	Rédacteur : Stéphane PETIT
	Date : mercredi 28 novembre 2018
Etude 201805-006	48 pages sans annexes

# Etude morphologique sur le Bedat en Limagne

## Analyse diachronique 1958/2018

**Résumé :** Cette étude s'appuie sur une analyse diachronique dont l'objectif est d'évaluer l'impact des travaux d'aménagement de 1970 sur le fonctionnement du Bedat. Ces travaux ont eu pour effet de cloisonner de façon permanente le lit mineur. Les analyses attestent d'un phénomène d'encaissement et d'élargissement du lit qui se poursuit depuis les travaux d'aménagement. 48 ans après les travaux d'aménagement, le Bedat cherche encore à atteindre un nouvel état d'équilibre et à se réadapter à la configuration post-travaux. Dans un contexte de fourniture sédimentaire très faible, le Bedat est incapable de compenser les désordres provoqués par ces travaux. Bien que localement l'incision du lit soit ralentie par la présence du substratum marneux mais aussi par des apports sédimentaires provenant de l'érosion des berges et venant reconstituer, sur la partie aval du tronçon, un plancher sédimentaire. Dans l'avenir, ces désordres devraient se poursuivre (anses d'érosion, déstabilisation de la végétation, etc.).



# SOMMAIRE

1.	Introduction générale.....	4
1.1.	Problématique.....	4
1.2.	Travaux réalisés.....	4
1.3.	Objectifs de l'étude.....	4
1.4.	Secteur d'étude.....	5
1.5.	Méthodes d'investigations.....	5
2.	Quelques éléments de dynamique fluviale.....	7
2.1.	Dynamique fluviale.....	7
2.2.	Les enjeux liés à l'impact de la chenalisation des cours d'eau.....	9
3.	Présentation du secteur d'étude.....	11
3.1.	Bassin versant.....	11
3.2.	Contexte géologique.....	11
3.3.	Contexte hydrologique.....	12
4.	Méthodologie de l'étude diachronique.....	14
4.1.	Les données historiques.....	14
4.2.	Topographie de 2018.....	16
4.3.	Méthode de l'étude diachronique.....	16
4.4.	Modélisation hydraulique.....	17
5.	Résultats de l'étude diachronique.....	19
5.1.	Clé de lecture des graphiques présentés.....	19
5.2.	Analyse de l'évolution planimétrique du Bedat.....	20
5.3.	Analyse de l'évolution altimétrique du Bedat.....	27
5.4.	Bilan en termes de volumes de sédiments extraits.....	31
5.5.	Analyse des puissances spécifiques.....	31
5.6.	Modélisation hydraulique.....	33
6.	Interprétation des résultats.....	35
6.1.	Période pré projet de rectification / recalibration.....	35
6.2.	Projet de rectification / recalibration.....	36
6.3.	Période post projet de rectification / recalibration.....	37
7.	Conclusion et propositions de gestion / actions.....	41
7.1.	Conclusion.....	41
7.2.	Proposition de gestion / actions.....	41
8.	Références bibliographiques.....	43
9.	Liste des Annexes.....	44

## 1. INTRODUCTION GERERALE

---

### 1.1. Problématique

Clermont Auvergne Métropole est compétente en ce qui concerne la gestion et la restauration écologique des principales rivières de son territoire. L'approche communautaire se veut intégrée et durable. La compétence « rivière » a été prise en 2001 et est entrée en phase pleinement opérationnelle en 2006. L'essentiel des interventions de la Métropole a lieu dans le cadre de contrats « rivière » quinquennaux et bénéficie de subventions essentiellement de l'Agence de l'Eau Loire Bretagne.

Parmi les rivières principales prises en compte par Clermont Auvergne Métropole figure le Bédât. Comme beaucoup de cours d'eau dont le gabarit hydraulique reste modeste (quelques centaines de litres seconde en sortie d'agglomération en débit moyen), celui-ci a été fortement artificialisé lors de sa traversée de la plaine agricole de Limagne. Sur ces linéaires, le cours d'eau a vu son gabarit recalibré et son tracé rectifié dans les années 70.

### 1.2. Travaux réalisés

Sur le Bedat, les travaux de recalibrage ont été réalisés et réceptionnés en décembre 1970 entre Gerzat et le bourg d'Épinet (commune de Saint-Beauzire), soit un tronçon de 5.4 km (Figure 1).

Selon le mémoire explicatif des travaux d'aménagement de la rivière Bedat (Dossier 1993WS, 1970), l'objectif de ces travaux était d'assurer l'écoulement d'un débit de 50 m<sup>3</sup>/s, sur toute la longueur du tronçon. Dans cette perspective, les travaux ont consisté à :

- approfondir le profil en long de manière à obtenir une pente générale variant entre 0.14 et 0.15 %,
- modifier la section afin d'obtenir une largeur au fond de 6 m, avec deux talus à 45° qui lui donnent une largeur en gueule variant entre 11.2 et 14 m.

Au cours de ces travaux, les anciens ouvrages ont été démolis et six nouveaux ponts ont été construits.

L'ensemble du projet est bien documenté et comprend un dossier de plans côtés en NFG Lallemand, avec vues en plan, profils en travers et profil en long. Ce dossier est complété par des données de 1958, moins complètes, issues de l'étude avant-projet concernant l'assainissement de la plaine de Limagne dans le Puy-de-Dôme.

### 1.3. Objectifs de l'étude

Clermont Auvergne Métropole a mandaté le bureau d'études Véodis-3D afin de réaliser, sur la base des données disponibles (Dossier 1993WS, 1970), une étude diachronique dont les objectifs sont doubles :

## 1. Sur le plan du savoir :

- Réaliser une analyse du recalibrage afin de connaître l'impact des grands travaux d'assainissement conduits au cours de la deuxième partie du 20<sup>ème</sup> siècle dans la plaine agricole de Limagne à partir d'un exemple concret,
- Evaluer la durabilité des travaux et leurs conséquences sur le Bedat,

2. Sur le plan opérationnel : connaître la trajectoire d'évolution future (tendance de la dynamique latérale et horizontale du lit, impact sur les activités agricoles, et en particulier sur le chemin agricole bordant le Bedat en rive droite) afin de proposer des actions de gestion.

### 1.4. Secteur d'étude

Les travaux de recalibrage ont porté sur un tronçon de 5.4 km situé entre l'aval du pont de l'A75 et la traversée du bourg d'Epinet. Toutefois, le linéaire investigué dans cette étude diachronique est de 4 km (Figure 1) et ne concerne pas la traversée d'Epinet qui a été entièrement modifiée, vraisemblablement peu de temps après l'opération de recalibrage, sur un linéaire de 1 400 m, avec la mise en place d'un « caniveau » béton.

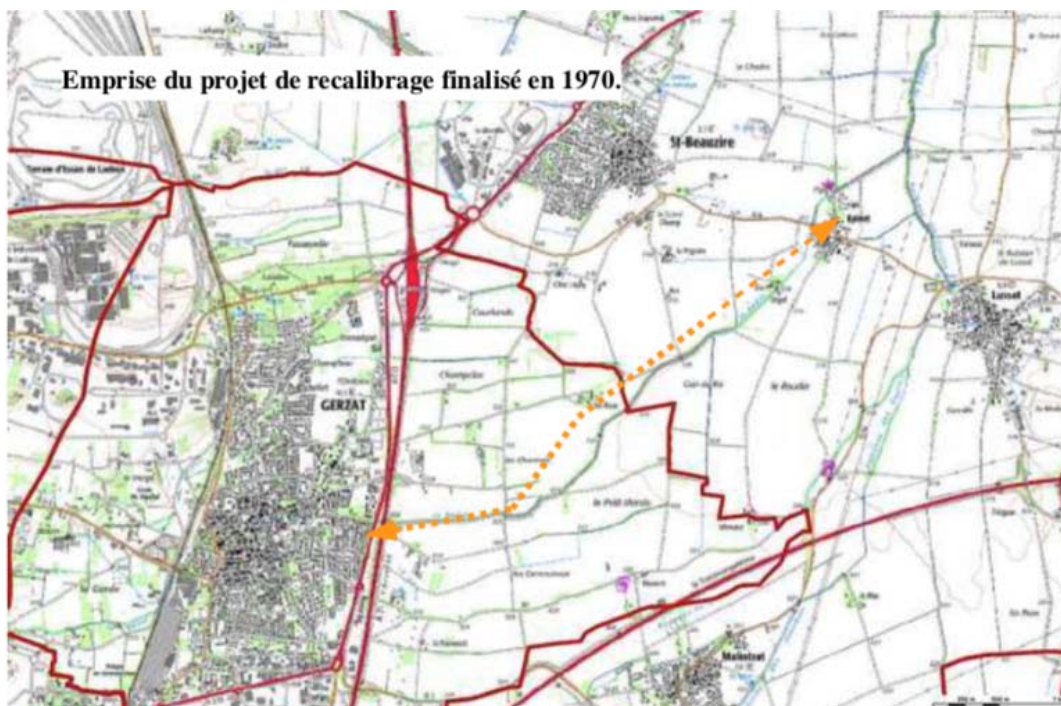


Figure 1 - Localisation du tronçon d'étude.

### 1.5. Méthodes d'investigations

Les outils utilisés pour cette étude (SIG ArcGis, QGis, logiciel de topographie Autocad) permettent de préparer, traiter et croiser des informations géographiques (profils en travers et profils en long anciens et récents, tracés du lit, localisation d'enrochements, etc.). Le croisement de ces différentes couches d'informations associé à des investigations de terrain (levés topographiques de

2018, expertise) est un outil majeur pour l'analyse diachronique et le diagnostic de l'impact du recalibrage et du fonctionnement de Bedat.

Le recueil des données nécessaires au renseignement de cette base cartographique a été effectué de plusieurs façons :

- Synthèse des données fournies par Clermont Auvergne Métropole (plans, profils en travers et en long anciens),
- Préparation des données anciennes : numérisation, digitalisation, rattachement au système altimétrique et planimétrique en vigueur actuellement, contrôle qualité, etc.
- Visite et expertise de terrain,
- Levés topographiques de profils en travers et profil en long (2018),
- Production d'orthophotoplan à partir des images aériennes anciennes,
- Analyses diachroniques des levés topographiques anciens et actuels, des images aériennes, calcul d'indices géomorphologiques,
- Modélisation hydraulique.

Les données cartographiques intégrées dans la base de données SIG sont jointes au dossier.

## 2. QUELQUES ÉLÉMENTS DE DYNAMIQUE FLUVIALE

---

Il est couramment admis aujourd'hui que les processus physiques régissent la dynamique fluviale, et par conséquent, la morphologie des cours d'eau et son évolution spatio-temporelle, régissent aussi, directement ou indirectement, la dynamique des écosystèmes qui sont associés.

Schématiquement, ces écosystèmes sont constitués :

- Du lit mineur : partie du lit en eau pour les débits compris entre le débit d'étiage et le module,
- du lit moyen ou bande active (Bravard, 1986) : partie du lit en eau pour les débits compris entre le module et la crue de pleins bords. Constituée de bancs alluviaux peu ou pas végétalisés, remaniés et rajeunis par des événements hydrologiques de fréquence moyenne à forte (entre la crue annuelle et la crue quinquennale), cette bande active est souvent considéré comme une zone majeure de stockage temporaire de la charge alluviale de fond en transit,
- du lit majeur ou lit d'inondation : partie de la plaine alluviale mise en eau lors de crues de fréquence moyenne à rare.

L'ensemble de ces écosystèmes, généralement interconnectés (par le réseau hydraulique de surface ou le réseau souterrain), et dont l'origine, la structure et l'évolution sont intimement liées à la dynamique fluviale passée ou actuelle, peuvent être interprétés comme les composantes d'un système plus complexe : l'hydrosystème fluvial (Roux, 1982, Amoros et *al.*, 1987).

### 2.1. Dynamique fluviale

Dans des conditions naturelles, les cours d'eau tendent à établir une combinaison stable entre différentes variables constitutives :

- les variables indépendantes ou variables de contrôle,
- les variables dépendantes ou variables de réponse.

Parmi les variables de contrôle, deux sont fondamentales et régissent en grande partie la dynamique fluviale : le débit liquide ( $Q$ ) et débit solide ( $Q_s$ ). Ainsi, une rivière cherche son équilibre entre le taux de charge alluviale imposé ( $Q_s$ ) et le débit liquide, énergie capable de l'évacuer ( $Q$ ) en ajustant sa géométrie en plan, en long et en travers.

De manière très simplifiée, la dynamique fluviale peut être présentée comme l'oscillation permanente de l'aiguille d'une balance dont l'un des plateaux serait rempli de sable (qui symbolise ici la variable  $Q_s$ ), et l'autre d'eau (le débit  $Q$ ) (Balance de Lane - Figure 2).

Les quantités respectives et les rapports de ces deux éléments étant fluctuants (à l'échelle de la journée, de l'année, du millier d'années), il s'ensuit un ajustement permanent de la géométrie en plan, en long et en travers du cours d'eau par mise en route de processus d'érosion/dépôt.

D'autres variables de contrôle interviennent à divers degrés dans la « balance morphodynamique » (Balance de Lane - Figure 2) :

- la pente globale de la vallée ( $V_s$ ),
- les caractéristiques sédimentologiques du lit et des berges ( $D$ ), qui conditionnent leur érodabilité au même titre que la végétation des berges ( $B_v$ ).

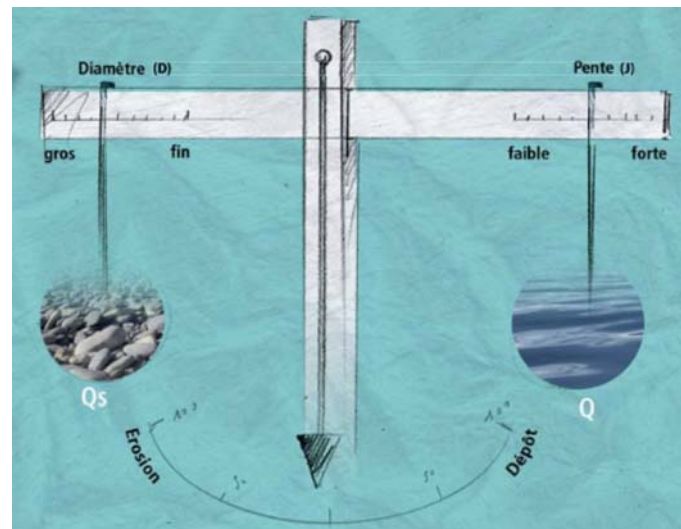


Figure 2 - Balance de « Lane » (Lane 1955, modifié) (source : Eléments d'hydromorphologie fluviale, ONEMA 2010).

On suppose ainsi que tout cours d'eau dispose d'une gamme assez large de variables dites dépendantes, pour modéliser sa morphologie en fonction des valeurs des paramètres indépendants et mettre en place une forme adéquate pour un transit optimal des débits liquides et de la charge solide entrant dans son système.

Ces variables dépendantes sont appelées aussi « degrés de liberté » d'ajustement aux variations des paramètres indépendants. On en distingue généralement 7 : la largeur du lit ( $W$ ), la profondeur moyenne ( $d$ ), la pente du lit ( $S$ ), la vitesse du courant ( $V$ ), la profondeur maximum ( $dm$ ), la sinuosité ( $p$ ), la longueur de l'arc du méandre ou l'espacement entre deux radiers ( $z$ ).

Par référence aux phénomènes observés en physique des systèmes ouverts, on dit alors que les rivières naturelles sont en « équilibre dynamique » ou en « quasi-équilibre » (selon l'échelle de temps choisie pour analyser ce phénomène) et qu'elles ajustent continuellement les valeurs de leurs variables dépendantes (largeur, pente, etc.) au gré des fluctuations naturelles ou artificielles (recalibrage et rectification par exemple) de celles de leurs variables indépendantes.



Dans la réalité, le débit liquide (Q) et débit solide (Qs) ne sont pas les seuls paramètres impliqués dans la mise en action des processus d'ajustement. Ainsi toute modification de l'une ou de l'autre des variables de réponse, ce qui est généralement le cas dans les aménagements de cours d'eau, est en théorie susceptible d'entraîner par un processus complexe d'interactions et de rétroactions, une mutation de tout ou partie du système (Bravard et Petts, 1993).

« Equilibre dynamique » ou « quasi-équilibre » signifie donc non pas absence totale de modification des caractéristiques physiques du cours d'eau mais, au contraire, ajustement permanent autour de conditions moyennes. Il s'agit donc d'un système à processus réponses où des éléments interdépendants tendent à s'ajuster les uns par rapport aux autres. Ainsi, la géométrie en long (pente) et en travers (largeur et profondeur), le style fluvial, peuvent se transformer à partir d'un état initial si les flux en transit connaissent des modifications modérées mais durables ou s'ils subissent des épisodes de crise exceptionnels.

## 2.2. Les enjeux liés à l'impact de la chenalisation des cours d'eau

Le terme de chenalisation englobe tous les aménagements de cours d'eau visant à accélérer l'écoulement par surdimensionnement et simplification de la géométrie du lit mineur, ainsi que par la réduction de la rugosité, dans le but principal de réduire les inondations. Parmi ces aménagements, le recalibrage et la rectification sont probablement ceux qui ont été les plus fréquemment réalisés en France.

Le recalibrage consiste à augmenter la section d'écoulement par élargissement et/ou approfondissement du lit. La rectification, quant à elle, consiste à supprimer les méandres d'un cours d'eau pour que son tracé devienne rectiligne, ce qui permet de diminuer sa sinuosité et donc d'augmenter sa pente. Ces opérations conduisent toutes deux à augmenter la débitance du cours d'eau, c'est pourquoi elles ont souvent été menées conjointement.

Suivant le concept d'équilibre dynamique, les perturbations naturelles ou anthropiques sur les débits solides et liquides entraînent donc des ajustements morphologiques.

Si l'on considère qu'un aménagement consiste à infléchir ou à remplacer par une autre une dynamique existante, on constate que la plupart des aménagements hydrauliques ont largement modifié les dynamiques hydromorphologiques et écologiques des hydrosystèmes dont les plus visibles sont les phénomènes d'incision, d'élargissement voir d'exhaussement du lit.

Les phénomènes d'exhaussement, c'est-à-dire l'accumulation de sédiments dans le lit d'un cours d'eau, surviennent lorsque la charge sédimentaire est excessive par rapport à la force tractrice<sup>1</sup> exercée. Ils provoquent une augmentation de la ligne d'eau, ce qui est potentiellement problématique dans les zones sensibles aux inondations (Storer, 2012).

Les phénomènes d'incision du lit mineur, se traduisent par un abaissement généralisé de l'altitude du fond du lit en raison d'une force tractrice excessive par rapport à la charge sédimentaire

---

<sup>1</sup> Force tractrice : tension tangentielle exercée par la colonne d'eau sur les parois du chenal (Blanckaert, 2005).

disponible (Bravard, 1994 ; Simon et Darby, 1999). Ces derniers se combinent parfois avec des phénomènes de contraction de chenal qui résultent de la stabilisation des berges et/ou d'une diminution de la force tractrice, et qui se manifestent par une réduction de la bande active<sup>2</sup>, de la largeur et/ou de l'espace de mobilité<sup>3</sup> du chenal (Kondolf, 1997 ; Surian, 1999).

Ces deux phénomènes sont susceptibles de provoquer des déstabilisations d'ouvrages et des glissements de berges (pertes de fonciers), le colmatage de la charge de fond, voire une mise à nu du substratum rocheux/marneux conduisant à la diminution de la diversité des habitats aquatiques (Couvert et al., 1999). Ils peuvent également abaisser le niveau de la nappe d'un cours d'eau, réduisant ainsi sa connectivité hydrologique et la fréquence d'inondation des zones riveraines menant à une perte de richesse et de diversité spécifique des forêts alluviales. De plus, ils peuvent perturber la connectivité latérale entre le chenal et sa plaine alluviale, limitant de ce fait le phénomène de flood pulse<sup>4</sup> et contribuant à la dégradation des forêts alluviales et à la perte des annexes fluviales qui représentent des habitats pour de nombreuses espèces (Schnitzler-Lenoble, 2007).

Pour conclure sur cette partie théorique, sur le Bedat, la question fondamentale est alors d'identifier si les modifications géométriques liées aux travaux de recalibrage et de rectification des années 70 ont engendré un dysfonctionnement, une dérive du système ce qui est le cas quand l'aiguille de la balance se bloque durablement d'un côté ou de l'autre de sa position médiane) ou si un réajustement, un « ré-équilibre dynamique » a pu s'opérer depuis.

Dans ce dernier cas, les modifications géométriques constatées entre les années 70 et aujourd'hui pourraient alors être liées non pas au processus d'équilibre/d'ajustement dynamique mais seraient des indicateurs de dysfonctionnement et de non-retour à cet état d'équilibre post-perturbation.

---

2 Bande active : largeur du lit parcourue par un ou plusieurs chenaux actifs enserrant des bancs non végétalisés (Gautier, 1992).

3 Espace de mobilité : espace du lit majeur à l'intérieur duquel le ou les chenaux fluviaux assurent des translations latérales pour permettre une mobilisation des sédiments ainsi que le fonctionnement optimum des écosystèmes aquatiques et terrestres (SDAGE RMC, 1996).

4 Flood pulse concept : rôle important du régime de perturbations hydrologiques pour le fonctionnement écologique des plaines d'inondation (Junk et al., 1989).

### 3. PRÉSENTATION DU SECTEUR D'ÉTUDE

#### 3.1. Bassin versant

Le bassin versant du Bédât s'étend d'est en ouest sur environ 393 km<sup>2</sup>. Le Bédât prend sa source à Orcines, à 921 m d'altitude et vient confluer en rive droite de la Morge au niveau de la commune de Saint-Laure, à 301 m d'altitude, après un parcours de 29.7 km. Ses principaux affluents sont l'Ambène, le Gensat, le Maréchat et les Guelles (Direction Départementale des Territoires du Puy-de-Dôme, 2015).

Le tronçon étudié, dont le linéaire est de 4 km, se situe dans la plaine de Limagne, entre les bourgs de Gerzat (aval autoroute A75) et d'Epinet (Figure 3).

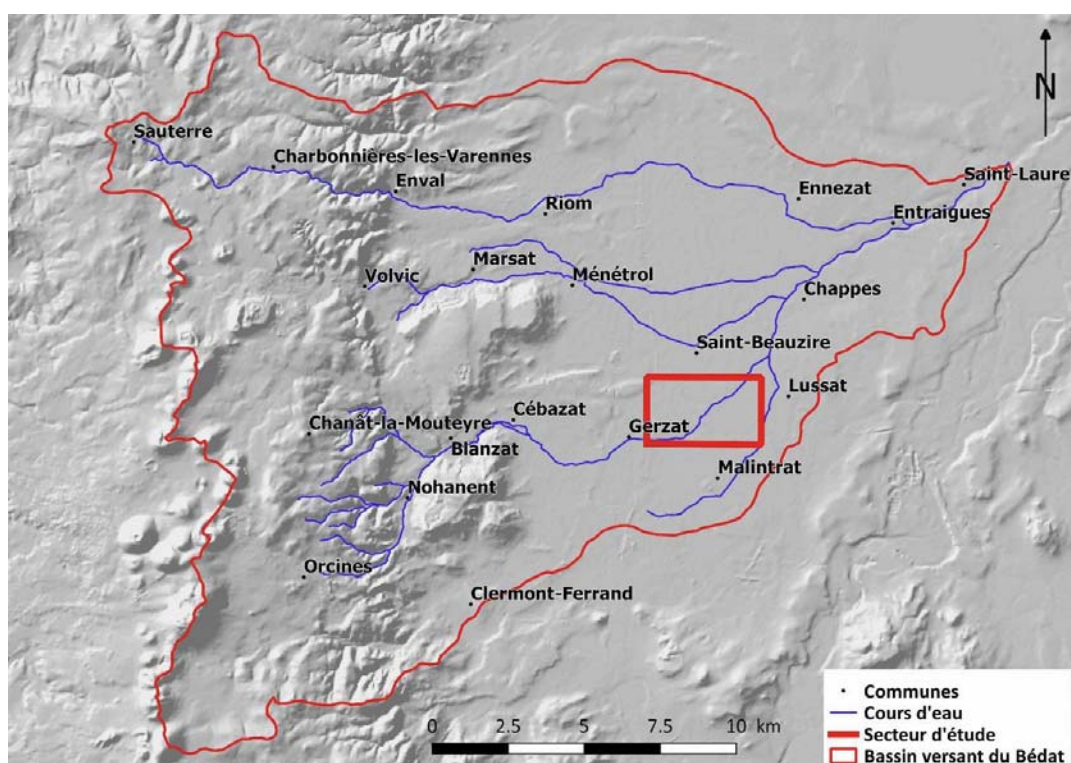


Figure 3 - Localisation du bassin versant du Bédât et du secteur d'étude (Données BDCartahge et BDCarto IGN).

#### 3.2. Contexte géologique

Le linéaire étudié est faiblement encaissé dans des terrains constitués de formations argilo-calcaires et de matériaux détritiques reposant généralement sur un substratum marneux (Figure 4). Ces terrains présentent une pente relativement faible (0.1 %) en direction du nord-est, avec des altitudes variant entre 326 m à l'est de Gerzat et 314 m au sud d'Epinet (Hydratec, 2015).

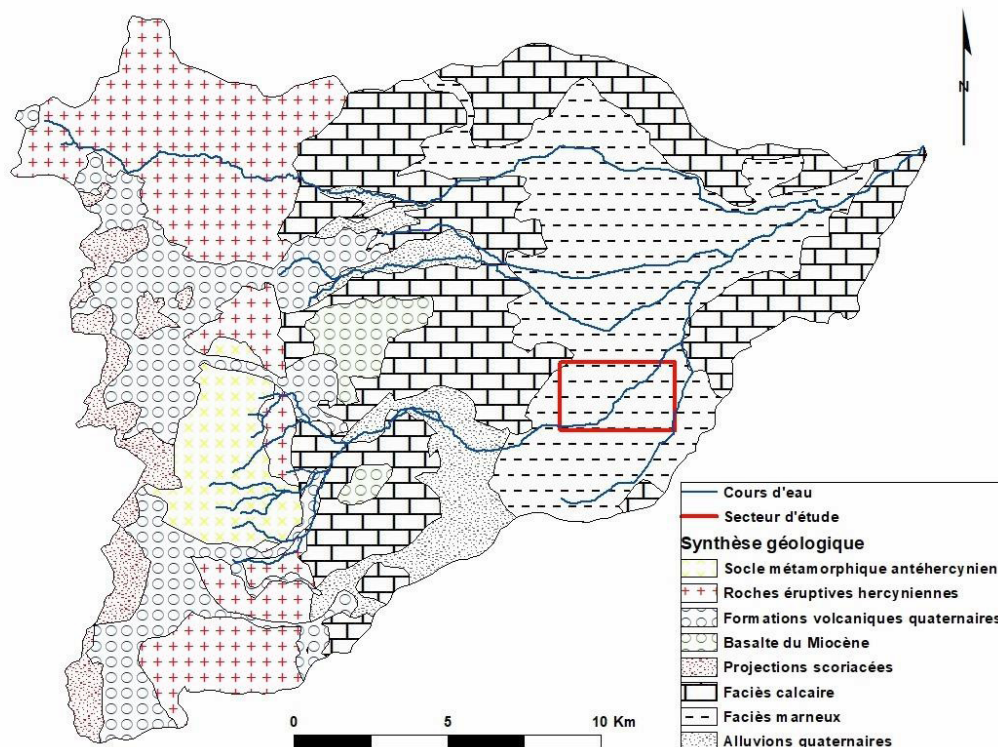


Figure 4 - Synthèse géologique du bassin versant du Bédat (Hydratec, 2015).

### 3.3. Contexte hydrologique

#### 3.3.1. Pluviométrie

La disposition nord-sud de la chaîne des Puys constitue un obstacle à la circulation générale de l'atmosphère d'ouest en est, à l'origine d'un effet de foehn. Ce dernier entraîne des cumuls annuels de précipitations faibles (590 mm) dans la plaine de la Limagne, où se situe le tronçon étudié (Hydratec, 2015).

#### 3.3.2. Stations hydrométriques

Le bassin versant du Bédat est instrumenté depuis le début des années 90. Les stations hydrométriques en fonctionnement sont celles de Cébazat, située en amont du secteur d'étude, et celle de Saint-Laure, localisée en aval (Tableau 1)

#### 3.3.3. Régime hydrologique

La présentation du régime hydrologique du Bédat est fondée sur la chronique de débit à la station hydrométrique de Cébazat qui couvre la période 1992 - 2018. Le régime hydrologique se caractérise par une variabilité inter-mensuelle et inter-annuelle relativement faible avec une période d'étiage peu prononcée durant l'été et des débits légèrement plus forts entre octobre et juin (Figure 5, Tableau 1).

Le Tableau 1 fournit les débits caractéristiques établis pour chacune de ces stations (source : Banque Hydro).

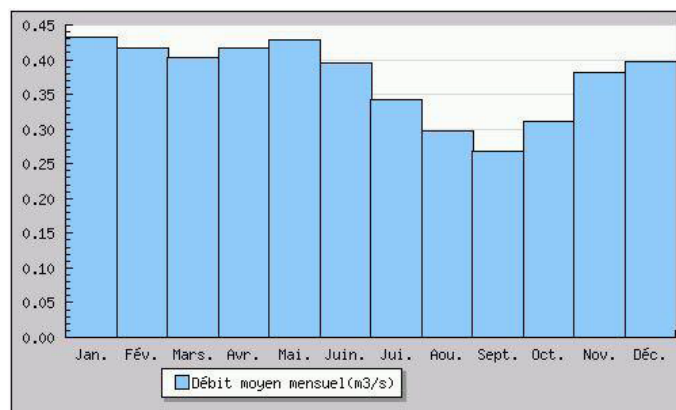


Figure 5 - Débit moyen mensuel (m<sup>3</sup>/s) à la station de Cébazat (source Banque Hydro).

Tableau 1 - Débits caractéristiques du Bedat aux stations de Cébazat et Saint-Laure (Sources banque Hydro).

Débits m <sup>3</sup> /s	Station de Cébazat	Station de Saint-Laure
	40.5 km <sup>2</sup> 27 années (1992-2018)	391 km <sup>2</sup> 18 années (2000-2018)
$Q_{MNA5}$	0.093	0.350
Module	0.374	1.930
Crue T=2 ans	1.2	10
Crue T=5 ans	1.6	14
Crue T=10 ans	1.8	16
Crue T=20 ans	2	18
Crue T = 50 ans	2.3	
Débit maximal instantané	9.2 (06/08/2013 à 22h06)	44.70 (08/08/2013 à 9h40)
Débit maximal journalier	2.39 (05/11/1994)	25.30 (08/08/2013)

## 4. METHODOLOGIE DE L'ETUDE DIACHRONIQUE

### 4.1. Les données historiques

#### 4.1.1. Inventaire des données historiques

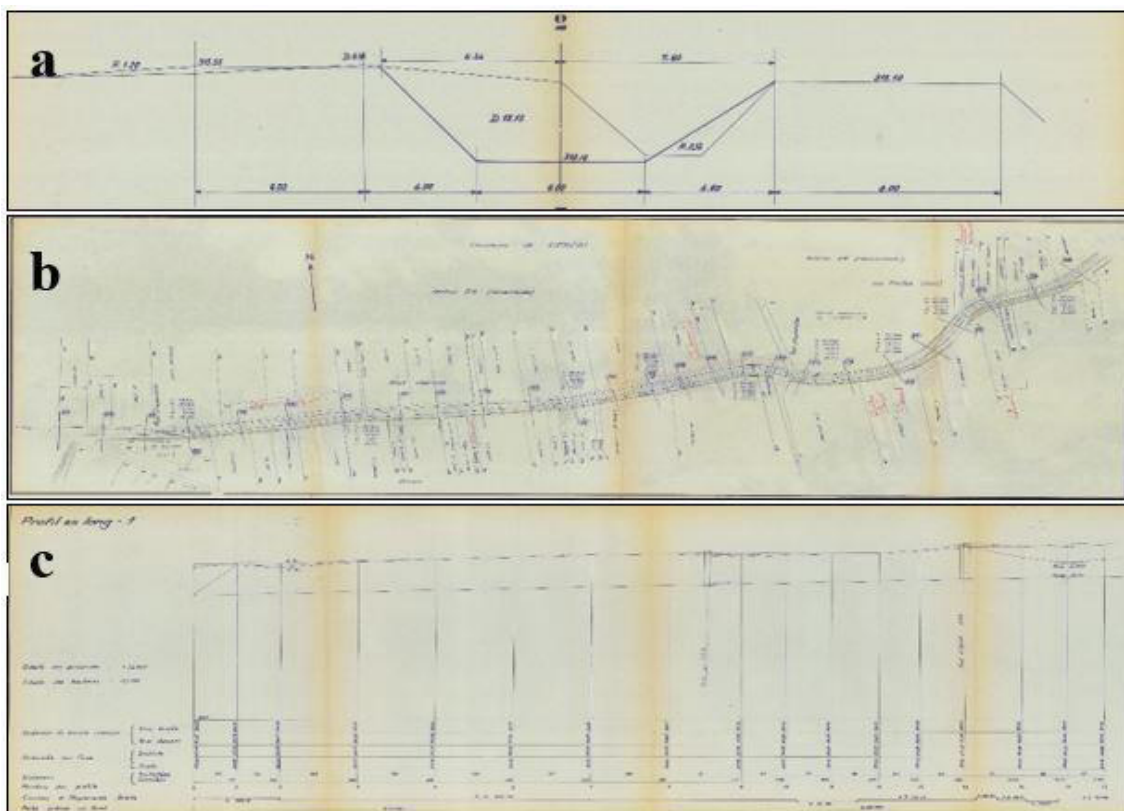
Les données historiques ont été transmises par Clermont Auvergne Métropole. Il s'agit de données topographiques (profils en long, profils en travers) et cartographiques (plans cotés) sous format JPEG et PDF (Figure 6) :

- étude d'avant-projet de recalibrage datant de 1958,
- étude du recalibrage de 1970 composée de données d'avant-projet (appelées dans la suite du document 1970 AVP) et représentant la topographie du Bedat avant le projet de recalibrage, et des données projet (appelées dans la suite du document 1970 P) définissant le projet de recalibrage.

Sur le tronçon étudié, les données exploitables sont :

- 10 profils en travers datant de 1958 (16 profils sont présents au total mais 6 ne sont pas cotés et donc inutilisables),
- 65 profils en travers de 1970 d'avant-projet (1970 AVP) et 1 profil en long du fond du lit,
- 65 profils en travers de 1970 projet (1970 P) et 1 profil en long du fond du lit.

Aucun plan, profil en travers et en long de recollement n'a été levé à la suite des travaux de recalibrage.



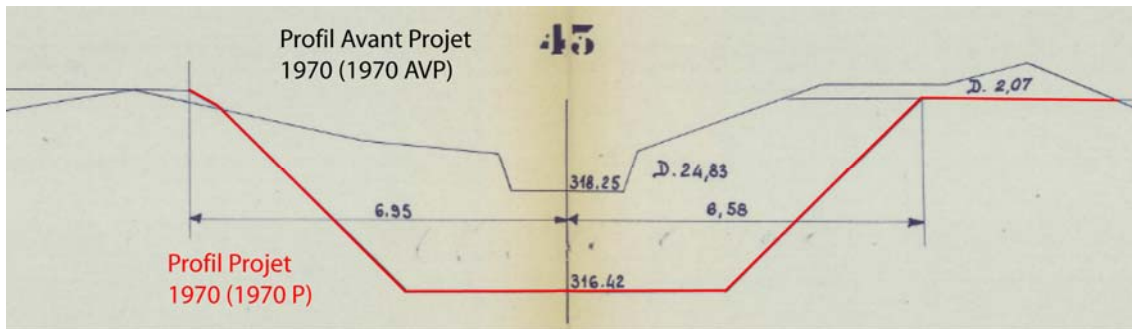


Figure 6 - Exemple de données topographiques datant de 1970 AVP et 1970P : (a) Profils en travers, (b) Plan général, (c) Profil en long.

#### 4.1.2. Préparation des données historiques

Lors de cette étape très chronophage, le travail a consisté à rendre les données topographiques anciennes exploitables. Différentes étapes de traitements ont été réalisées afin de pouvoir intégrer les données dans des outils de DAO (AutoCAD) et de SIG (ArcGis) et de rendre la topographie ancienne de 1958 et 1970 comparable à la topographie actuelle.

Cette intégration sous DAO s'est faite principalement en deux étapes :

1. calage des plans cotés en Lambert 93 CC 46 NGF IGN69 - système de référence planimétrique et altimétrique actuel. Le système de référence altimétrique utilisé sur les anciens plans est IGN Lallemand. Un abaque de transformation altitudinale est disponible sur le site de l'Institut Nationale Géographique (IGN),
2. numérisation des profils en travers soit par digitalisation soit par report des cotes et mètres (Figure 7).

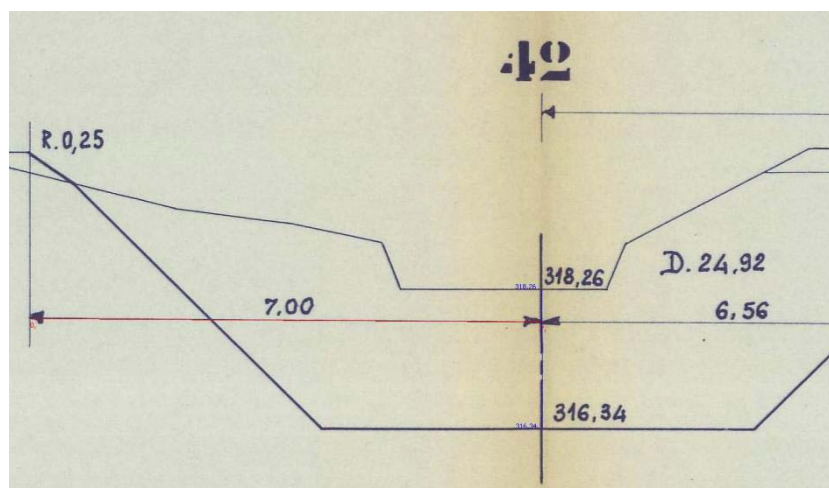


Figure 7 - Attribution de coordonnées X et Y aux points topographiques d'un profil projet et d'un profil en travers d'avant-projet de 1970.

## 4.2. Topographie de 2018

65 profils en travers ont été levés lors de la campagne de levés topographiques de 2018. Ces profils correspondent spatialement à ceux levés en 1970 (1970 AVP et 1970 P) et en 1958. Ils sont donc comparables avec les profils anciens.

Le profil en long du fond du lit et de la ligne d'eau a également été levé sur près de 3 200 m de linéaire.

Les données topographiques 2018 sont rattachées au système planimétrique et altimétrique Lambert 93 CC46 NGF IGN 69.

## 4.3. Méthode de l'étude diachronique

### 4.3.1. Etude de l'évolution latérale du Bedat

L'étude de l'évolution latérale du Bedat a été menée à partir de l'analyse de :

- L'indice de sinuosité calculé à partir des images aériennes de 1954, 1968, 1971 et 2016. Cet indice permet de définir le style fluvial d'un cours d'eau. Il existe quatre classes de sinuosité (SI) :
  - SI < 1,05 : cours d'eau quasiment rectiligne
  - 1,05 < SI < 1,25 : cours d'eau sinueux
  - 1,25 < SI < 1,5 : cours d'eau très sinueux
  - SI > 1,5 : cours d'eau méandrique
- L'évolution du tracé en plan du lit mineur réalisée grâce aux images aériennes de 1954, 1968, 1971 et 2016 disponibles sur le site de l'IGN et préalablement géoréférencées,
- L'évolution de la largeur à pleins bords qui, dans le cas du Bedat, correspond à la largeur du lit mineur en haut de berge. Cette analyse a été réalisée à partir de la comparaison des profils en travers anciens et de 2018,
- L'évolution de la largeur du fond du lit, c'est-à-dire la largeur entre les bas de berge. Cette analyse a été réalisée uniquement à partir de la comparaison des profils en travers anciens et de 2018.

L'étude de l'évolution latérale du Bedat a été menée à la fois à l'échelle globale (ensemble du secteur d'étude) et à l'échelle de chaque profil en travers.

### 4.3.2. Etude de l'évolution altitudinale du Bedat

L'étude de l'évolution altitudinale du Bedat a été menée à partir de l'analyse de :

- L'évolution de la pente des profils en long anciens et de 2018,
- L'évolution altitudinale du fond du lit en travaillant avec le point le plus bas de chaque profil en travers.

L'étude de l'évolution altitudinale du Bedat a été menée à la fois à l'échelle globale (ensemble du secteur d'étude) et à l'échelle de chaque profil en travers.



### 4.3.3. Etude de l'évolution de la puissance spécifique du Bedat

La puissance d'une rivière est un taux d'énergie potentielle fournie à un lit par l'eau écoulée. On distingue ainsi la puissance brute ( $\Omega$ ) et la puissance spécifique ( $\omega$ ) qui est la puissance par unité de périmètre mouillé du chenal (habituellement exprimé par unité de largeur du chenal).

La puissance spécifique est une mesure de la capacité du cours d'eau à transporter des sédiments. Elle permet de connaître l'état actuel d'un système et traduit la variabilité des formes fluviales en mettant en évidence le fort caractère dynamique du chenal et donc ses potentialités d'érosion de berges. Son calcul est utile pour la prédiction de l'érosion, de la migration du chenal, du transport des sédiments, des dépôts sédimentaires et la forme du lit. Les formules de calcul sont les suivantes :

$$\Omega = \rho \cdot g \cdot Q \cdot S$$

où  $\Omega$  représente la puissance hydraulique (en  $W \cdot m^{-1}$ ) ;  $Q$  le débit à pleins bords (en  $m^3 \cdot s^{-1}$ ) ;  $S$  la pente (en  $m/m$ ),  $\rho$  la masse volumique de l'eau ( $10^3 kg/m^3$ ) et  $g$  l'accélération moyenne de la gravité ( $9.81 m \cdot s^{-1}$ ).

$$\omega = \Omega / l$$

où  $\omega$  représente la puissance spécifique (en  $W \cdot m^{-1}$ ) et  $l$  la largeur du tronçon (en  $m$ ).

La puissance spécifique résulte donc d'une combinaison complexe entre le débit, la pente du fond de la vallée et les facteurs contrôlant la géométrie et la sinuosité du lit : contraintes exercées par le fond de vallée, caractéristiques sédimentologiques des alluvions, ajustements morphodynamiques, ripisylves. Il existe ainsi une interrelation entre la capacité de la rivière à effectuer un travail (estimé en utilisant la puissance spécifique) et la résistance à l'érosion de la plaine d'inondation (estimée à partir de la taille des sédiments).

La puissance spécifique du Bedat a été calculée pour les années 1970 AVP, 1970 P et 2018.

## 4.4. Modélisation hydraulique

L'objectif principal de l'étude hydraulique est de tester l'incidence des travaux sur la capacité de débordement du Bedat et l'évolution de son énergie.

Le logiciel utilisé pour réaliser ces modélisations est HEC-RAS de l'US Army Corps of Engineers. La modélisation est de type uni-dimensionnel (basée sur des profils en travers du lit), le modèle étant exploité en régime permanent (débit constant).

La construction des modèles est basée sur les levés topographiques réalisés en 2018 ainsi que sur les données anciennes (1970 AVP et 1970 P).

Le calage des modèles a été réalisé à partir des lignes d'eau relevées lors des travaux topographiques, et à partir des observations faites durant des visites sur le terrain.

Les conditions « limite aval » sont fournies par le calcul de hauteur normale à partir de la pente locale du lit.

Les conditions « limite amont » sont les débits introduits dans le modèle.

Les modèles, ainsi construits et mis au point, ont été exploités pour trois débits (débit de période de retour 2 ans et 50 ans, ainsi que débit de 50 m<sup>3</sup>/s qui correspond au débit cible des travaux de recalibrage des années 70) et ceci pour les trois configurations :

- Une exploitation dans l'état actuel 2018,
- Une exploitation dans l'état de 1970 AVP,
- Une exploitation dans l'état de 1970 P.

## 5. RÉSULTATS DE L'ÉTUDE DIACHRONIQUE

---

L'ensemble des données cartographiques et de comparaison des profils en travers (1958, 1970 AVP, 1970 P et 2018) sont présentés en Annexes 1 à 3.

Les données de 1958 ont été exploitées et les résultats présentés dans les paragraphes suivants. Toutefois, en raison du faible nombre de profils en travers, situés tous au droit d'ouvrages disparus au moment des travaux de recalibrage, les résultats obtenus à partir de l'analyse des profils de 1958 sont à prendre avec précaution, c'est pourquoi, ils seront peu discutés dans la suite du document.

### 5.1. Clé de lecture des graphiques présentés

Dans la suite du paragraphe, les résultats sont présentés graphiquement de deux façons :

- Par une représentation de type « boîte à moustache »,

La « boîte à moustache » est un moyen rapide de figurer le profil essentiel d'une série statistique quantitative (Figure 8), ici la distribution, pour chaque date, de toutes les valeurs de largeurs à pleins bords, largeurs et d'altitudes du fond du lit. Ce graphique permet ainsi de résumer une variable de manière simple et visuel, d'identifier la médiane, les quartiles et les valeurs extrêmes et de comprendre la répartition des observations (les largeurs) pour chaque population étudiées (les dates).

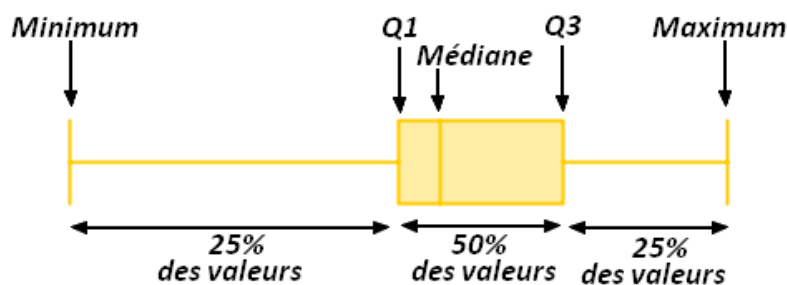


Figure 8 - Clé de lecture d'un graphique de type "boîte à moustache".

- Par des histogrammes dont l'abscisse représente les numéros de profils en travers en travers et l'ordonnée, l'évolution positive ou négative des valeurs étudiées (Figure 9).

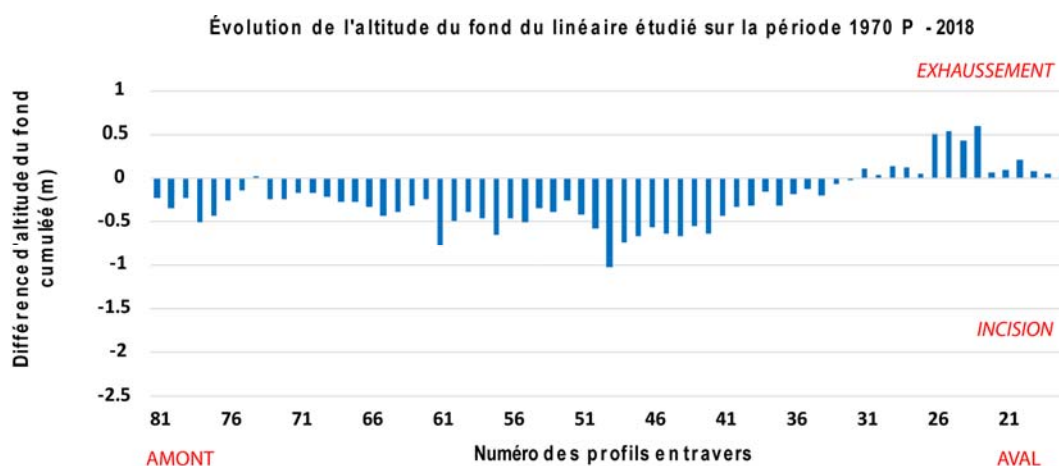


Figure 9 - Clé de lecture des histogrammes.

## 5.2. Analyse de l'évolution planimétrique du Bedat

### 5.2.1. Analyse de l'évolution de la sinuosité

A l'échelle générale du tronçon, la sinuosité du chenal n'a pas évolué depuis 1954. Le chenal du Bedat est quasiment rectiligne (Tableau 2).

Tableau 2 - Indices de sinuosité calculés à l'échelle du tronçon étudié sur la période 1954-2016.

	1954	1968	1971	2016
Valeurs moyennes	1.02	1.02	1.01	1.01
Valeurs minimales	1.00	1.00	1.00	1.00
Valeurs maximales	1.09	1.08	1.07	1.08

### 5.2.2. Analyse de l'évolution spatiale du tracé en plan

La superposition des tracés des chenaux 1954, 1968, 1971 et 2016, issus des images aériennes, montre que le chenal est resté spatialement stable depuis 1954 (Annexe 1).

Le chenal a toujours présenté des alignements rectilignes raccordés entre eux par des secteurs faiblement sinueux. Seul le secteur situé 200 m en amont et en aval du lieu-dit Rigal présente un changement de sinuosité plus élevée entre 1968 et 1971. Le tracé, légèrement sinueux en 1954 et 1968, est devenu rectiligne suite au déplacement du chenal lors des travaux de recalibrage (de 10 à 18 m en moyenne) (Figure 8).



Figure 10 - Modification de la sinuosité observée sur 200 m linéaire en amont et en aval du lieu-dit Regal entre 1968 et 1971.

Les résultats sont présentés en Figure 11 sous une représentation de type « boîte à moustache ».

La « boîte à moustache » est un moyen rapide de figurer le profil essentiel d'une série statistique quantitative, ici la distribution, pour chaque date, de toutes les valeurs de largeurs à pleins bords, largeurs et d'altitudes du fond du lit. Ce graphique permet ainsi de résumer une variable de manière simple et visuel, d'identifier la médiane, les quartiles et les valeurs extrêmes et de comprendre la répartition des observations (les largeurs) pour chaque population étudiées (les dates).

D'une manière quantitative, la largeur des lits, calculée à partir des images de 1958, 1968, 1971 et 2018 (Figure 11a) augmente entre 1954 et 1968 à la fois au niveau de la valeur médiane mais également des valeurs extrêmes, ce qui indique, localement, des points de divagation/érosion plus marqués, puis, à partir de 1971 (l'image de 1971 a été prise après les travaux et enregistre donc l'impact des travaux d'aménagement sur le chenal) la largeur se stabilise.

Ce qu'il faut retenir, c'est l'augmentation des valeurs extrêmes de largeur de chenal en 2016 qui est le signe, localement, comme durant la période pré-travaux, d'érosion de berge ou d'encoches d'érosion plus nombreuses.

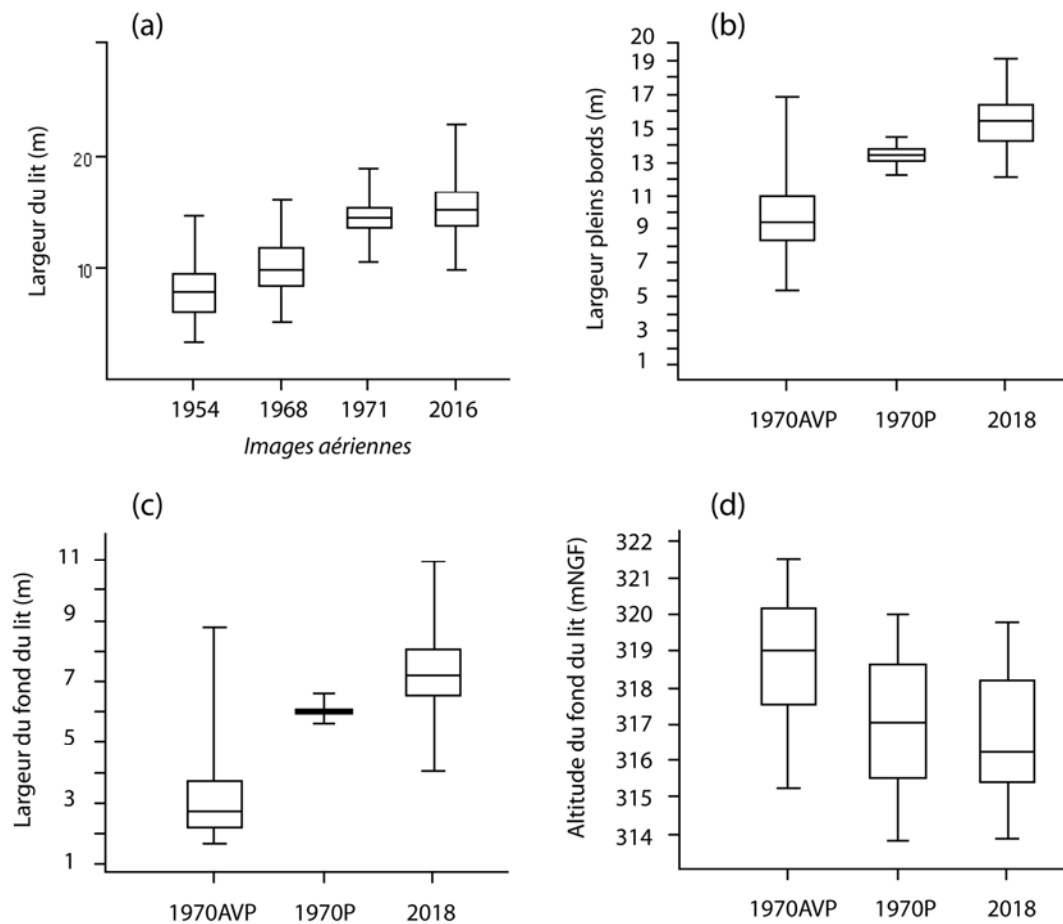


Figure 11 - Evolution à l'échelle de l'ensemble du tronçon étudié (a) de la largeur du lit à partir de l'analyse des images aériennes de 1954, 1968, 1971 et 2016, (b) de la largeur à pleins bords, (c) de la largeur du fond du lit et (d) de l'altitude du fond du lit.

### 5.2.3. Analyse de l'évolution de la largeur à pleins bord

A l'échelle globale, l'analyse de l'évolution de la largeur à pleins bord montre un élargissement constant de la largeur à pleins bords depuis 1958, avec localement des largeurs à pleins bords plus élevées post-travaux d'aménagement (Figure 11b). En 2018, l'hétérogénéité des largeurs apparaît plus faible que durant la période pré-travaux (1970 AVP) (Figure 11b).

A l'échelle de chaque profil en travers, les résultats mettent en évidence une dynamique contrastée pré et post-travaux d'aménagement et montrent clairement l'impact des travaux d'aménagement :

- Durant la période pré-travaux (1958-1970 AVP), la largeur moyenne a augmenté de 3 m (6.84 à 9.84 m avec  $\sigma = 1.63$  m Tableau 3). L'analyse des valeurs d'élargissements montre que ceux-ci ont une valeur moyenne de 2.44 m ( $\sigma = 1.65$  m - Tableau 4) et ont varié de quelques centimètres à 4 m sur la quasi-totalité du tronçon, Une seule rétractation de 33 cm est observable sur le profil en travers (PT) 17 (Tableau 5, Annexe 3),

- La période 1970 AVP et 1970 P illustre le projet d'aménagement et les travaux réalisés. Les travaux ont ainsi contribué à augmenter la largeur moyenne de 3.53 m (9.84 à 13.37 m avec  $\sigma = 2.53$  m, Tableau 3). En ce qui concerne essentiellement les élargissements du chenal, la valeur moyenne d'élargissement est de 4.03 m ( $\sigma = 1.97$  m, Tableau 7). Ceux-ci ont été plus élevés aux extrémités amont et aval du tronçon. Dans le secteur compris entre les profils en travers PT33 et PT27, l'élargissement atteint plus de 6 m (Figure 12).  
A *contrario*, six profils en travers ont subi une rétraction, en moyenne de 1.42 m ( $\sigma = 1.17$  m - Figure 12, Tableau 8). Le secteur délimité par les PT21 et 20 expose d'ailleurs les valeurs de rétractation les plus élevées (2.82 et 2.94 m).
- Durant la période post-travaux (1970 P - 2018), la largeur moyenne a augmenté de 1.87 m (13.37 à 15.24 m avec  $\sigma = 1.43$  m - Tableau 3). Les élargissements, dont la valeur moyenne est de 2.15 m ( $\sigma = 1.21$  m - Tableau 7), ont varié de quelques centimètres à 4 m sur la quasi-totalité du tronçon, a. Au droit de 7 profils en travers, la largeur pleins bords s'est rétrécie en moyenne de 45 cm ( $\sigma = 0.38$  m - Figure 13, Tableau 8), en particulier à proximité des ponts 1, 4, 5, et du radier béton du bourg d'Épinet.

Tableau 3 - Valeurs moyennes de la largeur à pleins bords calculées à l'échelle du tronçon étudié sur la période 1958-2018.

Largeur à pleins bords	1958	1970 (AVP)	1970 (P)	2018
Moyenne	6.84	9.84	13.37	15.24

Tableau 4 - Valeurs des élargissements observés sur les hauts de berges du tronçon étudié entre 1958 et 2018.

Valeurs d'élargissement (m)	Entre 1958 et 1970 (AVP)	Entre 1970 (AVP) et 1970 (P)	Entre 1970 (P) et 2018
Moyenne	2.44	4.03	2.15
Minimum	0.03	0.14	0.06
Maximum	4.77	8.6	5.45

Tableau 5 - Valeurs des rétractations observées sur les hauts de berges du tronçon étudié entre 1958 et 2018.

Valeurs de rétractation (m)	Entre 1958 et 1970 (AVP)	Entre 1970 (AVP) et 1970 (P)	Entre 1970 (P) et 2018
Moyenne	-0.33	-1.42	-0.45
Minimum	-0.33	-0.25	-0.08
Maximum	-0.33	-2.94	-1.23

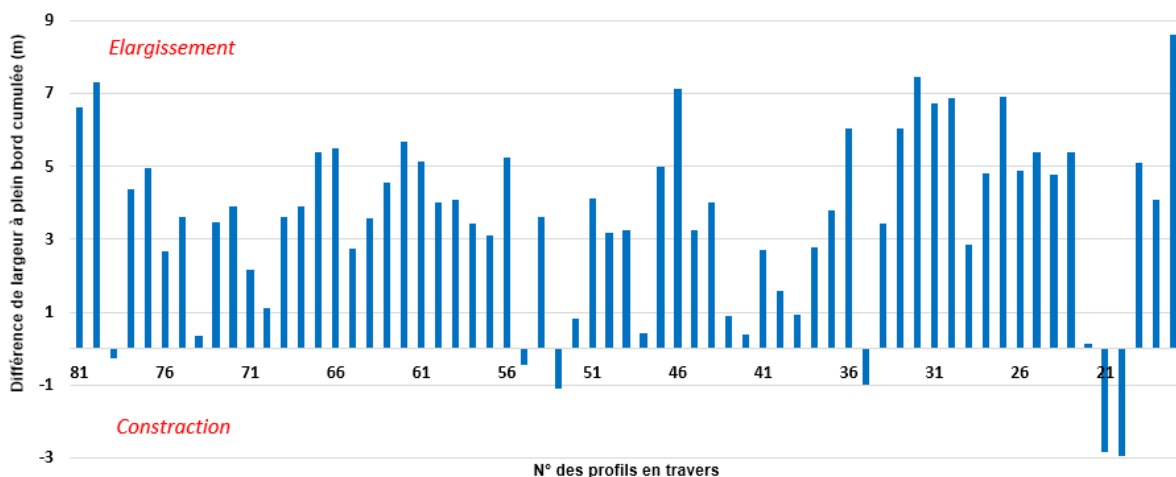


Figure 12 - Évolution de la largeur à pleins bords du linéaire étudié sur la période 1970 AVP - 1970 P.

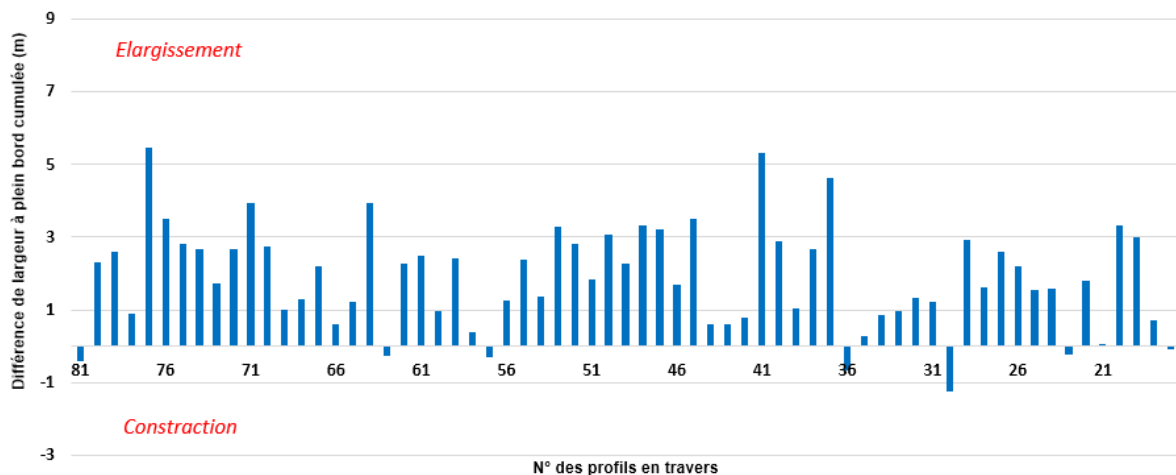


Figure 13 - Évolution de la largeur à pleins bords du linéaire étudié sur la période 1970 P - 2018.

#### 5.2.4. Analyse de l'évolution de la largeur du fond du lit

A l'échelle globale, l'analyse de l'évolution de la largeur du fond du lit montre un élargissement constant du fond du lit depuis 1970 AVP. L'analyse des valeurs de largeurs extrêmes indique, localement, de larges valeurs de fond en 1970 AVP. En 2018, elle montre une plus grande diversité de largeurs que durant la période pré-travaux (Figure 11c).

A l'échelle de chaque profil en travers, les résultats mettent en évidence une dynamique contrastée pré et post-travaux d'aménagement et montrent clairement l'impact des travaux d'aménagement :

- Durant la période pré-travaux, la largeur moyenne a diminué de 46 cm (3.41 à 2.95 m avec  $\sigma = 1.05$  m - Tableau 6). Les rétractions, dont la valeur moyenne est de 1.19 m ( $\sigma = 0,94$  m - Tableau 8), ont varié de quelques centimètres à 2,8 m sur la totalité du tronçon, Au droit



de trois profils (les PT49, 36 et 23), le fond s'est élargi, en moyenne de 1.48 m ( $\sigma = 0.79$  m - Tableau 7).

- La période 1970 AVP et 1970 P illustre le projet d'aménagement et les travaux réalisés. Durant cette période, la largeur moyenne a augmenté de 3.05 m (2.95 à 6 m avec  $\sigma = 1.1$  m - Tableau 6). L'analyse des élargissements montre que la largeur du fond a augmenté en moyenne de 3.15 m ( $\sigma = 0.83$  m - Tableau 7) sur la quasi-totalité du tronçon avec des variations comprises entre 2 et 4.8 m. Seul le profil PT22, situé à proximité du pont 5, s'est rétréci de 2.71 m (Tableau 8, Figure 14).
- Durant la période post-travaux (1970 P - 2018), la largeur moyenne a augmenté de 1.17 m (6 à 7.17 m (avec  $\sigma = 1.14$  m - Tableau 6). L'analyse des valeurs d'élargissement, indique que la largeur du lit a augmenté en moyenne de 1.51 m ( $\sigma = 0.95$  m - Tableau 7), variant de quelques centimètres à 3 m (Figure 15). Toutefois, au droit de 10 profils, dans le secteur délimité par les PT58 et 51, et à proximité des ponts 1, 2, 4 et 5 (Figure 15), le fond du lit s'est rétréci en moyenne de 68 cm ( $\sigma = 0.7$  m - Tableau 8),

Tableau 6 - Valeurs moyennes de la largeur au fond du lit calculées à l'échelle du tronçon étudié sur la période 1958 - 2018.

Largeur du fond du lit	1958	1970 AVP	1970 P	2018
Moyenne	3.41	2.95	6.00	7.17

Tableau 7 - Valeurs des élargissements observés sur le fond du lit du tronçon étudié entre 1958 et 2018.

Valeurs d'élargissement (m)	Entre 1958 et 1970 (AVP)	Entre 1970 (AVP) et 1970 (P)	Entre 1970 (P) et 2018
Moyenne	1.48	3.15	1.51
Minimum	0.80	1.20	0.05
Maximum	2.35	4.40	4.80

Tableau 8 - Valeurs des rétractations observées sur le fond du lit du tronçon étudié entre 1958 et 2018.

Valeurs de rétractation (m)	Entre 1958 et 1970 (AVP)	Entre 1970 (AVP) et 1970 (P)	Entre 1970 (P) et 2018
Moyenne	-1.19	-2.71	-0.68
Minimum	-0.25	-2.71	-0.10
Maximum	-2.75	-2.71	-2.40

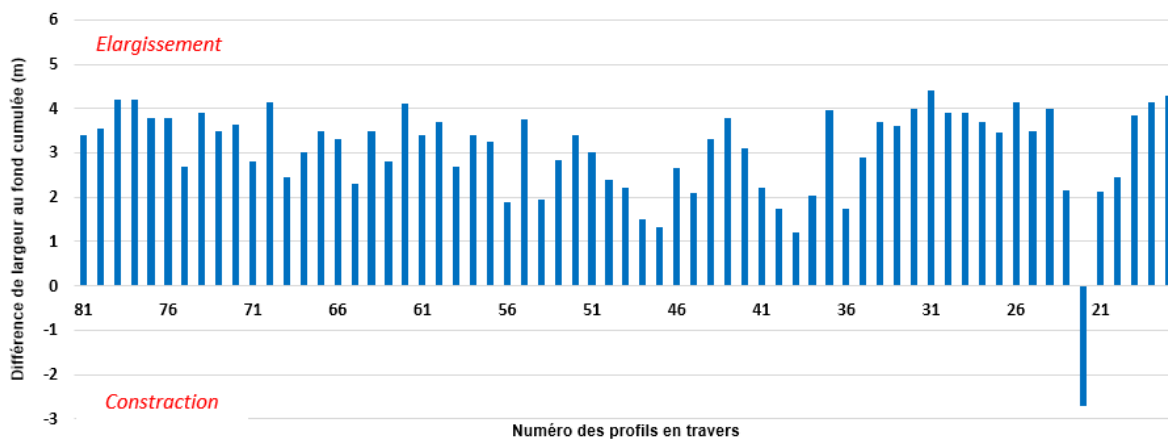


Figure 14 - Évolution de la largeur au fond du linéaire étudié sur la période 1970 AVP - 1970 P.

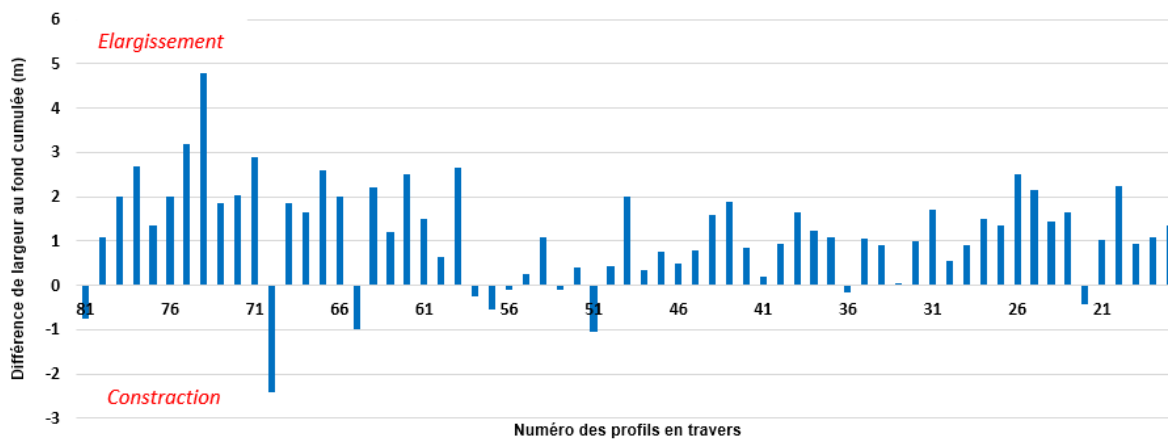


Figure 15 - Évolution de la largeur au fond du linéaire étudié sur la période 1970 P - 2018.

### 5.3. Analyse de l'évolution altimétrique du Bedat

#### 5.3.1. Analyse de la pente générale de la ligne d'eau et du fond du lit

##### *Etat actuel 2018*

La pente générale du profil en long de la ligne d'eau d'étiage 2018 est de 0.0016 m/m. De l'amont, vers l'aval, trois tronçons peuvent être discriminés (Figure 17) :

- Le tronçon T1, délimité par les PT81 et 51, dont la pente moyenne de 0.002 m/m,
- Le tronçon T2, délimité par les PT51 et 23, dont la pente moyenne de 0.0008 m/m,
- Le tronçon T3, délimité par les PT23 et 17, dont la pente moyenne de 0.0013 m/m.

Les ruptures de pente qui séparent les tronçons sont toutes situées à moins de 50 m à l'amont des ponts 1, 3 et 5.

Le profil en long 2018 du fond du lit montre, sur le linéaire du tronçon T1, des variations topographiques locales plus fortes et plus nombreuses que sur les deux autres tronçons (Figure 17).

##### *Analyse diachronique*

Les données anciennes ne fournissent pas d'information sur l'altitude de la ligne d'eau. L'étude comparative ne concerne donc que l'analyse des profils en long du fond du lit. Elle montre que :

- la pente générale du lit est pratiquement équivalente, pré et post-travaux d'aménagement,
- depuis les travaux d'aménagement, le lit s'est globalement incisé au droit des tronçons T1 et T2,
- depuis les travaux d'aménagement, le lit s'est globalement exhausé au droit du tronçon aval T3.

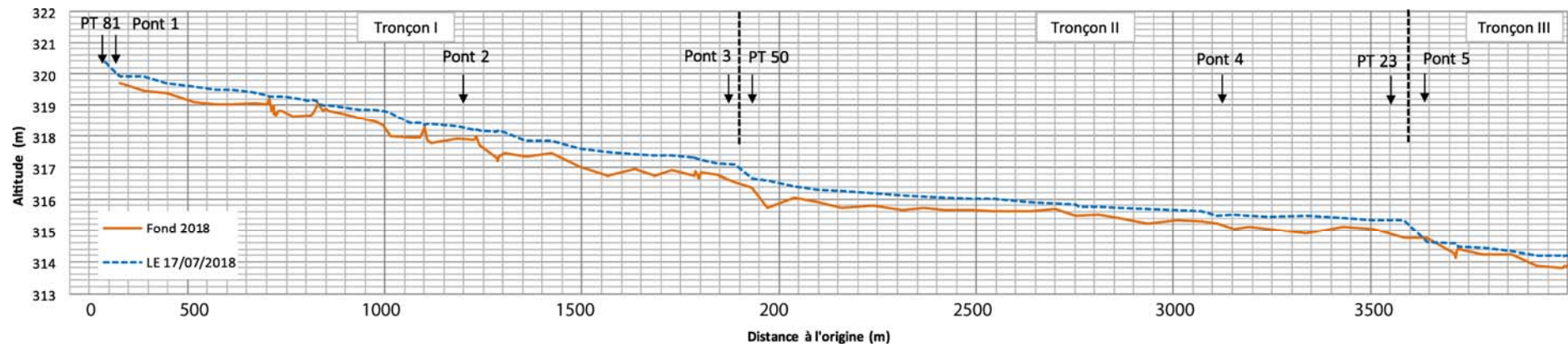


Figure 16 - Profils en long 2018 de la ligne d'eau et du fond du lit du tronçon étudié.

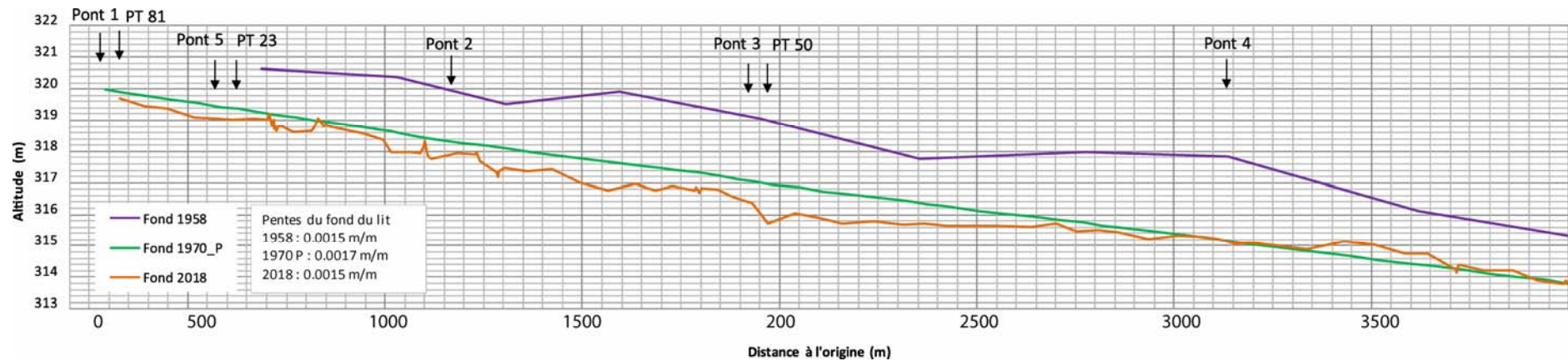


Figure 17 - Profils en long du fond du lit 1958, 1970 P et 2018 du tronçon étudié.

### 5.3.2. Analyse de l'évolution de l'altitude du fond du lit

L'analyse de l'évolution de l'altitude du fond du lit montre que le lit s'est constamment incisé depuis 1958 (Figure 11d).

Les résultats mettent clairement en évidence (1) l'objectif des travaux d'aménagement, à savoir l'enfoncement du lit, et (2) l'impact post-travaux d'aménagement et la durabilité du processus d'incision :

- Durant la période pré-travaux (1958-1970 APV), la faible quantité de données disponibles en 1985 ne permet pas de réaliser une analyse significative de l'évolution du fond du lit (seulement 10 valeurs en 1958),
- La période 1970 AVP et 1970 P illustre le projet d'aménagement et les travaux réalisés. L'altitude moyenne du fond du lit a diminué de 1.78 m (318.75 à 316.97 m - Tableau 9, Figure 18) variant de 1 à 2.38 m sur la totalité du tronçon. En aucun point du linéaire, le lit ne s'est exhaussé (Figure 18),
- Durant la période post-travaux (1970 P - 2018), l'altitude du fond du lit a en moyenne diminué de 24 cm (316.97 à 316.73 m - Tableau 11). L'incision moyenne a été de 38 cm (Tableau 10), variant de quelques centimètres à 2.38 m entre les PT81 et 31 (Figure 19). Il est important de noter qu'un phénomène d'exhaussement du lit est observable en aval de la partie médiane du tronçon T2 et au droit du tronçon T3, entre les profils PT31 et 17 (Figure 19). L'altitude du fond du lit a en moyenne augmenté de 19 cm. En ce qui concerne essentiellement les valeurs d'exhaussement, l'exhaussement moyen est de 38 cm et peut localement atteindre 50 cm.

Tableau 9 - Valeurs moyennes de l'altitude au fond du lit calculées à l'échelle du tronçon étudié sur la période 1958 - 2018.

Valeurs d'incision (m)	1958	1970 AVP	1970 P	2018
Moyenne	318.45	318.75	316.97	316.73

Tableau 10 - Valeurs des incisions observées sur le fond du lit du tronçon étudié entre 1958 et 2018.

Valeurs d'incision (m)	Entre 1958 et 1970 (AVP)	Entre 1970 (AVP) et 1970 (P)	Entre 1970 (P) et 2018
Moyenne	-0.23	-1.77	-0.38
Minimum	-0.10	-1.31	-0.02
Maximum	-0.47	-2.38	-1.03

Tableau 11 - Valeurs des exhaussements observés sur le fond du lit du tronçon étudié entre 1958 et 2018.

Valeurs d'exhaussement (m)	Entre 1958 et 1970 (AVP)	Entre 1970 (AVP) et 1970 (P)	Entre 1970 (P) et 2018
Moyenne	0.37	0.00	0.19
Minimum	0.08	0.00	0.025
Maximum	0.54	0.00	0.59

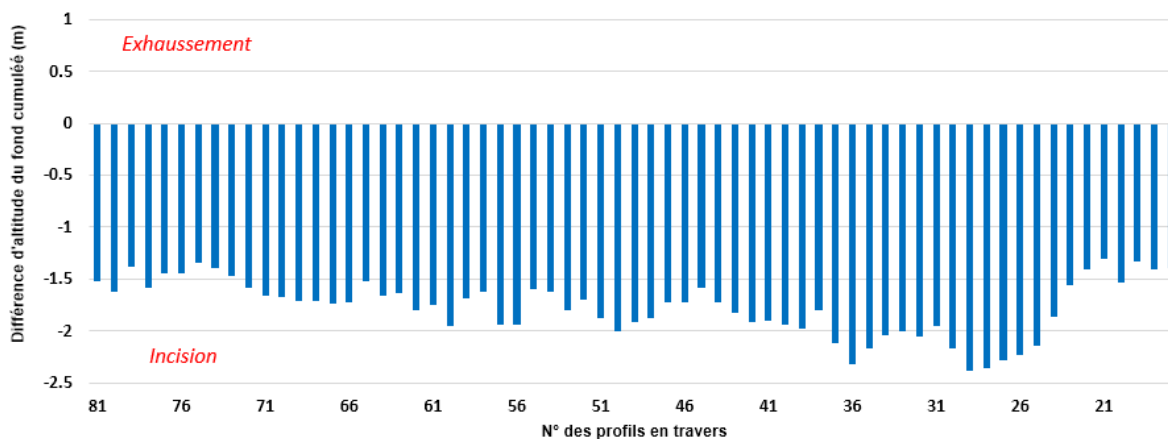


Figure 18 - Évolution de l'altitude du fond du linéaire étudié sur la période 1970 AVP - 1970 P.

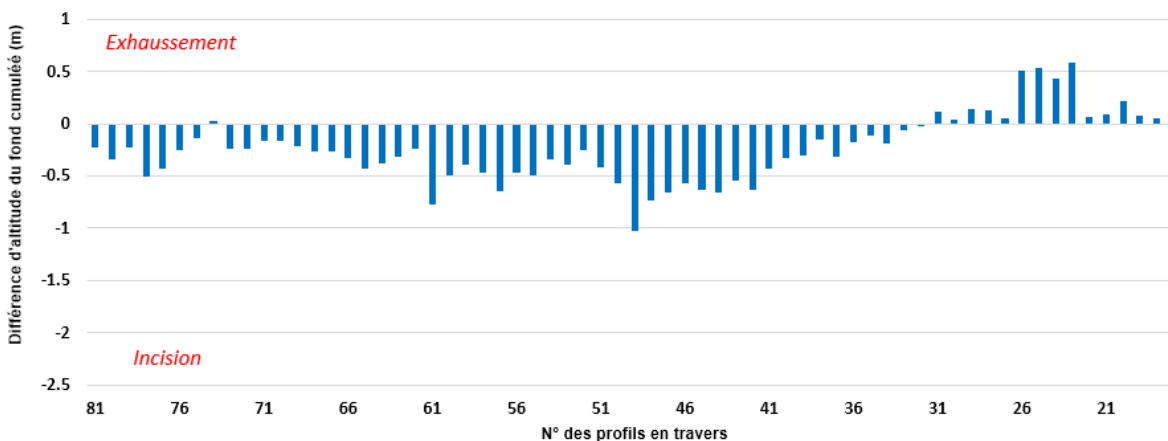


Figure 19 - Évolution de l'altitude du fond du linéaire étudié sur la période 1970 P - 2018.

#### 5.4. Bilan en termes de volumes de sédiments extraits

D'un point de vue géomorphologique, la situation du Bedat est très dégradée du fait de l'enfoncement et à l'élargissement du lit liés aux travaux de recalibrage et leurs conséquences.

Dans une perspective de restauration hydrogéomorphologique, il apparaît intéressant d'estimer les volumes de sédiments extraits et érodés au cours et à la suite des travaux de recalibrage.

Les volumes de sédiments ont été calculé à partir d'une section moyenne pré et post-travaux (1970 AVP, 1970 P et 2018, Figure 20). Les résultats sont présentés dans le Tableau 12.

Le volume total de sédiments perdus c'est-à-dire extraits lors des travaux et érodés suite à l'impact de ces travaux sur la période 1970-2018 est de 128 000 m<sup>3</sup>, soit environ 30 000 m<sup>3</sup>/km de linéaire.



Figure 20 - Sections moyennes pré et post-travaux (1970 AVP, 1970 P et 2018).

Tableau 12 - Quantification des volumes de sédiments retirés au cours des travaux et érodés.

	Section moyenne (m <sup>2</sup> )	Volume de la section (m <sup>3</sup> )	Volume extrait / 1970 AVP (m <sup>3</sup> )	Volume extrait / 1970 AVP (m <sup>3</sup> /km)	Volume érodé (m <sup>3</sup> ) / 1970 P	Volume érodé / 1970 P (m <sup>3</sup> /km)	Volume total perdu (m <sup>3</sup> )	Volume total perdu (m <sup>3</sup> /km)
1970 AVP	12.18	48728	-		-		127188	31797
1970 P	35.69	142752	94024	23506	-			
2018	43.98	175916	-		33164	8291		

#### 5.5. Analyse des puissances spécifiques

##### *Etat actuel*

Le tronçon étudié présente actuellement une puissance spécifique moyenne de 1.26 W/m<sup>2</sup> (Figure 21). La puissance de chenal augmente localement sans jamais excéder 11 W/m<sup>2</sup>.

Ces valeurs indiquent que l'énergie du tronçon est très faible.

##### *Analyse diachronique*

D'un point de vue diachronique, l'analyse des valeurs moyennes de puissance spécifique montre une diminution de la capacité de la rivière à éroder ses berges et transporter des sédiments. Les valeurs moyennes de puissances spécifiques sont respectivement de 2.49 W/m<sup>2</sup>, 1.36 W/m<sup>2</sup> et 1.26 W/m<sup>2</sup> pour 1970 AVP, 1970 P et 2018.

Cette baisse des valeurs moyennes spécifiques est à attribuer, à la fois à une dynamique naturelle, mais surtout aux travaux d'aménagement de 1970.

L'analyse des valeurs maximales apporte des informations complémentaires et montrent que le Bedat, depuis, les travaux d'aménagement a retrouvé, localement, de plus fortes valeurs de puissances spécifiques, équivalentes à celle pré-travaux (valeurs maximales respectivement de 11.4 W/m<sup>2</sup>, 1.7 W/m<sup>2</sup> et 10.7 W/m<sup>2</sup> pour 1970 AVP, 1970 P et 2018).

Toutefois, toutes ces puissances spécifiques apparaissent très faibles pour permettre une restauration naturelle du Bedat.

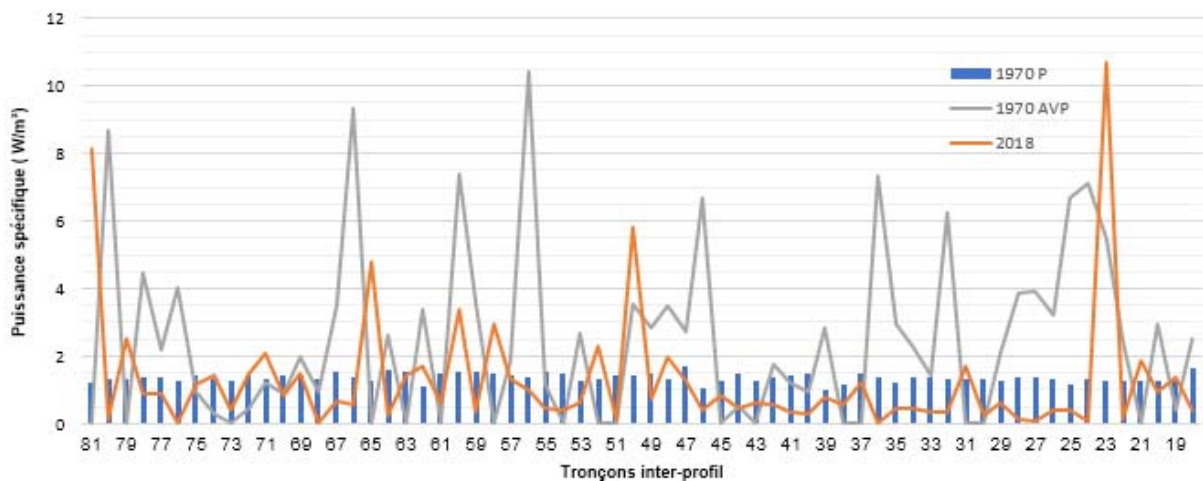


Figure 21 - Evolution amont / aval de la puissance spécifique sur le tronçon étudié (1970 AVP, 1970 P et 2018).



## 5.6. Modélisation hydraulique

Les résultats des modélisation hydrauliques réalisées, à partir des données de 1970 P, 1970 AVP et 2018, confirment les résultats de l'analyse géomorphologique, et montrent :

- L'objectif des travaux d'aménagement (Dossier 1993WS, 1970) d'assurer l'écoulement d'un débit de 50 m<sup>3</sup>/s sur toute la longueur du tronçon a été atteint.  
Ainsi, la totalité des écoulements se concentre dans le chenal (1970 AVP, 2018) contrairement à la période pré-travaux (1970 P) durant laquelle seulement 58 % du débit de 50 m<sup>3</sup>/s était concentré dans le chenal (Tableau 13),
- Une dichotomie pré et post-travaux à la fois des vitesses moyennes d'écoulement et de la puissance moyenne pour le débit projet (50 m<sup>3</sup>/s). Les travaux ont eu pour effet d'augmenter fortement les vitesses et la puissance moyenne d'écoulement. Toutefois, il apparaît qu'en 2018, les valeurs de ces deux paramètres tendent à diminuer par rapport aux valeurs post-travaux (Tableau 13),  
Les écarts de vitesse et de puissance sont faibles entre le débit de la crue biannuelle (1.2 m<sup>3</sup>/s) et la crue cinquantennale (2.3 m<sup>3</sup>/s). Par contre, l'écart entre ces deux crues et le débit projet des travaux d'aménagement (50 m<sup>3</sup>/s) est élevé,
- Une variabilité amont/aval des vitesses d'écoulement pour le débit projet de 50 m<sup>3</sup>/s (Figure 22). Toutefois, il apparaît qu'au droit de l'aval du tronçon I et au niveau du tronçon II, les vitesses d'écoulement sont plus élevées en 2018 qu'elles ne l'étaient avant travaux.

Tableau 13 - Calcul des champs de vitesses moyennes, de la puissance moyenne et des débits passant dans le chenal pour les trois dates modélisées (1970 P, 1970 AVP et 2018).

	Profil en travers	Q (m <sup>3</sup> /s)	vitesse lit mineur (m/s)	puissance dans le chenal (N/ms)	Puissance totale (chenal+plaine inondation) (N/m s)	Débit dans le chenal (m <sup>3</sup> /s)	% de débit dans le chenal
<b>1970 AVP</b>	tous	50	1.59	42.65	23.91	29.20	58
		2.3	0.76	8.16	8.07	2.29	99.40
		1.2	0.65	5.98	5.97	1.20	99.96
<b>1970 P</b>	tous	50	1.90	62.62	61.90	49.99	100
		2.3	0.75	4.78	4.78	2.30	100.00
		1.2	0.59	3.07	3.07	1.20	100.00
<b>2018</b>	tous	50	1.76	54.61	54.61	50.00	100
		2.3	0.71	6.97	6.97	2.3	100.00
		1.2	0.57	4.64	4.64	1.2	100.00

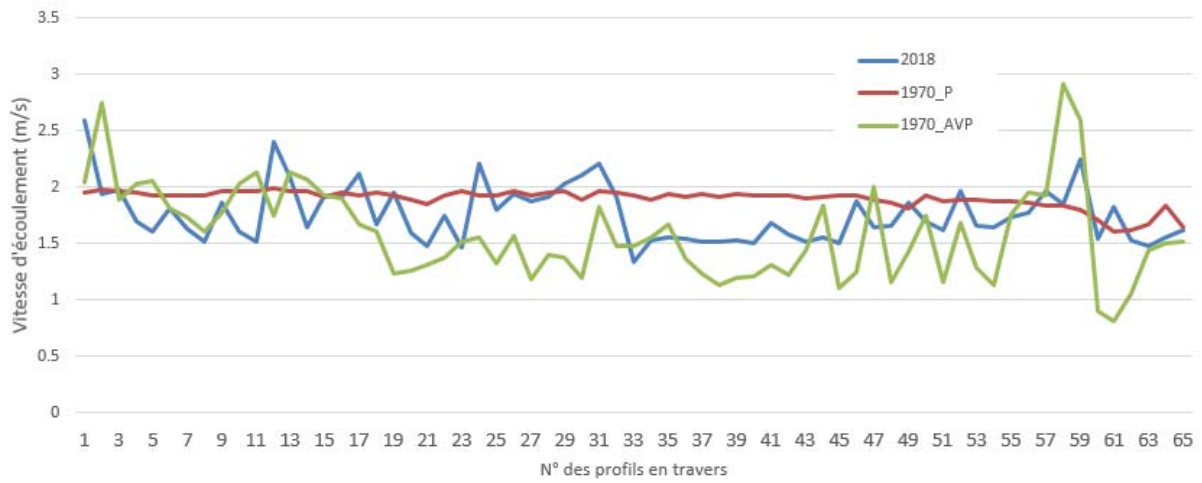


Figure 22 - Vitesses d'écoulement pour les trois dates modélisées (1970 P, 1970 AVP et 2018) pour un débit de 50 m<sup>3</sup>/s.

## 6. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

---

### 6.1. Période pré projet de rectification / recalibration

L'analyse quantitative des caractéristiques géomorphologiques observées sur les profils en travers et le profil en long de 1958 est entachée d'imprécisions liées au calage des profils en travers de 1958. Le manque de données topographiques relatives à cette période fausse également la quantification des ajustements morphologiques qui se sont produits entre 1958 et l'étude d'avant-projet de 1970. Toutefois, les résultats montrent clairement une dichotomie de morphologie et de fonctionnement entre le Bedat pré et post-travaux d'aménagement (Annexe 3 et Figure 23).

Le Bedat de la période pré-travaux apparaît être un cours d'eau plus « naturel » qu'aujourd'hui, peu incisé, avec un lit mineur étroit mais rectiligne, et dont les largeurs du fond et à pleins bords sont plus hétérogènes qu'aujourd'hui. Sa morphologie correspond davantage à un cours d'eau de plaine à faible pente.

Pour autant, en raison de sa morphologie en plan très rectiligne, on peut s'interroger sur l'existence de travaux d'aménagement postérieurs à 1958.

Cette hypothèse pourrait ainsi expliquer les différences, à la fois en termes de section d'écoulement et d'incision, constatées entre 1958 et 1970 AVP. En effet, la largeur à pleins bords a augmenté de 3 m en moyenne, tandis que la largeur au fond du lit a diminué de l'ordre de 46 cm. Etant donné la faible période de temps (12 ans) et la faible puissance du Bedat, il apparaît peu probable que ces modifications soient liées à un fonctionnement naturel. Ils pourraient s'expliquer par des travaux d'aménagements réalisés avant ou après 1958, les données de 1970 AVP enregistrant la modification post-travaux.

Toutefois, le manque de données et d'informations ne nous permet pas de conclure sur l'origine des changements constatés entre 1958 et 1970 AVP.

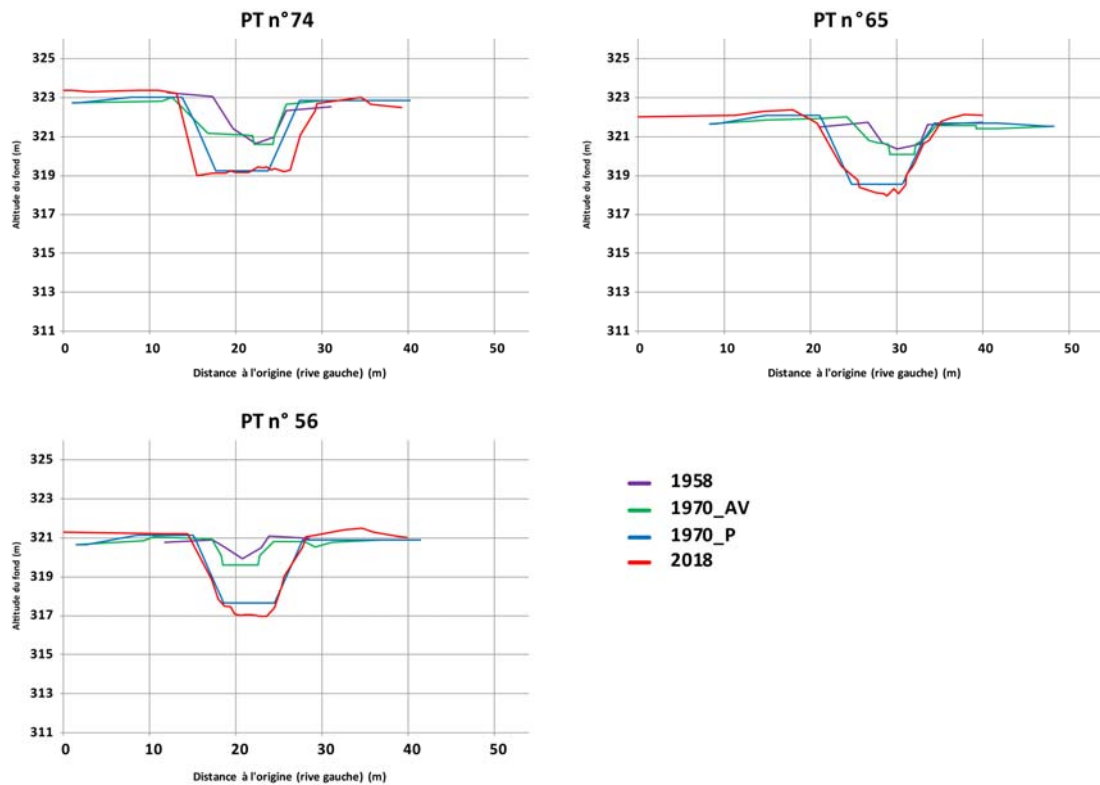


Figure 23 - Exemple des comparaisons de profils en travers (1958, 1970 AVP, 1970 P, 2018).

## 6.2. Projet de rectification / recalibration

L'analyse des données de 1970 P, tant sur la morphologie, grâce à l'étude des images aériennes et des profils en travers, que sur l'hydraulique via la modélisation hydraulique et l'étude des vitesses, des puissances d'écoulement et de l'analyse des débordements montre que les objectifs des travaux d'aménagement ont été atteints, à savoir :

- Approfondissement du profil en long de manière à obtenir une pente générale variant entre 0.14 et 0.15 %,
- modification de la section d'écoulement afin d'obtenir une largeur au fond de 6 m, avec deux talus à 45° qui donnent une largeur du lit en gueule variant entre 11.2 et 14 m,
- assurer l'écoulement d'un débit de 50 m<sup>3</sup>/s, sur toute la longueur du tronçon.

Ainsi, ces travaux ont eu pour effets :

- d'homogénéiser la pente du lit,
- d'homogénéiser la morphologie de la section d'écoulement à la fois au niveau de la largeur à pleins bords et de la largeur du fond du lit,
- d'approfondir le lit, en moyenne de 1.80 m. Localement, l'incision peut atteindre 2.40 m,
- d'augmenter et d'homogénéiser les vitesses et de la puissance d'écoulement,
- d'interdire les débordements pour la crue de période de retour 50 ans (2.3 m<sup>3</sup>/s).

### 6.3. Période post projet de rectification / recalibration

L'analyse différentielle des mesures planimétriques et altimétriques (1970 P, 2018) et des données issues des modèles hydrauliques montrent que les travaux d'aménagement ont fortement et durablement modifié le lit tant sur sa morphologie, sa dynamique que sur la quantité de sédiments disponibles.

Au cours des 48 dernières années, l'analyse quantitative de la largeur à pleins bords et de la largeur du fond du lit a montré que le chenal s'est élargi (augmentation de la largeur à pleins bords en moyenne de 1.87 m et de la largeur du fond de 1.17 m) par érosion et affouillement des berges.

Cet élargissement de la section d'écoulement est localement renforcé par la présence de points durs (blocs d'enrochements) et de grands arbres qui provoquent des obstacles à l'écoulement dont la conséquence est une augmentation locale des érosions de berges et du fond du lit (Figure 21).

On note toutefois, en quelques points, une réduction de la section d'écoulement, et tout particulièrement au droit des ponts (ponts 1,4 et 5). Cette réduction de section est liée, non pas à une dynamique naturelle d'apport de charge sédimentaire, mais à la mise en place de blocs d'enrochement.

Parallèlement à l'augmentation de la largeur du lit, le Bedat n'a pu inverser le processus d'incision du lit initié par les travaux d'aménagement. Ainsi, l'altitude moyenne du fond du lit a ainsi diminué de 24 cm, mais peut atteindre localement plus de 2 m, laissant apparaître localement le substratum marneux (Figure 21).

Un modèle représentant l'évolution d'un tronçon de cours d'eau suite à des travaux de chenalisation et de rectification a été proposé par Simon et Hupp (1986). Ces auteurs distinguent six étapes (Figure 25a).

Suite à la perturbation d'un cours d'eau par des travaux d'aménagement (étape 2), la première réponse du chenal est un abaissement du lit (étape 3). Lorsque les berges atteignent une hauteur et un angle critique, celles-ci s'affaissent et provoquent l'élargissement du chenal (étape 4). Les matériaux érodés au niveau des berges mais aussi les matériaux sédimentaires provenant des tronçons amont (si un transport solide amont existe), se déposent sur le lit qui s'exhausse sensiblement et un nouveau chenal de basses eaux se forme dans les sédiments déposés et remaniés (étape 5). Dans le cas d'un système ayant les capacités à se réajuster, la dernière phase conduit à un nouvel état d'équilibre où le lit est plus bas que le précédent, mais tend à s'exhausser, et où l'ancienne plaine d'inondation devient une terrasse (étape 6).

Ce modèle d'évolution morphologique proposé suite à des travaux d'aménagement peut être appliqué au Bedat (Figure 25b). Les premières étapes sont identiques, mais c'est à partir de l'étape 4 que la tendance d'évolution morphologique diffère.

Ainsi, à la suite des travaux d'aménagement, l'incision du lit s'est poursuivie mais la divagation latérale est réduite en raison (1) de la forte modification de la section d'écoulement provoquée par les travaux et, (2) de la faible énergie du cours d'eau.

L'étape de stabilisation de l'incision du lit (étape 5) n'est pas encore atteinte sur le Bedat qui n'a pas retrouvé un équilibre post-perturbation. La vitesse d'incision est par contre réduite au droit de secteur où le substratum marneux affleure. La poursuite du processus d'incision s'explique par (1) de faibles apports sédimentaires provenant des tronçons amont et, (2) de faibles apports locaux provenant de l'érosion des berges. Un suivi topographique réalisé sur la période 2011-2015 sur la partie amont du secteur étudié ainsi qu'au droit de la ville de Cébazat (Véodis-3D, 2015) confirme cette hypothèse et montre que les apports sédimentaires provenant des tronçons amont sont réduits. Ainsi, l'absence d'apport sédimentaire associée à la faible puissance du Bedat favorisent la fixation du chenal (Tableau 17).

En considérant le fonctionnement actuel du Bedat, la dernière étape conduisant à une phase d'équilibre et un nouvel ajustement du lit ne devrait pas être atteinte et l'incision devrait se poursuivre, en raison (1) de l'absence de transit sédimentaire et, (2) de la très faible pente qui lui confère une puissance spécifique moyenne de  $1.26 \text{ W/m}^2$  et des valeurs maximales locales toutes inférieures à  $11 \text{ W/m}^2$ , très largement inférieures au seuil théorique d'auto-ajustement de  $35 \text{ W/m}^2$  (Brookes, 1988). En effet, il est admis que pour une puissance spécifique inférieure à  $35 \text{ W/m}^2$ , le cours d'eau n'a plus la capacité de limiter voire stopper le processus d'incision et de reconstituer son stock de charge de fond.

Malgré tout, le chenal retrouve une certaine hétérogénéité de profondeur et de morphologie des berges et apparaît moins uniforme qu'il ne l'était immédiatement après les travaux d'aménagement. Ceci s'explique par le fait que (1) les profils en long et en travers d'un cours d'eau perturbé ou instable présentent généralement différents stades de déséquilibre, et (2) les berges (présence de blocs d'enrochements, de la ripisylve, d'embâcles) et le fond du lit (affleurement du substratum marneux, présence de faibles dépôts sédimentaires) présentant des degrés d'érosion variées.

L'analyse des pentes des profils en long permet de distinguer deux tendances d'évolution distinctes. Un tronçon incisé délimité par les profils en travers 81 et 32 (Tronçon T1, T2), et un tronçon, à *priori*, en cours de léger exhaussement, de l'ordre de 20 cm, délimité par les profils en travers 31 et 17 (Tronçon T3). Bien que l'aval de ce tronçon soit contrôlé altitudinalement par le radier béton du bourg d'Épinet, il semble que les apports sédimentaires liés aux érosions locales des berges participent à la recharge sédimentaire du chenal et permettent ainsi de réajuster la pente du lit.

La pérennité du phénomène d'incision et d'élargissement du lit observée aujourd'hui est le témoin du dysfonctionnement morphologique du Bedat. Ces réajustements sont liés non pas à une dynamique naturelle mais à l'impact des travaux de recalibrage et rectification.

L'analyse de l'historique des crues, réalisée à l'échelle du bassin versant par la société Hydratec (2015), n'indique aucune crue extrême durant ces soixante-quatre dernières années (1954 - 2018) pouvant expliquer les changements morphologiques constatés.

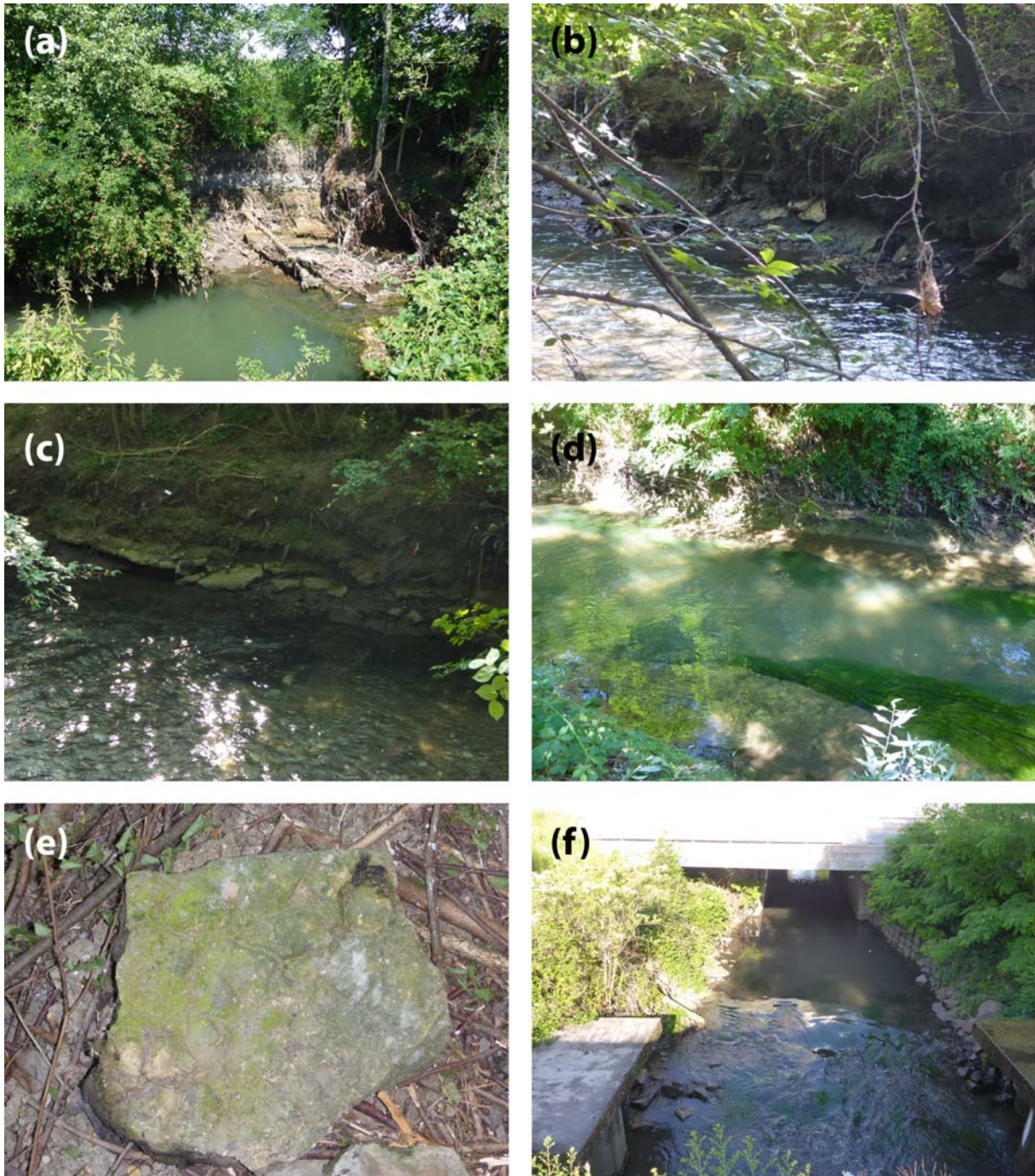


Figure 24 - Illustration des désordres rencontrés sur le linéaire du tronçon étudié.

- (a) Erosion de berge localisée avec déstructuration de la ripisyle,
- (b) Affouillement avec présence de blocs marneux
- (c) Apparition du substratum marneux
- (d) Erosion de berge et lit incisé
- (e) Blocs marneux
- (f) Point dur radier béton, enrochements rive droite et gauche en aval du tronçon.

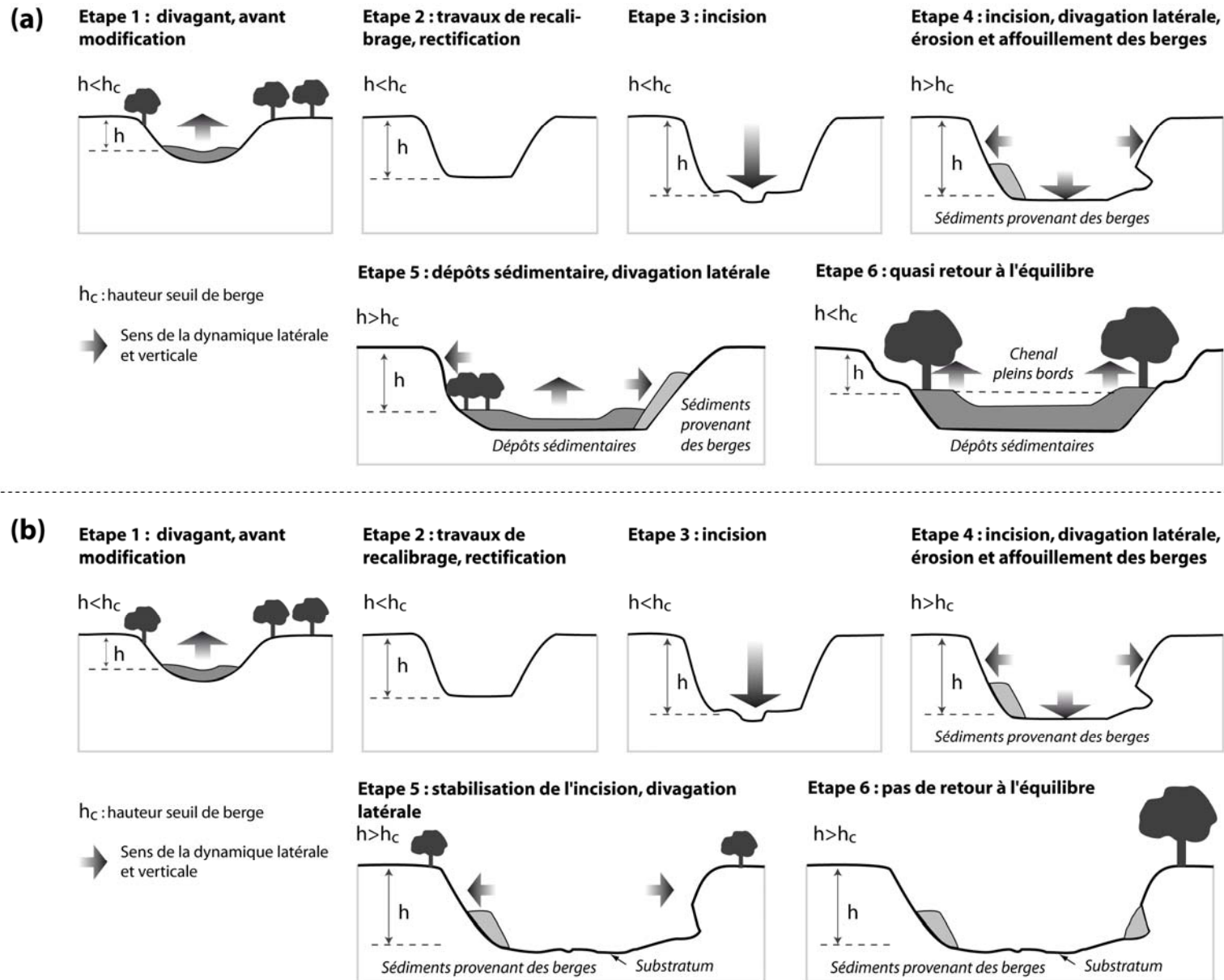


Figure 25 - (a) Modèle d'évolution des chenaux incisés en réponse à une chenalisation (d'après Simon et Hupp, 1996) et (b) Modèle d'évolution du Bedat en réponse aux travaux d'aménagement de 1970.



## 7. CONCLUSION ET PROPOSITIONS DE GESTION / ACTIONS

---

### 7.1. Conclusion

Cette étude s'appuie sur une analyse diachronique consistant à évaluer l'impact des travaux d'aménagement de 1970 sur le fonctionnement du Bedat à travers l'analyse de ses évolutions morphologiques passées et sa situation actuelle.

Ces travaux ont eu pour effet de cloisonner de façon permanente le lit mineur. Les analyses diachroniques attestent d'un phénomène d'encaissement couplé à un phénomène d'élargissement du lit qui se sont poursuivis depuis les travaux d'aménagement. Ainsi, 48 ans après ces travaux, le Bedat n'a pas retrouvé un profil d'équilibre et l'érosion du fond du lit et des berges se poursuit sur la majeure partie du tronçon. Toutefois, localement, l'incision du lit semble ralentie par la présence du substratum marneux mais également par des apports sédimentaires provenant de l'érosion des berges venant reconstituer, sur la partie aval du tronçon, un plancher sédimentaire.

48 ans après les travaux d'aménagement, le Bedat cherche encore à atteindre un nouvel état d'équilibre et à se réadapter à la configuration post-travaux d'aménagement. Dans un contexte de fourniture sédimentaire très faible, le Bedat est incapable de compenser les désordres provoqués par les travaux (incision, élargissement du lit). Dans l'avenir, ces désordres devraient se poursuivre localement (anses d'érosion, déstabilisation de la végétation, en particulier des grands arbres, etc.).

### 7.2. Proposition de gestion / actions

Dans une démarche de restauration, la prise en compte de la dimension historique par la connaissance de la trajectoire d'évolution du Bedat représente un prérequis indispensable pour la mise en œuvre d'interventions efficaces. Cette connaissance permet notamment d'appréhender des processus lents agissant sur le long terme et n'étant pas perceptibles à l'échelle de temps plus réduite. Elle permet aussi d'identifier les différents facteurs de contrôle et d'évaluer le potentiel d'ajustement et de récupération du système.

Aujourd'hui, le Bedat est dans l'incapacité de s'auto-ajuster et d'infléchir le processus d'incision et d'élargissement du lit en raison de sa faible puissance et de l'absence ou la quasi-absence d'apports sédimentaires. Afin de compenser ce déficit sédimentaire et d'infléchir la tendance d'évolution actuelle du Bedat, deux solutions peuvent être envisagées :

1. Définir un espace de mobilité minimum du Bedat dans lequel il pourra divaguer librement, les érosions de berges participant localement à la recharge sédimentaire,
2. Réaliser des actions mécaniques de recharge sédimentaire afin de compenser le déficit.

Le fait de définir un espace de mobilité minimum pour restaurer le fonctionnement hydro-sédimentaire ne semble pas être suffisant et apparaît difficilement réalisable en raison, (1) de la faible capacité du Bedat à s'auto-ajuster (forte incision, faible puissance) et, (2) des enjeux agricoles riverains.

Aussi, des actions de recharge sédimentaire et de diversification des écoulements pourraient être engagées sur l'ensemble du linéaire afin de restaurer le plancher sédimentaire et limiter voire compenser les désordres (incision, élargissement du lit).

Ces travaux de rechargement sédimentaire permettraient également de redonner au Bedat une partie de ses fonctionnalités naturelles sans réduire la section d'écoulement et augmenter la problématique d'inondation. La rehausse du fond du lit avec des matériaux d'une granulométrie diversifiée mais mobilisable par le Bedat permettrait ainsi de :

- restaurer un matelas alluvial favorable à la vie aquatique (meilleure oxygénation de l'eau et décolmatage du substrat), de diversifier les écoulements,
- diminuer la décantation des matières en suspensions et les pertes de sédiments des berges par érosion, limitant ainsi le colmatage du substrat,
- augmenter la lame d'eau à l'étiage, atténuant l'effet de réchauffement de l'eau en été.

Au préalable à toutes actions de recharge sédimentaire, il conviendrait de définir un protocole de réinjection et de suivi : définition de la gamme granulométrique, volumes et lieux de réinjection car il ne s'agit pas de réinjecter l'ensemble du volume de sédiments perdus (environ 30 000 m<sup>3</sup>/km de linéaire), indicateurs de suivis morphologiques, physico-chimiques et biologiques, etc.

## 8. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

Bravard J-P., 1994. L'incision des lits fluviaux : du phénomène morphodynamique naturel et réversible aux impacts irréversibles / *The incision of river beds : from a natural and reversible morphodynamic phenomenon to irreversible impacts* pp5-10.

Brookes JM, 1988. Channelized rivers: Perspectives for environmental management, Andrew Brookes, Wiley, Chichester, 1988. 326p

Dossier 1993W5 « Assainissement de la Limagne - Travaux d'aménagement du ruisseau « Le Bedat » », 1970. Archives Départementales du Puy de Dôme.

Kondolf G.M., 1997. Hungry water: effect of dams and gravel mining on river channels. *Environmental Management*, 21 (4), pp. 553-551.

Simon, A. and Hupp, C.R. 1986. Channel Evolution in Modified Tennessee Channels. *Proceedings of the 4th Federal Interagency Sedimentation Conference*, 2, 5.71-5.82.

Simon et Darby, 1999. *Incised river channels: processes, forms, engineering and management* edited by Stephen E. Darby and Andrew Simon, John Wiley, Chichester 1999. ISBN 0-471-98446-9

Véodis-3D, 2015 ; Suivi topo-morphologique de 5 sites sur les rivières de l'agglomération clermontoise (2011-2015).

## 9. LISTE DES ANNEXES

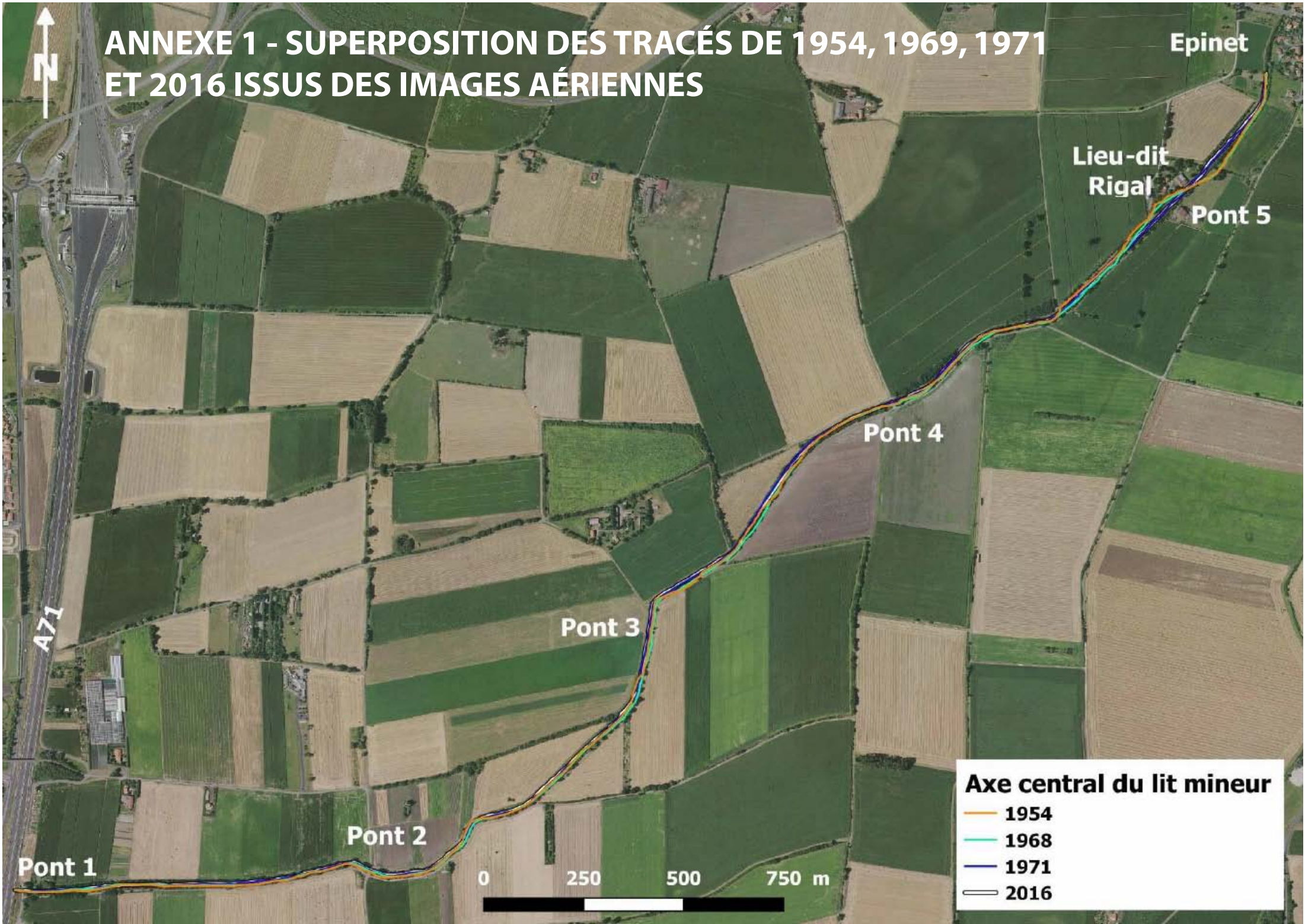
---

<b>Numéro</b>	<b>Format</b>	<b>Titre</b>	<b>Echelle</b>
1	A4	Superposition des tracés de 1954, 1968, 1971 et 2016 issus des images aériennes	
1A	A4	Superposition des tracés de 1954, 1968, 1971 et 2016 issus des images aériennes au droit du lieu-dit Régat	
2	A4	Localisation des profils en travers de 1658, 1970 AVP, 1970 P et 2018	
3	A4	Comparaison des profils en travers de 1658, 1970 AVP, 1970 P et 2018	

## Annexe 1

### *Superposition des tracés de 1954, 1968, 1971 et 2016 issus des images aériennes*

# ANNEXE 1 - SUPERPOSITION DES TRACÉS DE 1954, 1969, 1971 ET 2016 ISSUS DES IMAGES AÉRIENNES



Epinet

Lieu-dit Rigal

Pont 5

Pont 4

Pont 3

Pont 2

Pont 1

A71

0 250 500 750 m

**Axe central du lit mineur**  
— 1954  
— 1968  
— 1971  
— 2016

## Annexe 1A

Superposition des tracés de 1954, 1968, 1971 et  
2016 issus des images aériennes au droit du lieu-  
dit Régat

# ANNEXE 1A - SUPERPOSITION DES TRACÉS DE 1954, 1969, 1971 ET 2016 ISSUS DES IMAGES AÉRIENNES AU DROIT DU LIEU DIT REGAL

Epinet



Lieu-dit  
Rigal

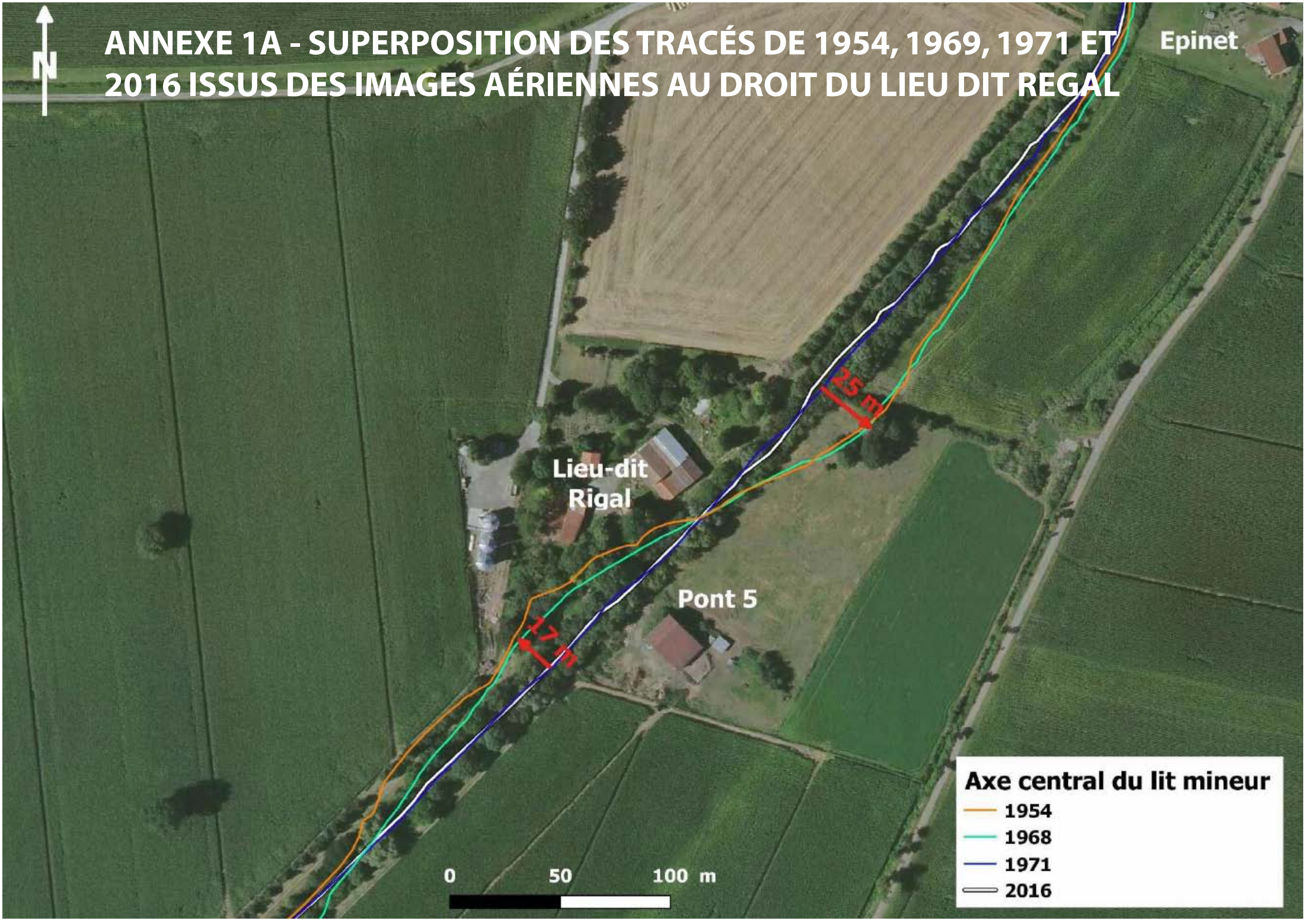
Pont 5

25 m

0 50 100 m

**Axe central du lit mineur**

- 1954
- 1968
- 1971
- 2016





## Annexe 2

# Localisation des profils en travers de 1658, 1970 AVP, 1970 P et 2018

# ANNEXE 2 - LOCALISATION DES PROFILS EN TRAVERS 1958, 1970AVP, 1970 P ET 2018

Epinet

Régal

A71

-  Axe des profils en travers de 1958
-  Axe des profils en travers de 1970AVP, 1970P et 2018

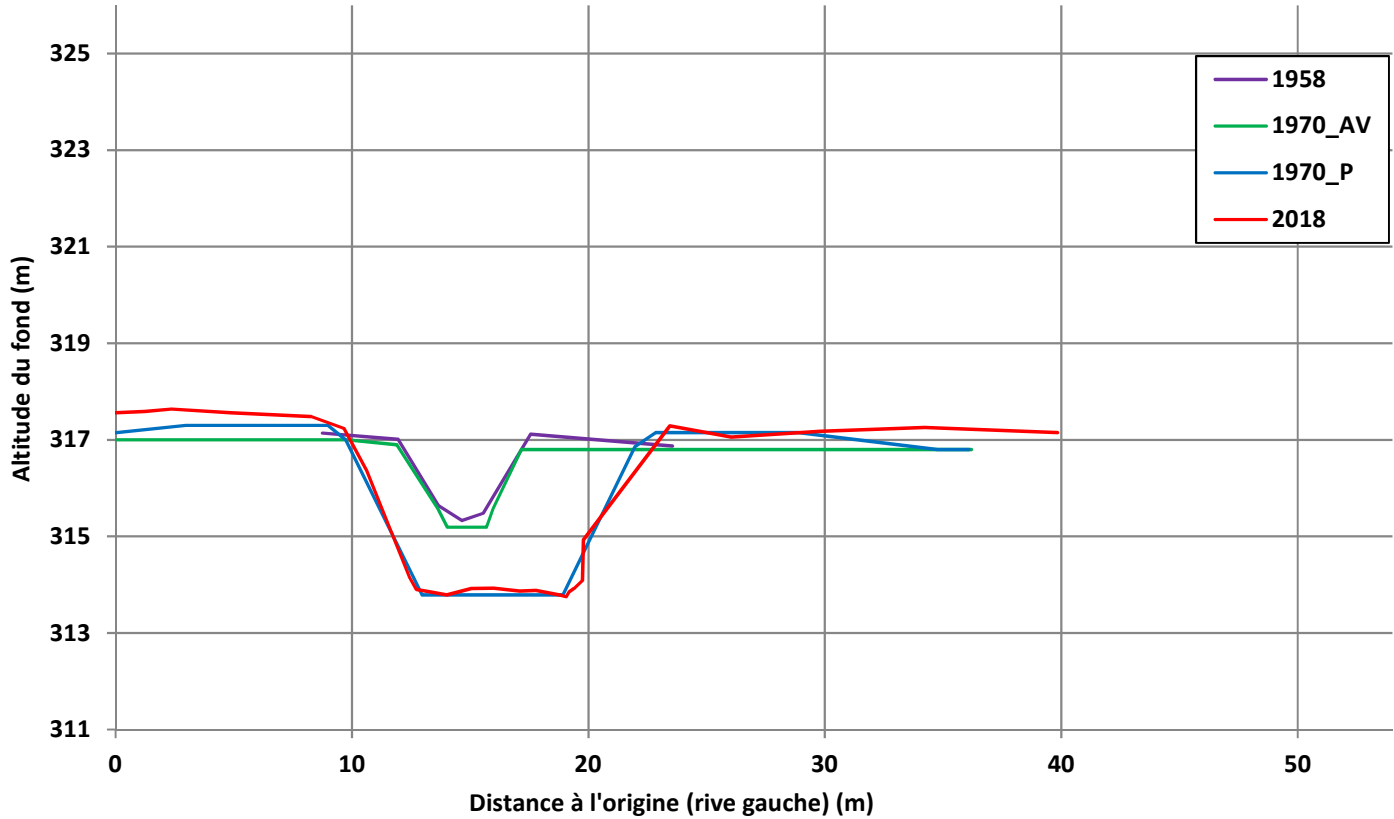
0 100 200 400  
Mètres



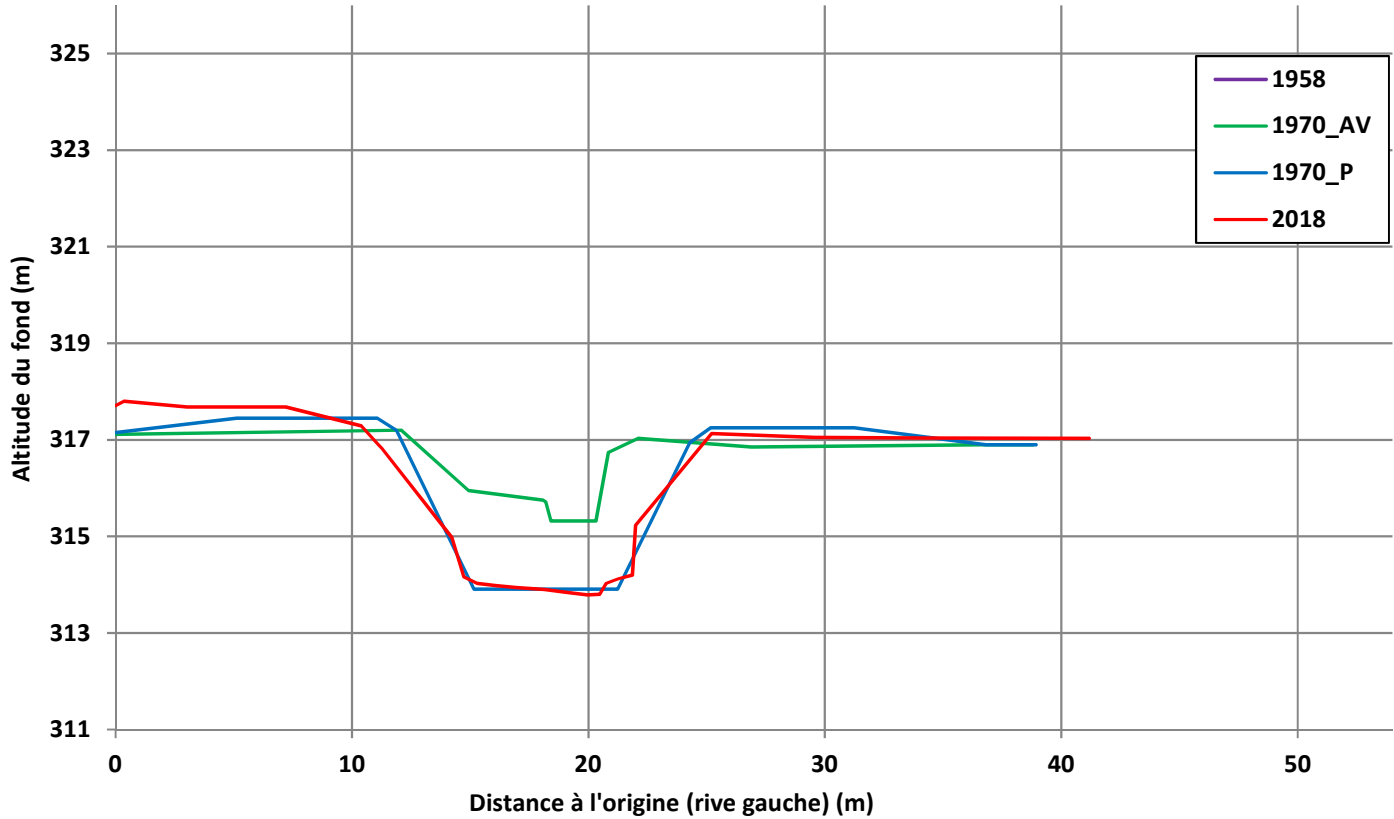
Annexe 3

Comparaison des profils en travers de 1658,  
1970 AVP, 1970 P et 2018

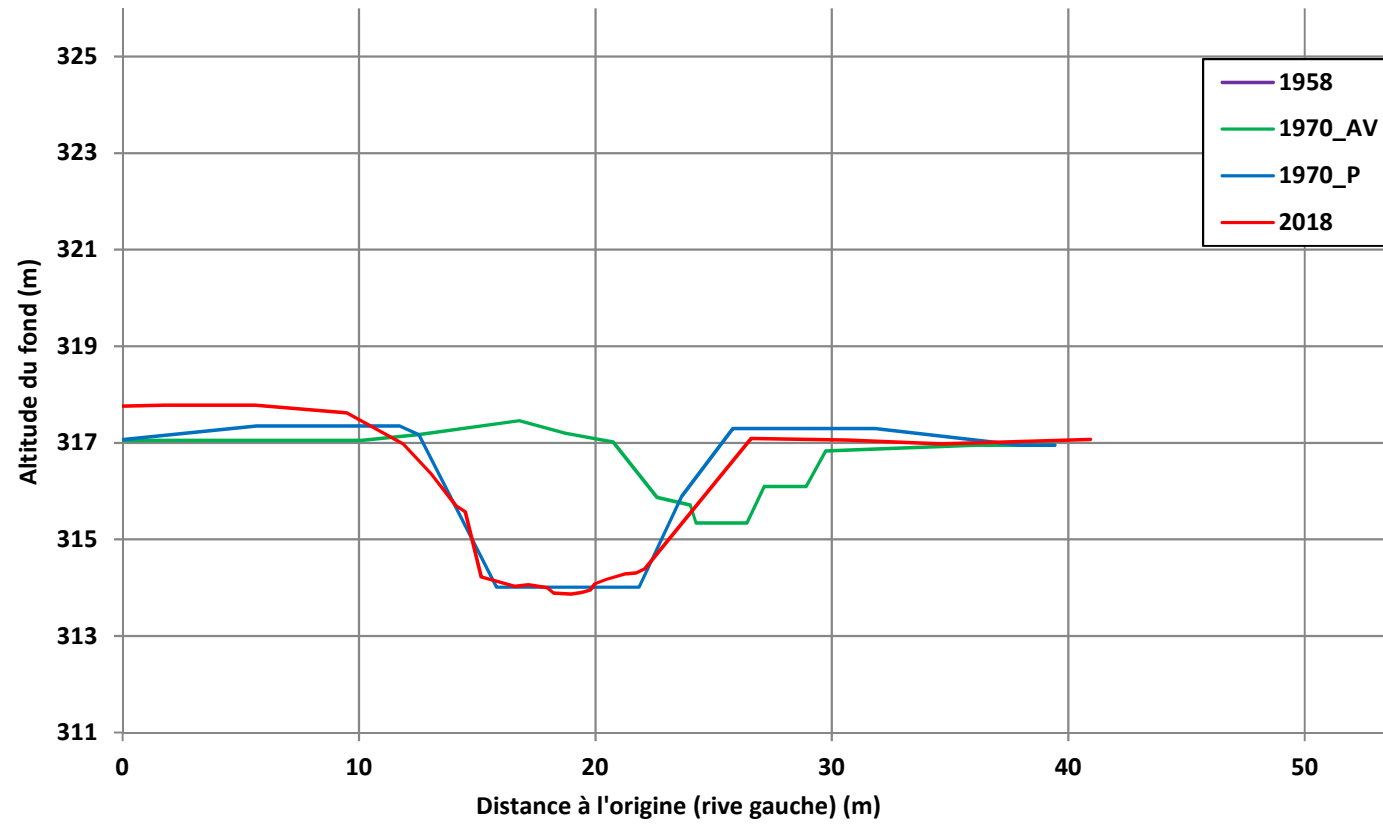
PT n°17



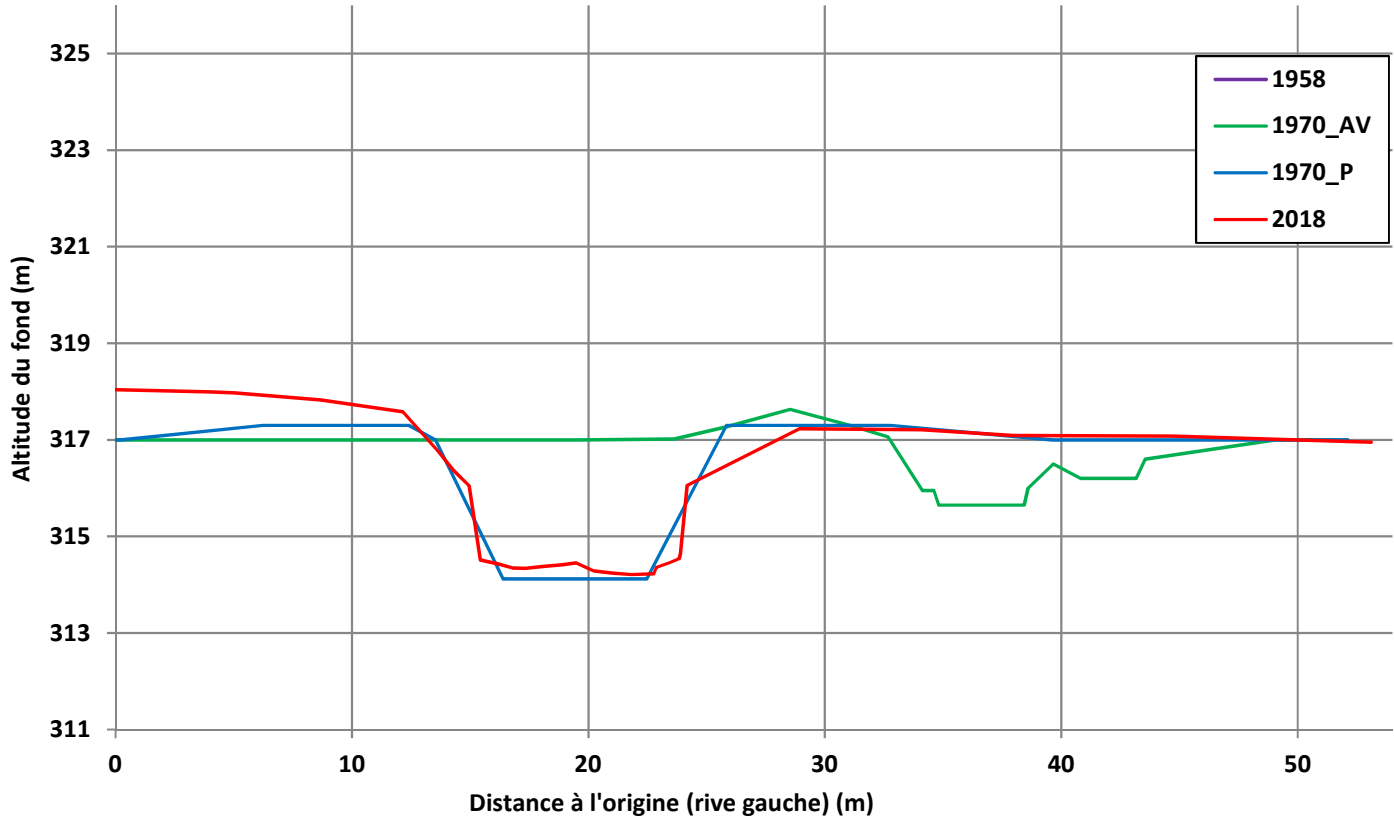
PT n°18



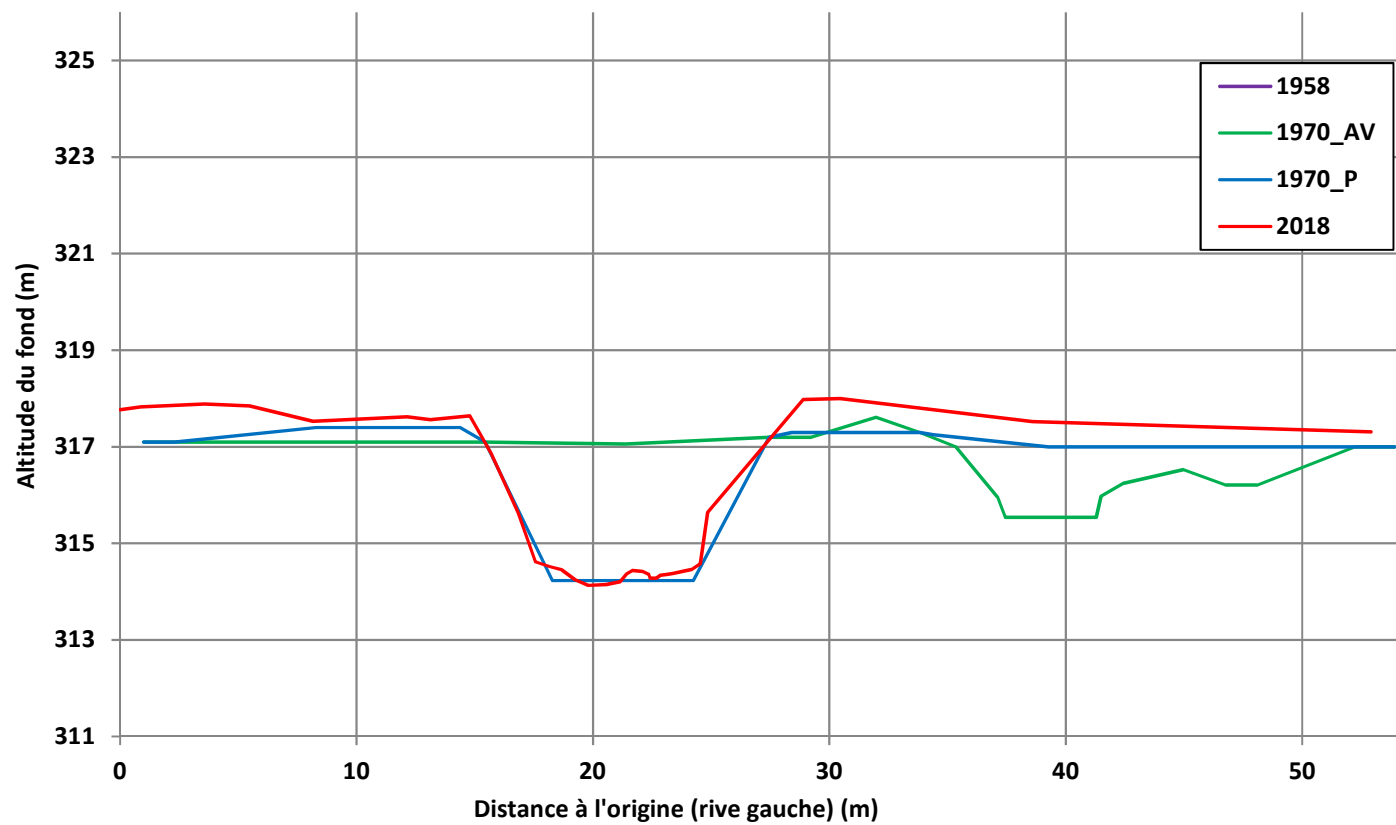
### PT n°19



PT n°20

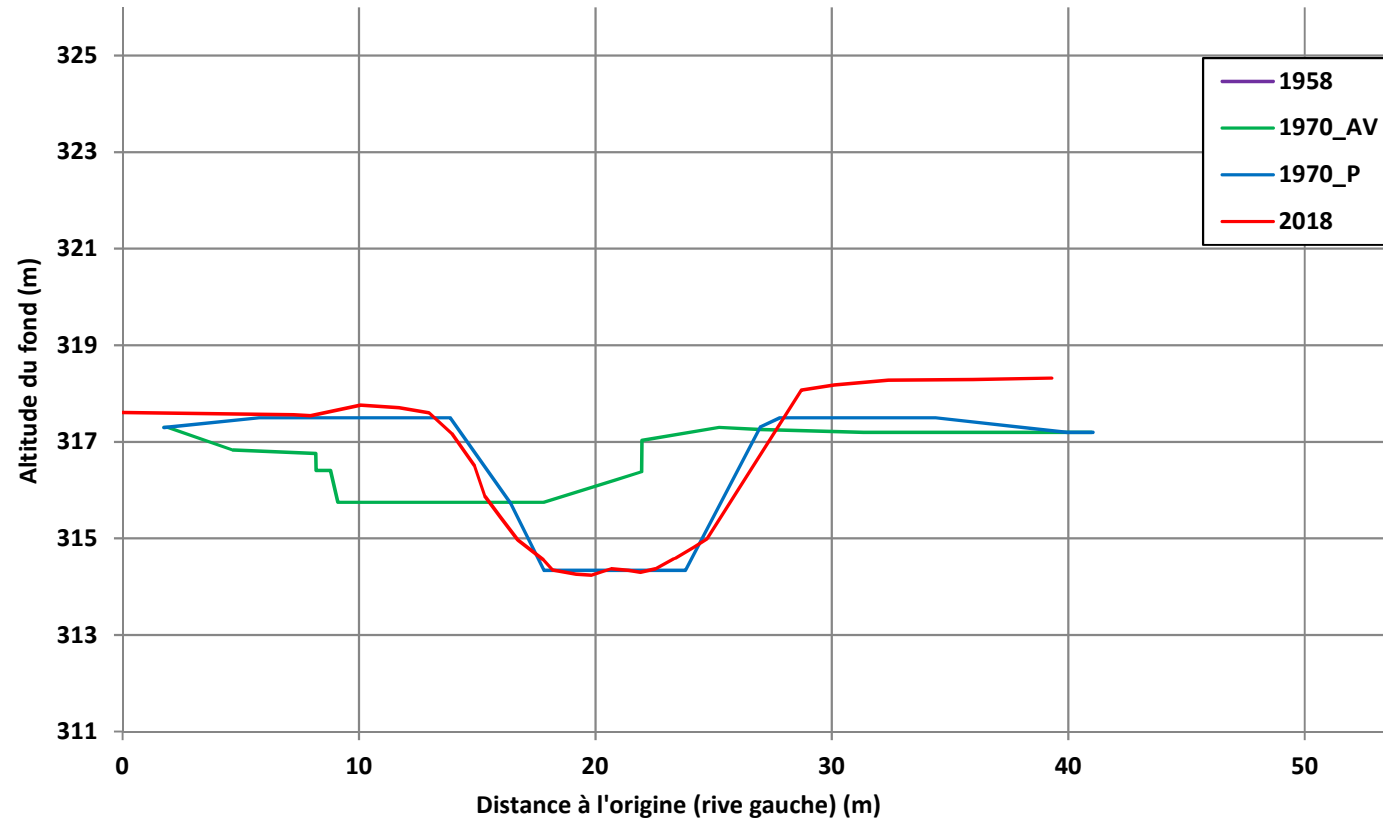


# PT n°21

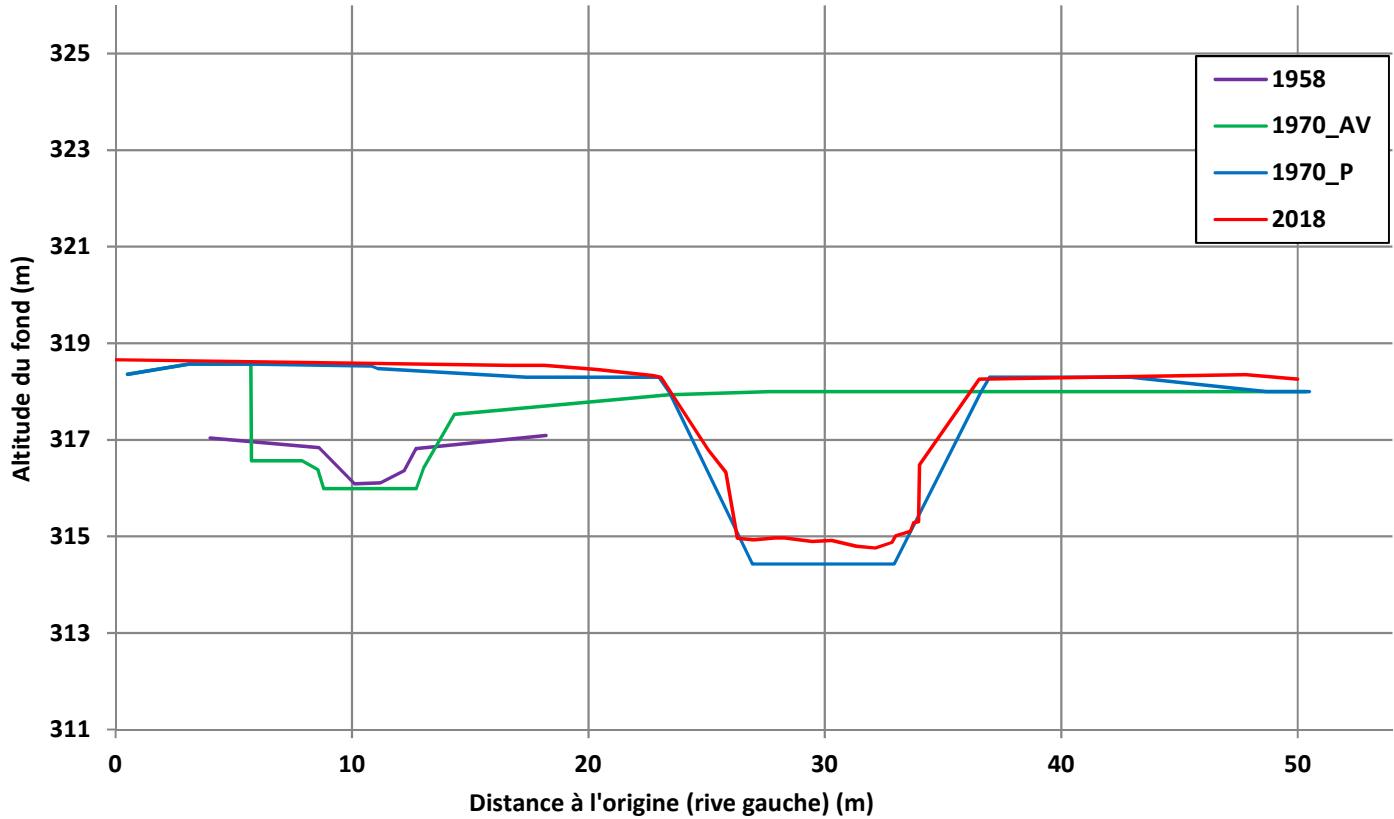




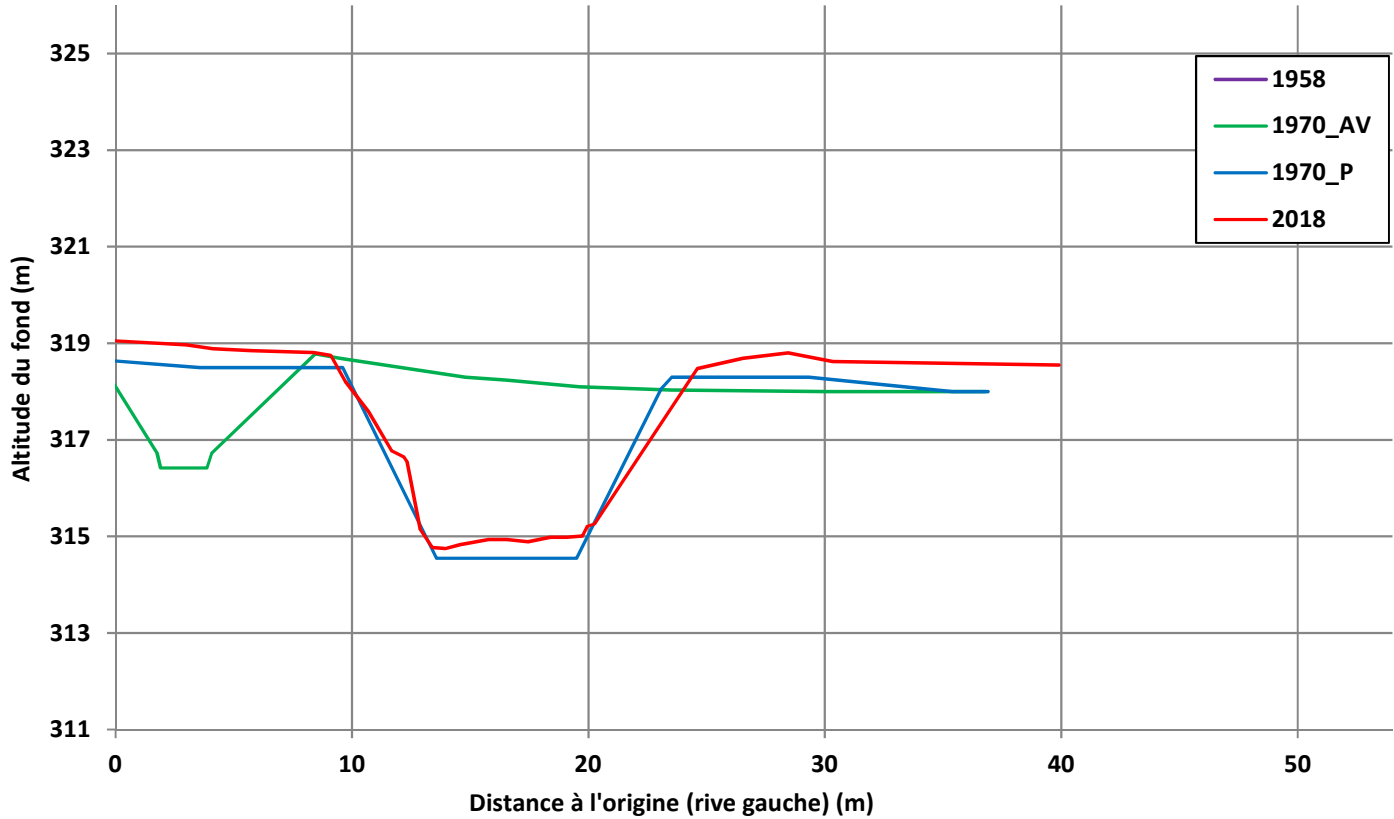
# PT n°22



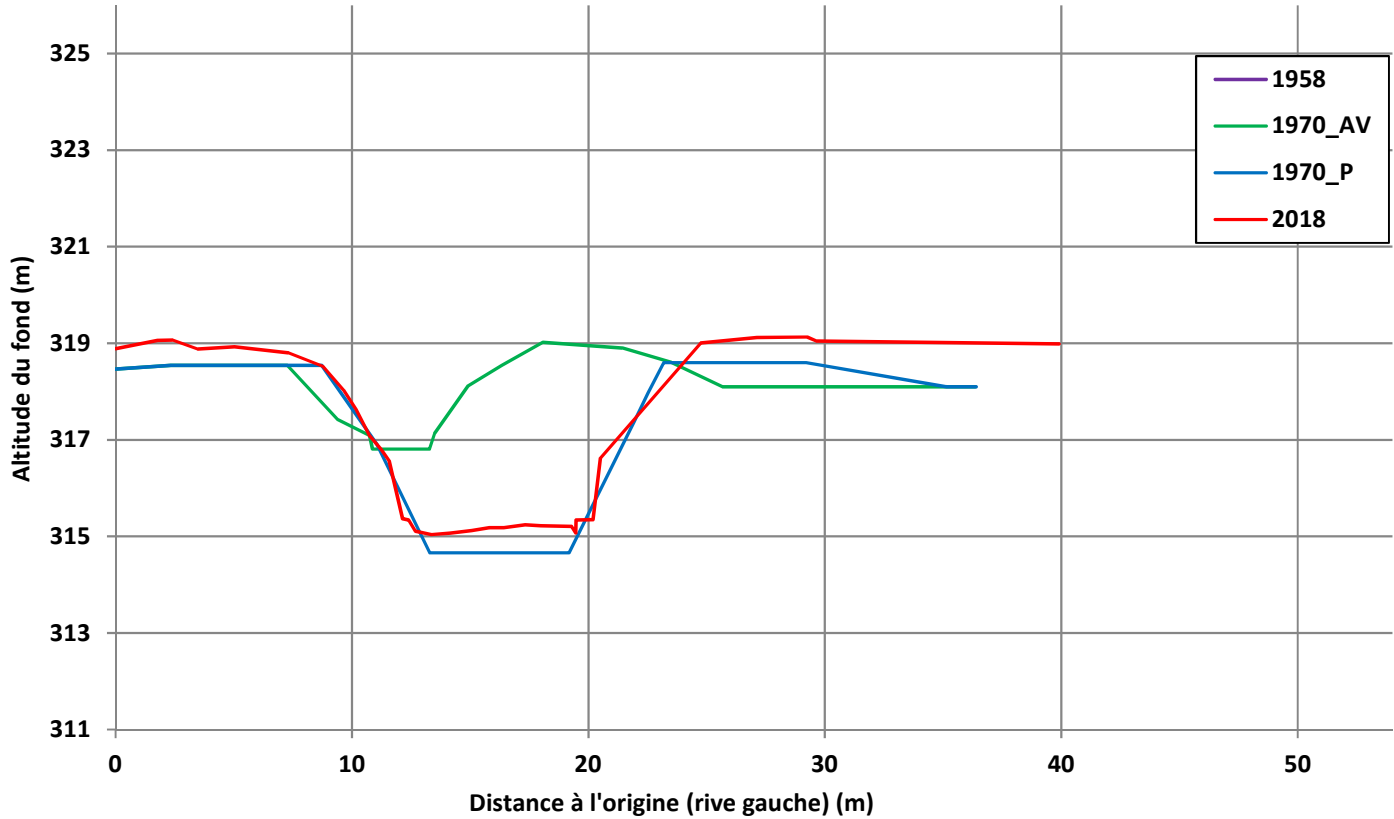
PT n°23



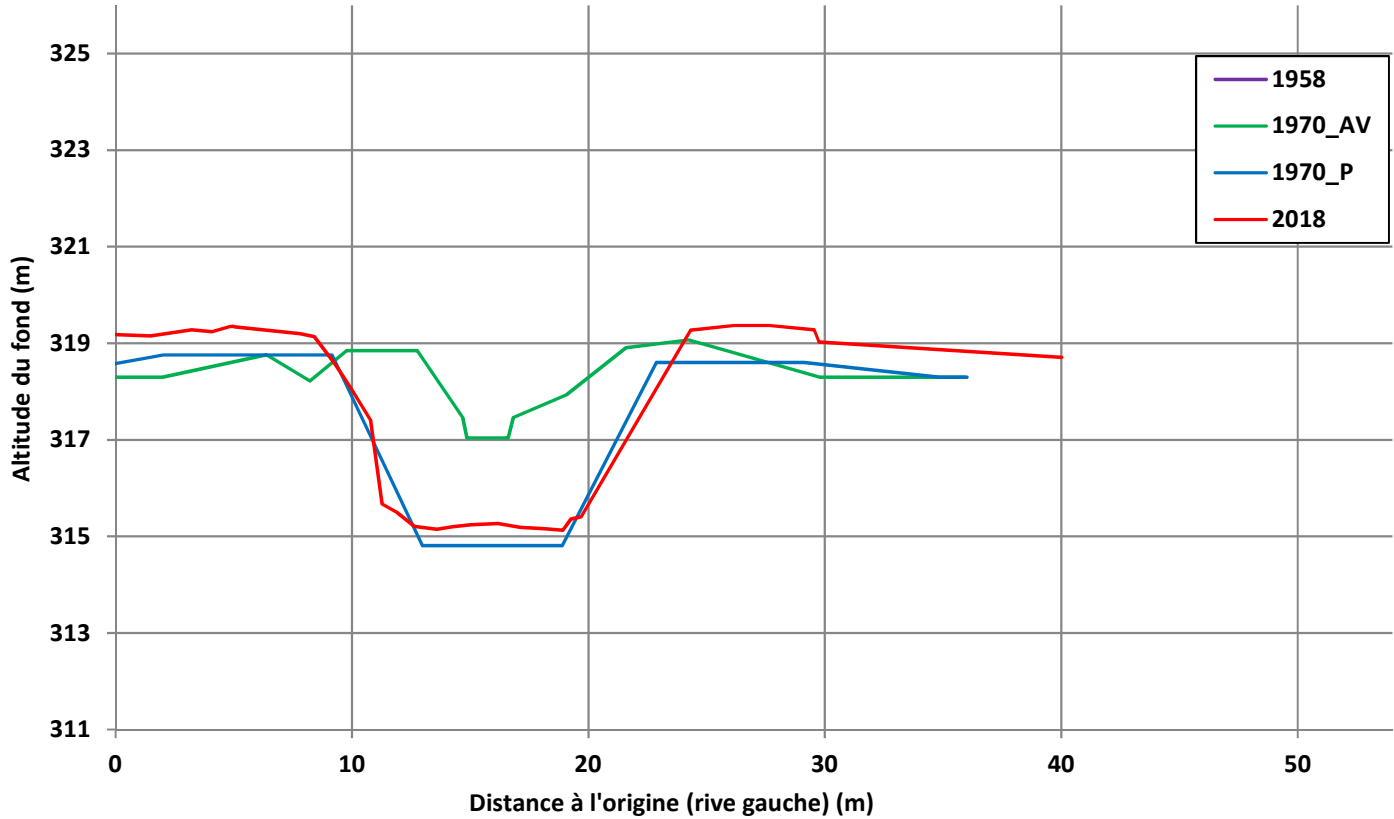
PT n°24



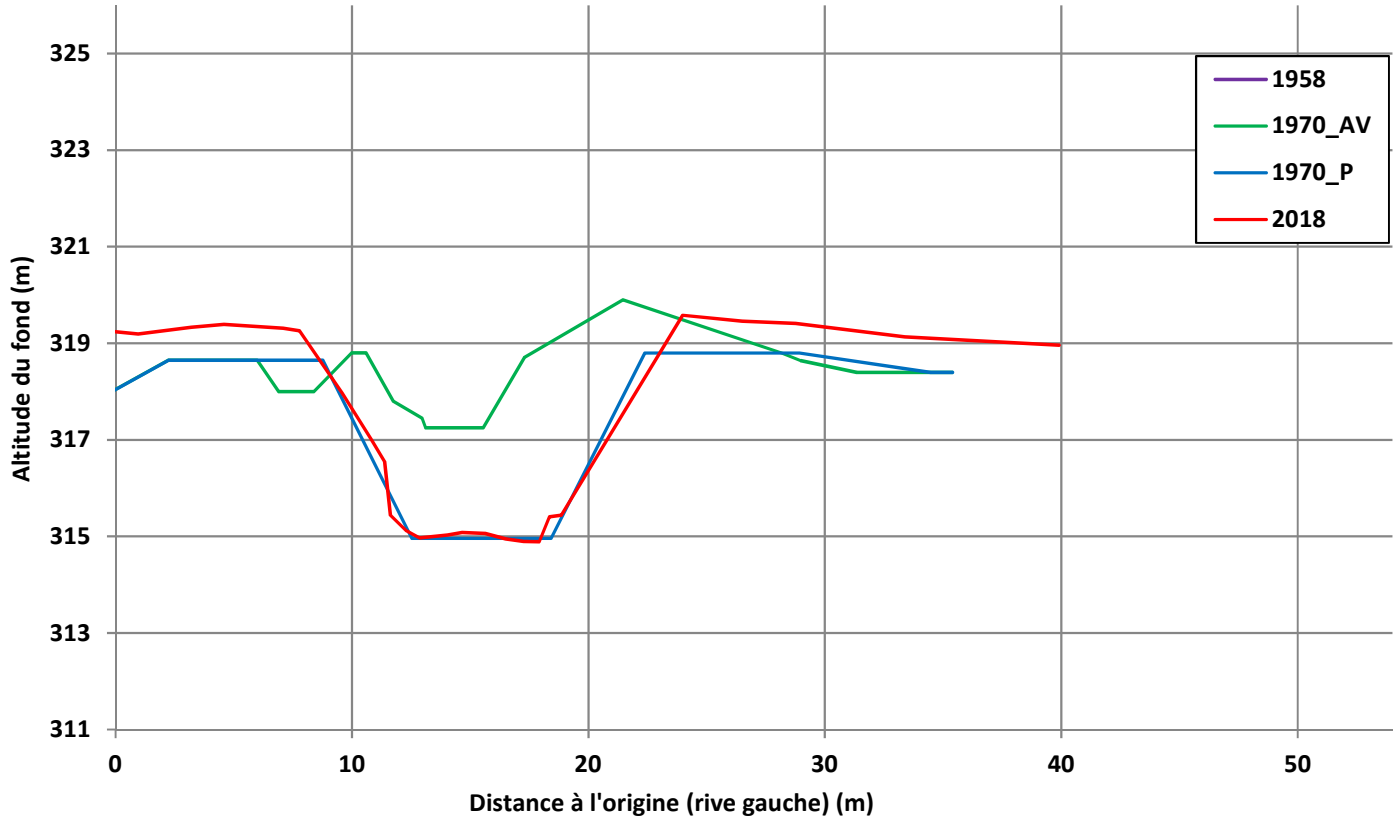
PT n°25



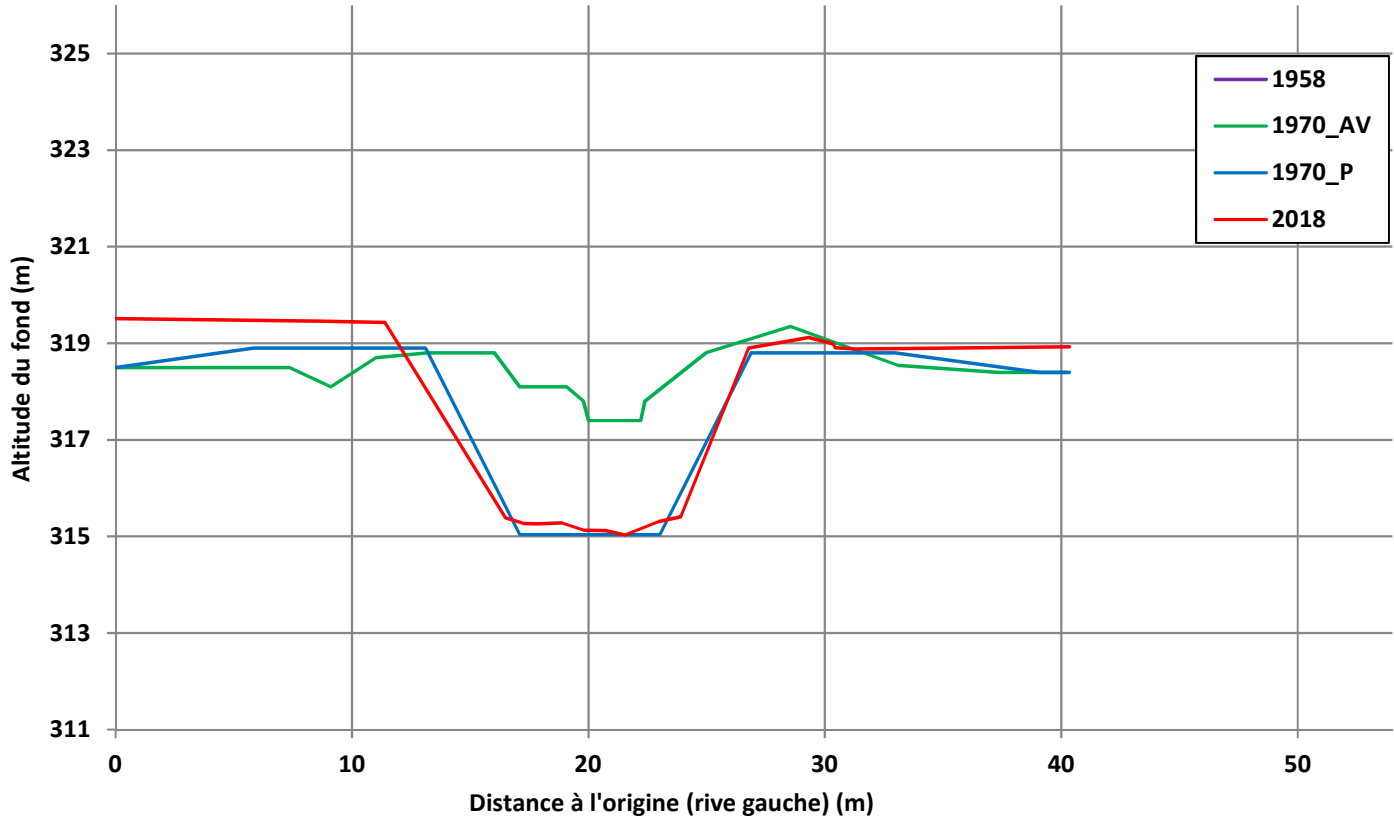
PT n°26



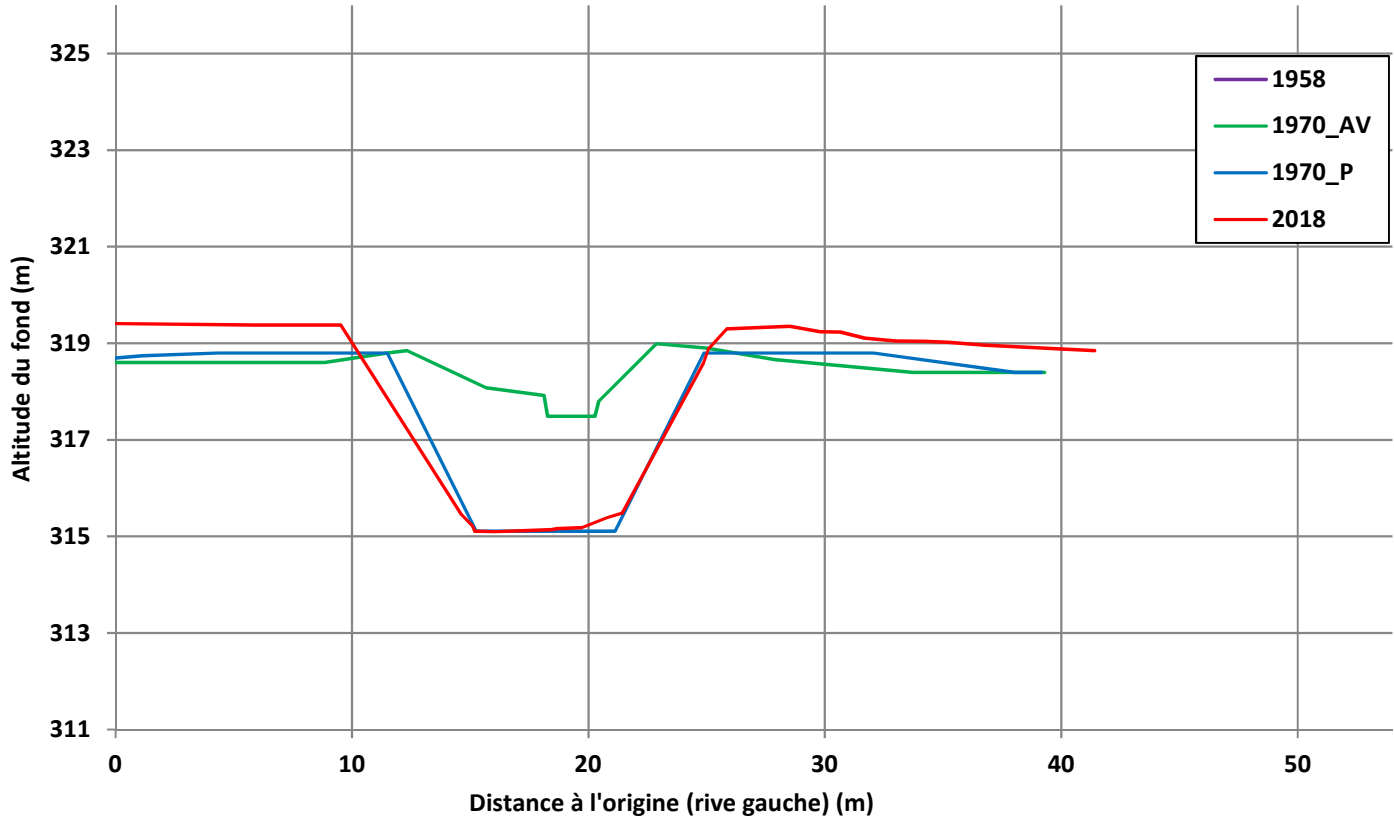
PT n°27



PT n°28

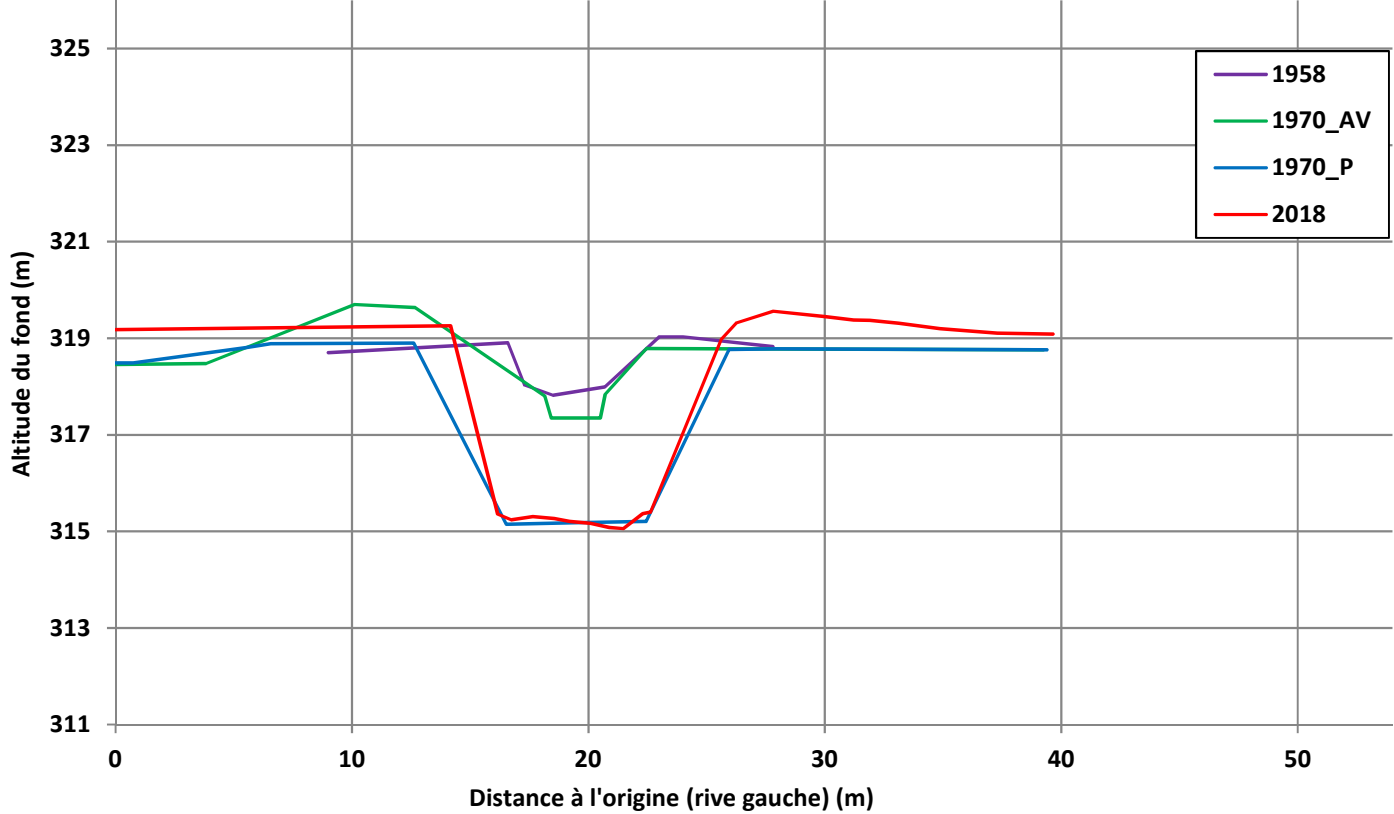


PT n°29

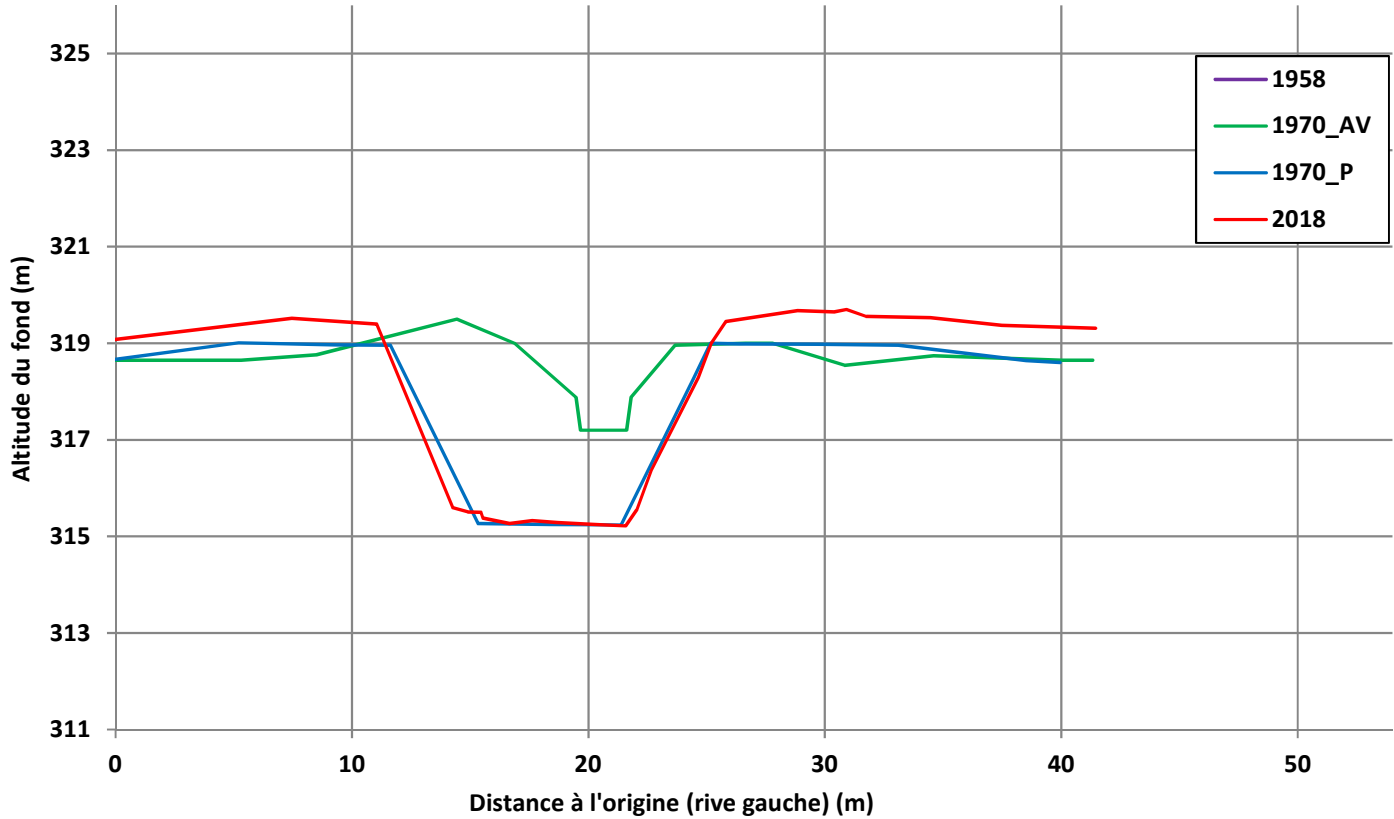




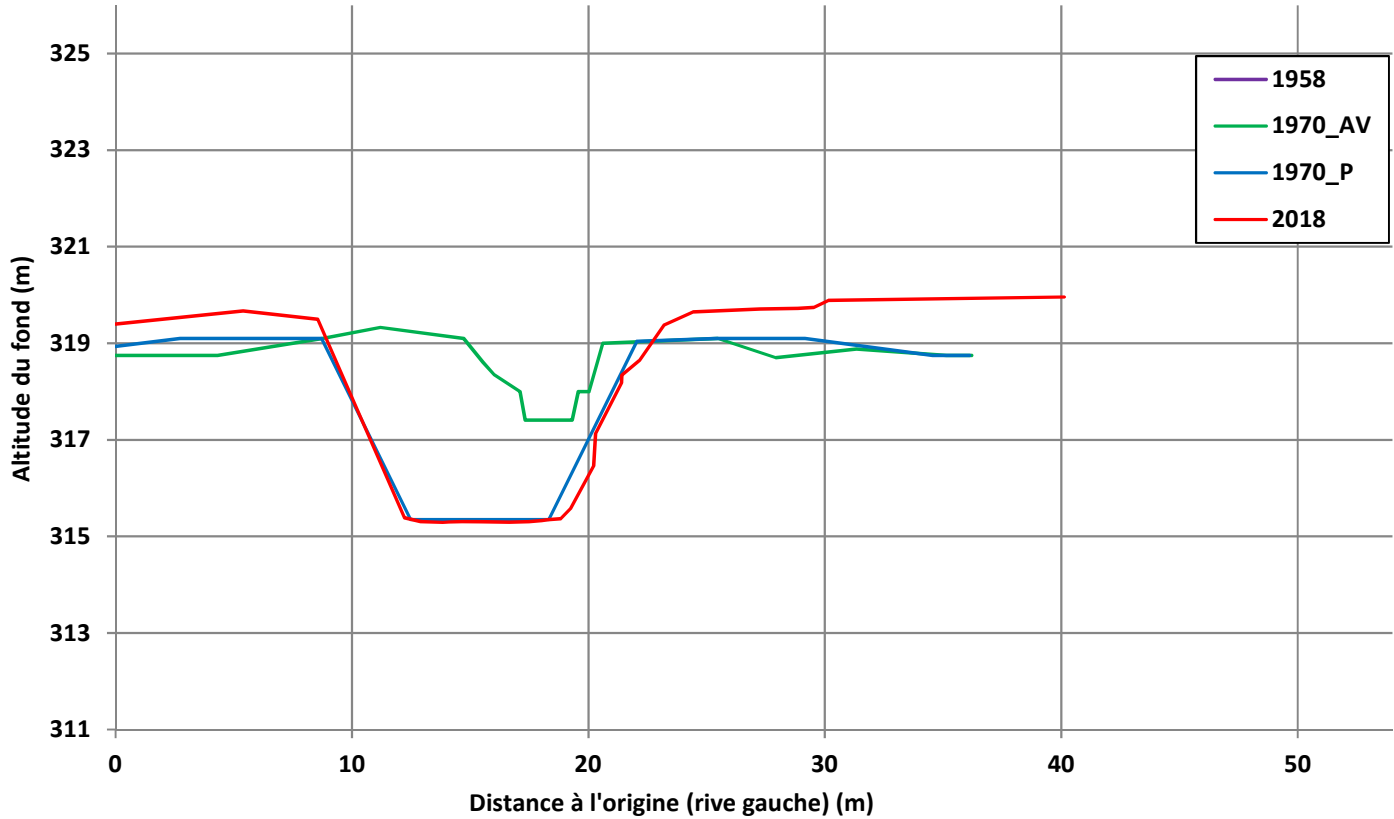
PT n°30



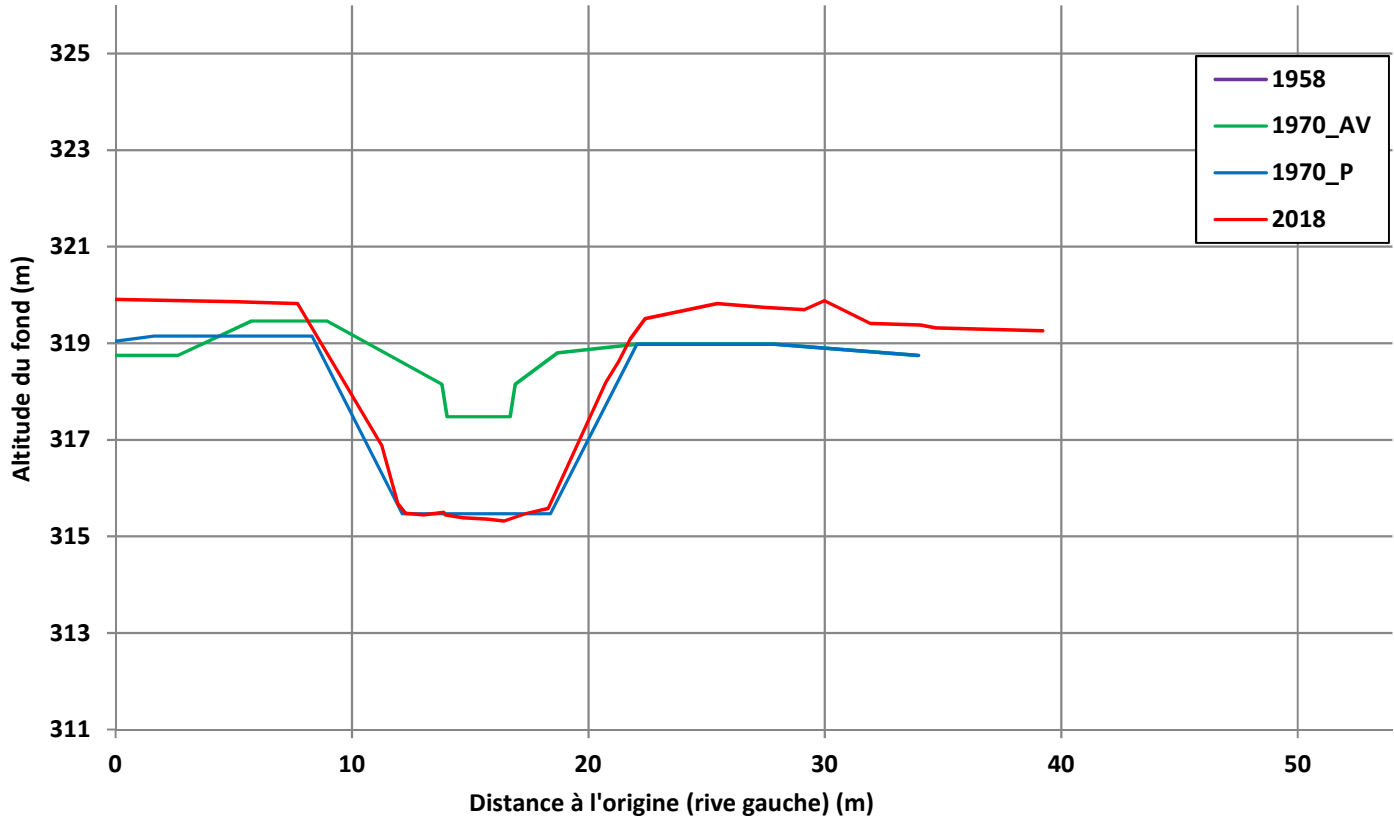
PT n°31



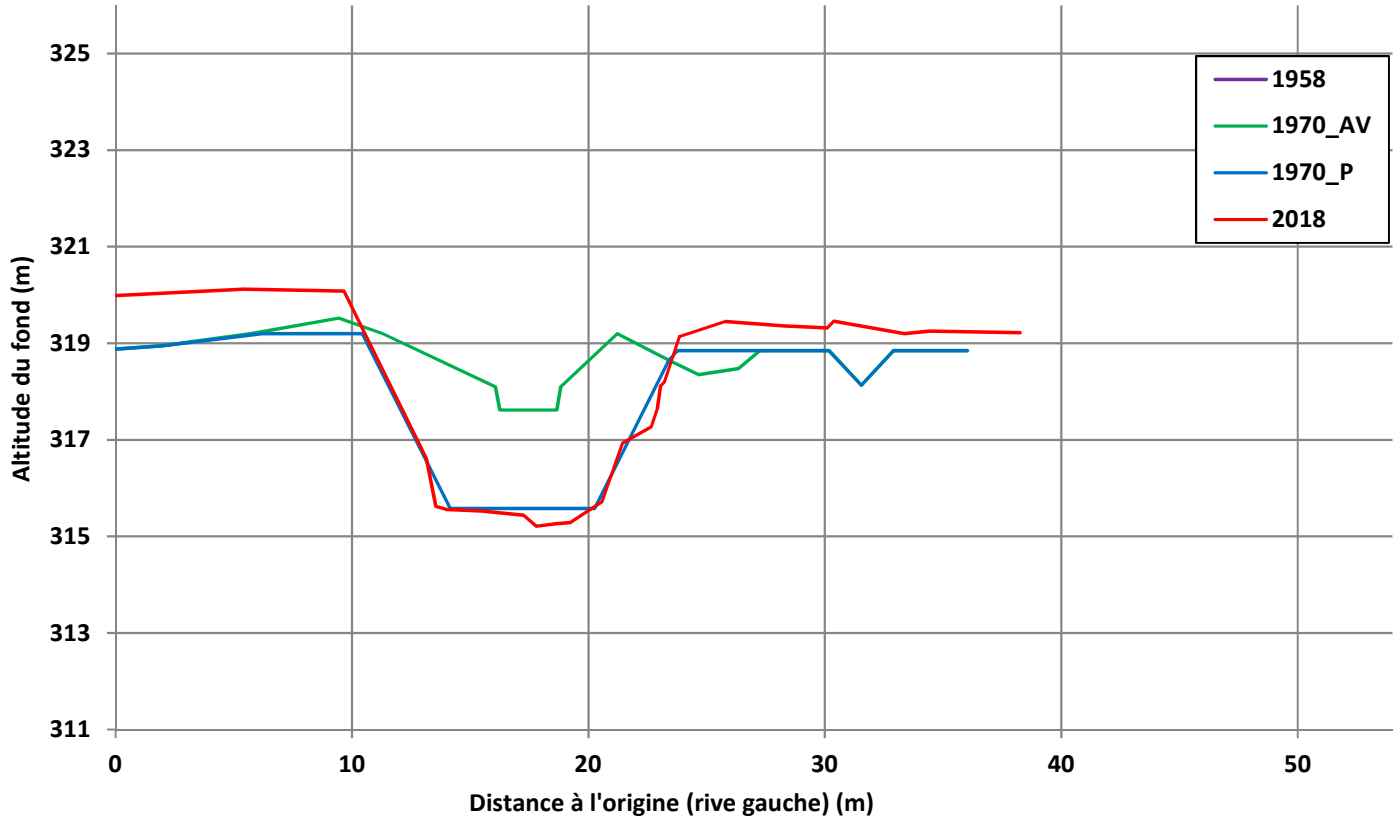
PT n°32



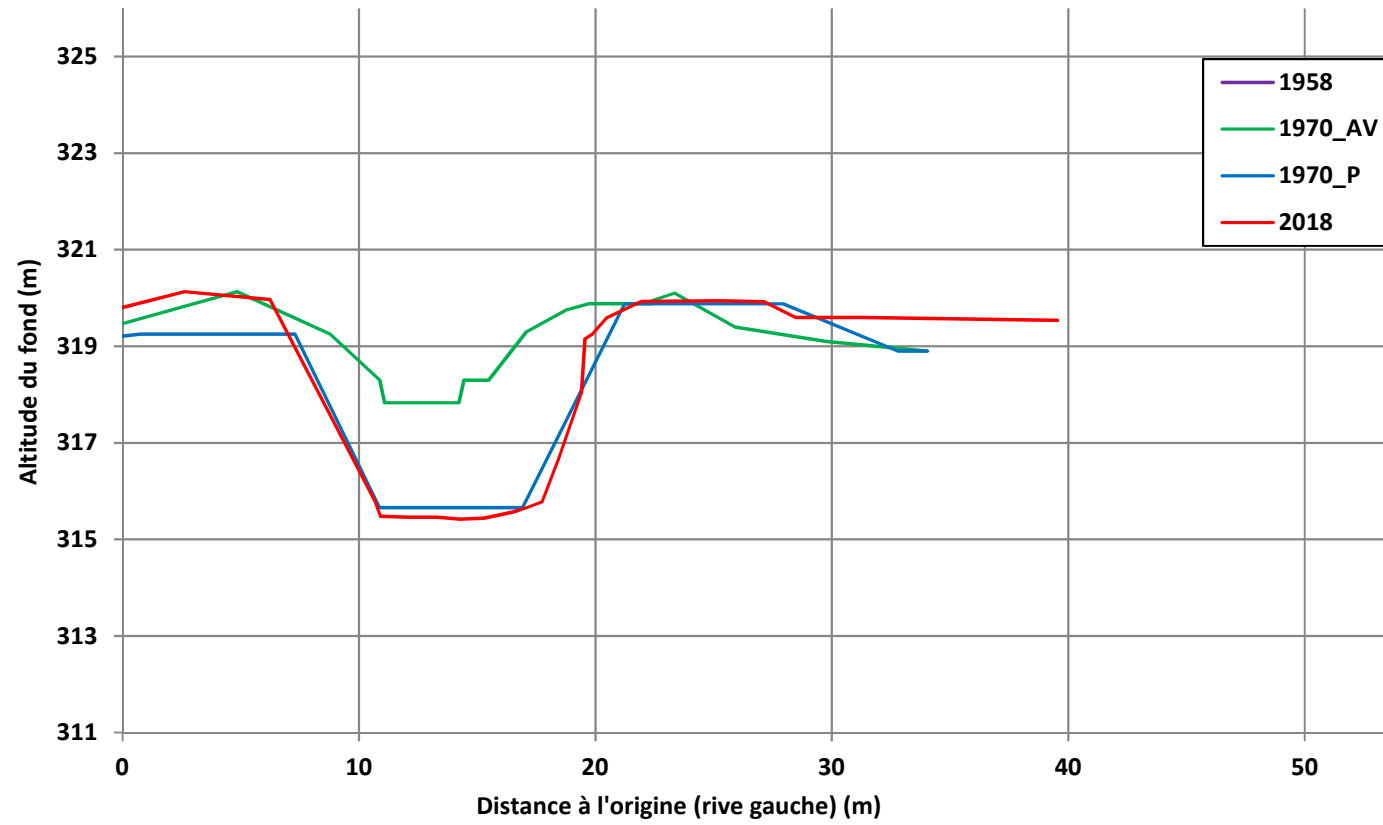
PT n°33



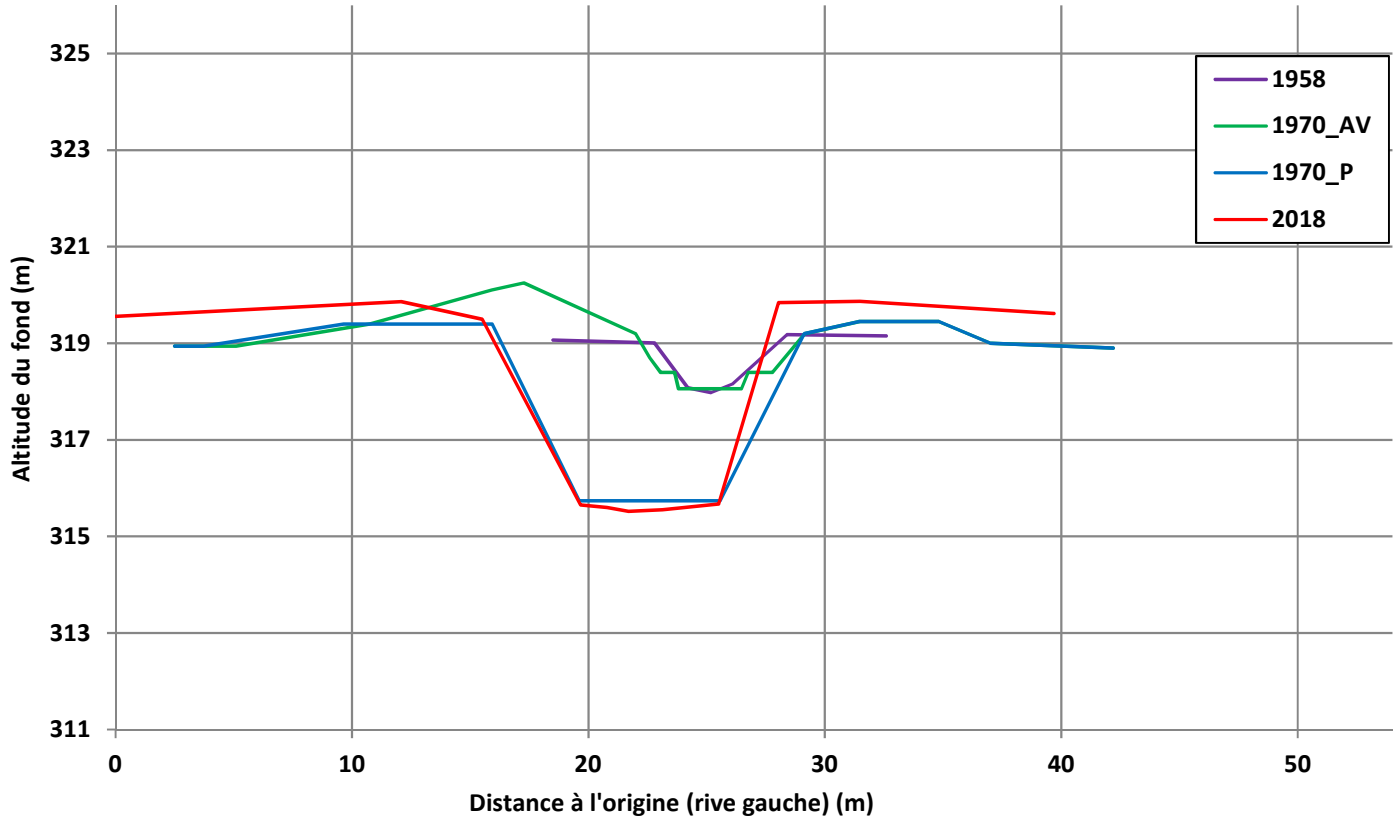
PT n°34



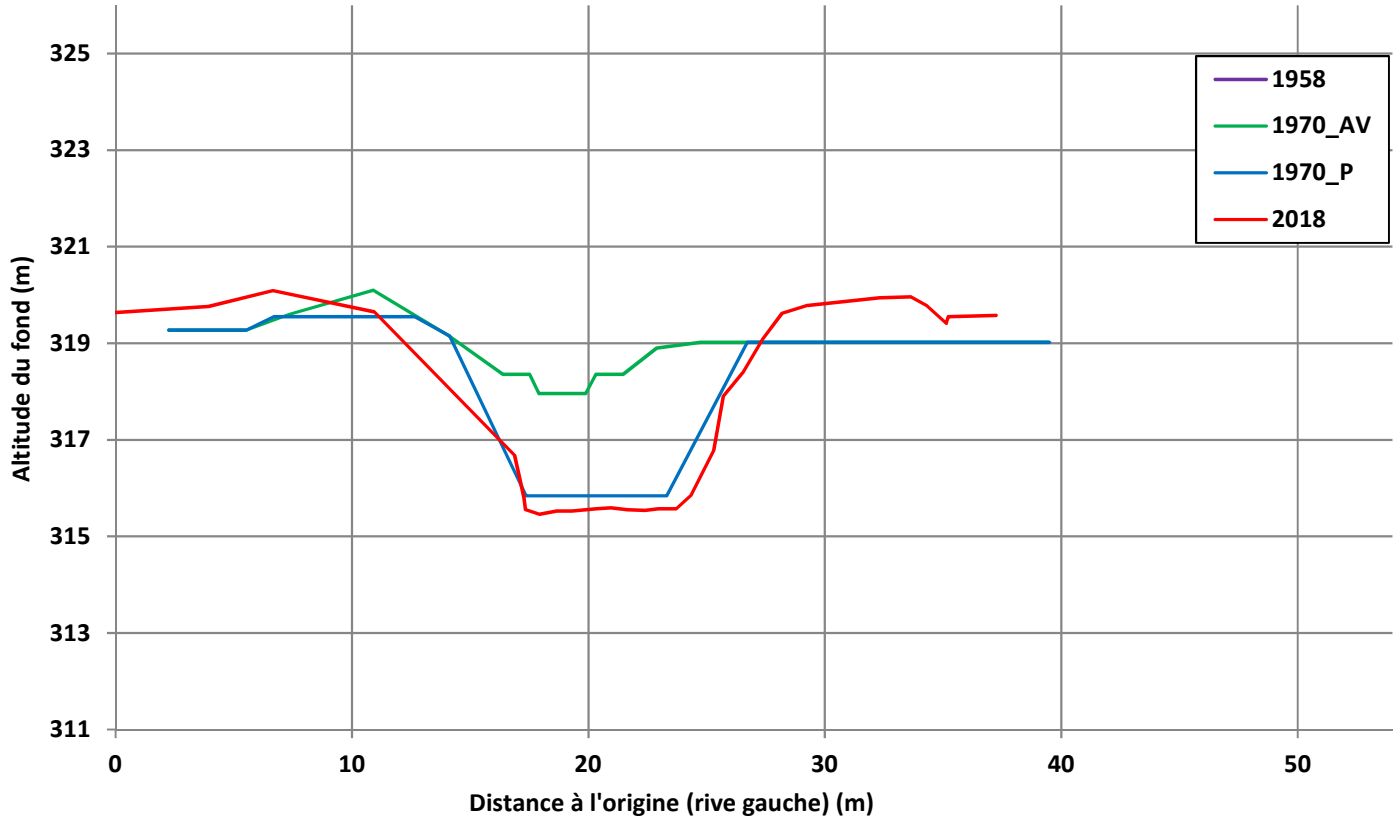
### PT n°35



PT n°36

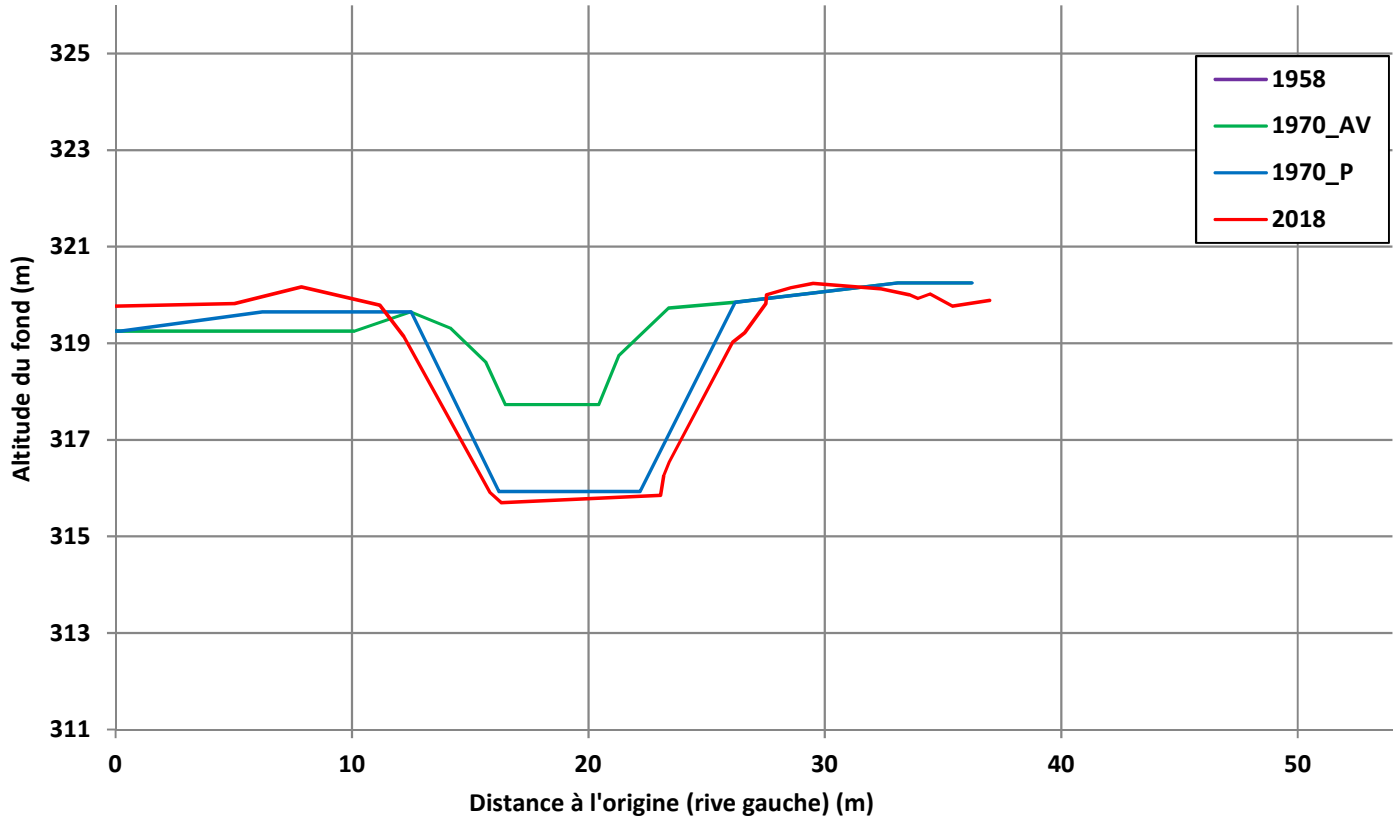


PT n°37

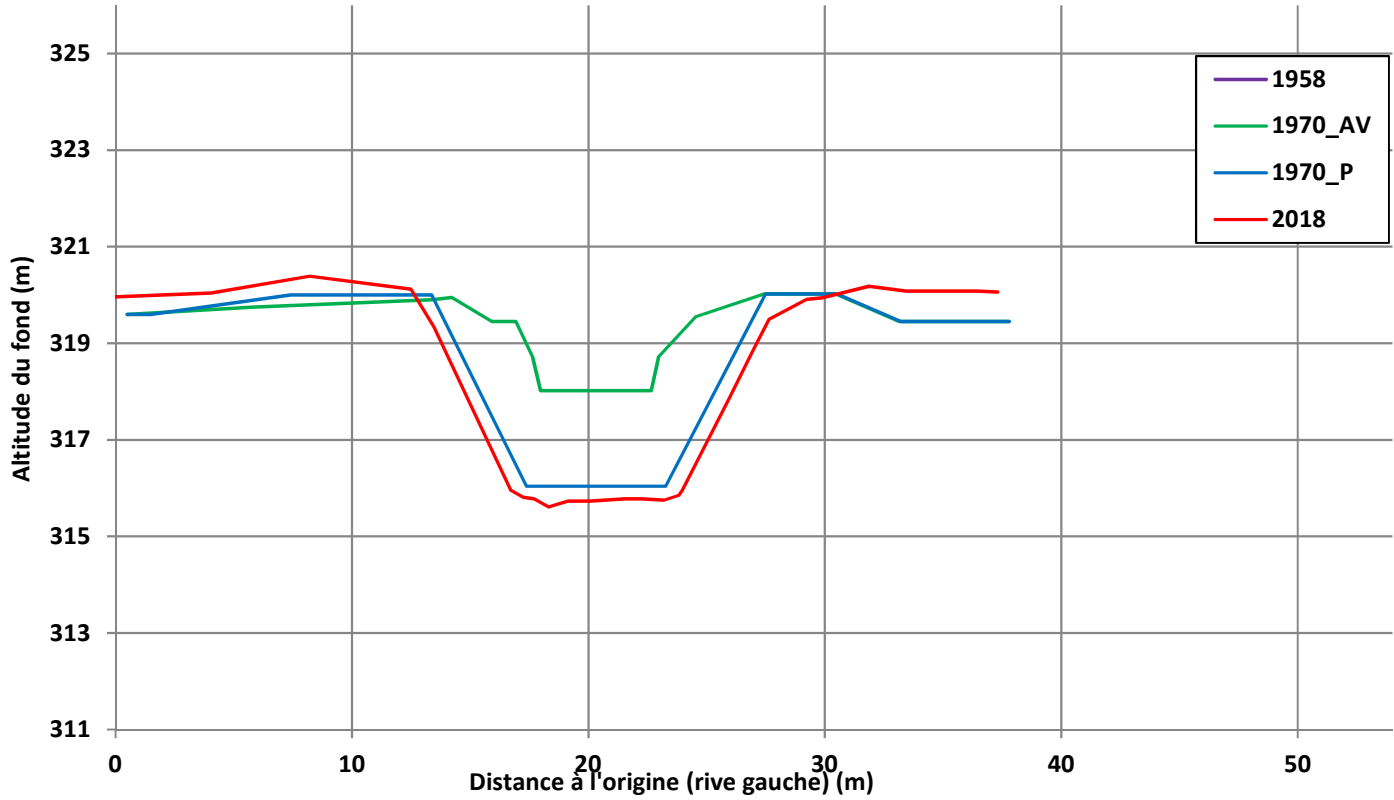




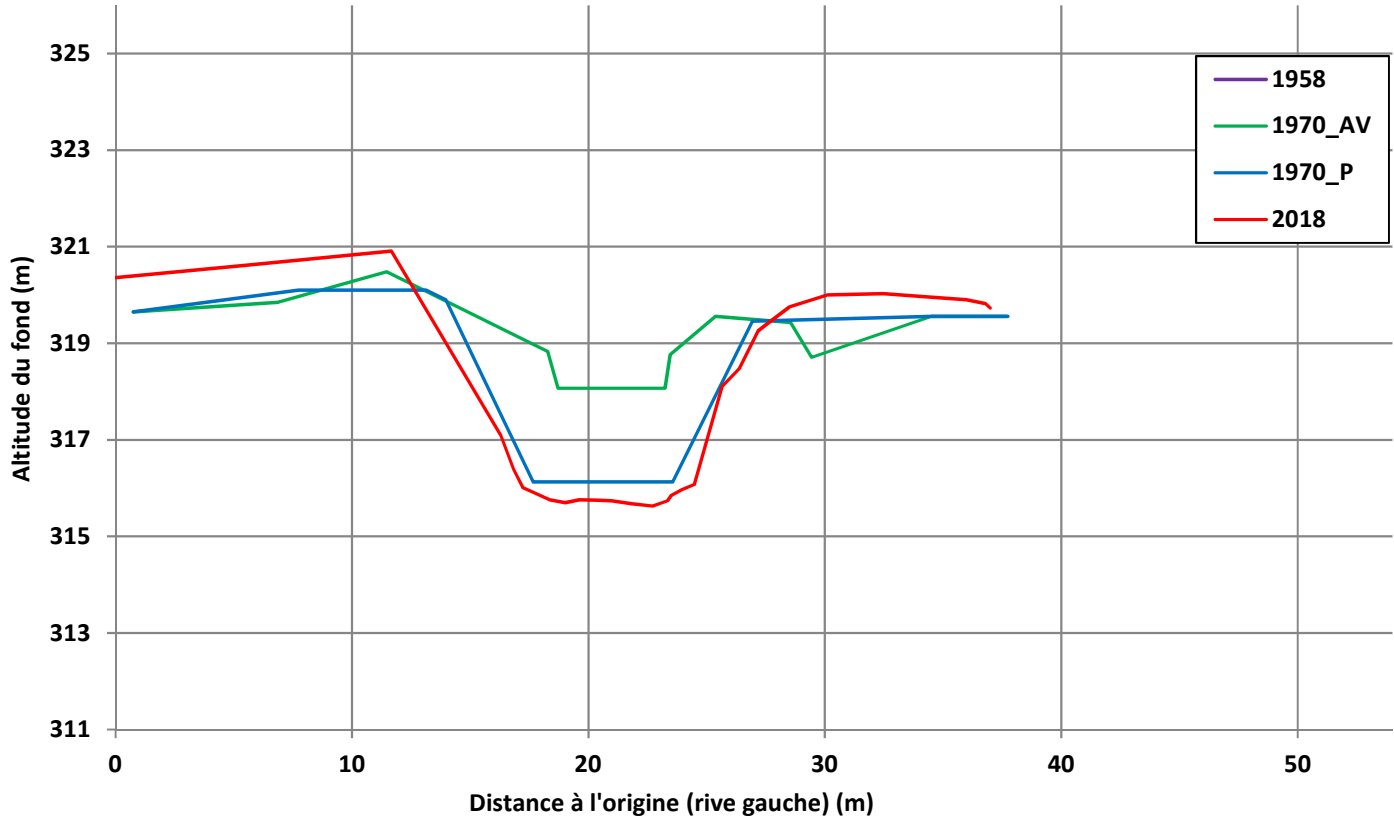
PT n°38



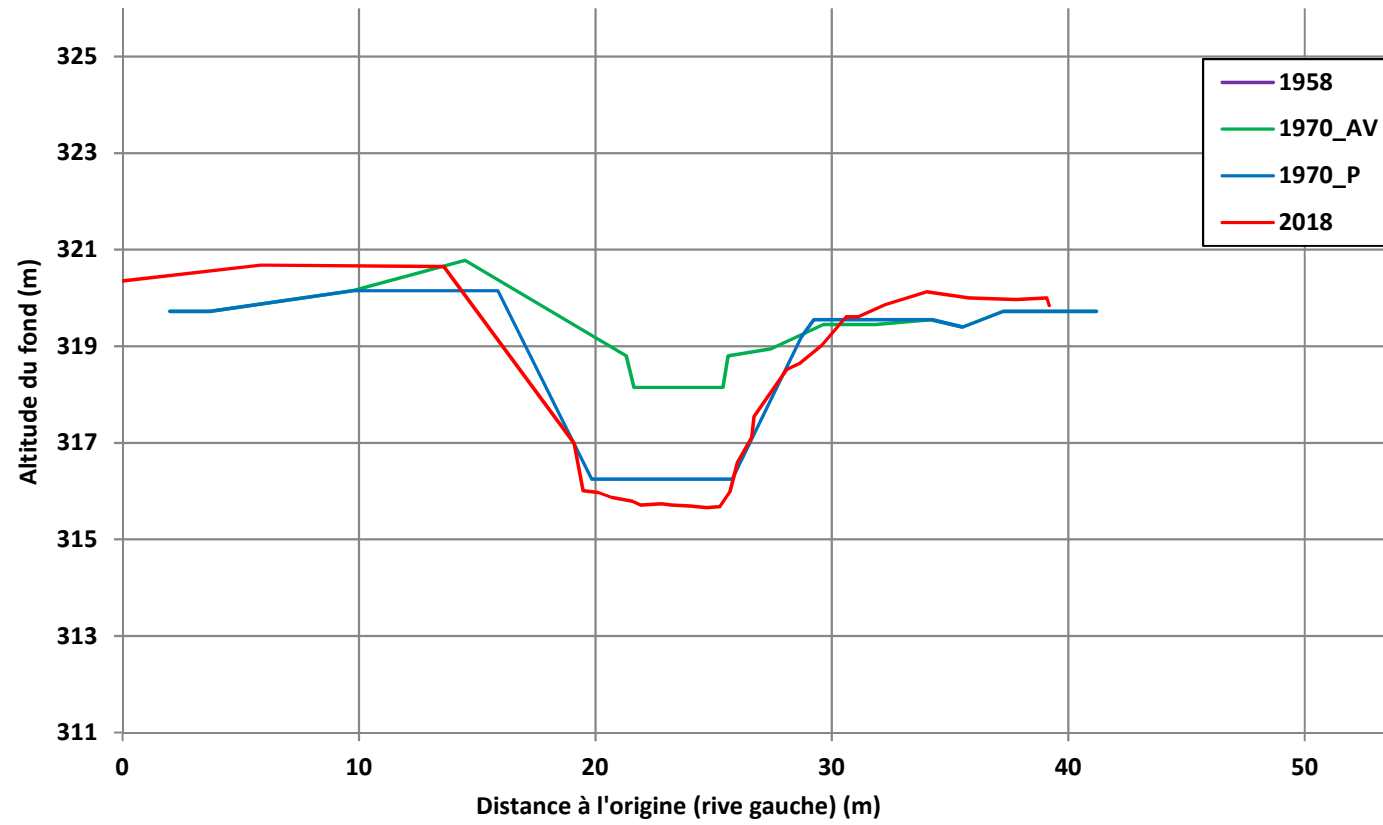
PT n°39



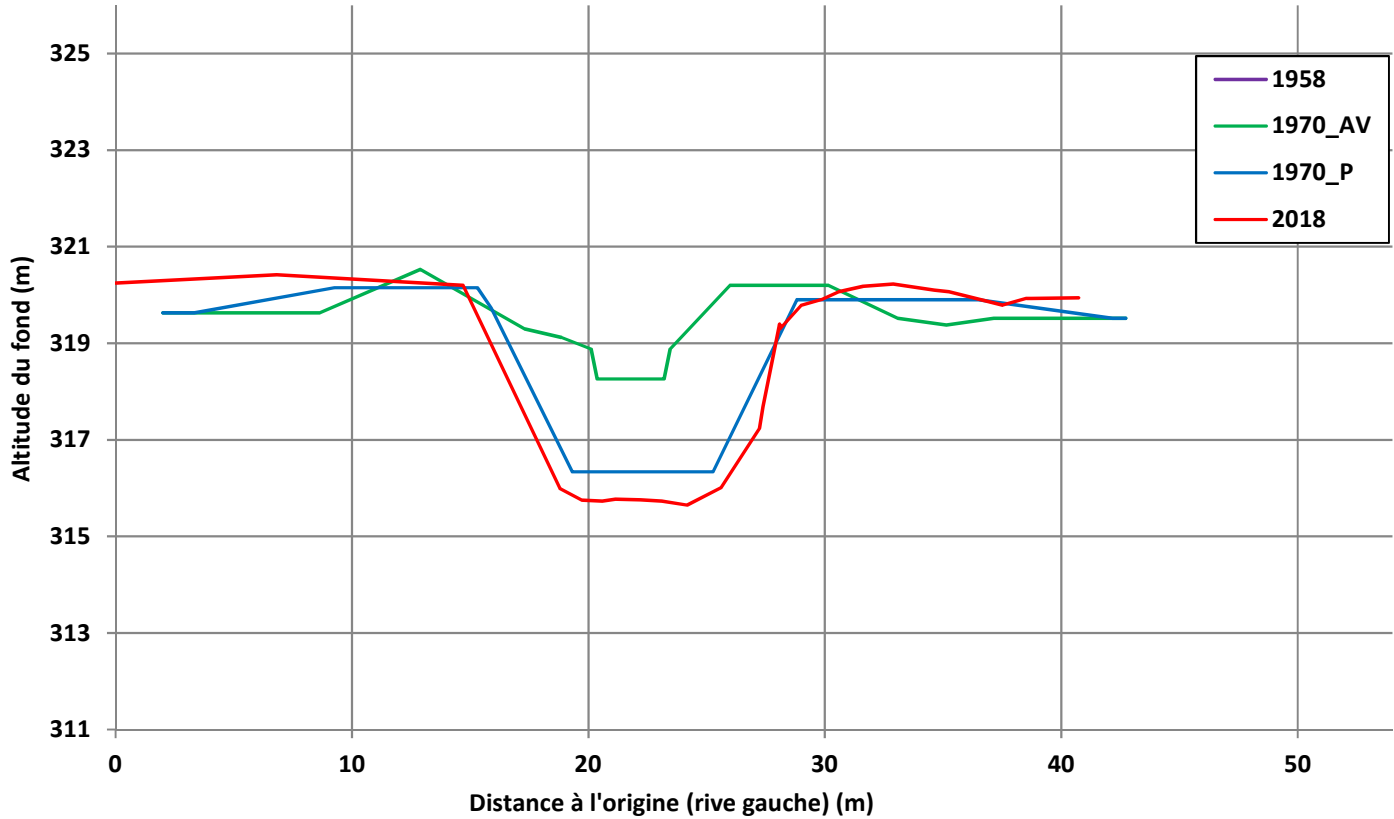
PT n°40



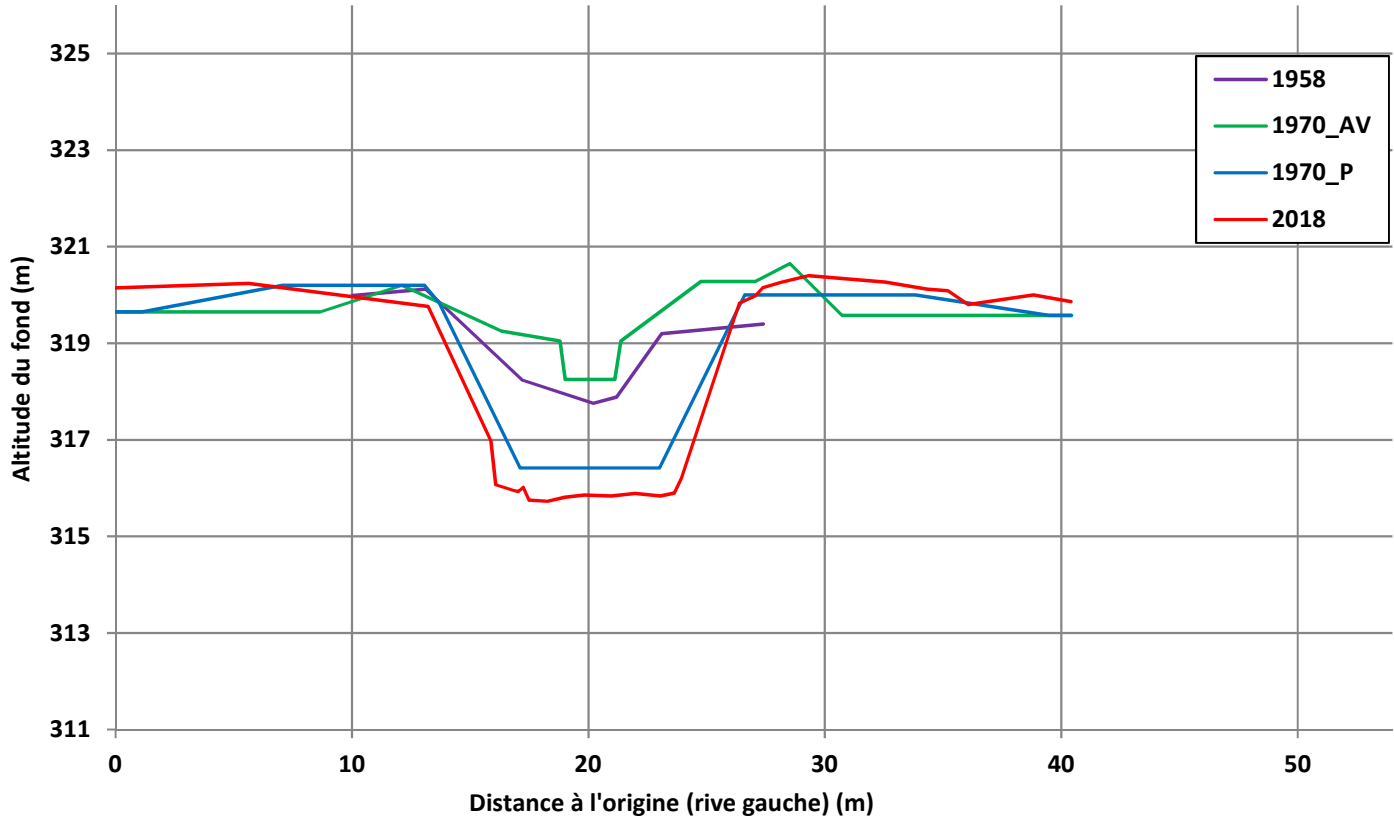
# PT n°41



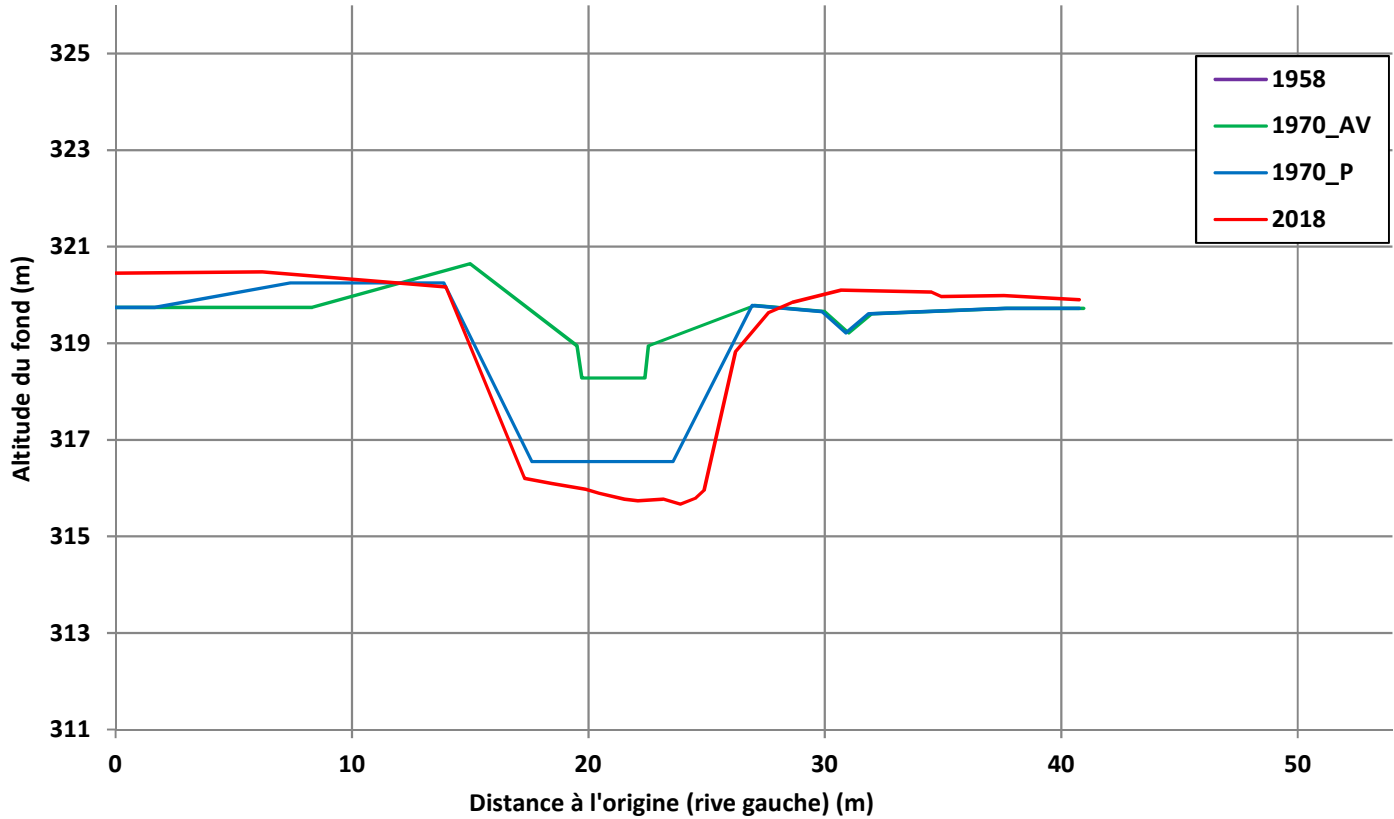
PT n°42



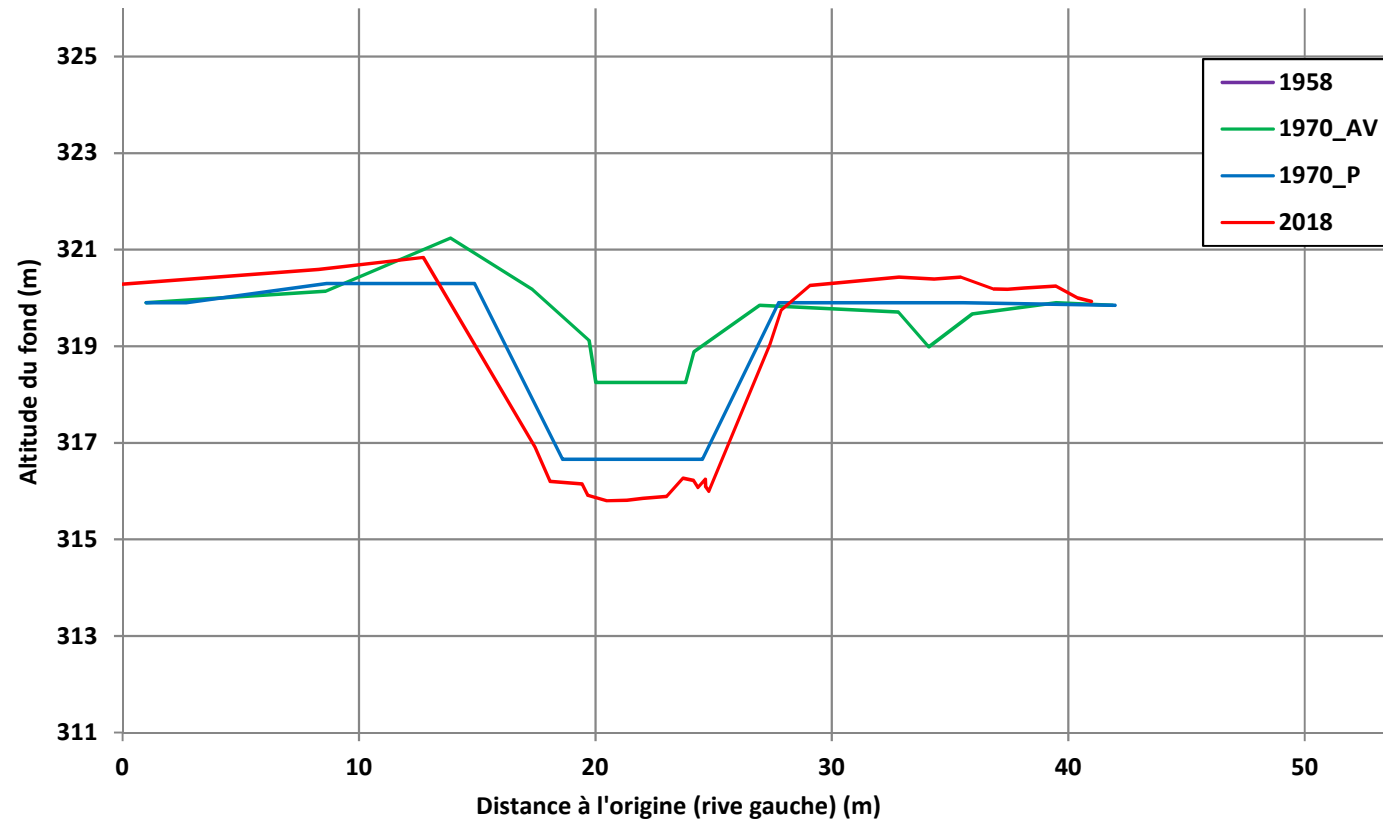
PT n°43



PT n°44

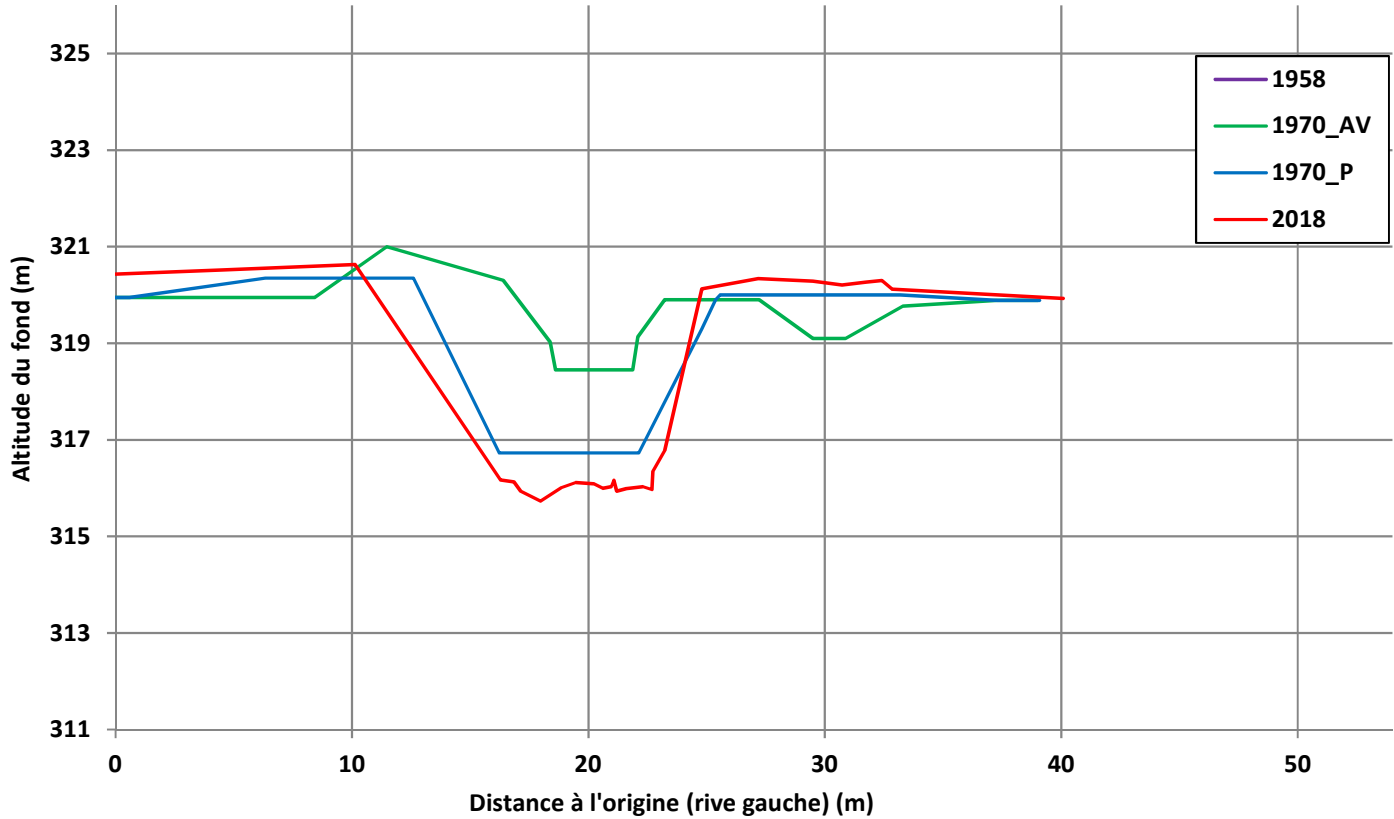


### PT n°45

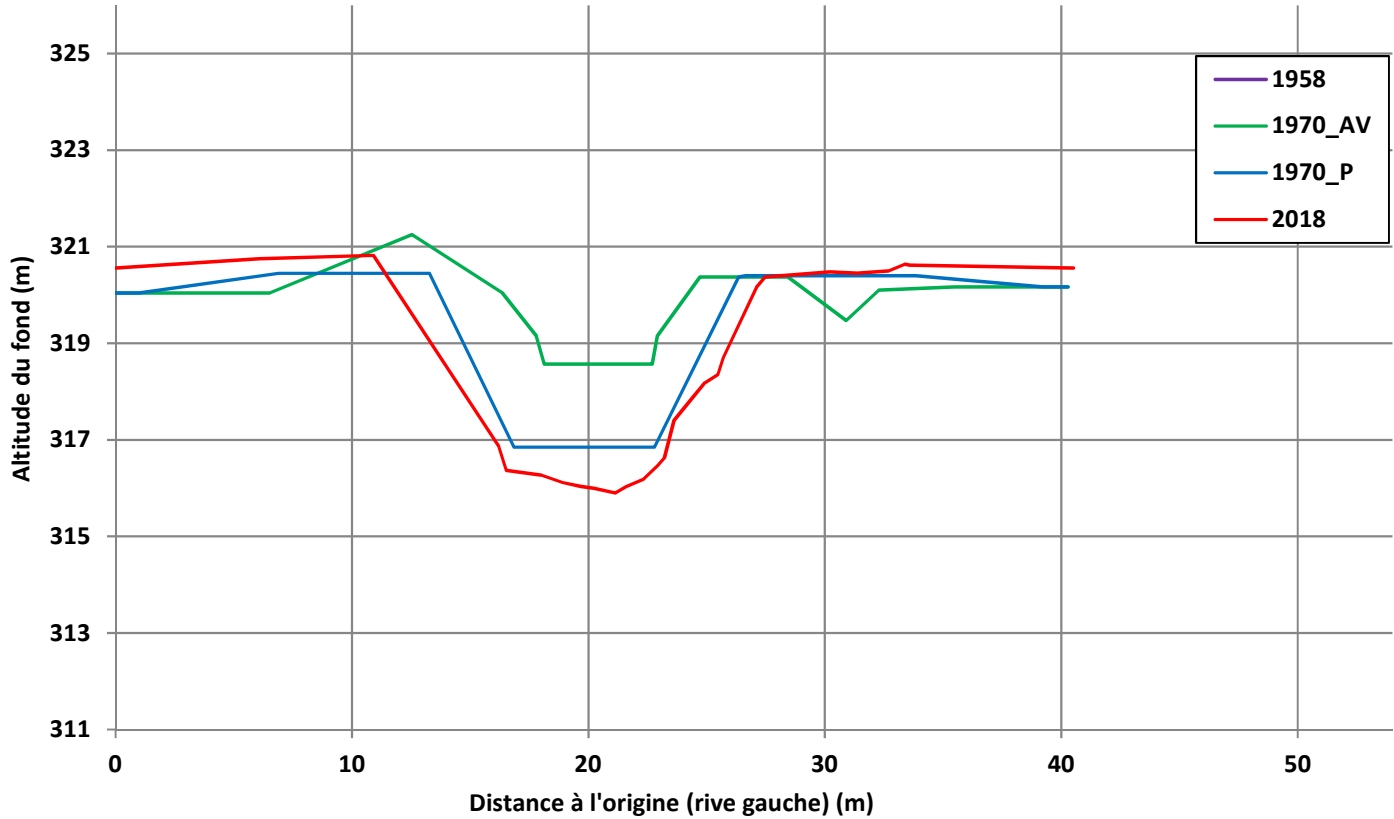




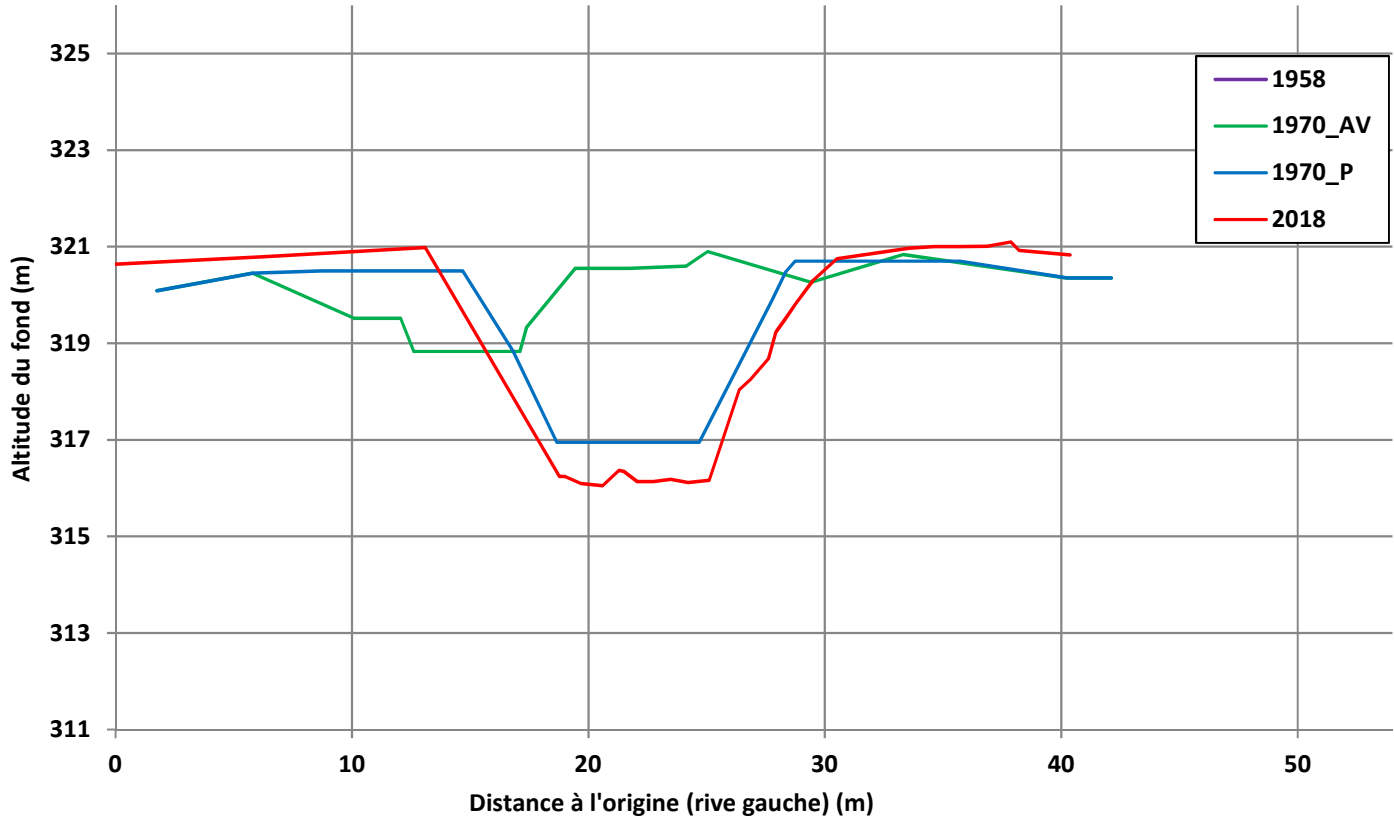
PT n°46



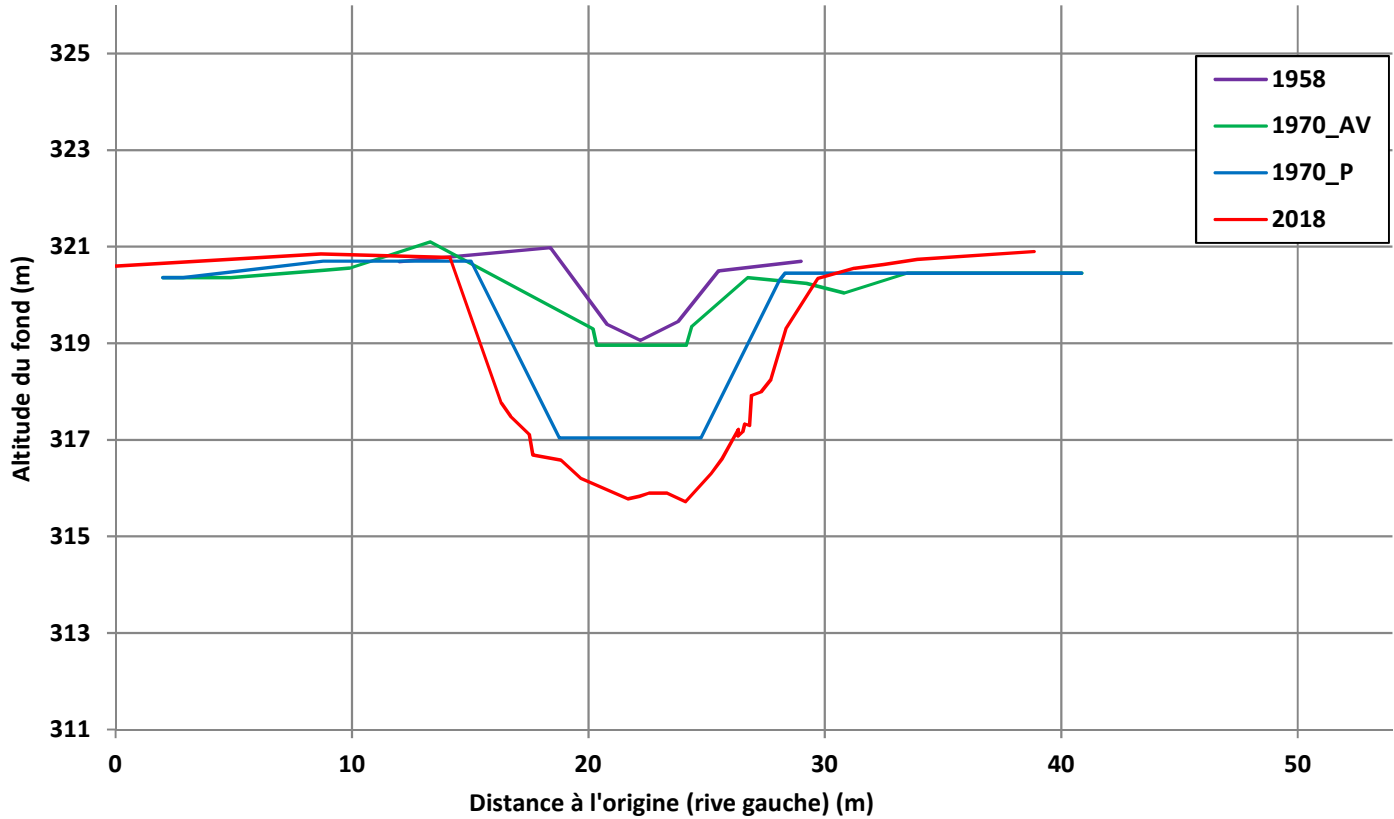
PT n°47



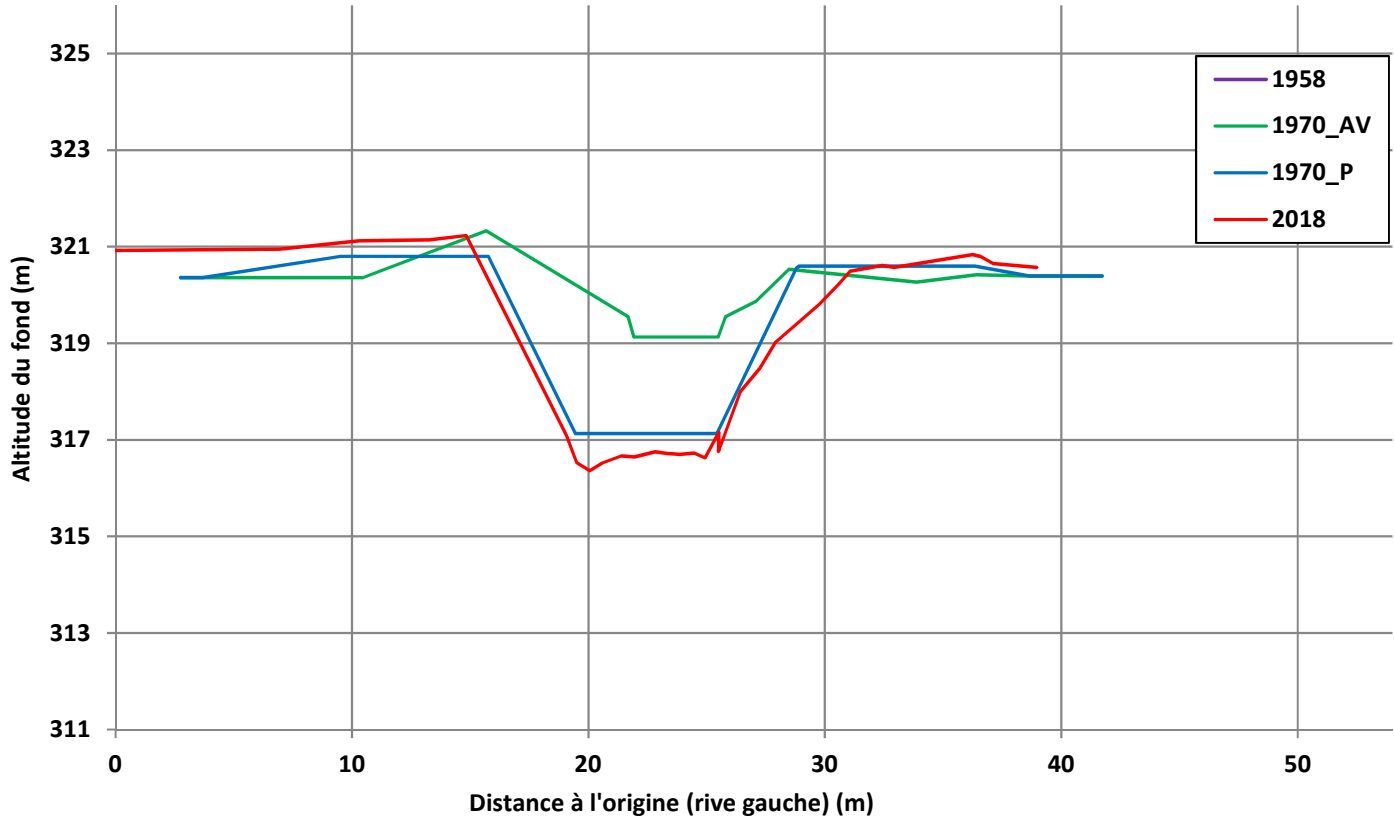
PT n°48



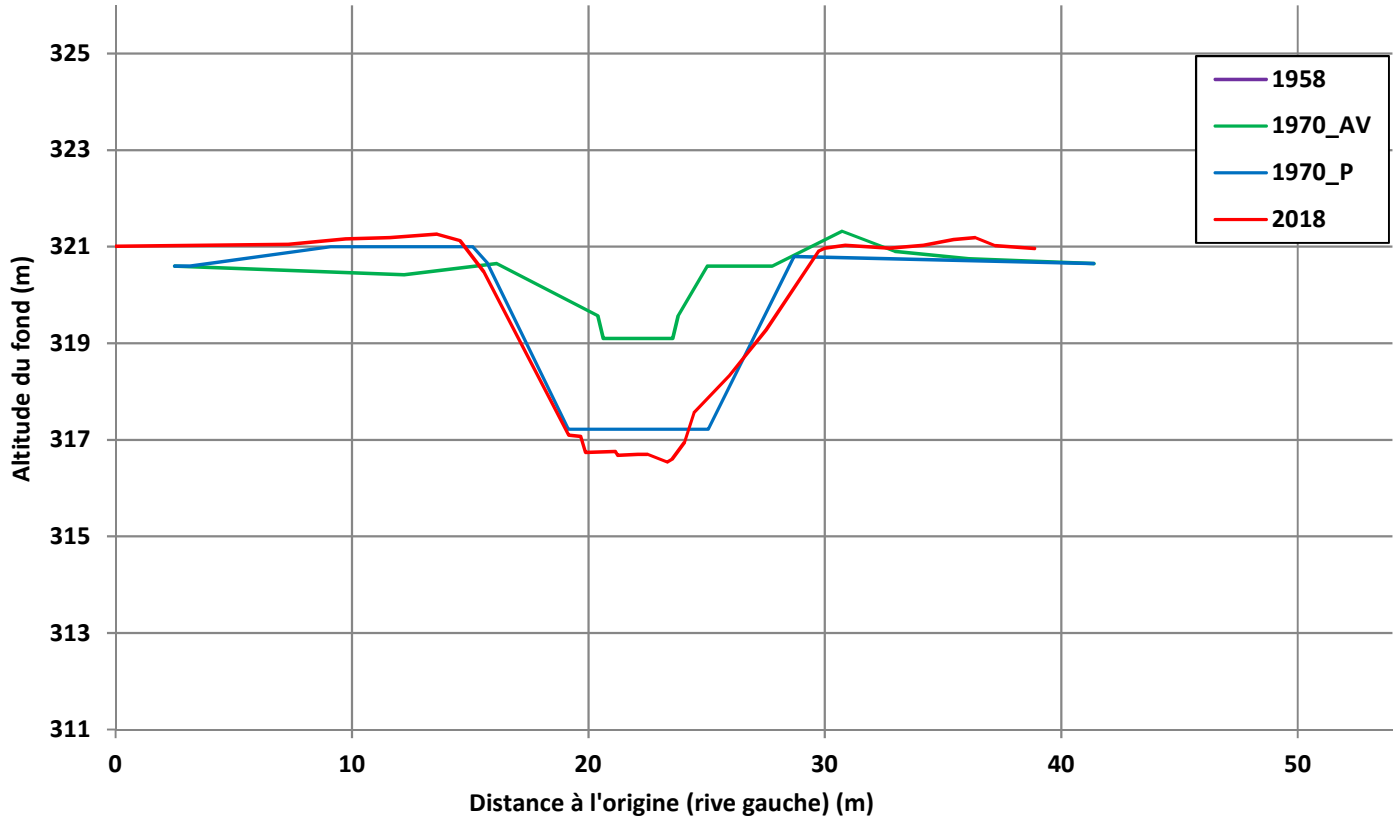
PT n°49



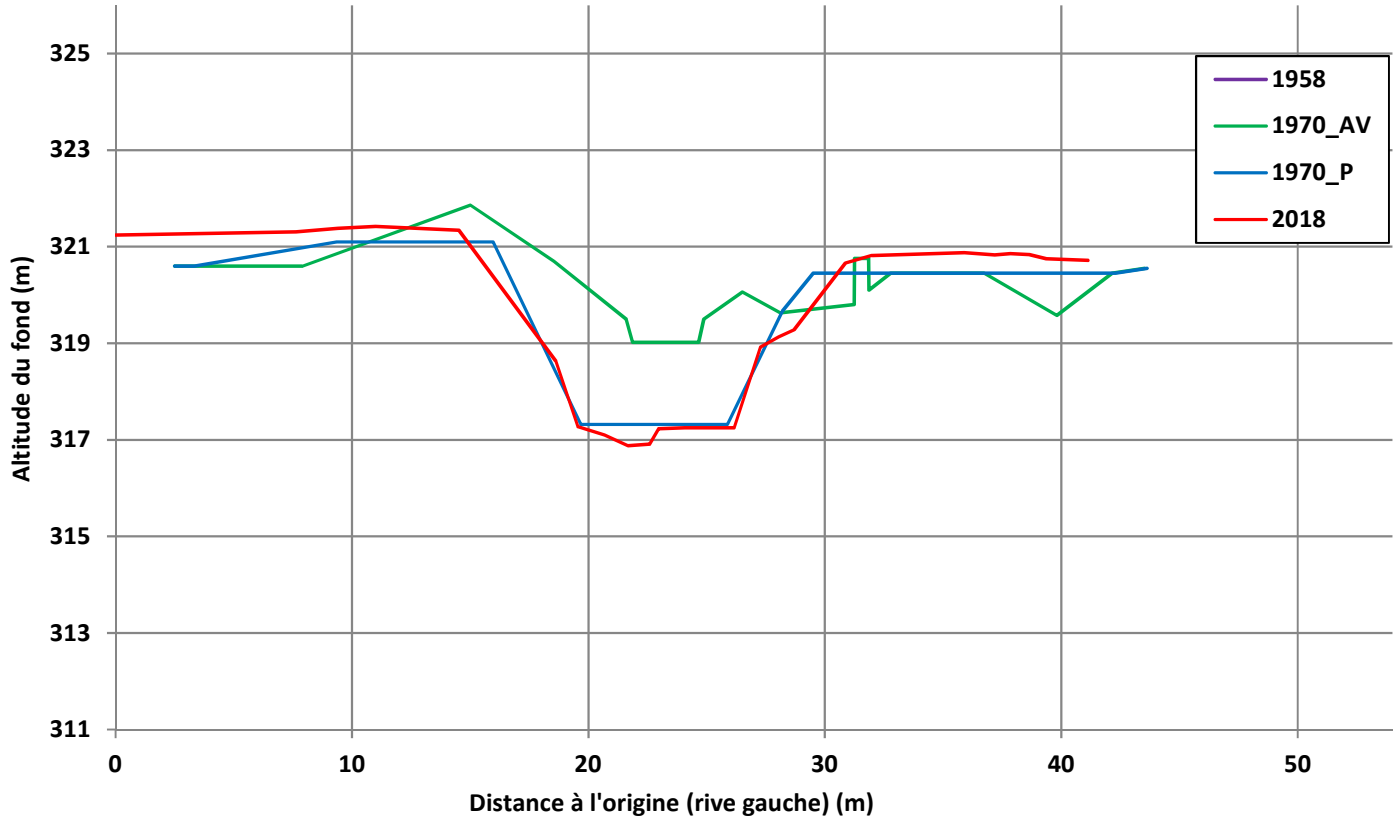
PT n°50



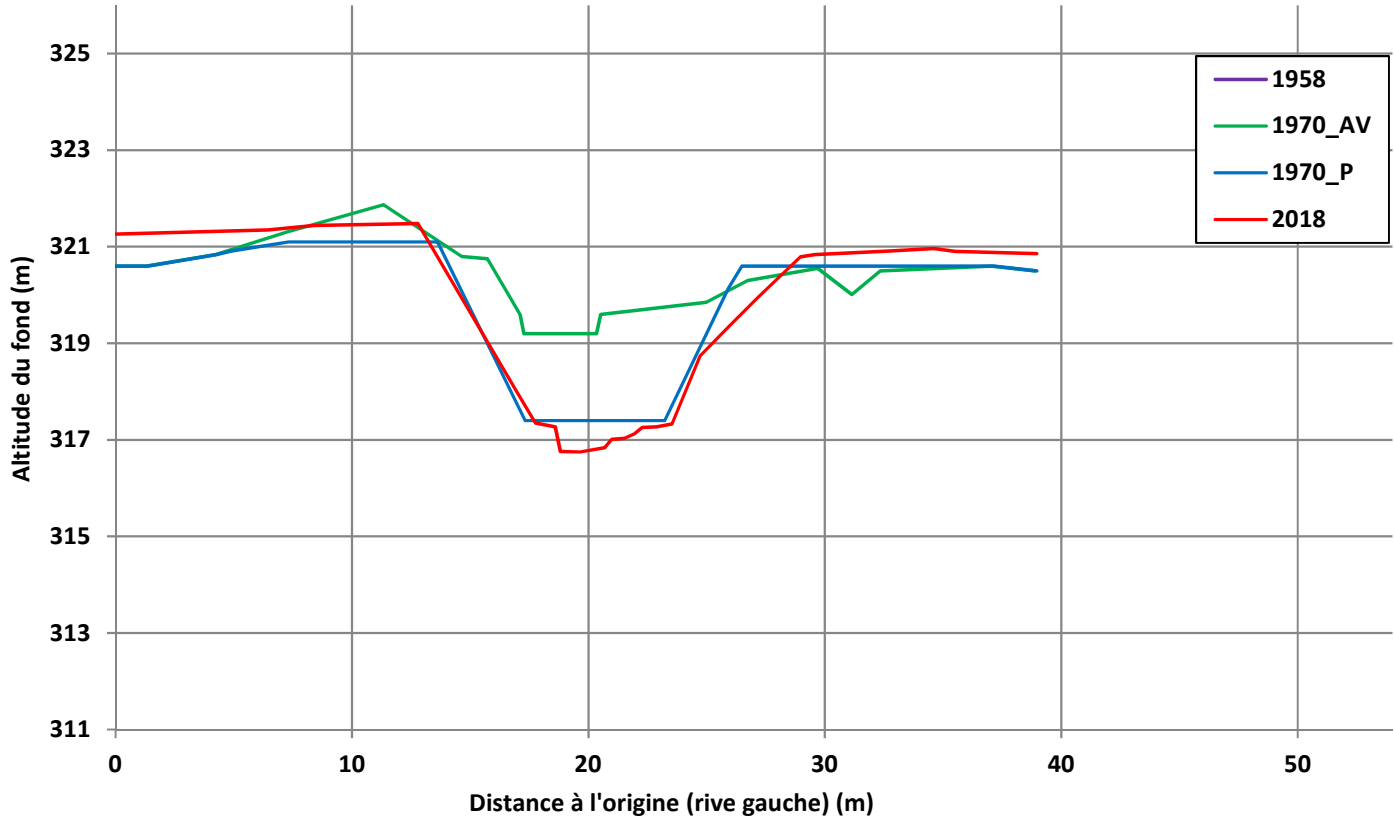
PT n°51



PT n°52

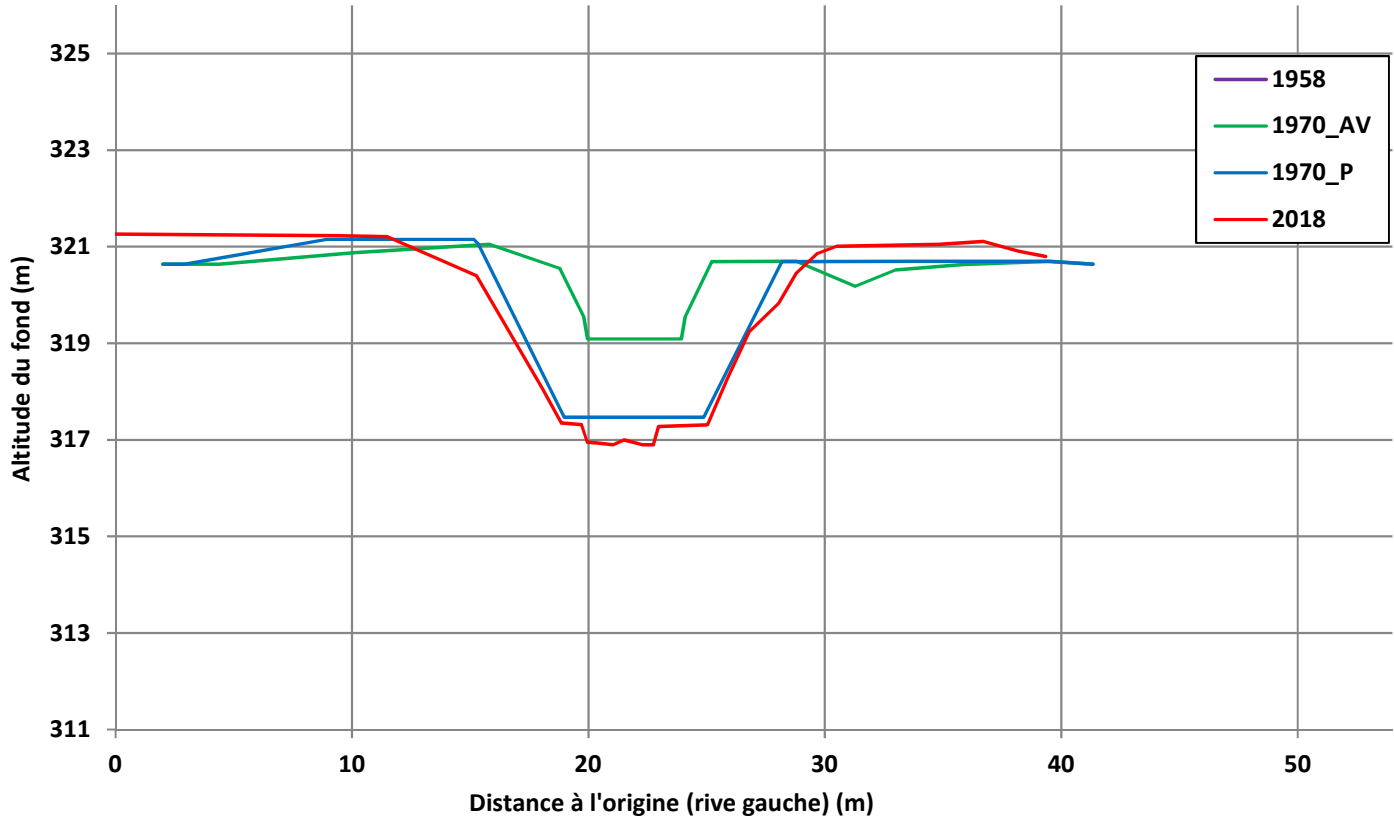


PT n°53

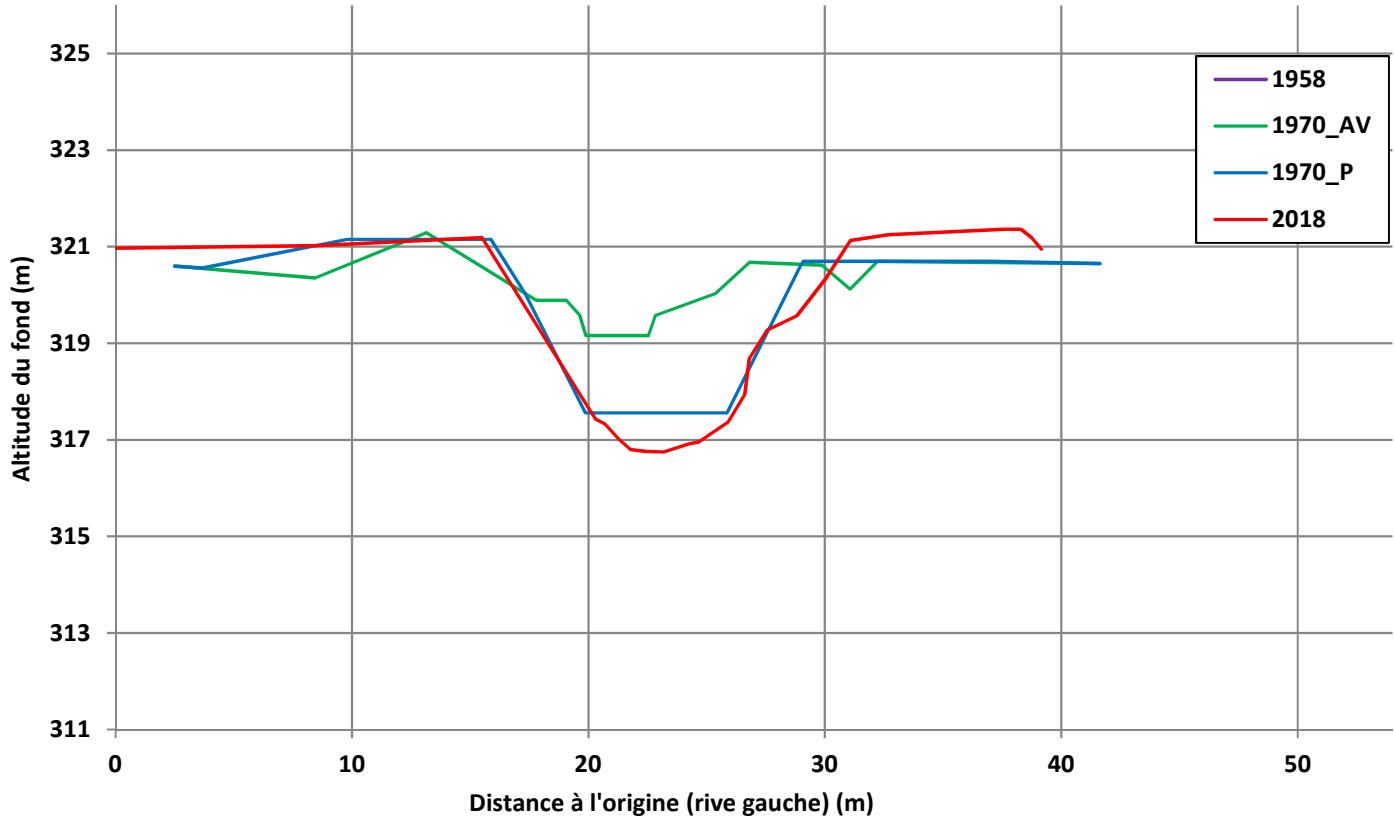




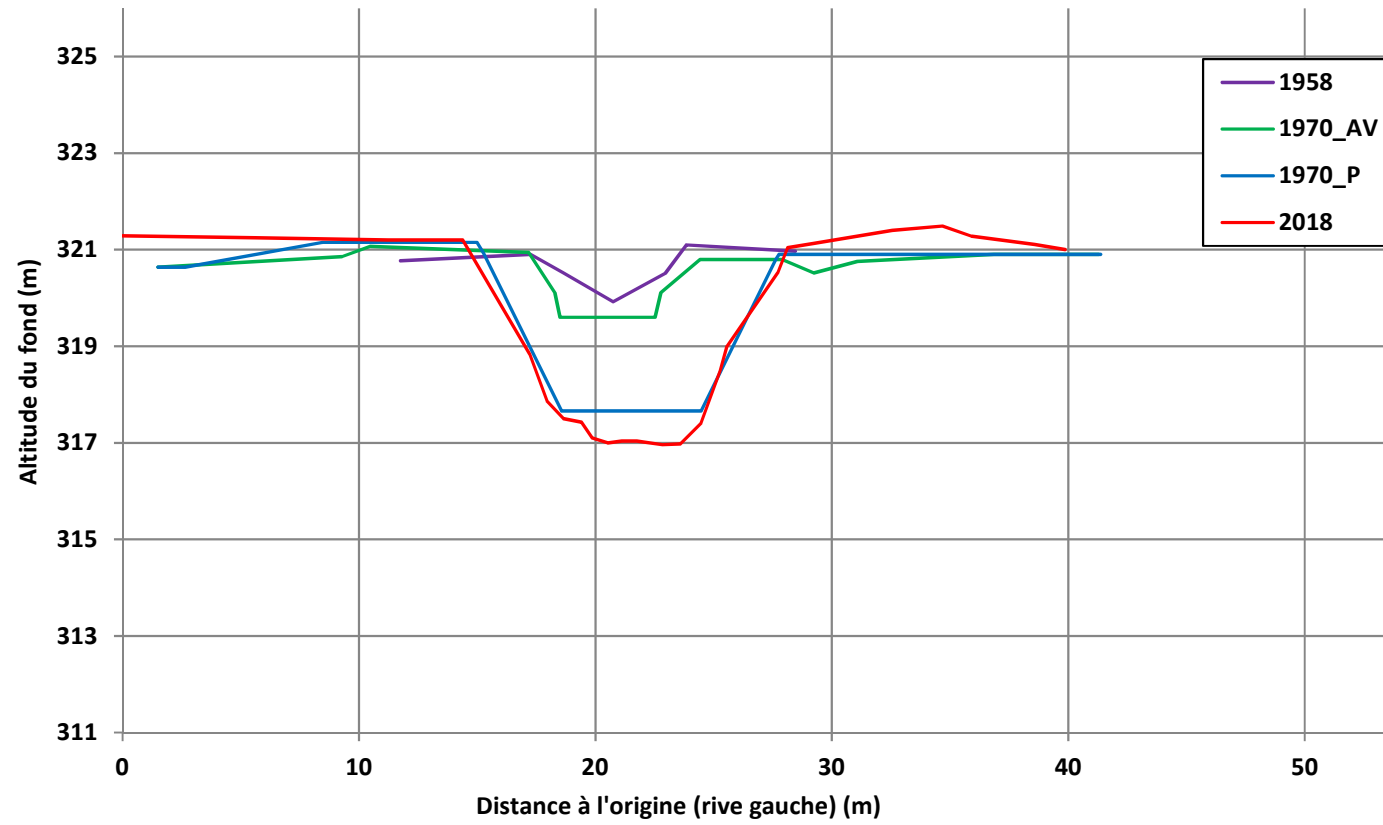
PT n°54



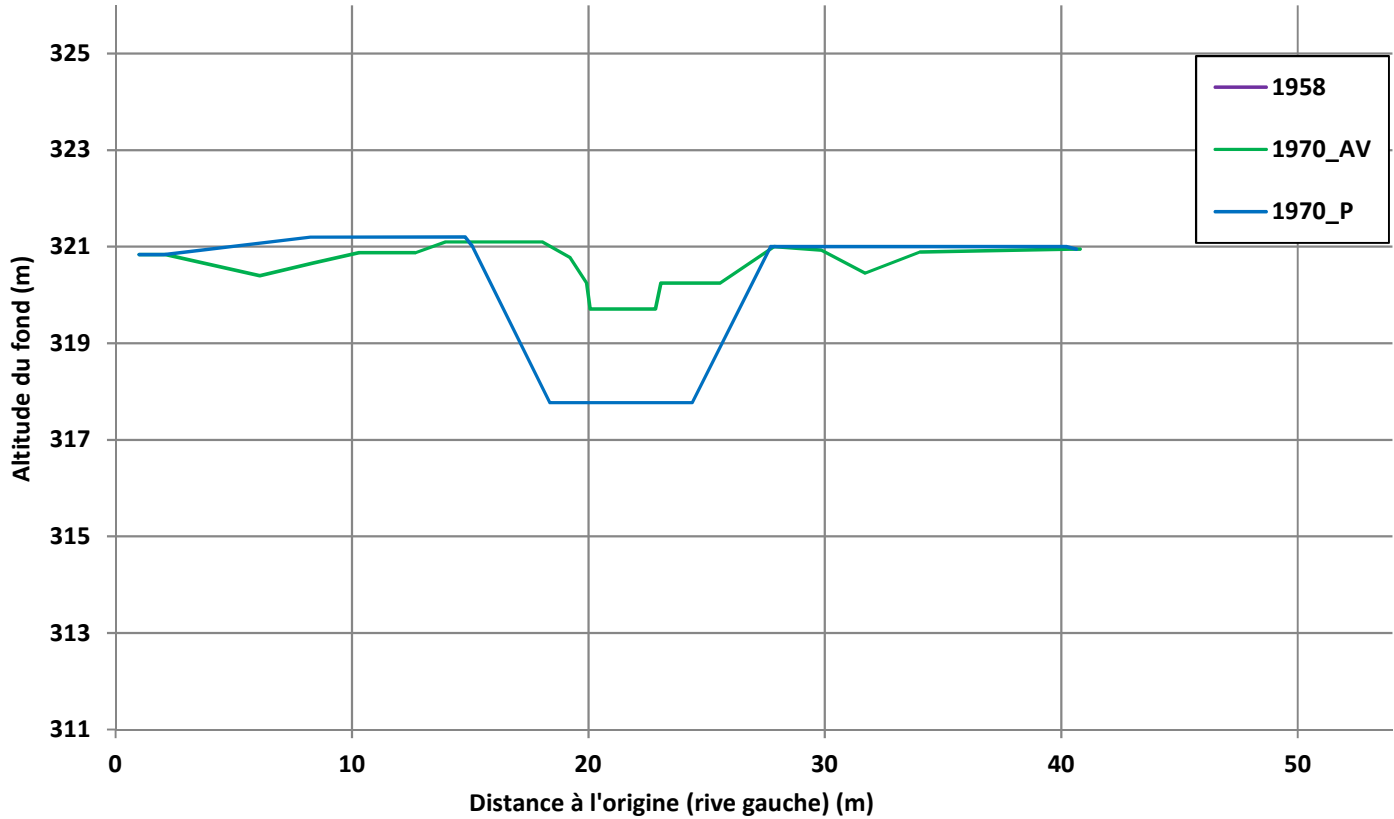
PT n°55



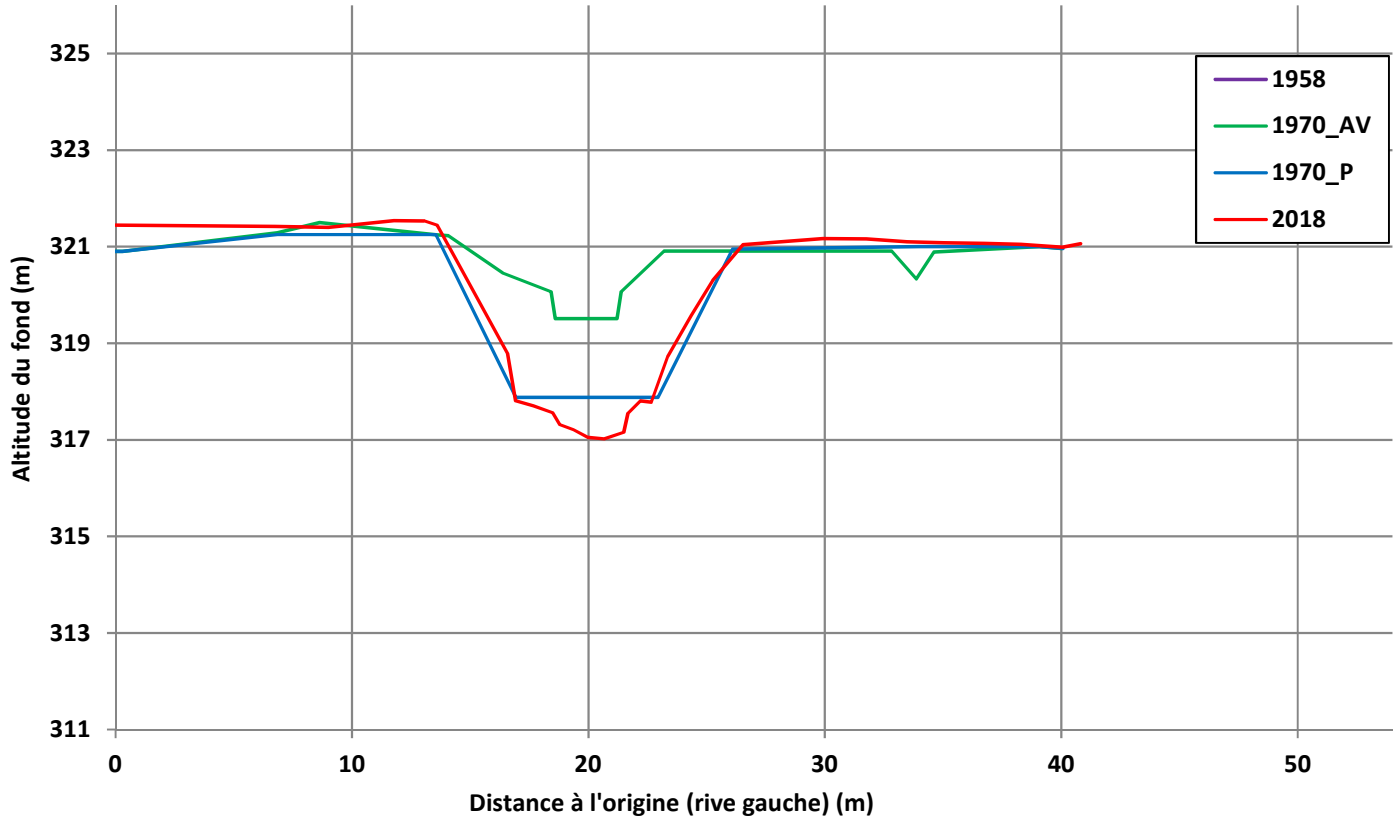
### PT n°56



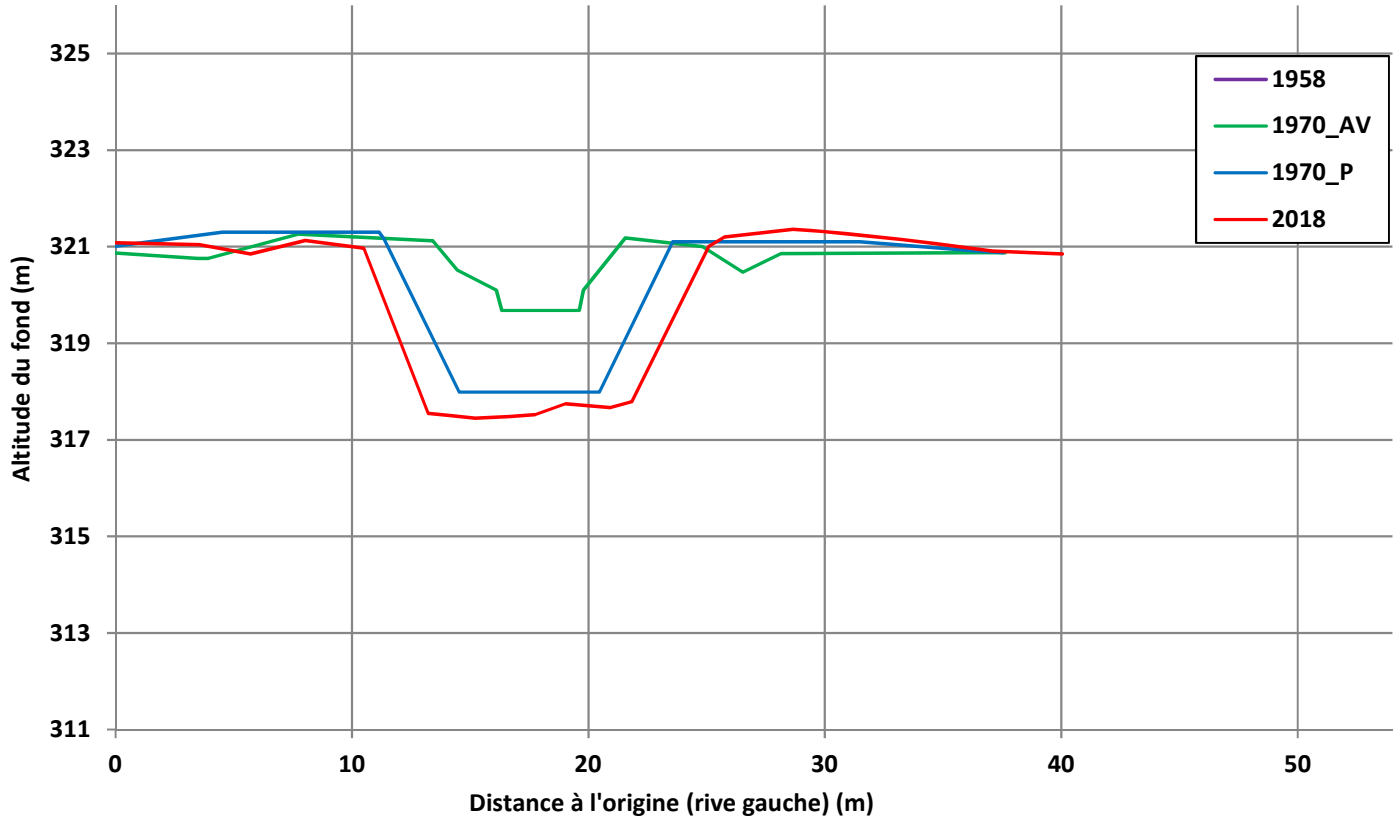
PT n°57



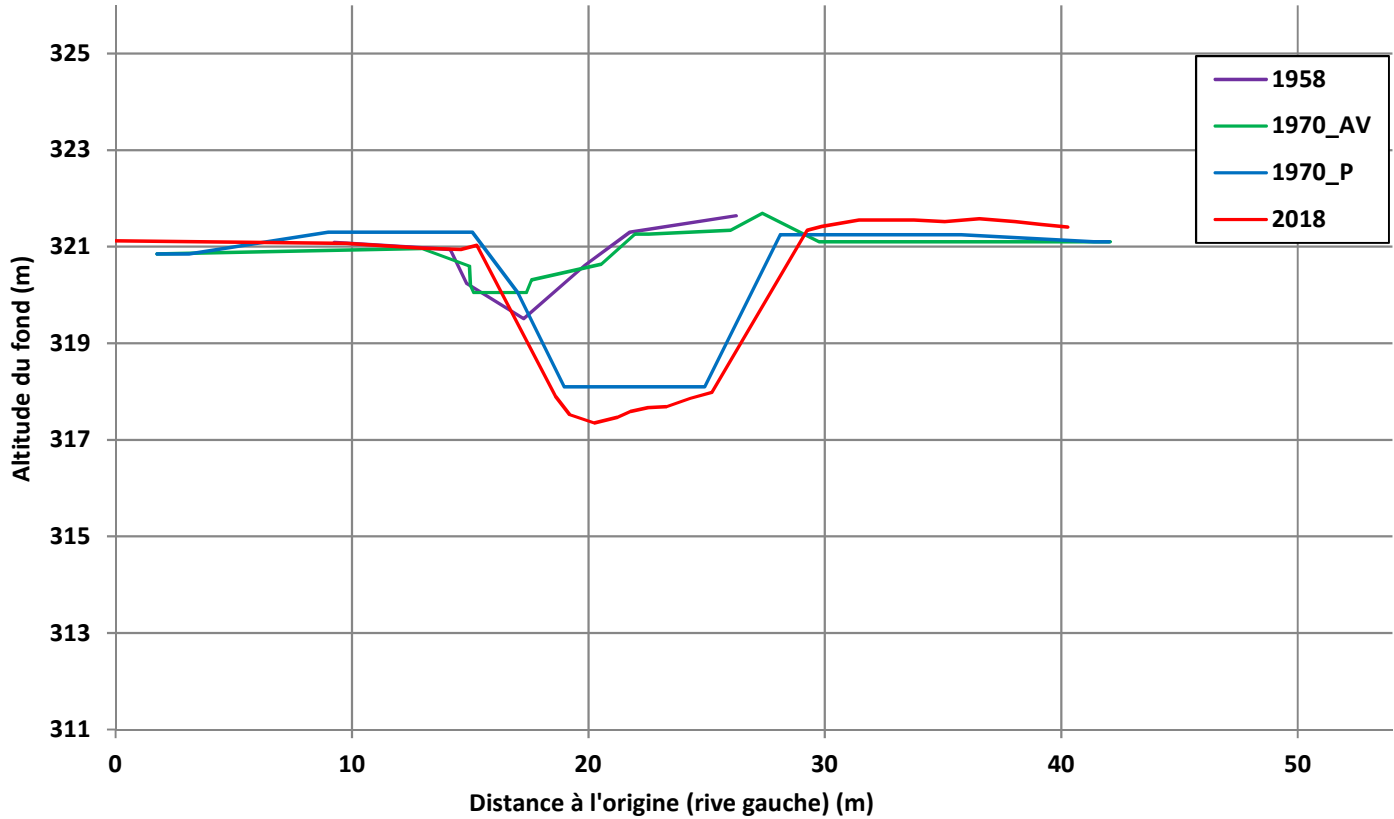
PT n°58



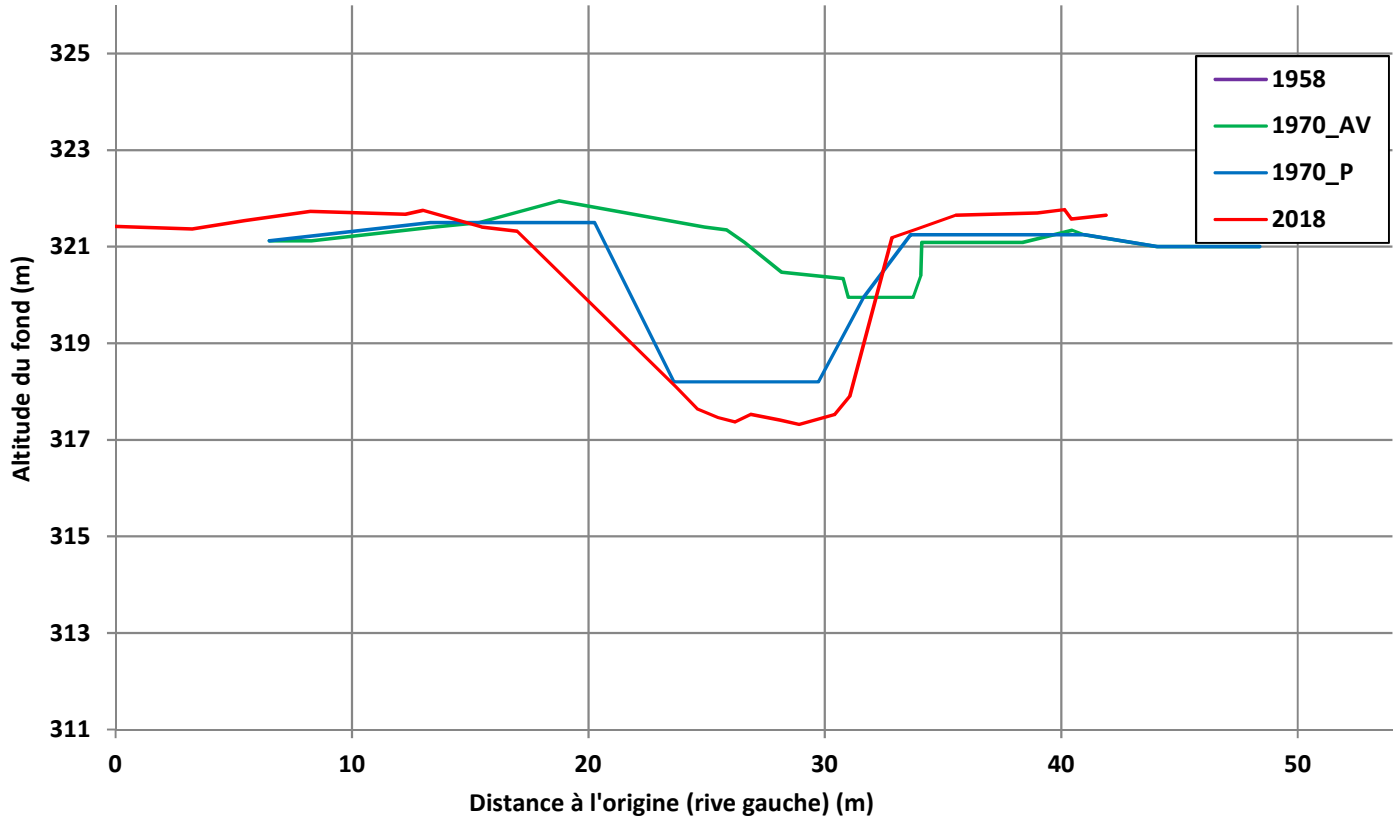
PT n°59



PT n°60

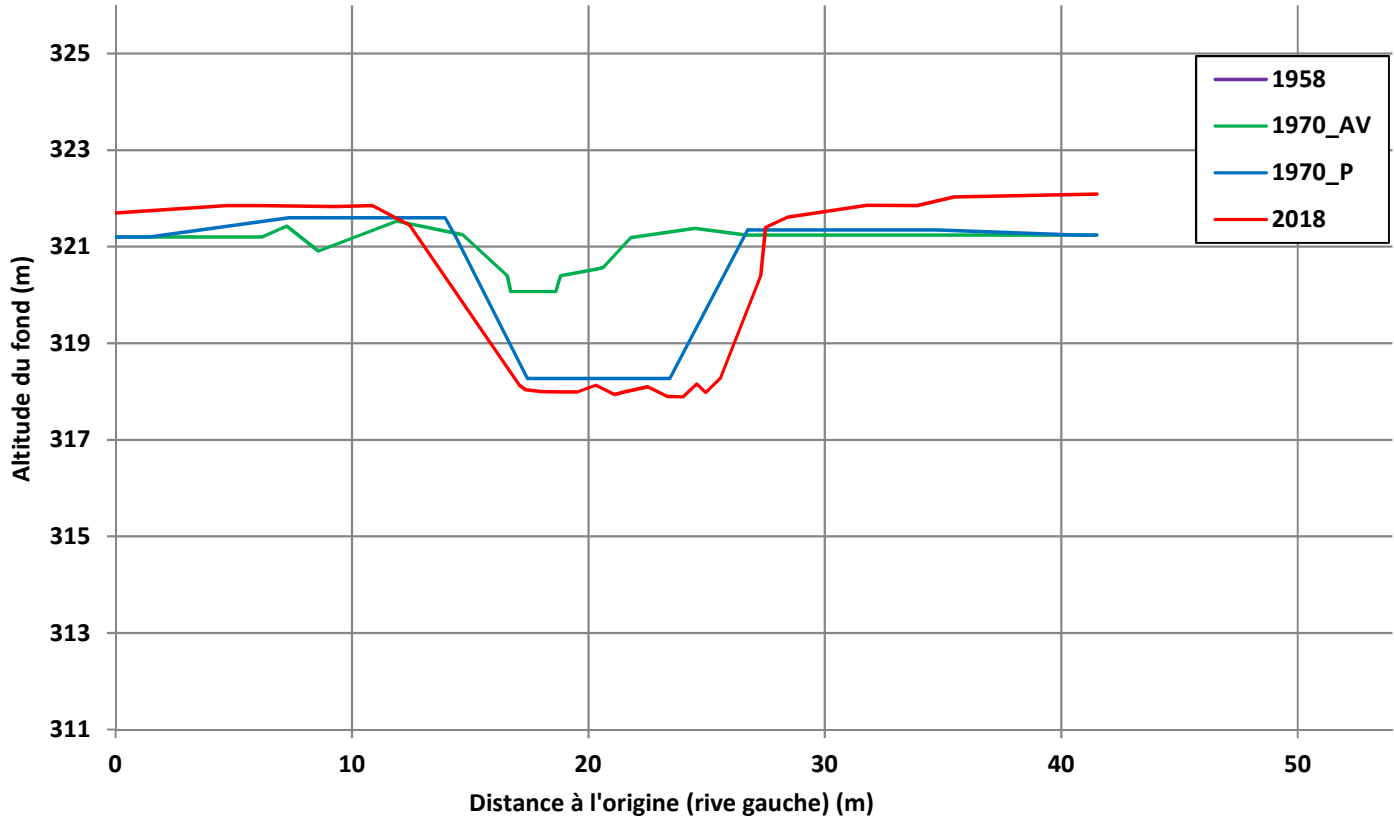


PT n°61

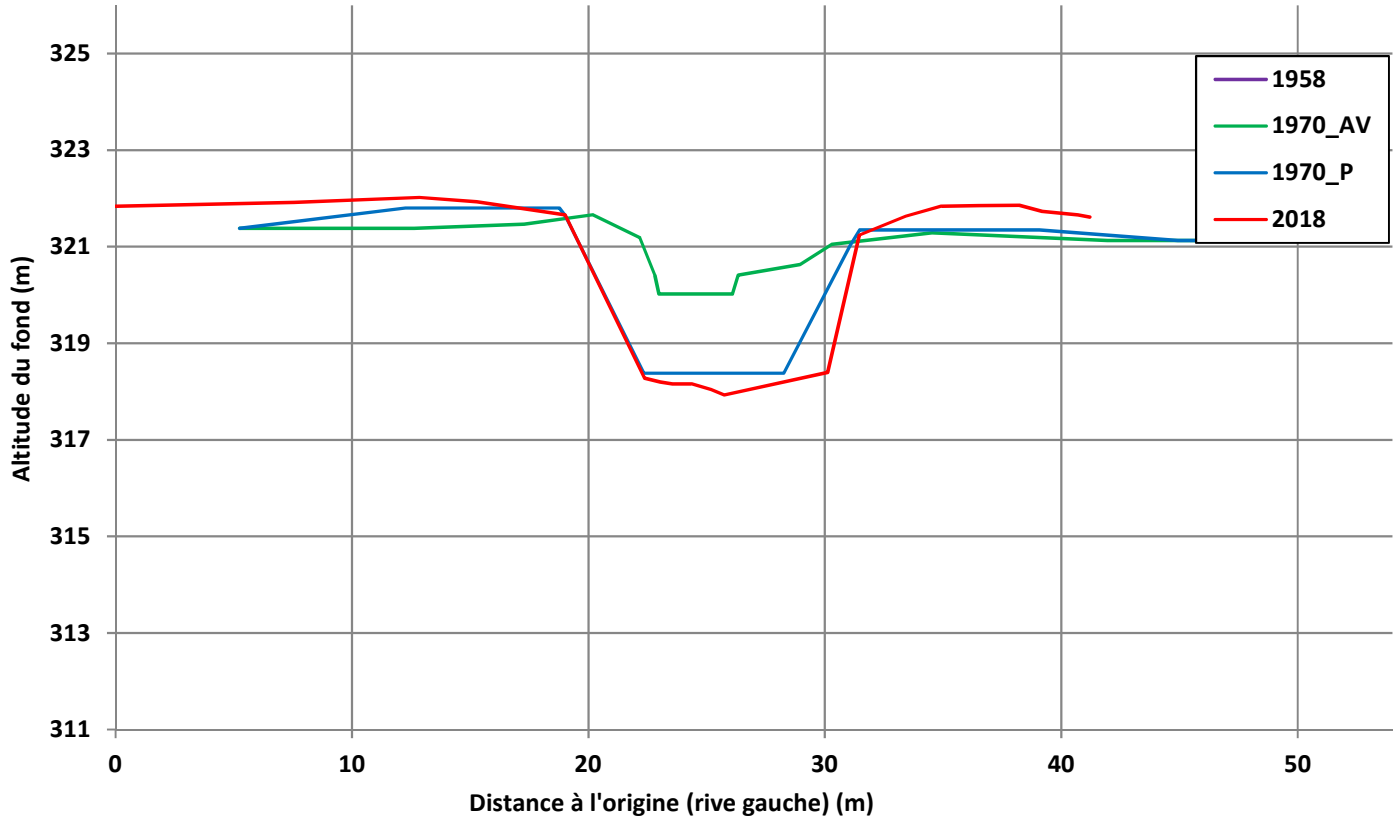




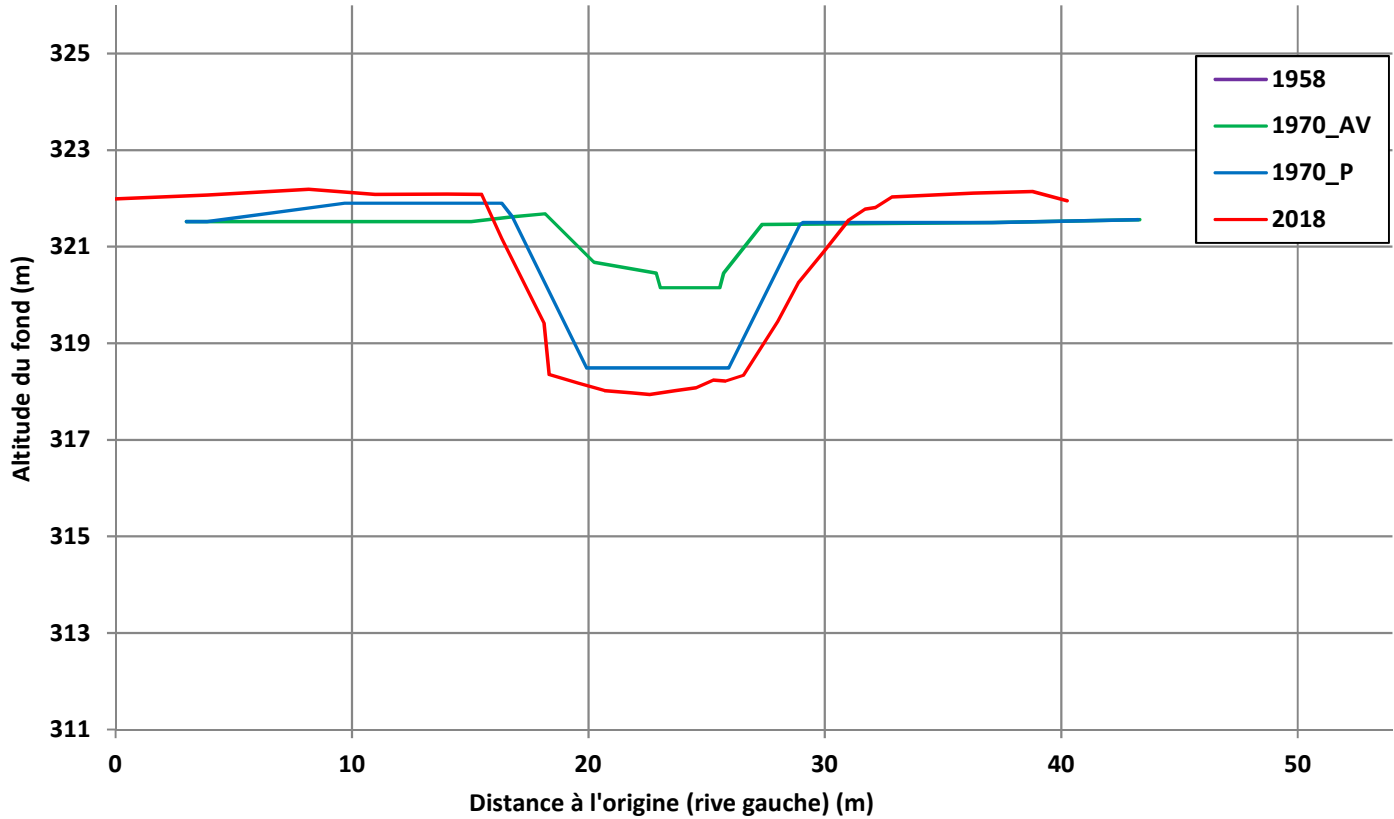
PT n°62



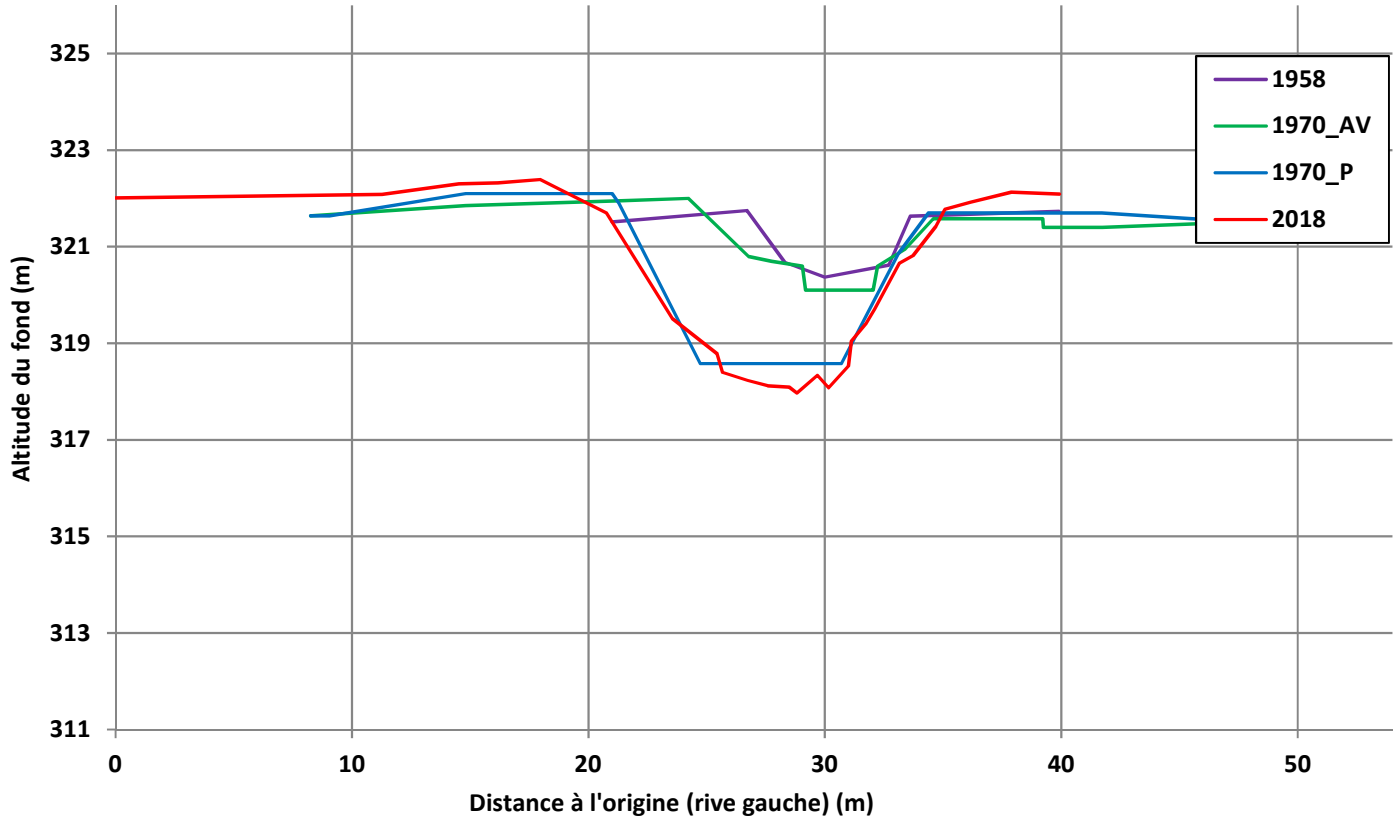
PT n°63



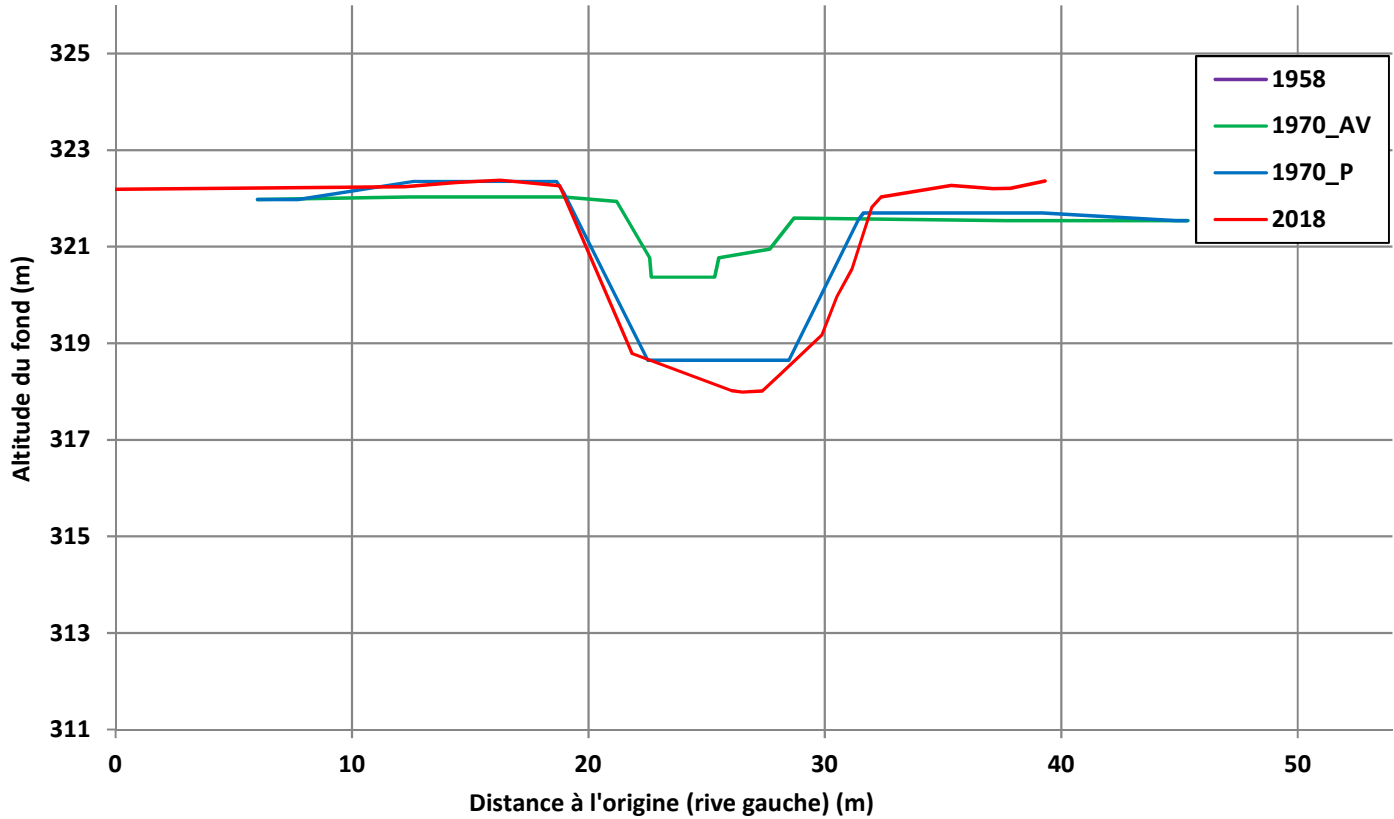
PT n°64



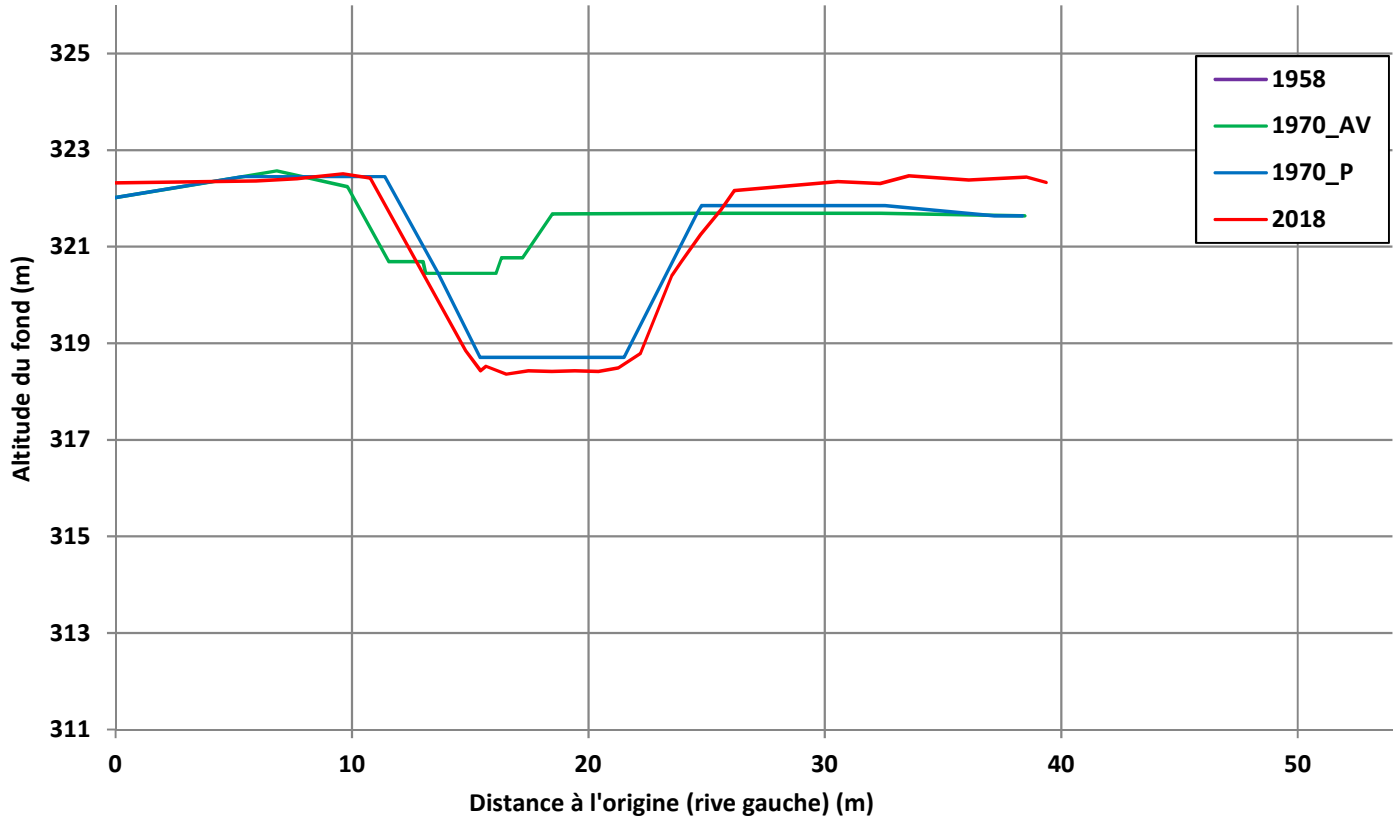
PT n°65



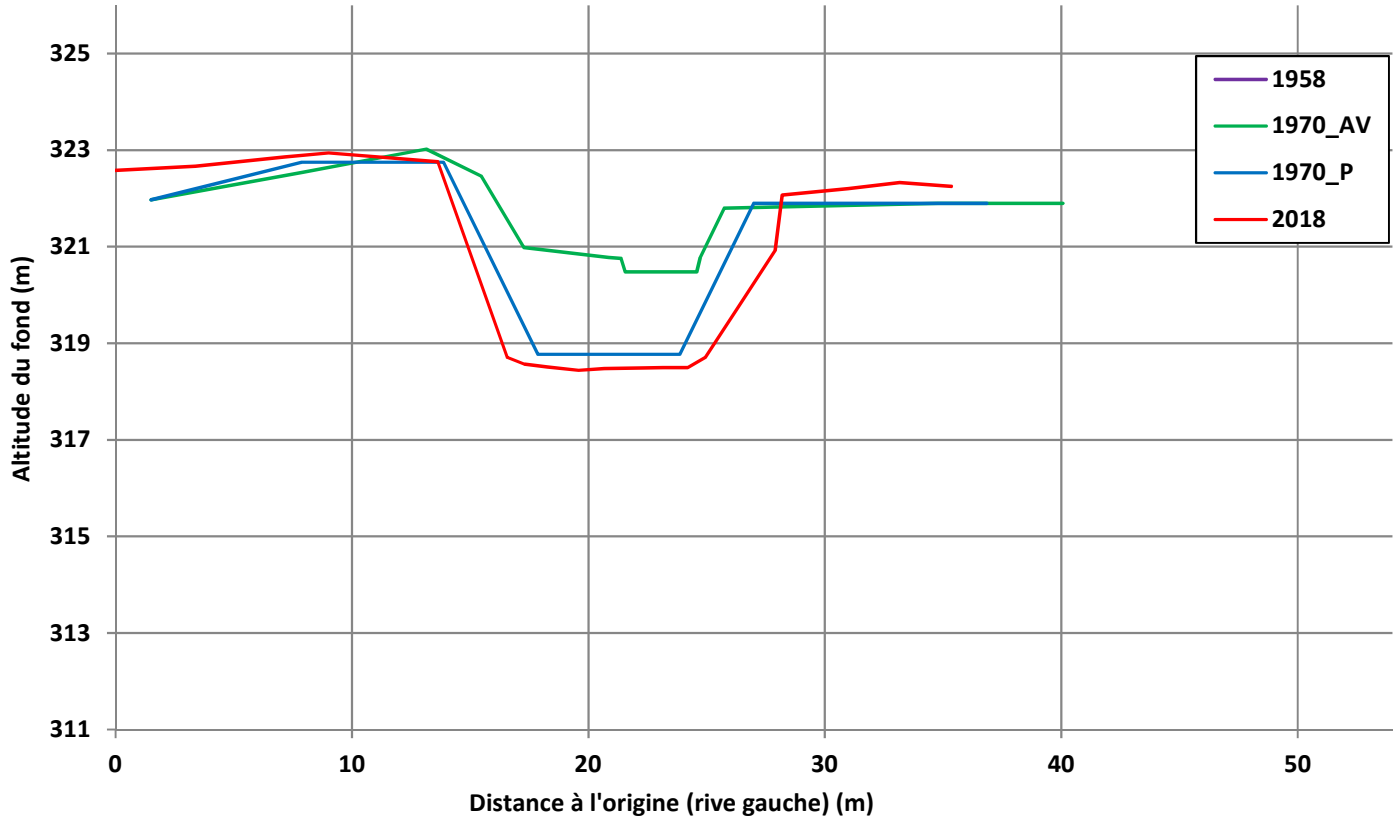
PT n°66



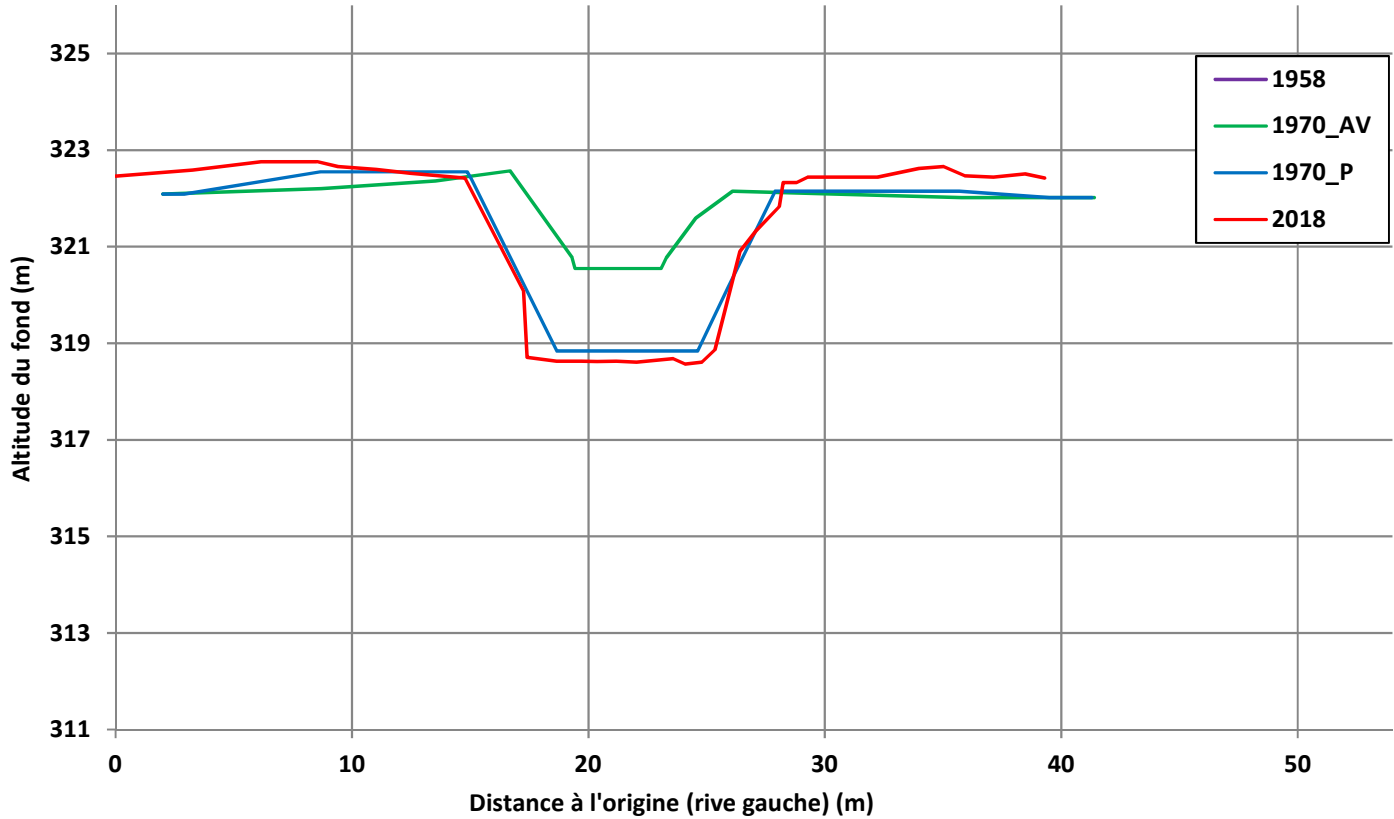
PT n°67



PT n°68

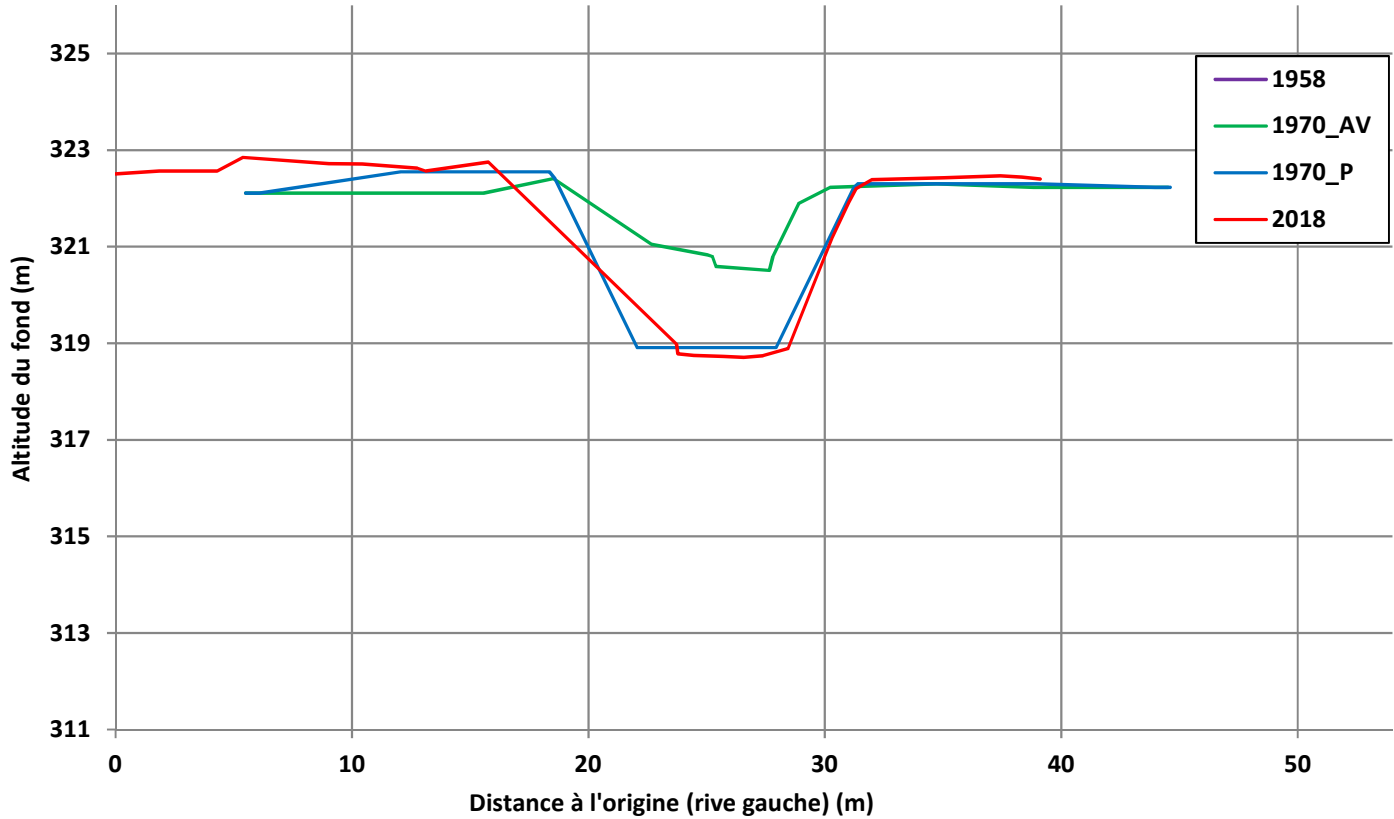


PT n°69

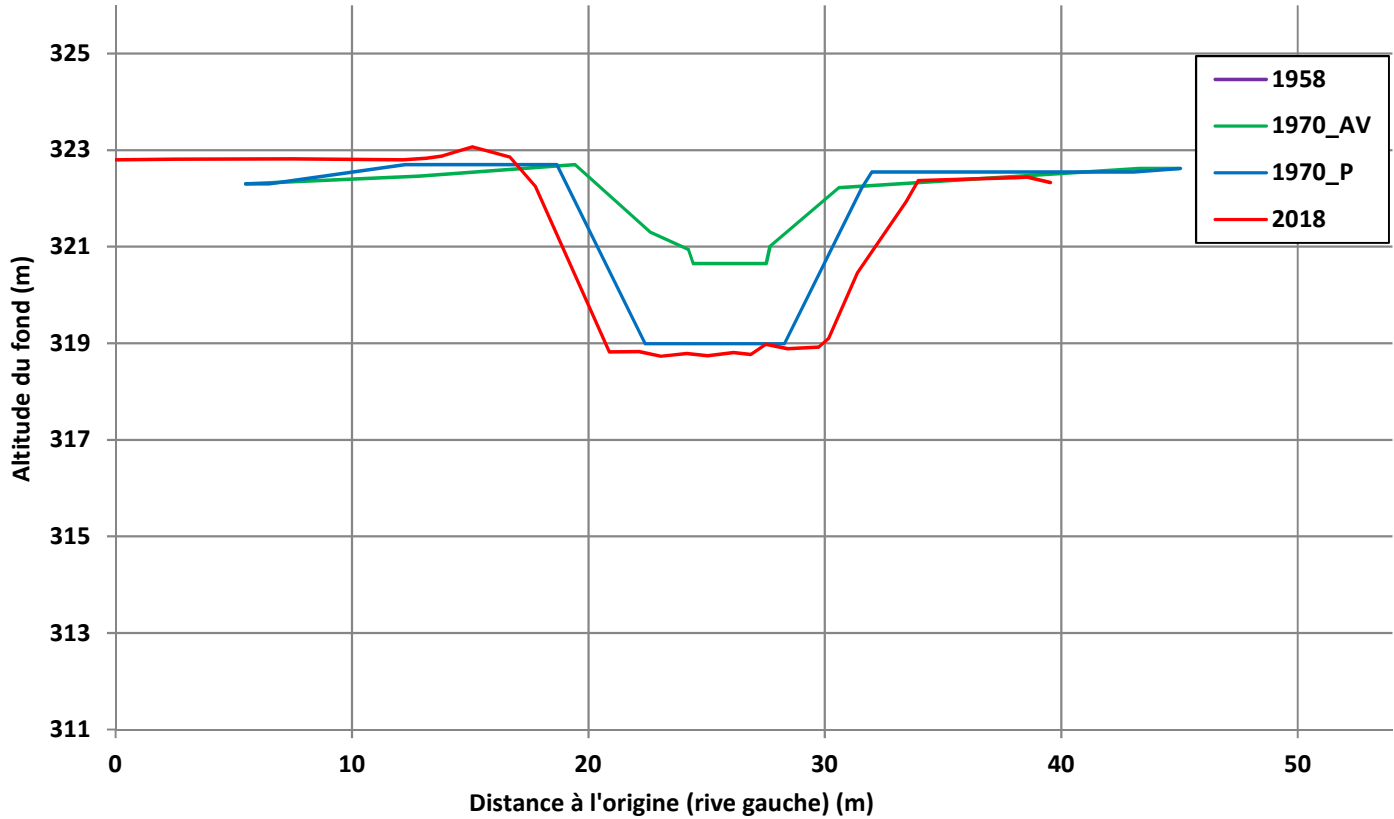




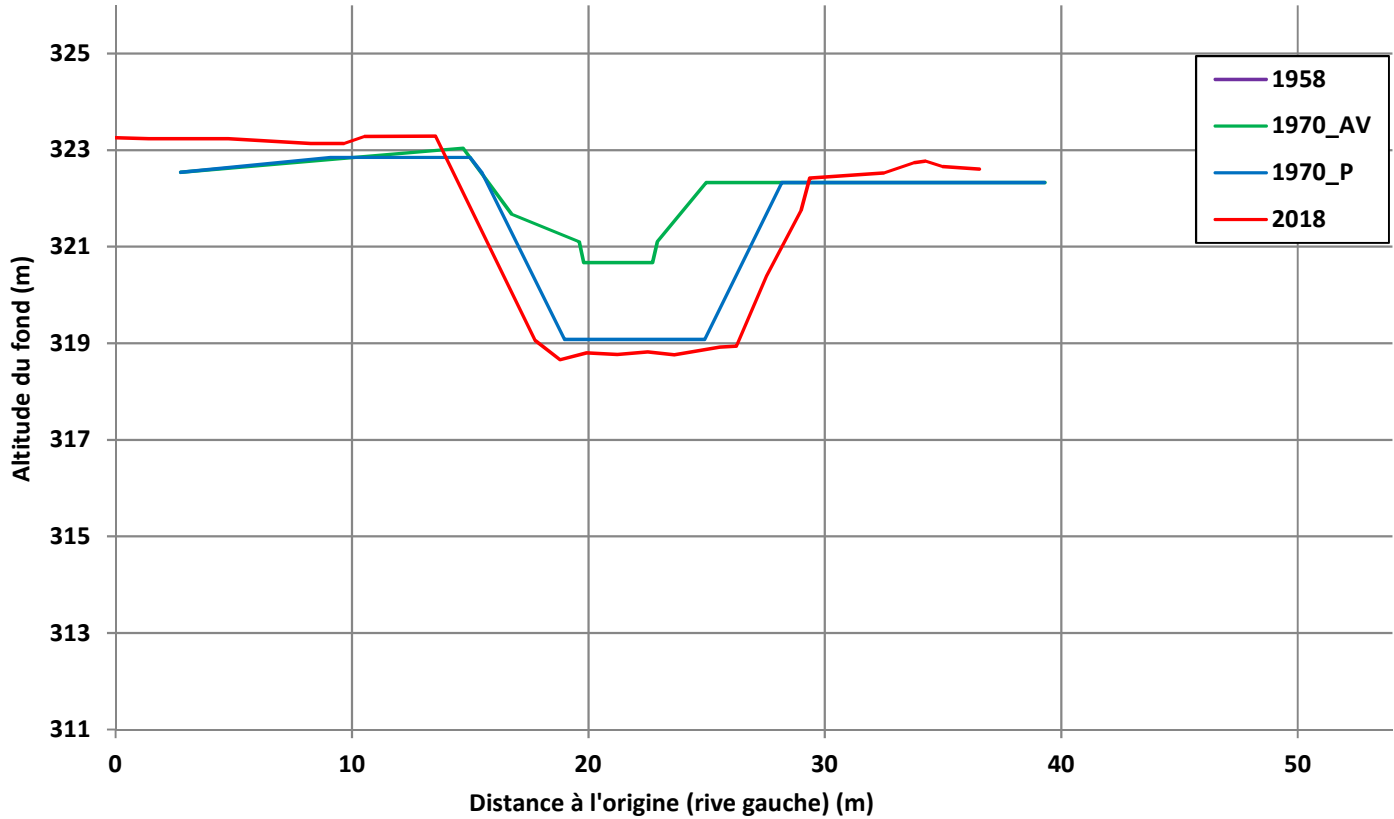
PT n°70



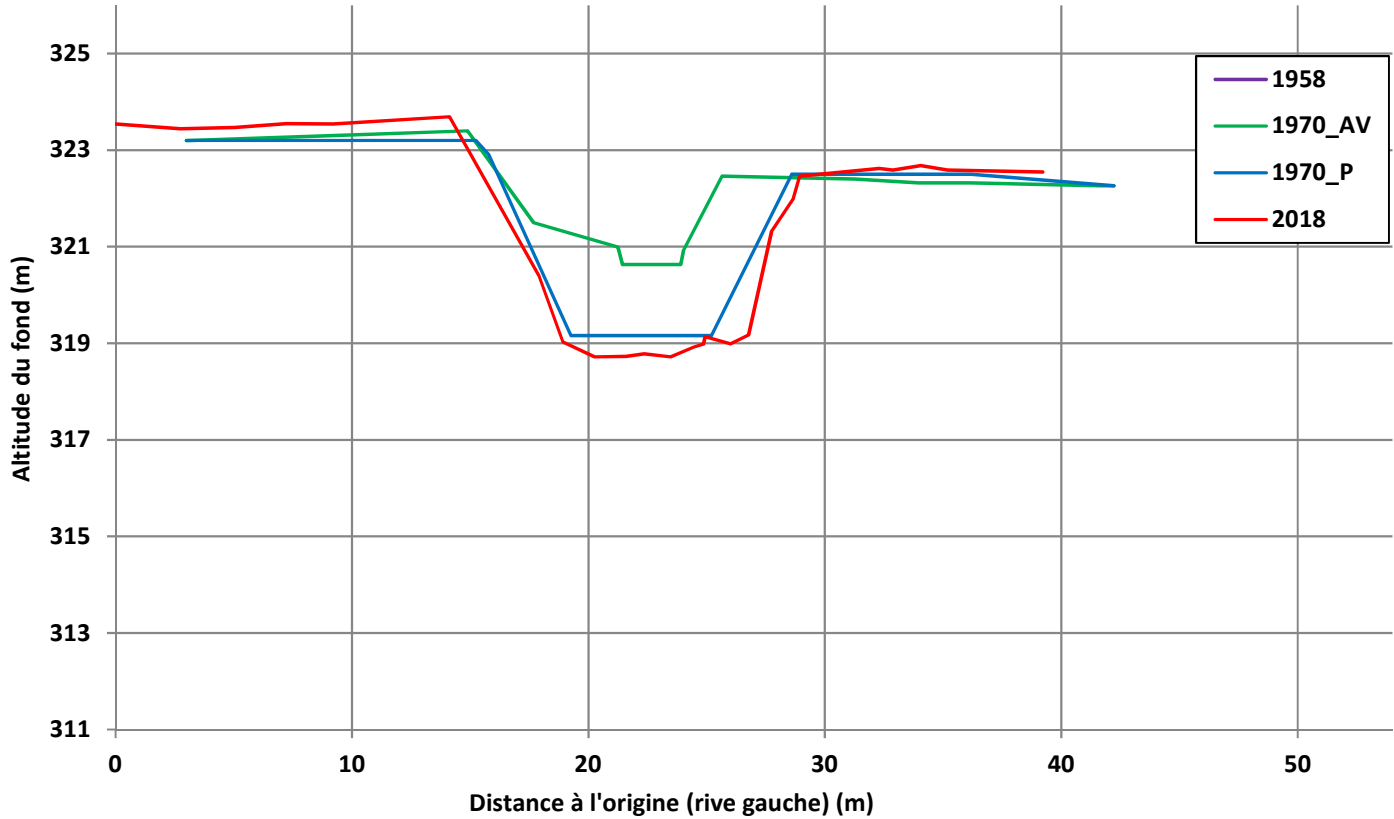
PT n°71



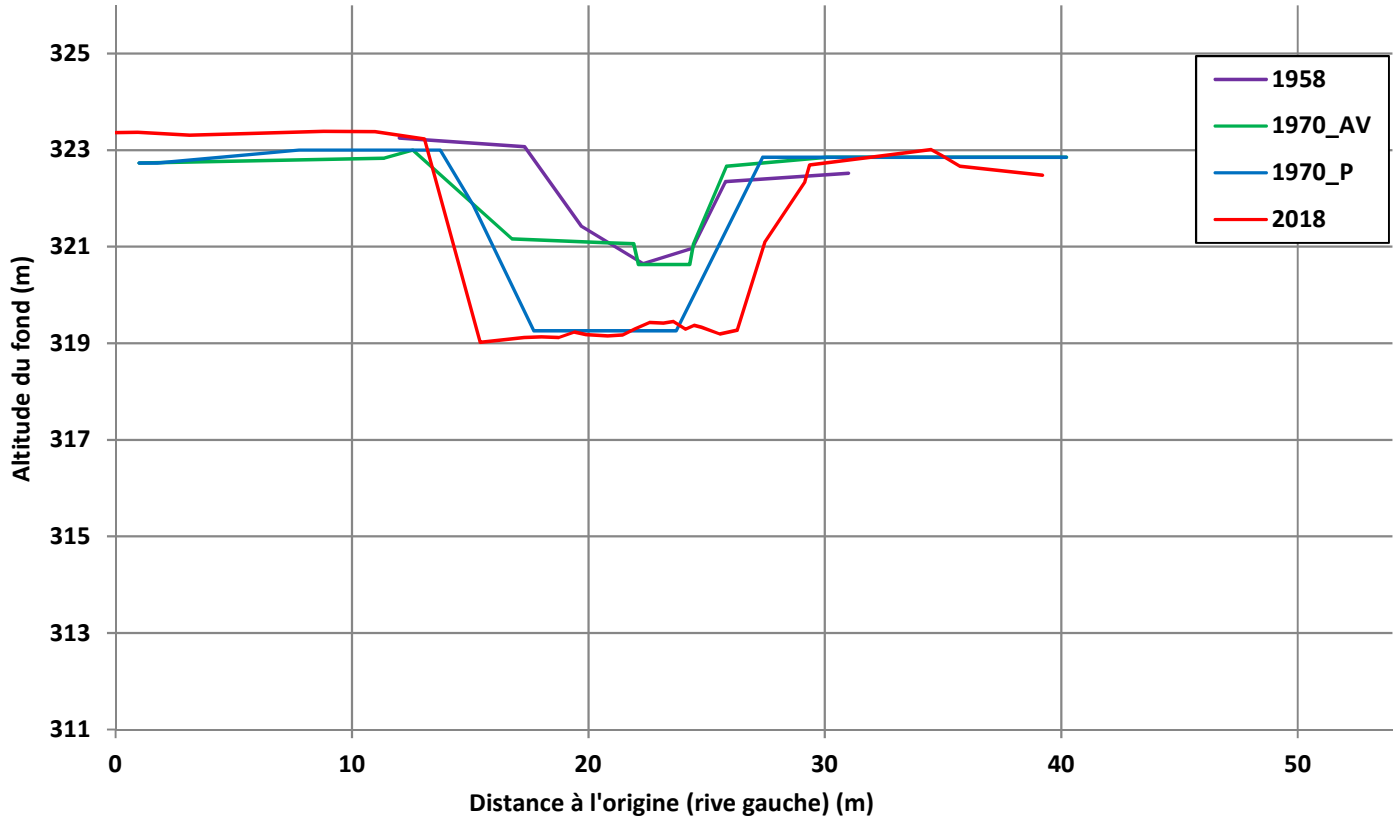
PT n°72



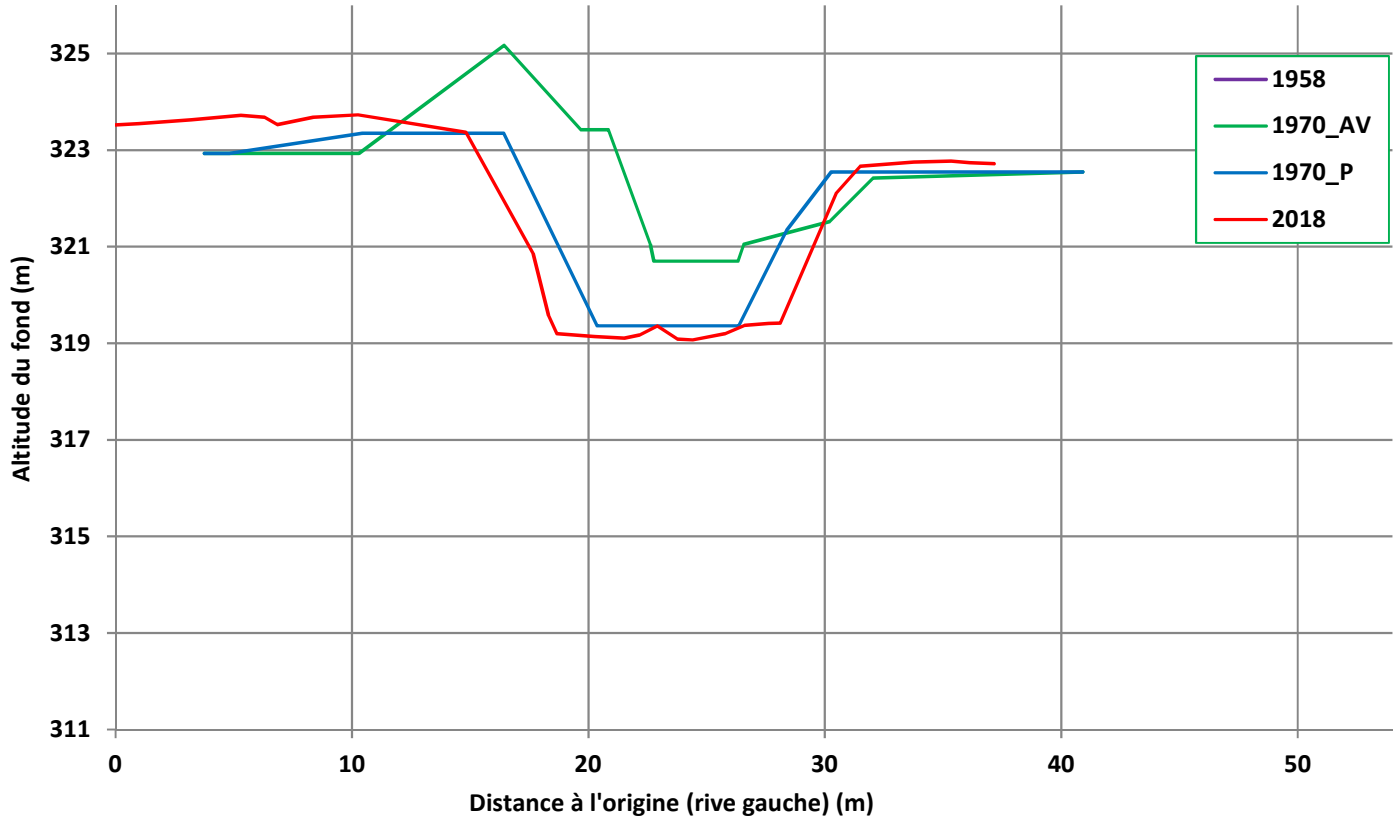
PT n°73



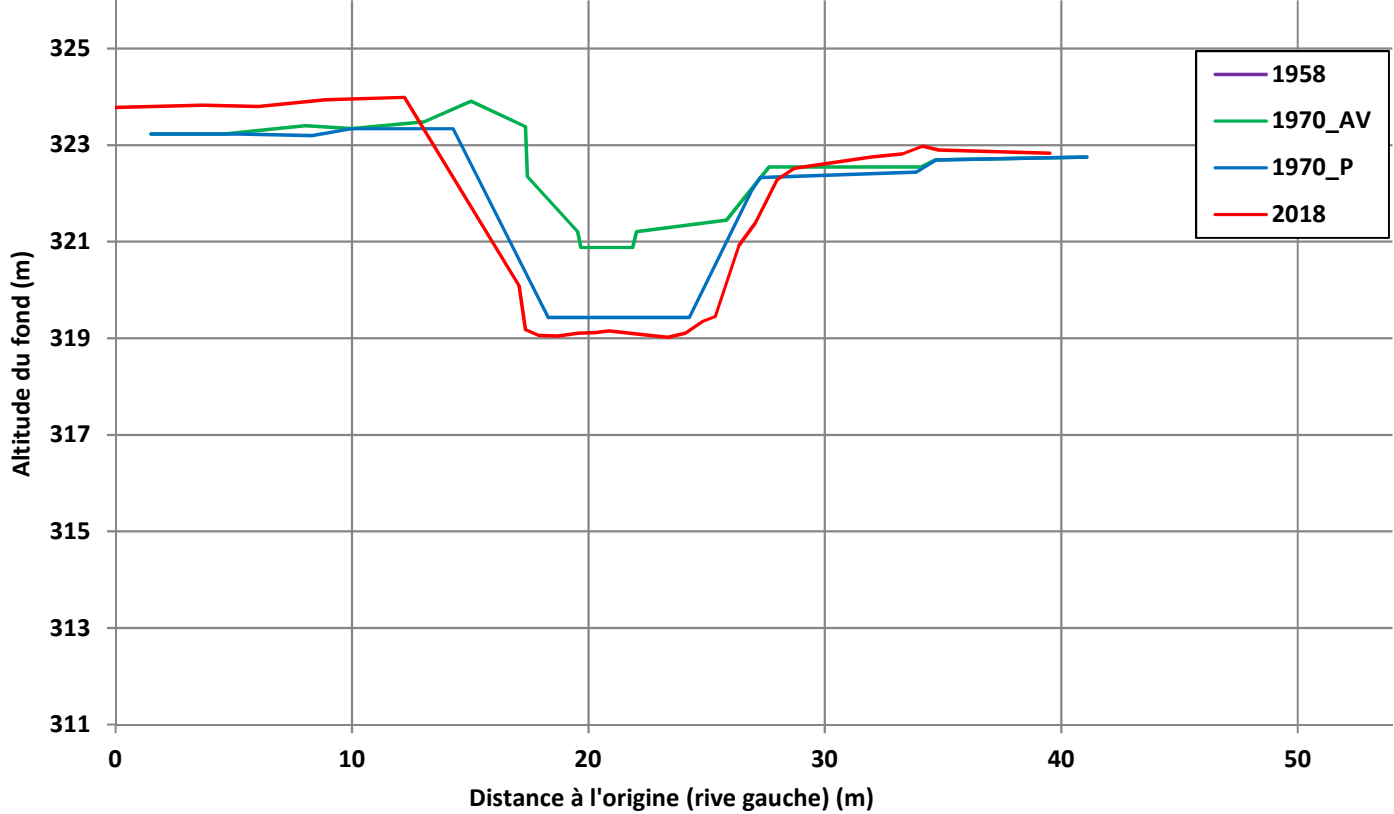
PT n°74



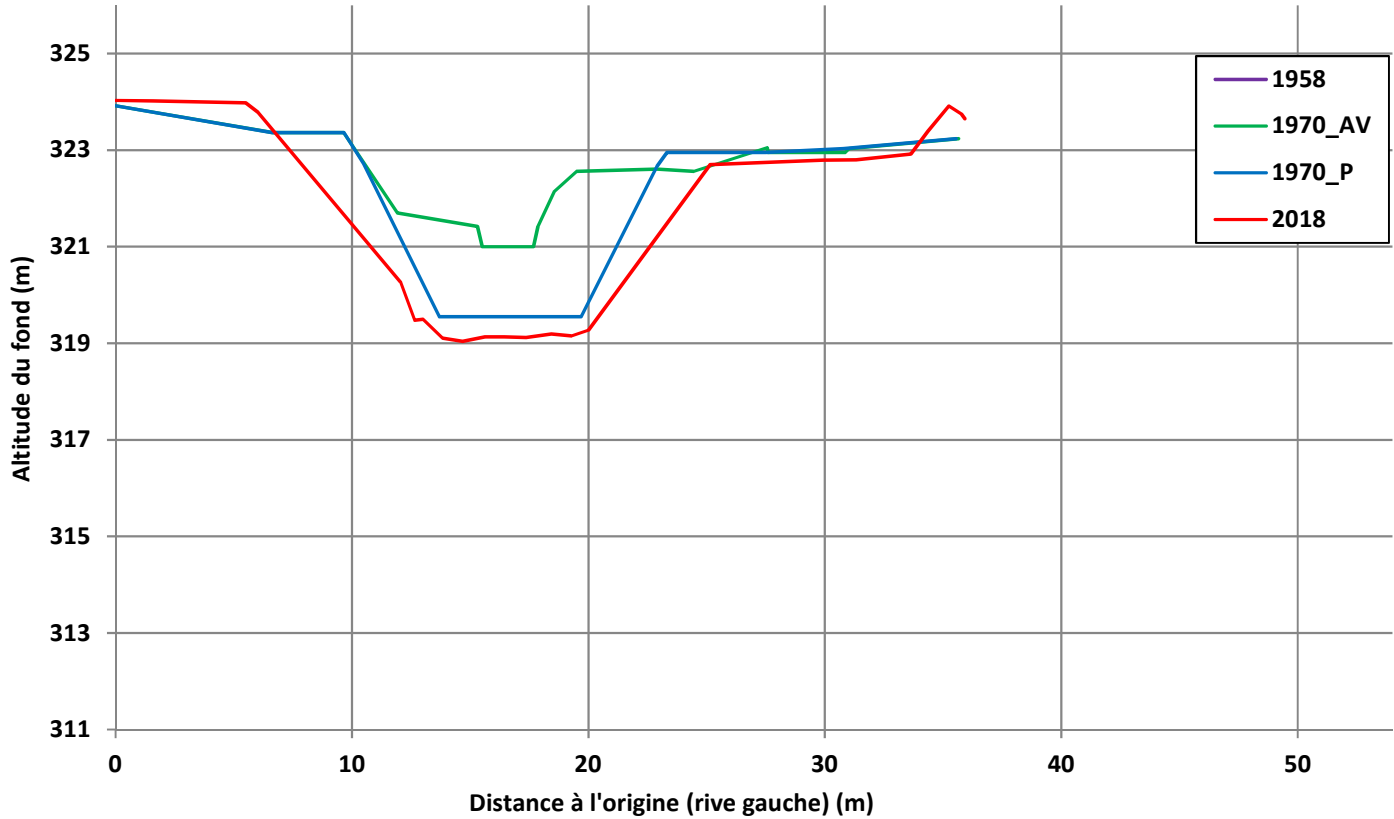
PT n°75



PT n°76

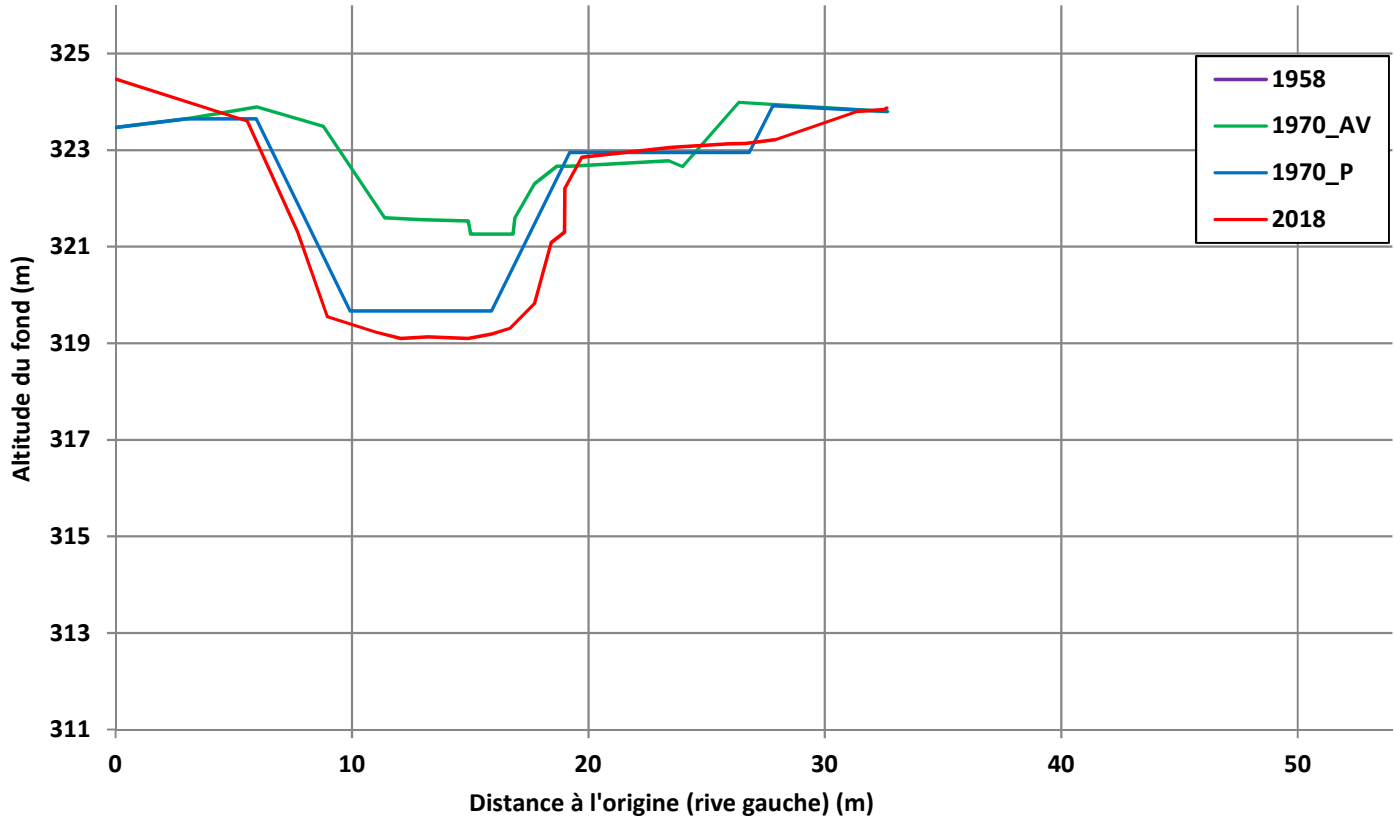


PT n°77

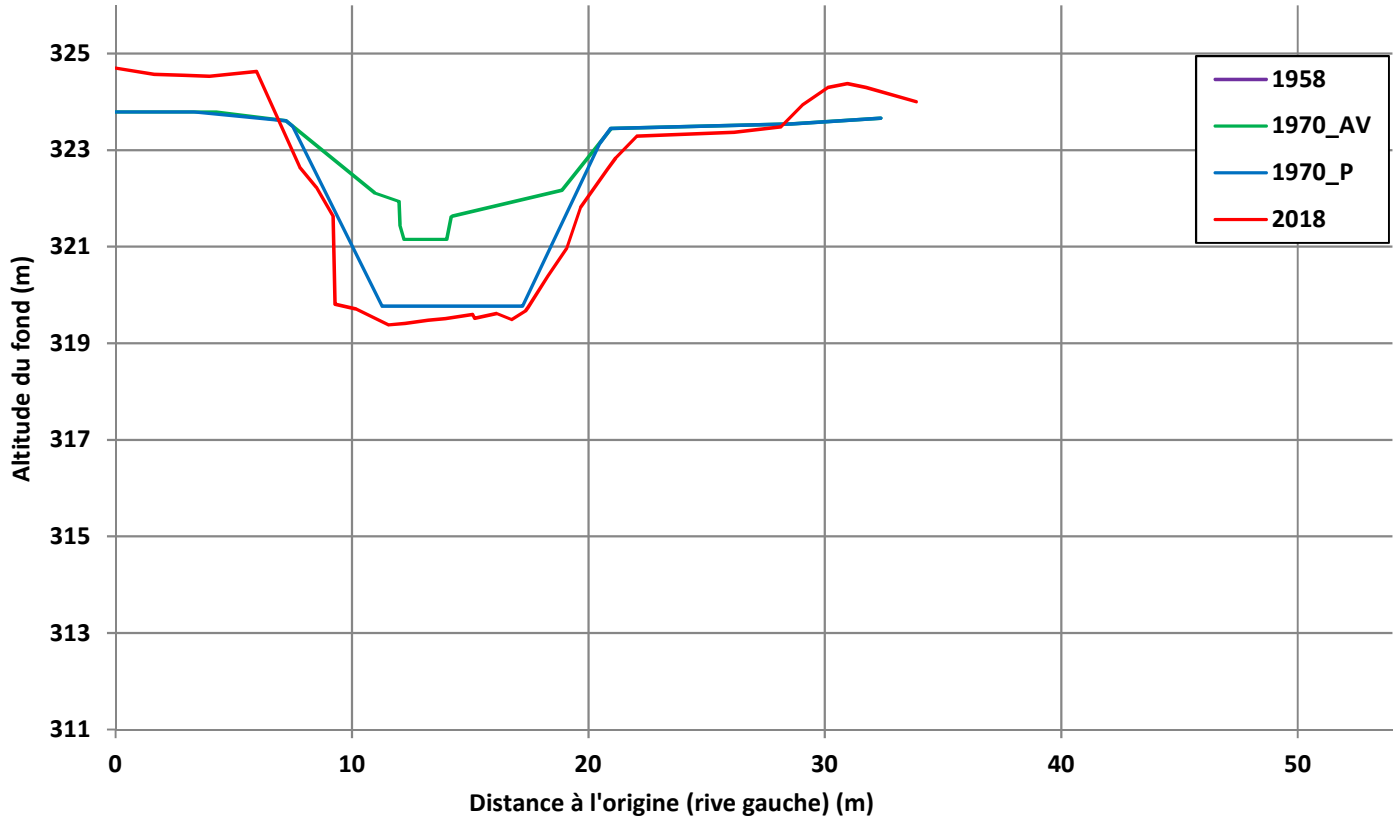




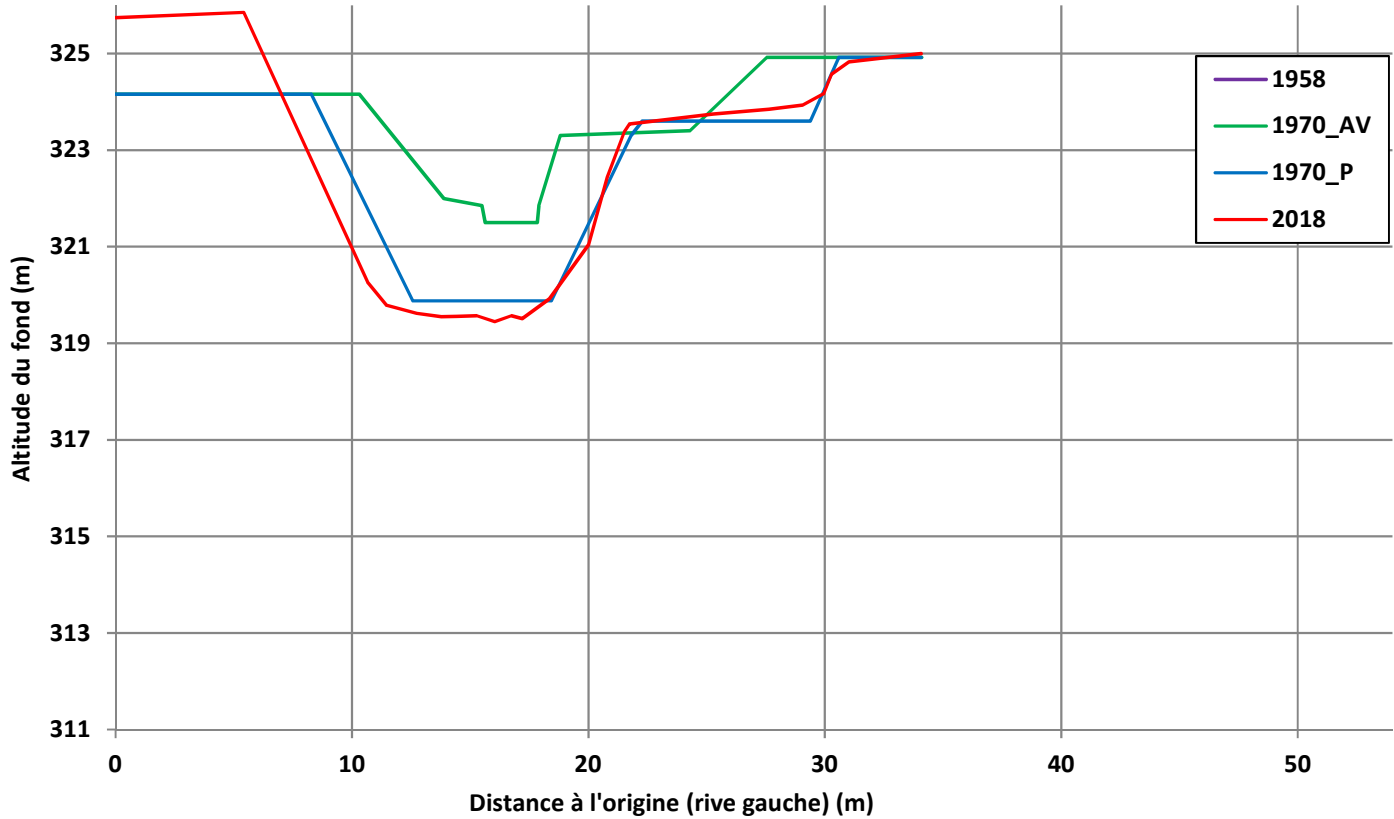
PT n°78



PT n°79



PT n°80



PT n°81

