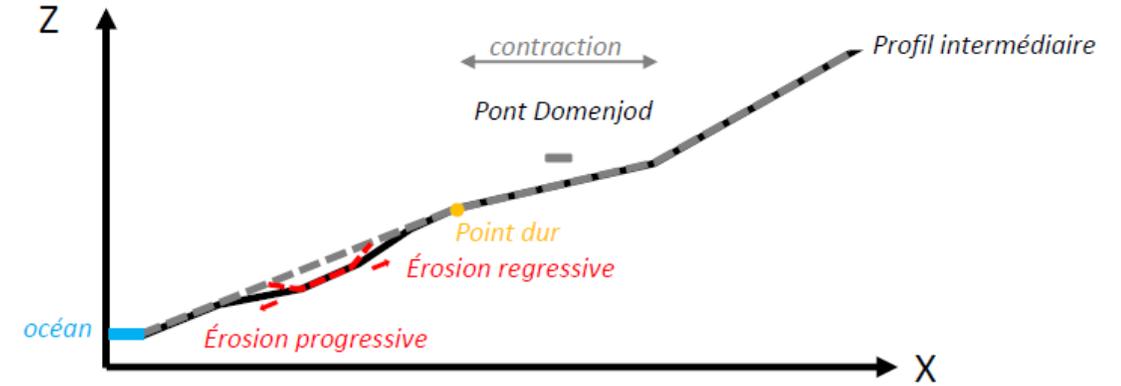
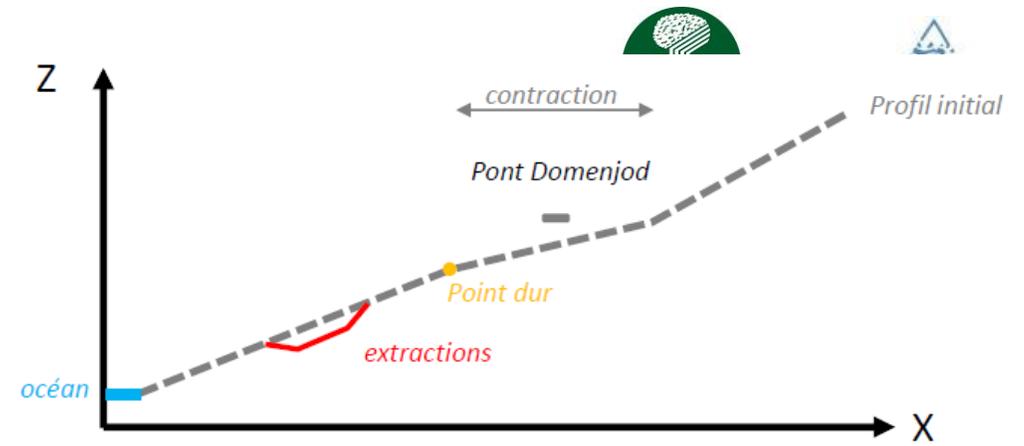
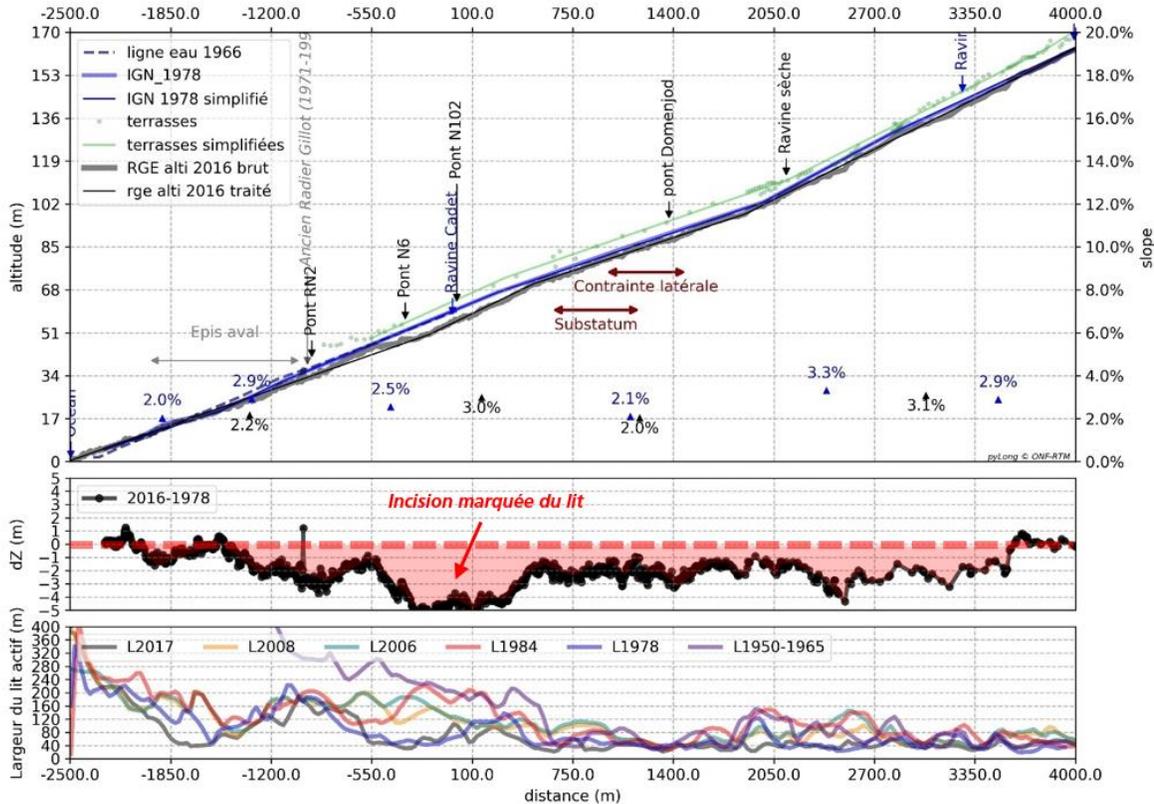
Extrait de l'étude PGRI de 2008



Relevé de la nature des berges identifiant des points durs en aval du pont Domenjod (source : PGRI Artelia 2008). Substratum visible sur les orthophotographies haute résolution de 2018 vers le PM 1000.

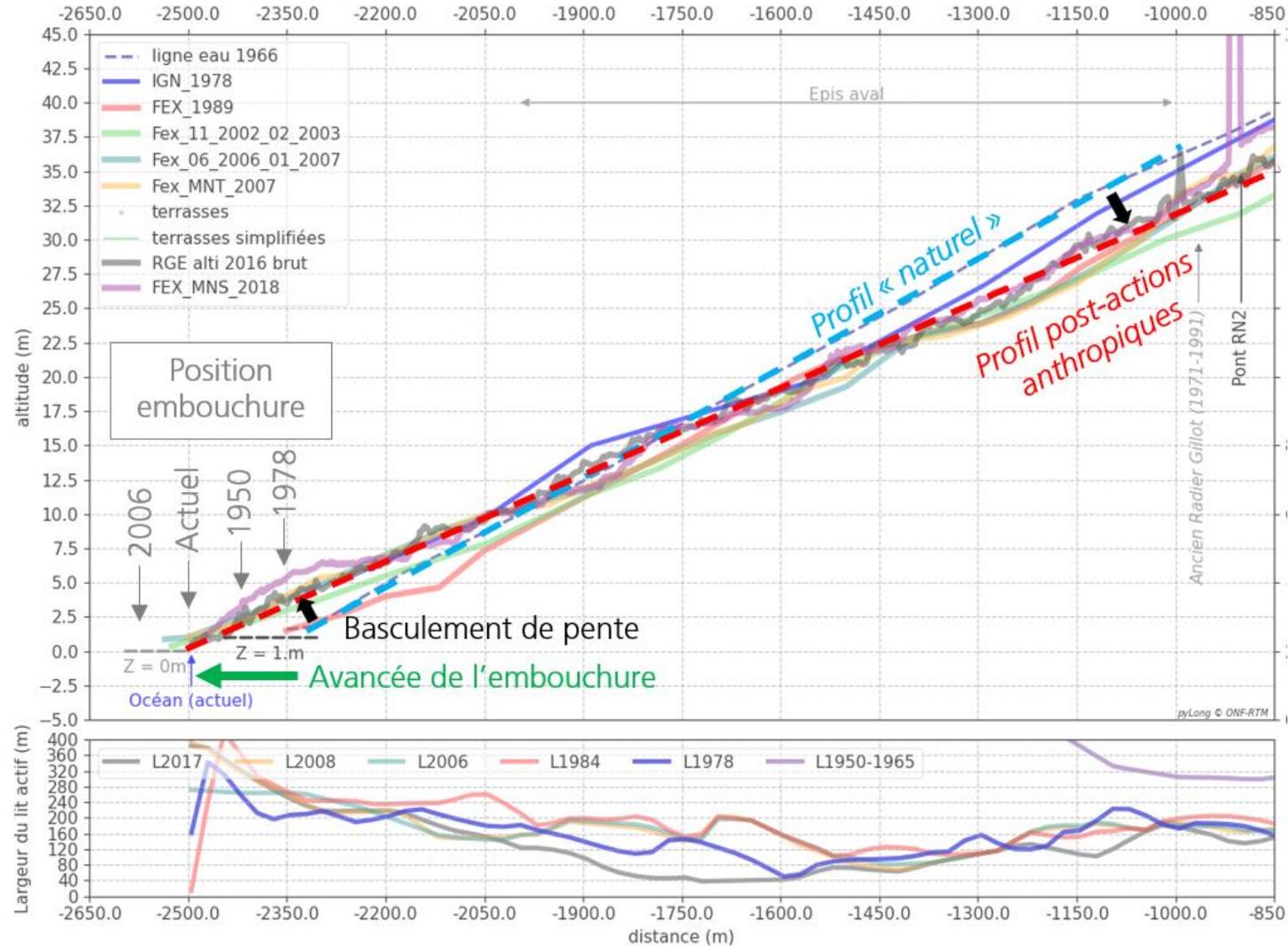
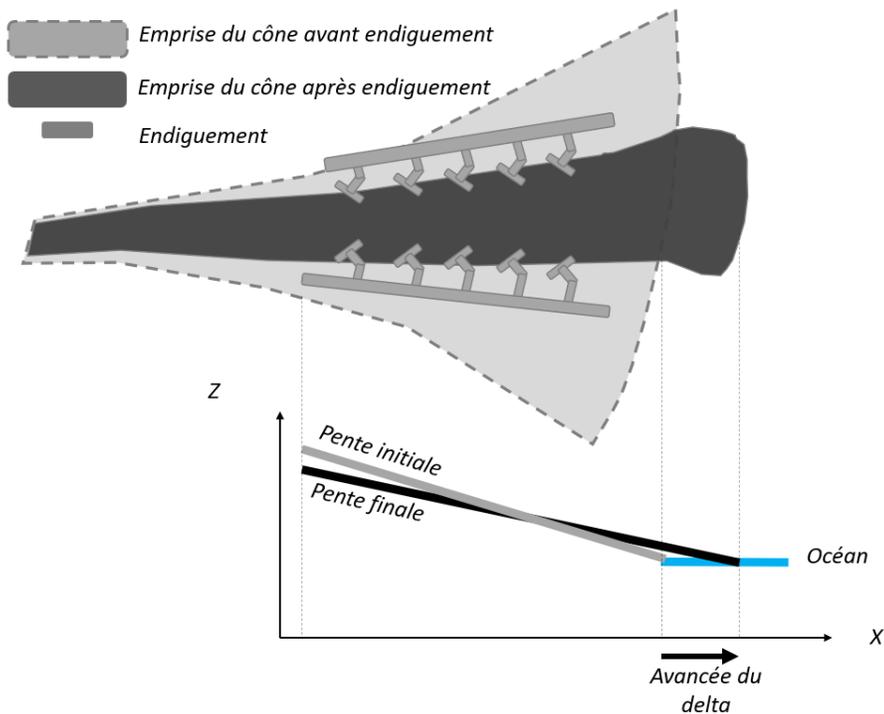
# Analyses du profil en long

Effet des extractions et de l'endiguement, évolution de l'embouchure



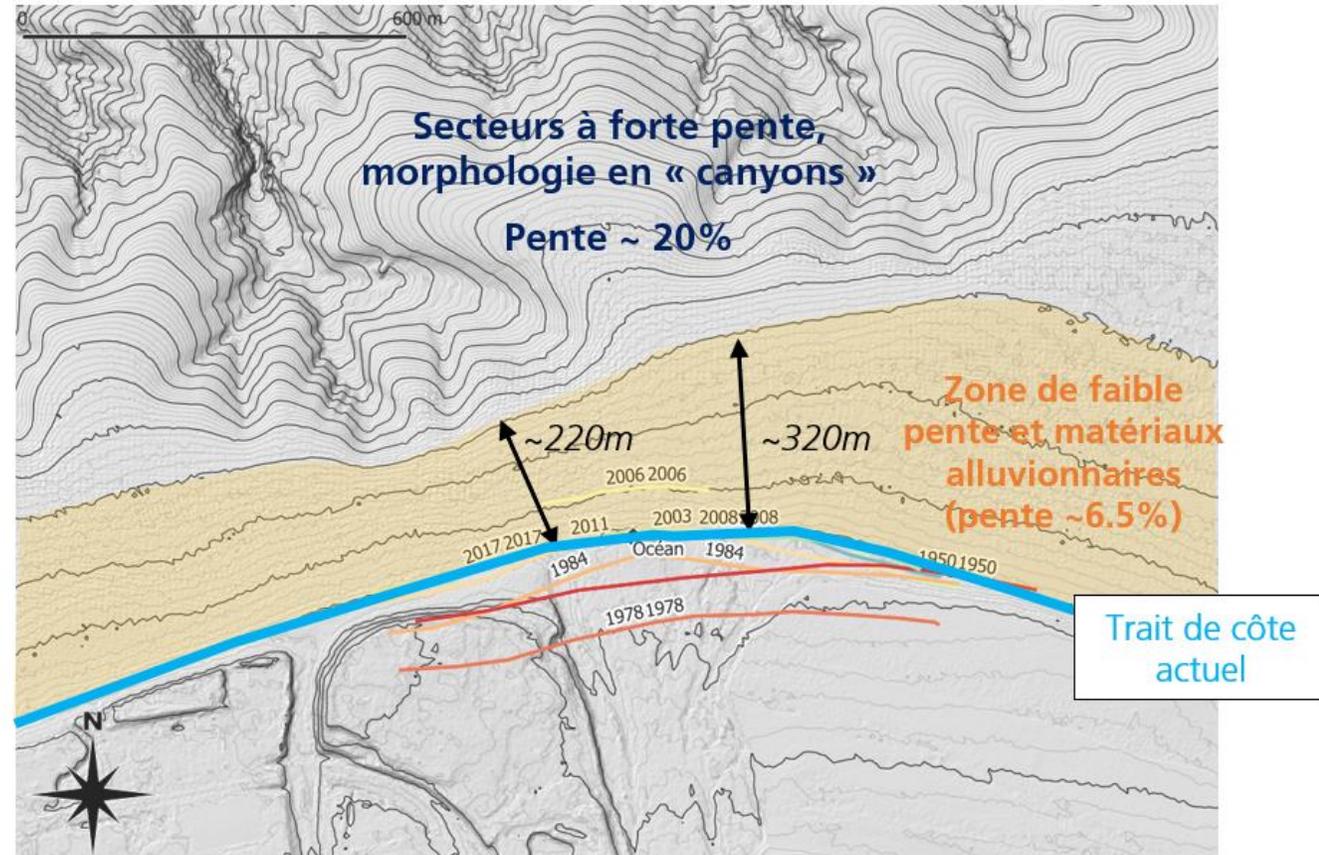
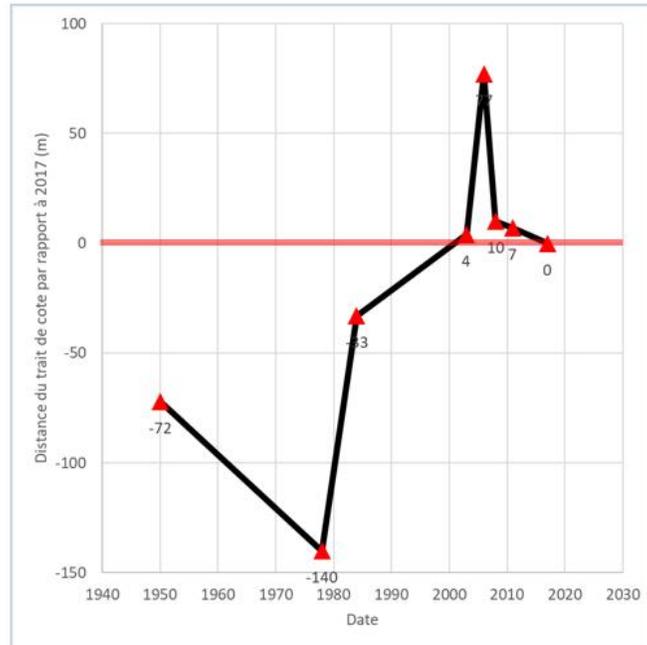
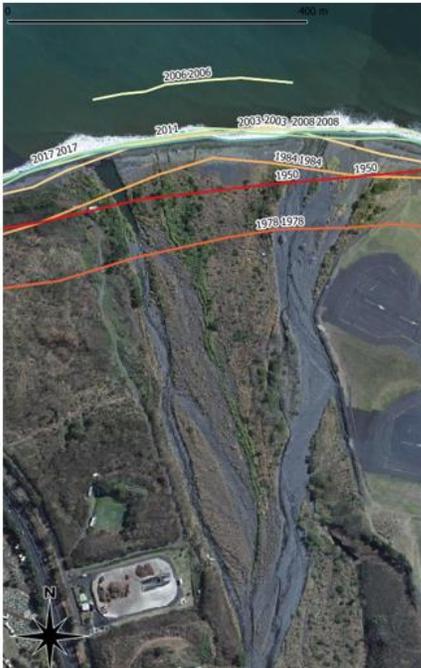
# Analyses du profil en l

Effet des extractions et de l'endiguement, évolution de l'embouchure



# Analyses du profil en long

Effet des extractions et de l'endiguement, évolution de l'embouchure



# Evaluation des conditions d'écoulement

Morphologie multibras, tressage/divagante

-> les modélisations considérant une topographie fixe sont par définition non valides



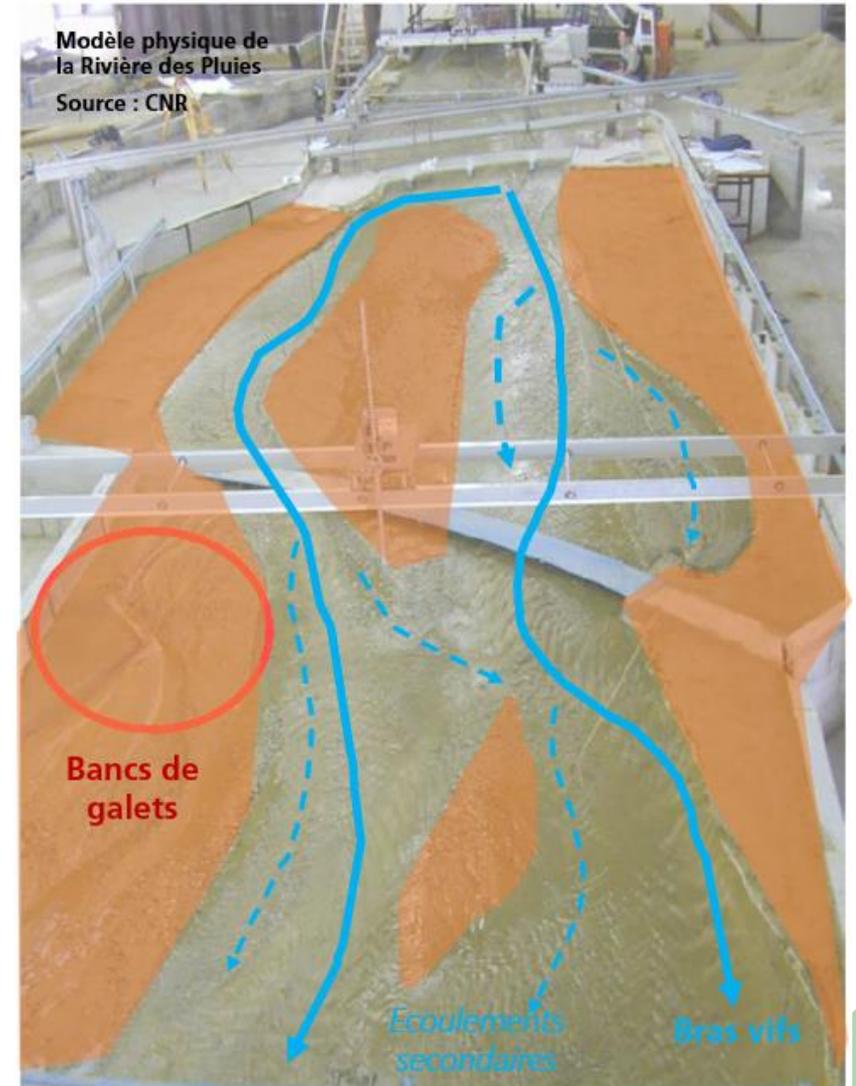
# Evaluation des conditions d'écoulement

## Morphologie multibras, tressage/divagante

Conditions d'écoulement observées lors d'une modélisation physique sur le cours aval menée par CNR/ETRM en 2001.

Les observations qualitatives suivantes sont alors rapportées :

- « *Formation d'un bras vif d'une largeur généralement inférieure à 140 mètres* » ;
- « *Hauteur d'eau modestes (quelques mètres) et très fortes vitesses (jusqu'à 10 m/s)* ;
- « *Formation d'antidunes de très grande ampleur (dépassant localement une hauteur de 7 mètres). Ce système d'antidunes est très variable à la fois dans le temps et dans l'espace. Les niveaux maximums sont atteints par l'eau sur les crêtes d'antidunes. Ce sont aussi ces structures qui conduisent aux affouillements maximums* ».



# Evaluation des conditions d'écoulement

Morphologie multibras, tressage/divagante

-> Approche par évaluation d'une « **enveloppe** » **des niveaux**, intégrant les ordres de grandeurs des principaux processus :

- **Hauteur de l'écoulement « liquide »**
- **Respirations du lit** (fluctuations latérales et fluctuations « court termes)
- **Évolution systématique des fonds**



# Evaluation des conditions d'écoulement

Conditions d'écoulement, hypothèses\* simplificatrices considérées :

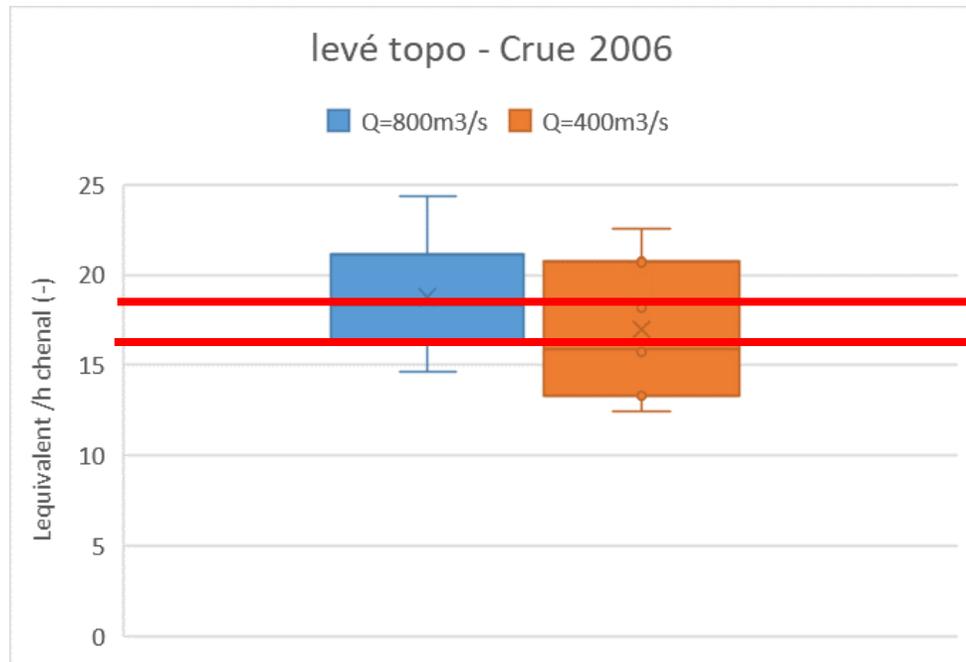
- Écoulements oscillant autour du régime critique (cohérent avec les travaux de Piton et Recking 2019) ;
- Autochenalisation des écoulements dans un bras actif avec un rapport d'aspect entre largeur et hauteur d'écoulement (L/h).

\*À l'heure actuelle il n'existe pas, à notre connaissance, d'outil opérationnel permettant d'évaluer de manière réaliste et détaillée les processus de divagation, autochenalisation, etc. en contexte torrentiel

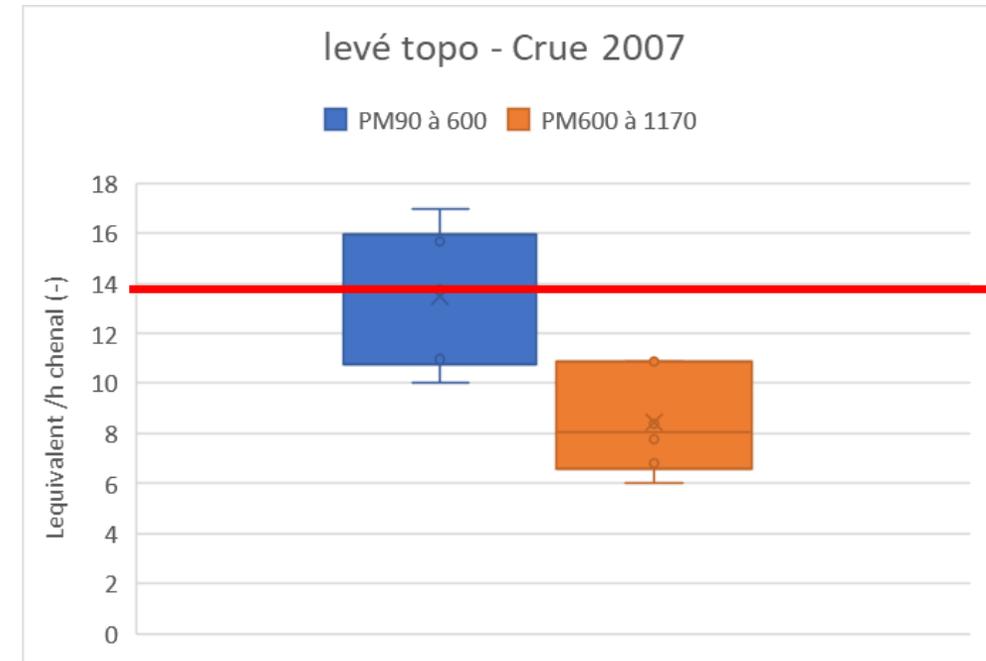


# Evaluation des conditions d'écoulement

Evaluation du rapport d'aspect  $L/h$  équivalent lors de crues passées :  
-> Utilisation des données topographiques post-crue et des débits de pointes estimatifs pour recalculer le rapport d'aspect  $L/h$  pour le chenal actif (crue de 2006 et 2007) :



Le levé topo de juillet 2006, les crues ont été en février et Mars, avec une plus forte crue en février. Sept sections exploitées (amont N102 – aval contraction Domenjod).

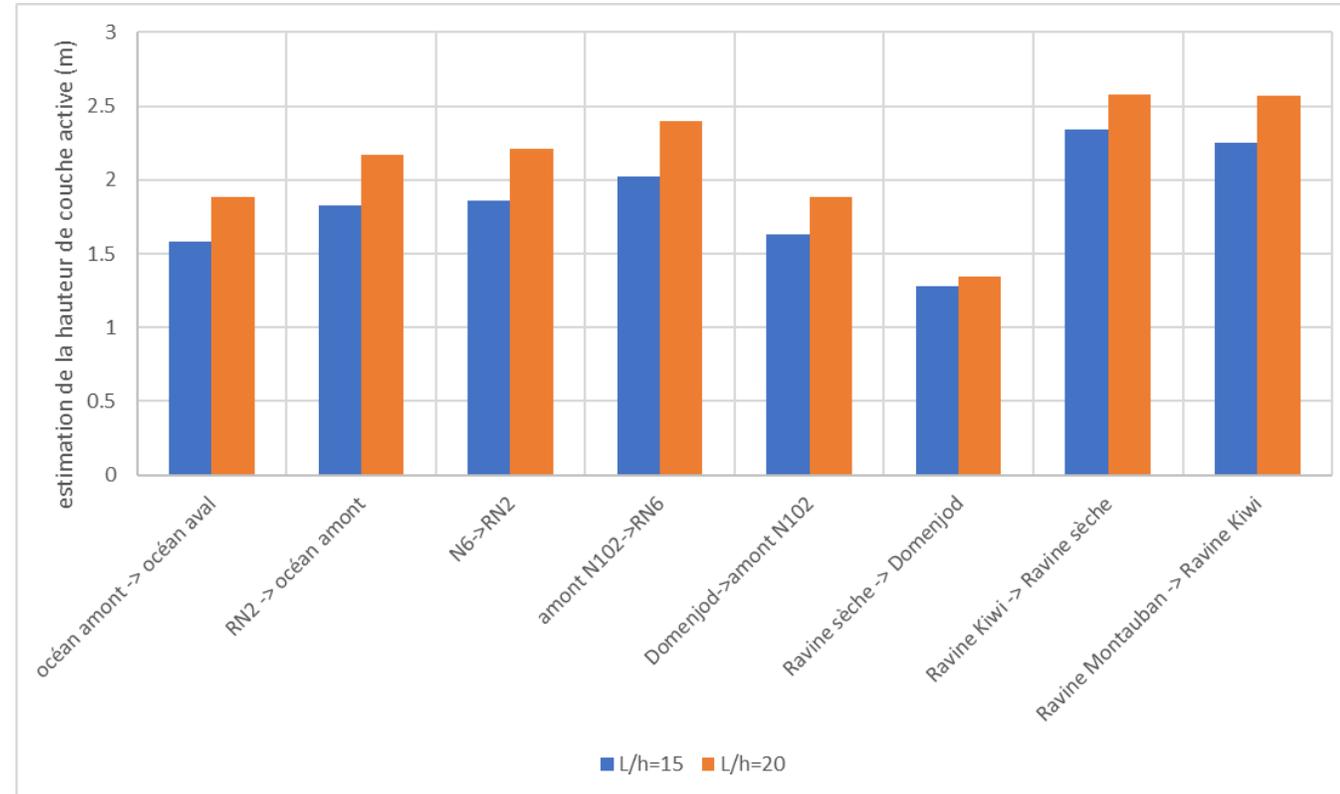


Gamède 2007, Douze sections utilisées, une différentiation est faite entre le tronçon aval non contraint (PM90 à 600) et le tronçon amont contraint latéralement (PM600 à 1170).

# Evaluation des conditions d'écoulement

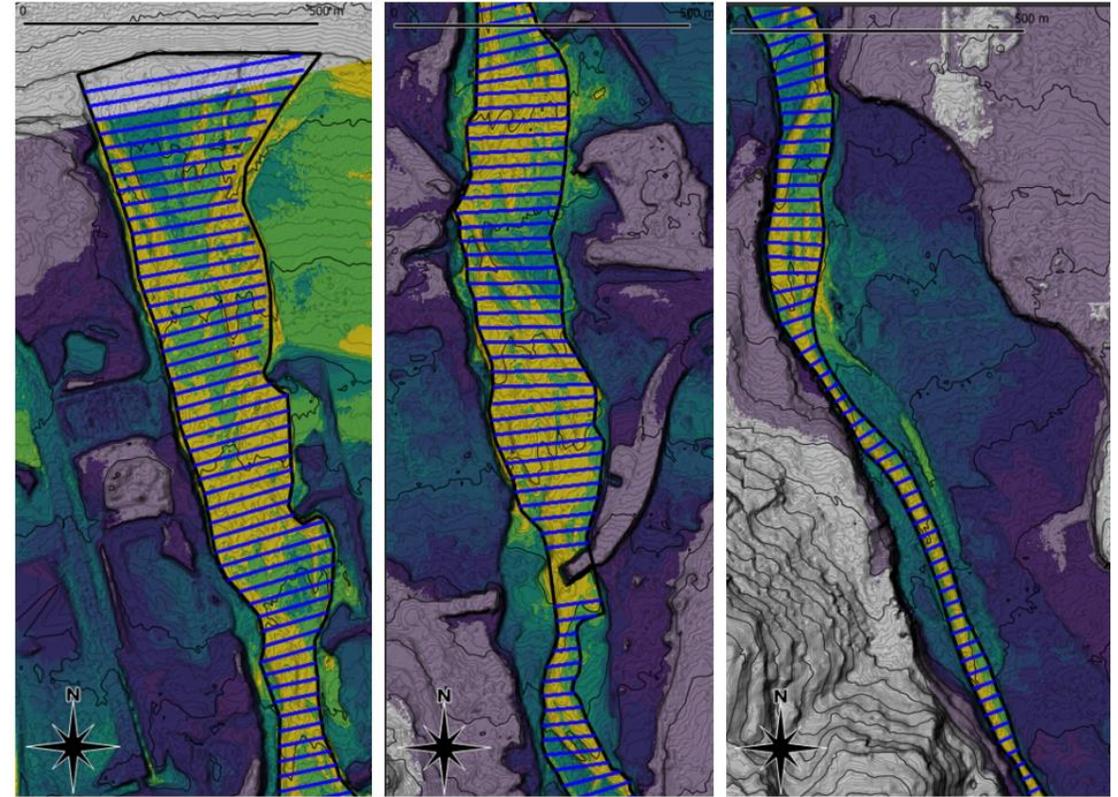
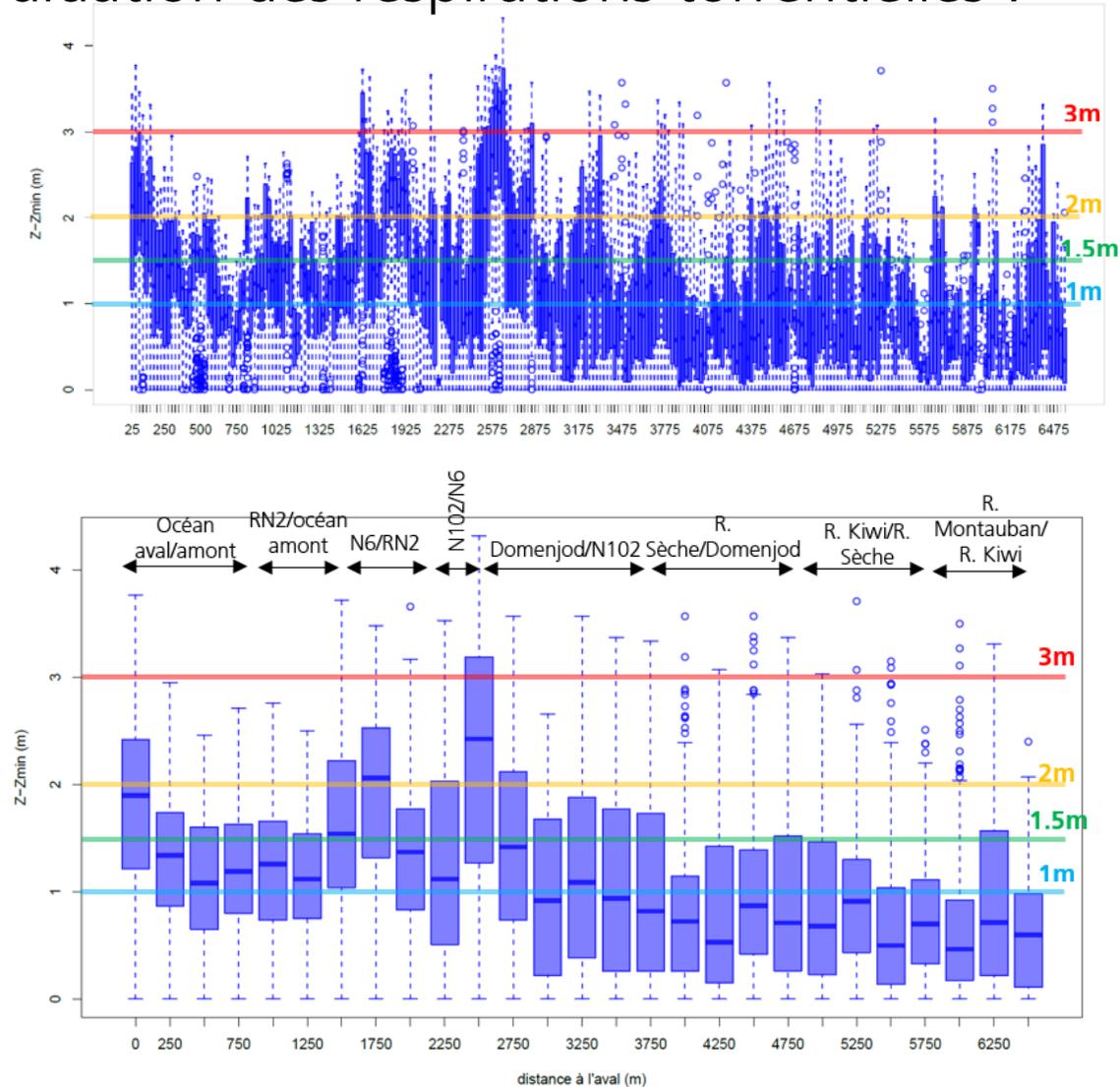
Evaluation des respirations torrentielles :

- ➔ Évaluation « exploratoire » des fluctuations instantanées liées aux bouffées de charriage et fluctuations du fond du lit via les travaux récents de Recking et al. (2022)
- ➔ Relation liant épaisseur de couche active, pente moyenne et largeur active (basée sur expérience de canaux et terrain) et asymptote de transport + hypothèse de rapport d'aspect



# Evaluation des conditions d'écoulement

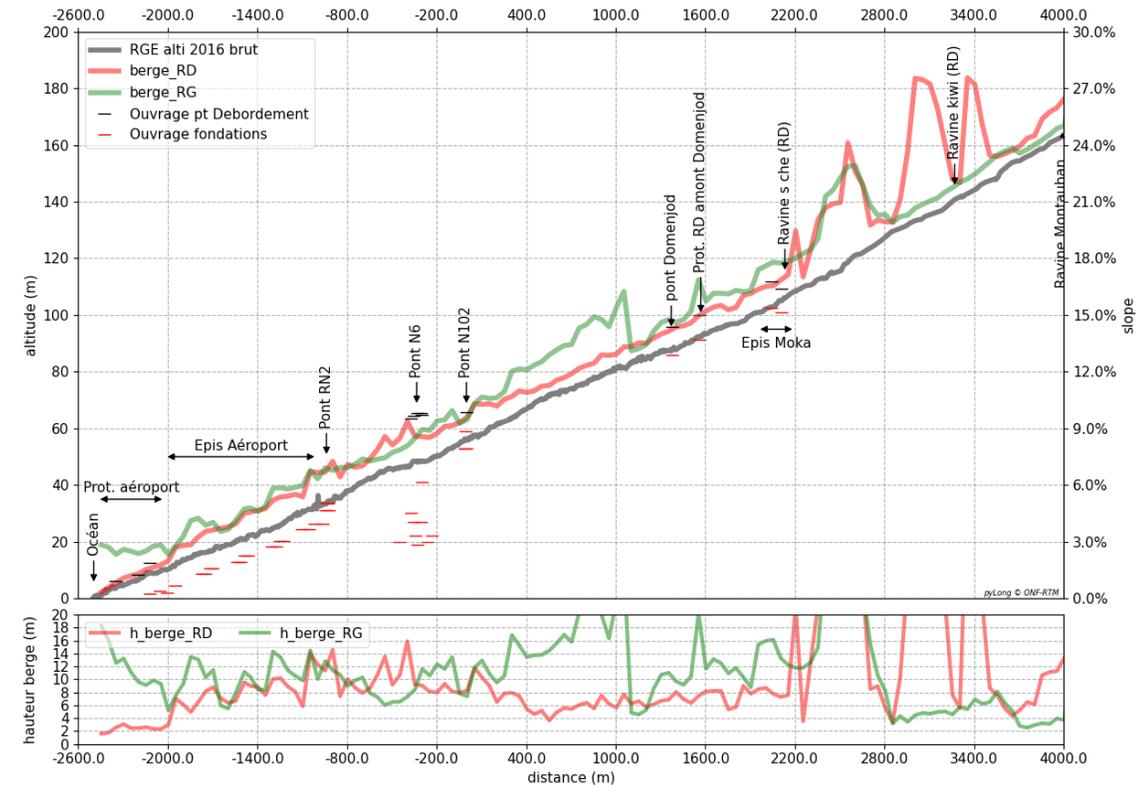
## Evaluation des respirations torrentielles :



# Proposition de profils « objectifs »

Un fond maximum acceptable est recherché. Celui-ci résulte d'un compromis entre :

- Réduire la probabilité des débordements ;
- Limiter l'enfoncement du lit par rapport à l'état actuel ;
- Conserver des pentes correspondant à un profil en long proche d'un certain « équilibre » ;
- Éviter de découvrir les fondations des ouvrages de protection ;
- Permettre des fluctuations du profil en long et éviter un entretien trop fréquent du lit, c'est-à-dire définir une différence altimétrique suffisante entre profils en long objectifs maximal et minimal.



# Proposition de profils « objectifs »

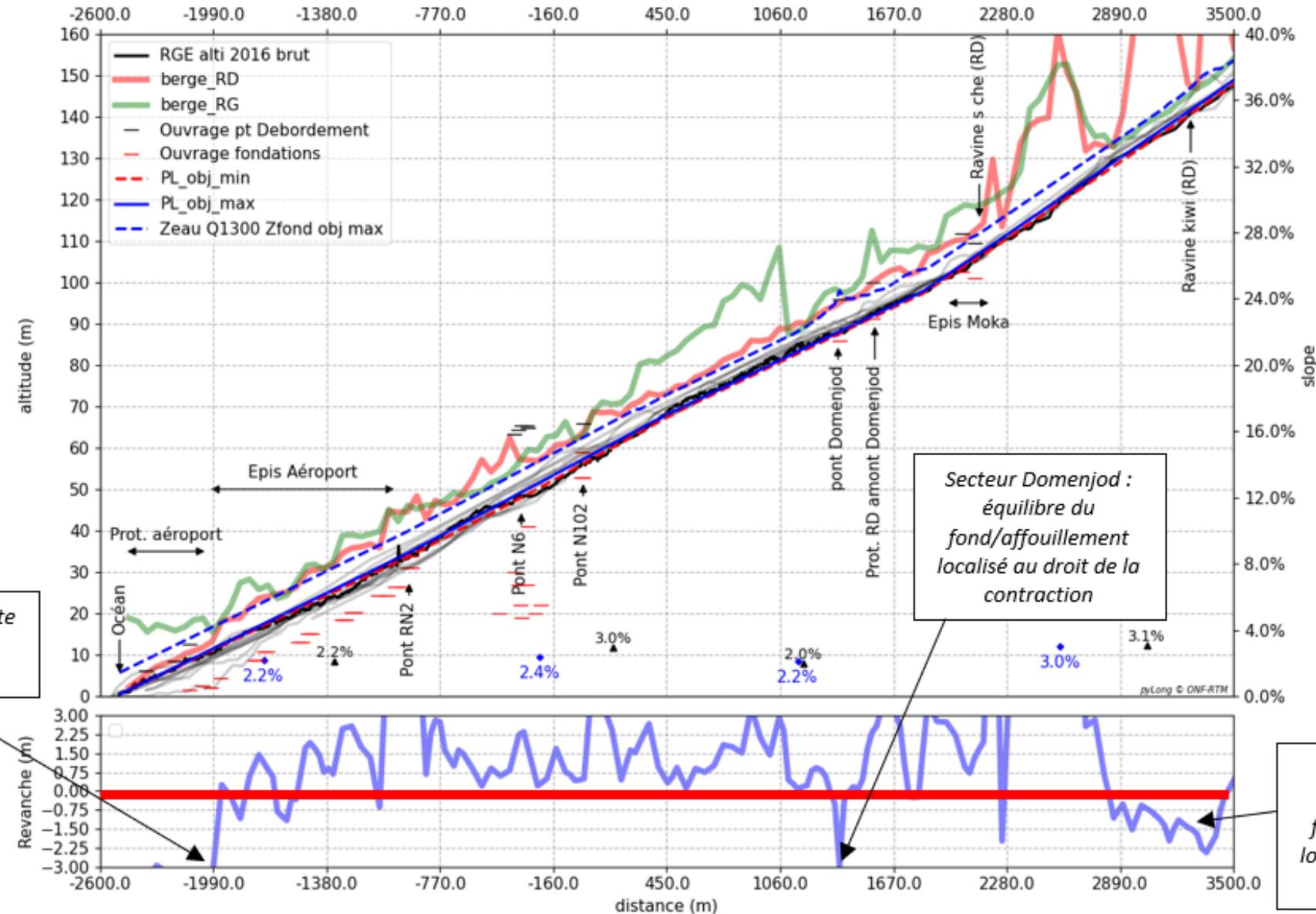
Pour cela, les hypothèses suivantes ont été considérées :

- Débit de pointe considéré de 1300 m<sup>3</sup>/s ;
- Respirations du lit de l'ordre de 1.5m sur le cours aval (tronçon aval Domenjod -> océan) et de 1m en amont (Ravine Montauban-> Domenjod) ;
- Rapport d'aspect  $L_{\text{équivalent}}/h$  de l'ordre de 15 et hypothèse d'un écoulement oscillant autour du régime critique ;
- Topographie des berges correspondant aux données RGE ALTI® de 2016 (levé en 2012).

**!/ \ Cette analyse présente des incertitudes élevées, une gestion des aléas torrentiels via la gestion du niveau du lit n'est jamais infaillible. Des adaptations au fil des événements et/ou des connaissances sur le fonctionnement du cours d'eau sont à envisager. Aussi, l'atteinte des enjeux sur la Rivière des Pluies peut avoir lieu par érosions latérales/divagations/érosion de berge, sans débordement du cours d'eau. Notons enfin, que le niveau du profil objectif retenu est conditionné par le scénario pour lequel une protection est recherchée, choix relevant des gestionnaires du risque.**



# Proposition de profils « objectifs »



Revanche RD piste aéroport très faible

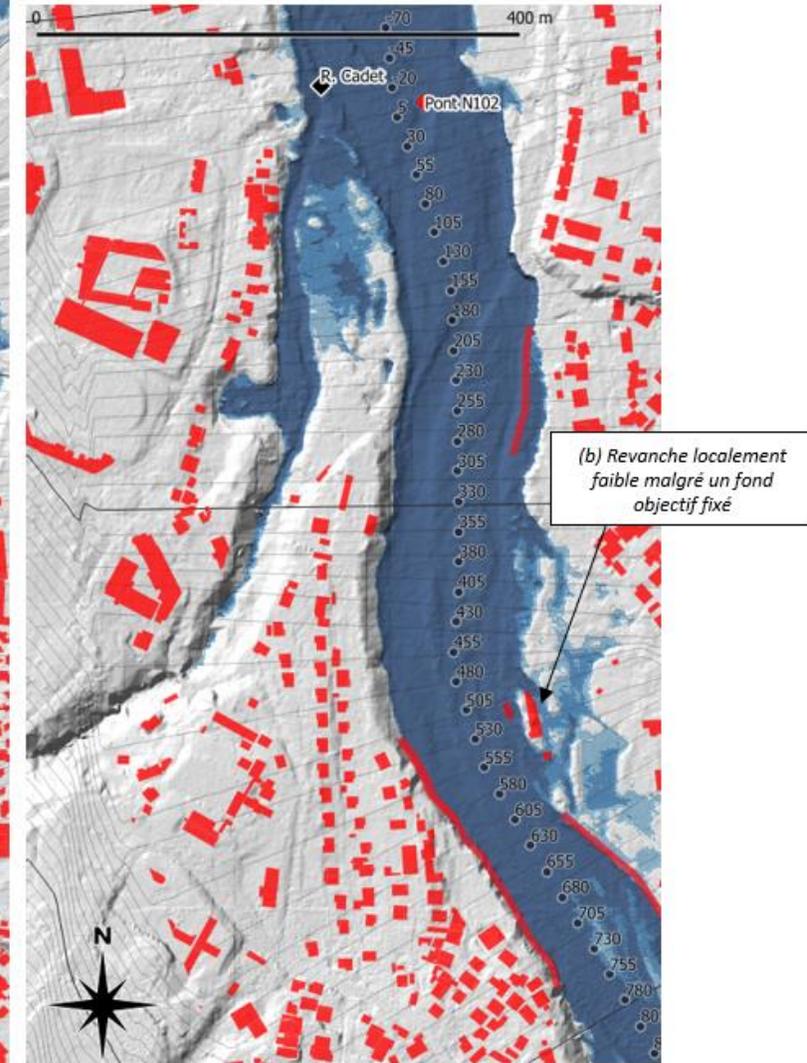
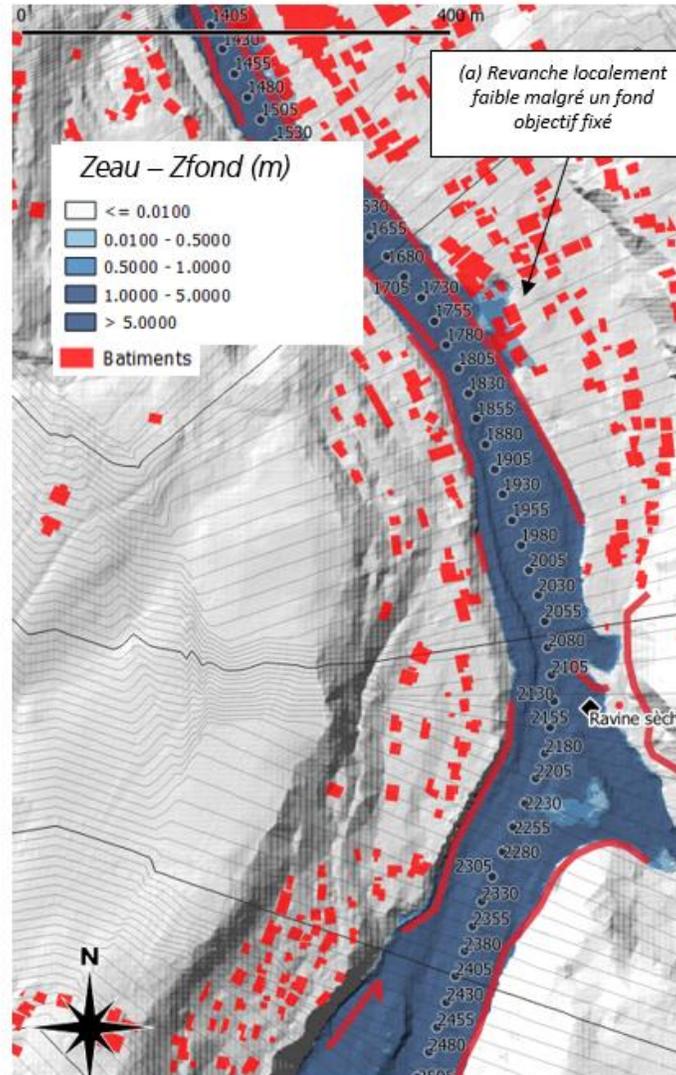
Secteur Domenjod : équilibre du fond/affouillement localisé au droit de la contraction

Îlet Quinquina : équilibre du fond/affouillement localisé au droit de la contraction

pyLong © ONF-RTM

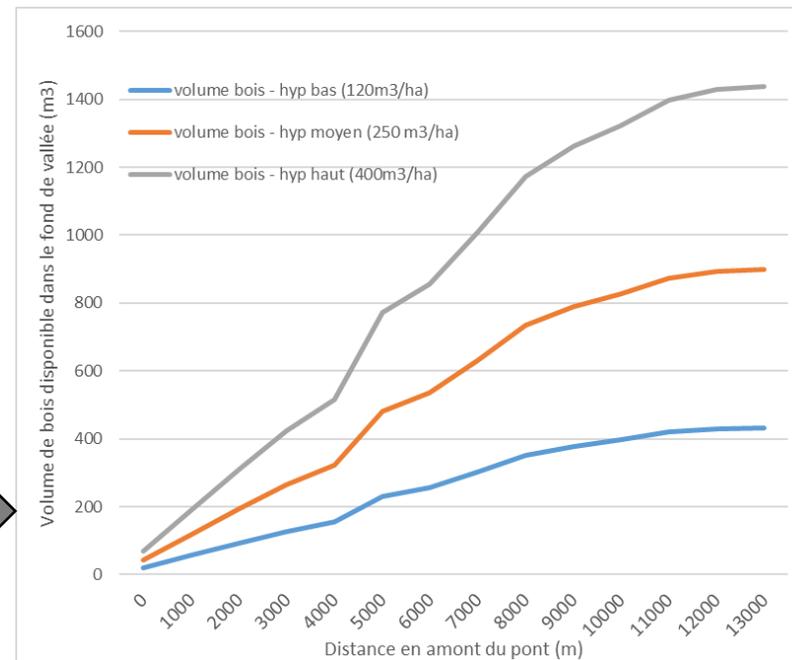
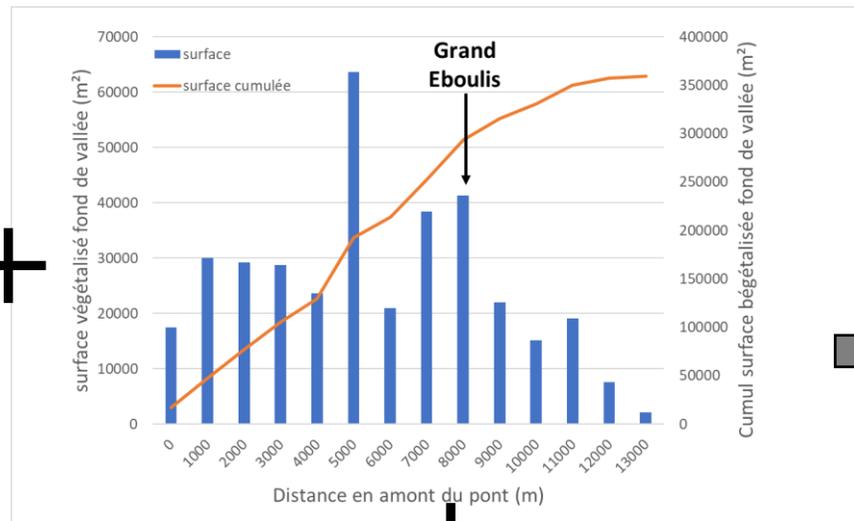
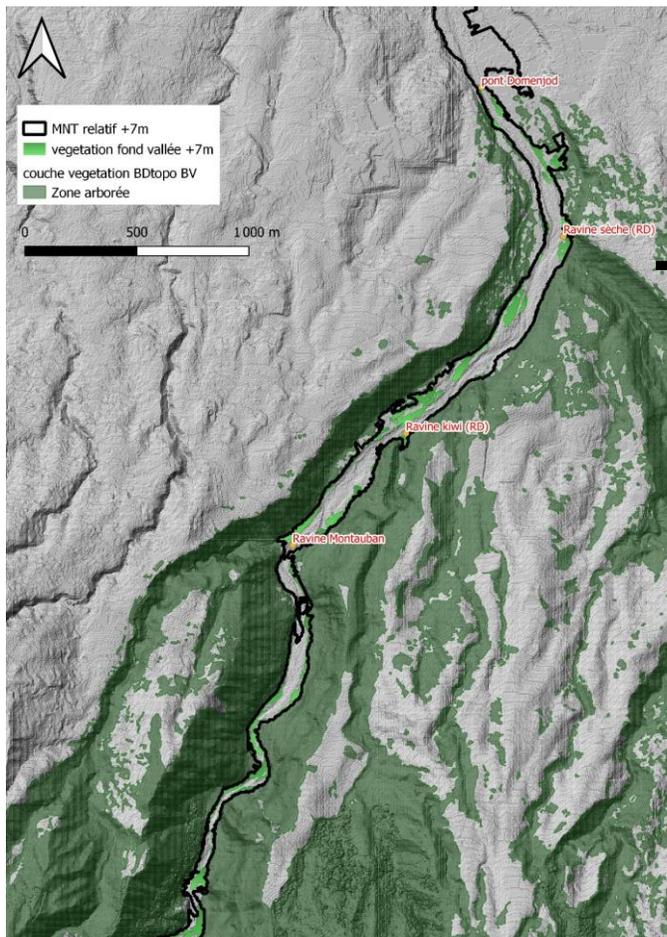
# Proposition de profils « objectifs »

enveloppe des niveaux atteints pour le fond max par les écoulements par rapport à l'altitude des terrains est analysée en plan



# Etude sommaire du potentiel de formation d'embâcle au droit du pont Domenjod

## Évaluation du potentiel de fourniture en flottants par le bassin



Type de source	Crue fréquente (T±30 ans)	Crue moyenne (T±100 ans)	Crue rare (T±300 ans)
Bois mort en rivière	0.1	0.3	0.7
Erosion latérale	0.05	0.1	0.2
Glissement de terrain	0.01	0.05	0.1
Lave torrentielle	0.05	0.1	0.3

**Tronçon de 3km : 100 à 500 m³**

**Amont immédiat : 50 à 200 m³**

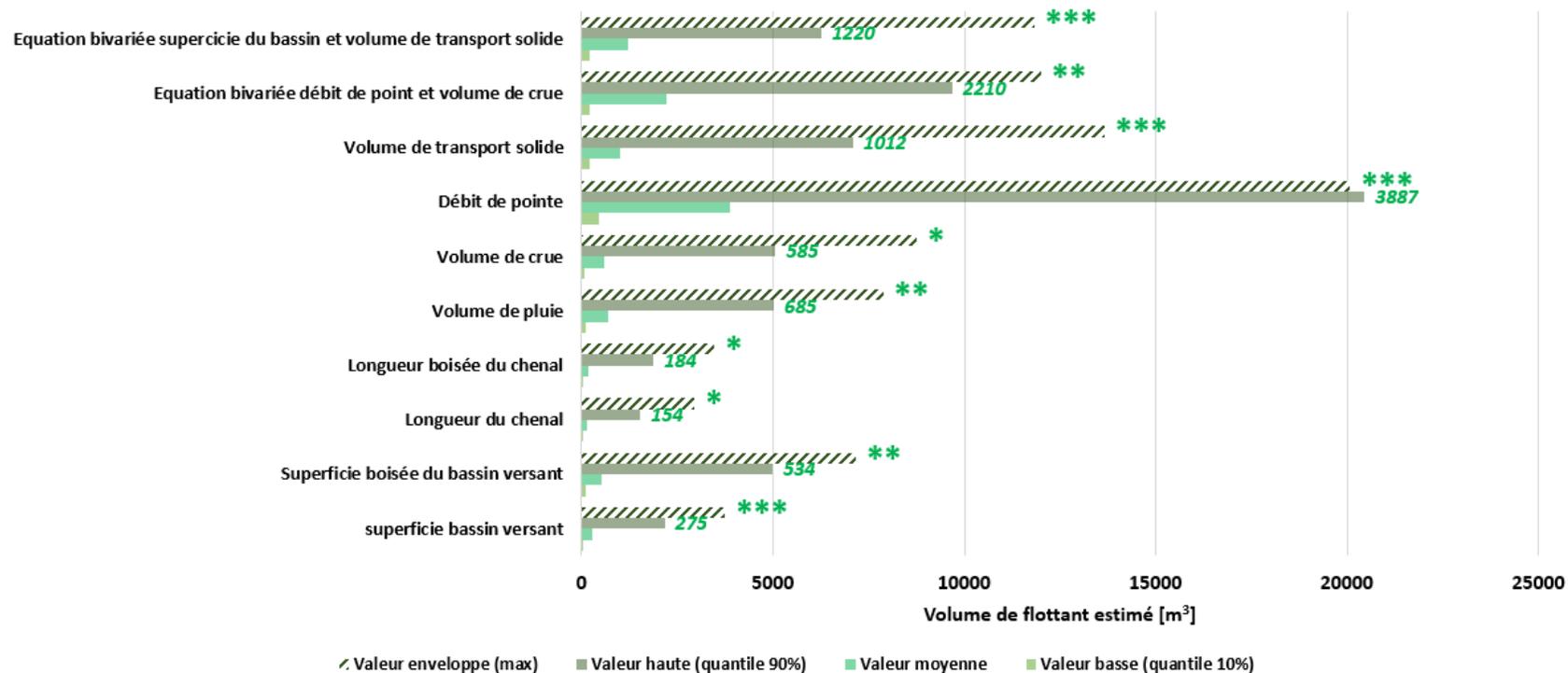
Guide de diagnostic et de recommandations sur les flottants  
 INRAE 2022 tiré du Guide Suisse de l'OFEV 2019



# Etude sommaire du potentiel de formation d'embâcle au droit du pont Domenjod

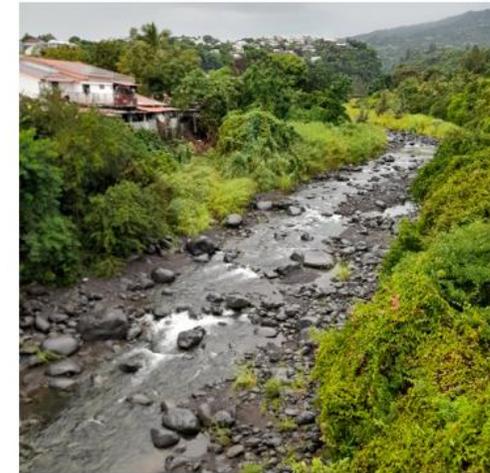
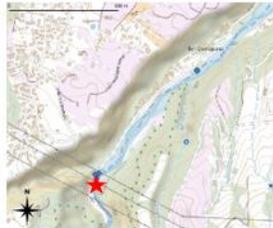
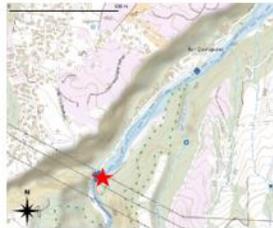
Évaluation du potentiel de fourniture en flottants par le bassin

Estimation du volume de flottant - approches empiriques simples (OFEV 2019)



# Etude sommaire du potentiel de formation d'embâcle au droit du pont Domenjod

Évaluation du potentiel de fourniture en flottants par le bassin



# Etude sommaire du potentiel de formation d'embâcle au droit du pont Domenjod

Évaluation du potentiel de fourniture en flottants par le bassin

On observe la présence de quelques filaos de **taille modeste (environ 15 – 20m de haut et 0.2 à 0.3 m de diamètre pour les plus grand éléments)** dans le lit actif et des arbres plus grands en berge.

On retient :

- Longueur sur pied maximale de visu in-situ de l'ordre de **15m**, et considérant un facteur de réduction des percentiles 90% de l'ordre de 0.36 à 0.52 (Guide sur les flottants INRAE 2022) -> **longueur du percentile 90% transporté ~5.4 à 7.8 m ;**
- Longueur sur pied maximale de visu in-situ de l'ordre de **20m**, et considérant un facteur de réduction des percentiles 90% de l'ordre de 0.36 à 0.52 (Guide sur les flottants INRAE 2022) -> **longueur du percentile 90% transporté ~7.2 à 10.4 m.**

# Etude sommaire du potentiel de formation d'embâcle au droit du pont Domenjod

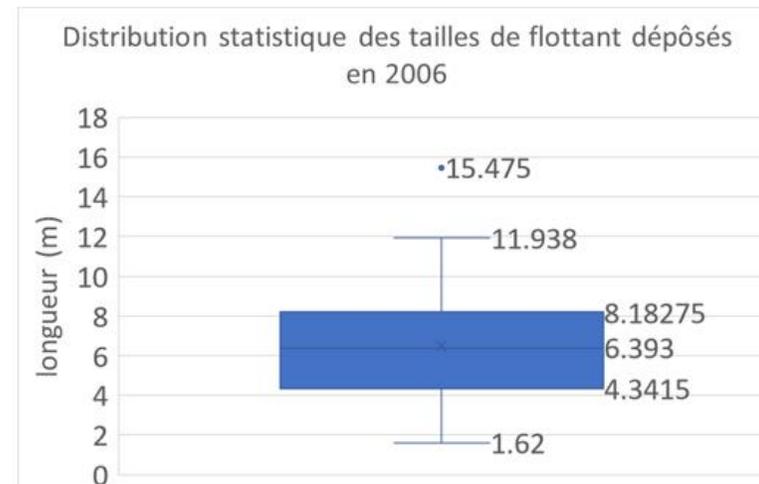
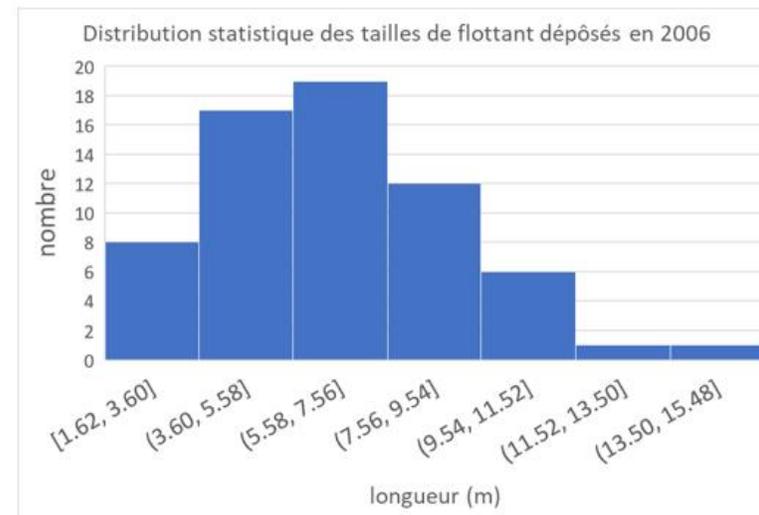
## Analyse historique, crue de 2006

On retient de cette analyse :

- Longueur médiane des flottants déposés : 6.3m ;
- Longueur du quantile 75% des flottants déposés : 8.1m ;
- Longueur du quantile 90% des flottants déposés : 9.7m ;
- Longueur maximum des flottants déposés : 15.5 m.

Ces valeurs sont également cohérentes avec une observation récente post-cyclone Belal avec une taille maximale de flottant déposé de l'ordre de 20m et de 0.3m de diamètre (Mail DEAL du 29/01/2024).

0 30 m



**volume déposé entre 30 et 80m<sup>3</sup> (minorant du volume transporté)**

# Etude sommaire du potentiel de formation d'embâcle au droit du pont Domenjod

Probabilité d'arrêt des flottants : historique

Le pont de Domenjod est relativement ancien (>>100ans) et a vu passer de nombreuses crues d'ampleur sans que celui-ci soit obstrué de manière importante

Néanmoins, arrêt ponctuel de quelques pièces lors des crues récentes



Photo n°48 – GAMEDE – PONT DE DOMENJOD (27/02/07 A 10H11 – SOGREAH)



Photo n°45 – CRUE DE FEVRIER 2006 – PONT DE DOMENJOD – LAISSE DE CRUE

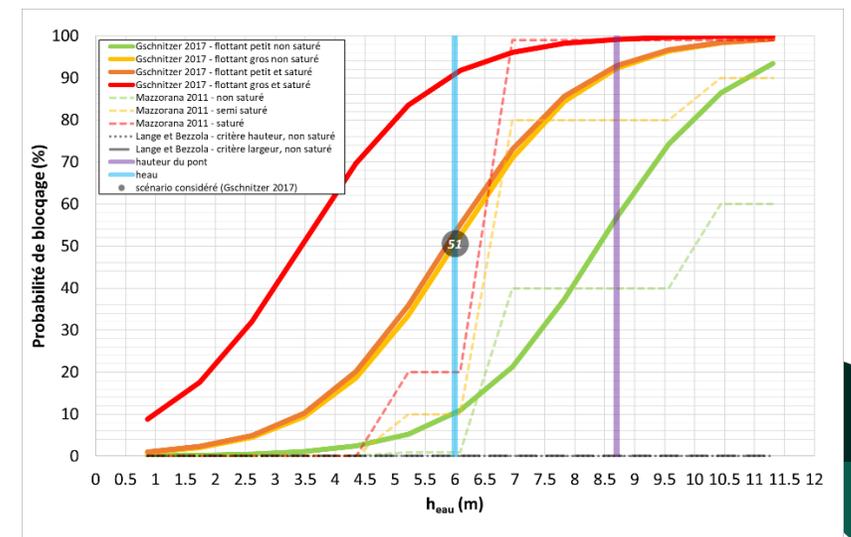
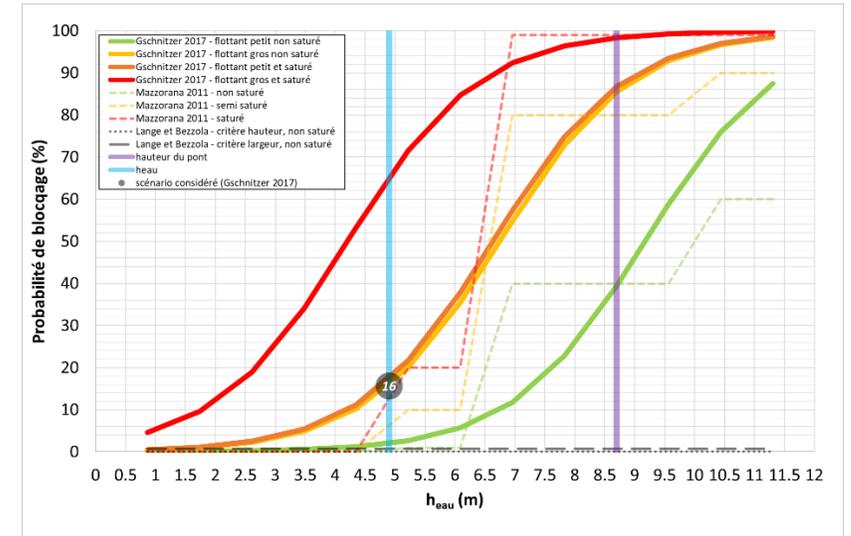
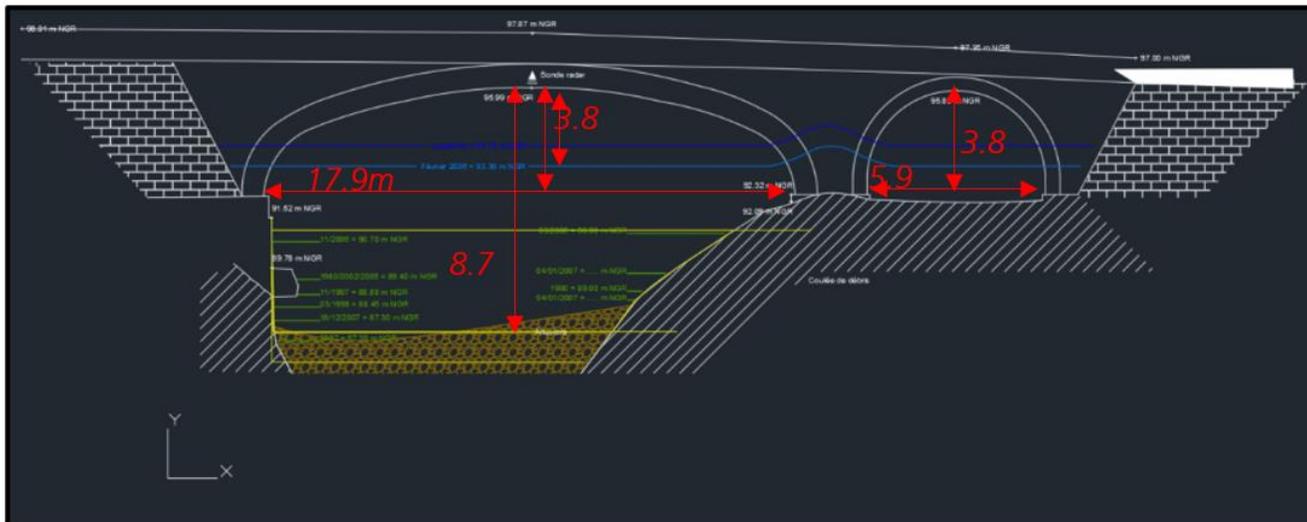


Photo n°46 – DIWA – PONT DE DOMENJOD (6 MARS 2006, HEURE NON CONNUE – DDE)

# Etude sommaire du potentiel de formation d'embâcle au droit du pont Domenjod

Probabilité d'arrêt des flottants : approche calculatoire empirique

Application de trois travaux scientifiques sur la probabilité d'arrêt de flottants



# Etude sommaire du potentiel de formation d'embâcle au droit du pont Domenjod

Probabilité d'arrêt des flottants : approche calculatoire empirique pour plusieurs scénarios

Longueur flottant (m)	Diamètre min/max (m)	Géométrie flottant	Régime de transport de flottant	Configuration de l'écoulement	Présence de pile ?	Largeur du pont (m)	Proba. Gschnitzer et al. (2017)	Proba. Mazzorana et al. (2011)	Proba. Lang et Bezzola (2006) – critère largeur	Proba. Lang et Bezzola (2006) – critère hauteur
10	0.2/0.5	Troncs avec des branches	Non saturé	Revanche 3.8m, pas de mise en eau de l'arche RD	Non	18	16%	0%	1%	0%
<b>15</b>	0.2/0.5	Troncs avec des branches	Non saturé	Revanche 3.8m, pas de mise en eau de l'arche RD	Non	18	29%	0%	4%	0%
10	0.2/0.5	Troncs avec des branches	Non saturé	Revanche 2.7m, mise en eau de l'arche RD	Oui	25.8	51%	1%	0%	0%
<b>15</b>	0.2/0.5	Troncs avec des branches	Non saturé	Revanche 2.7m, mise en eau de l'arche RD	Oui	25.8	64%	1%	1%	0%
10	0.2/0.5	Troncs avec des branches	Non saturé	Revanche 1.3m, mise en eau de l'arche RD	Oui	22.1	81%	40%	0%	0%
<b>15</b>	0.2/0.5	Troncs avec des branches	Non saturé	Revanche 1.3m, mise en eau de l'arche RD	Oui	22.1	89%	40%	2%	0%

# Etude sommaire du potentiel de formation d'embâcle au droit du pont Domenjod

## Probabilité d'arrêt des flottants : réduction de section effective

Les travaux de Gschnitzer et al. (2017) donnent un ordre de grandeur de la réduction de section équivalente en cas de blocage de flottant :

- Petites accumulations (8 à 16 pièces, soit 50 à 100m<sup>3</sup>, le double avec de petits flottants) :
  - o Obstruction de 10 à 20% si pas de petits flottants ;
  - o Obstruction de 36 à 49% si présence de petits flottants.
- Plus grosses accumulations (32 à 64 pièces, soit 200 à 400m<sup>3</sup>, le double avec petits flottants) :
  - o Obstruction de 20 à 40% si pas de petit flottants ;
  - o Obstruction de 42 à 57% si présence de petits flottants.

!/ \ résultats obtenus sans prise en compte du transport solide : affouillement probable sous le pont en cas de blocage ?? Les incertitudes persistent

# Etude sommaire du potentiel de formation d'embâcle au droit du pont Domenjod

## Synthèse

On retient :

- Que la production de flottants sur la Rivière des Pluies est plutôt faible mais non nulle ;
- Que la probabilité de blocage de flottants semble faible pour des écoulements ne mettant pas en eau l'arche rive droite ;
- Que cette probabilité pourrait être plus élevée lorsque les deux arches sont en eau et que la revanche sous le pont devient faible ;
- Qu'en cas de blocage, l'ensemble de la section n'est pas obstrué et qu'une interaction complexe avec le fond mobile pourrait être favorable (surcreusement supplémentaire du fond) ;
- Qu'une évaluation plus précise passe par une étude sur modèle physique (hydraulique/transport solide/flottants) de l'ouvrage et du secteur.



**Merci pour votre attention**

