

Document public

La Condamine (04) – Examen de l'aléa mouvements de terrain au droit de la conduite forcée EDF

Rapport final

BRGM/RP-53543-FR
novembre 2004

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2004 PIR A22

JL. Nédellec



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Mots clés : La Condamine, Aléa mouvements de terrains, éboulements, glissements, conduite forcée.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

JL. Nédellec (novembre 2004) – *"La Condamine (04) – Examen de l'aléa mouvements de terrain au droit de la conduite forcée EDF"* – BRGM/RP-53543-FR; 25 p.; 7. figures, 7 photos

© BRGM, 2004, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

A la demande de la DRIRE PACA nous avons procédé à l'examen du niveau d'aléa mouvements de terrain auquel est exposée la conduite forcée EdF de la Condamine. L'ouvrage verra sa concession expirer en 2008, cependant EdF ne souhaite pas renouveler.

Il s'agit d'un ouvrage de 1800 m environ, essentiellement en fonte de diamètre utile 350 mm, placé en fond de vallée du Parpaillon. Il alimente une petite centrale hydroélectrique placée à l'entre du village de la Condamine.

L'examen des documents d'archives, complété par un visite du site, ont permis d'avancer de réaliser les constats suivants :

1) La conduite forcée est exposée sur la quasi totalité de son linéaire à des instabilités superficielles provoquant de nombreux dommages sur l'ouvrage :

- chutes de blocs et éboulements (principalement en rive gauche) ;
- glissements, ravinements, affaissements, glissements bancs sur bancs, reprise de blocs (principalement en rive droite).

Le registre des interventions consignées depuis 40 ans montre que ces phénomènes sont récurrents et encore actifs.

Le versant gauche et le versant droit sont tout autant actifs, bien qu'affectés par des phénomènes différents.

2) Localement, entre les pm 120 et 400 environ, la conduite est exposée à un grand glissement profond d'environ 1 million de m³. Ce glissement, dit du Plénelet, semble s'être ralenti depuis 1993 date à laquelle des travaux de drainage ont été engagés. Toutefois, étant donné le ravinement important en pied de glissement, associé au changement climatique en cours pouvant se traduire vers un régime plus humide, on ne peut exclure une prochaine réactivation des mouvements rapides du glissement du Plénelet.

3) Le lit du Parpaillon est soumis à un régime torrentiel très actif. Cela se traduit par des transports solides importants lors des crues provoquant tantôt un enfouissement de la conduite forcée, tantôt une exhumation, voire son entraînement.

En conséquence, dans sa configuration actuelle (ouvrage en fond de vallée du Parpaillon ou à proximité), la conduite forcée EdF est exposée à un aléa mouvements de terrains fort. Sans modification significative du tracé et de la nature de l'ouvrage, son exploitation ne pourra se poursuivre qu'en acceptant des contraintes d'entretien majeures telles que rencontrées jusqu'à présent. En effet, aucun indice probant, ne permet de prévoir que les deux versants du Parpaillon seront moins actifs dans l'avenir.

Sommaire

1. Objet de l'étude	7
2. Eléments exploités.....	9
2.1. RÉUNIONS	9
2.2. DOCUMENTS	9
2.2.1. Documents généraux.....	9
2.2.2. Documents remis par la DRIRE	9
2.2.3. Documents consultés au RTM 04	10
2.3. VISITE DU SITE.....	10
3. Présentation rapide de l'ouvrage.....	11
4. Analyse de l'aléa mouvements de terrain	13
4.1. EXAMEN DES DOCUMENTS D'ARCHIVES.....	13
4.1.1. Contexte morphologique et géologique.....	13
4.1.2. Hydrologie - Hydrogéologie.....	15
4.1.3. Campagnes de reconnaissances	17
4.1.4. Instabilités recensées	19
4.1.5. Analyse de l'historique des désordres sur la conduite et la prise d'eau	22
4.2. ELÉMENTS TIRÉS DE LA VISITE SUR LE SITE	24
5. Conclusions.....	25

Table des illustrations

Figures

Figure 1 – Implantation de l'installation hydroélectrique – Extrait de la carte IGN au 1/25 000	13
Figure 2 – Extrait de la carte géologique d'Embruns	15
Figure 3 – Principaux affluents du Parpaillon dans la zone d'étude	16
Figure 4 – Implantation des sondages d'archives (en rouge sondages FONDASOL – en orange, sondages CEBTP)	17
Figure 5 – Limites du glissement du Plénelet selon le rapport Fondasol	21
Figure 6 – Répartition temporelle des interventions sur la conduite forcée	23
Figure 7 – Répartition spatiale des interventions sur la conduite forcée	23

Photos

Photo 1 – Vue de la conduite forcée en rive gauche	11
Photo 2 – Barrage et prise d'eau amont	11
Photo 3 – Traversée aérienne de la conduite	12
Photo 4 – Glissements bancs sur bancs	19
Photo 5 – Zone de ravinement et transports solides associée à l'évènement de Mai 2003	20
Photo 6 – Partie aval du glissement du Plénelet	21
Photo 7 – Troncs d'arbres charriés dans le lit du Parpaillon et conduite exhumée	22

1. Objet de l'étude

A la demande et pour le compte de la DRIRE PACA, dans le cadre de sa mission d'appui aux administrations, le brgm a réalisé un examen de l'aléa mouvements de terrain au droit de la conduite forcée exploitée par EDF dans les gorges du Parpaillon, commune de la Condamine (Alpes-de-Haute-Provence).

La concession de cette conduite forcée, qui est associée à une petite centrale hydroélectrique, expirera en 2008. EDF, exploitant actuel, ne souhaite pas renouveler cette concession. La raison principale de ce refus de prolonger l'exploitation semble essentiellement reposer sur les coûts récurrents de réparation de la conduite forcée, très exposée aux mouvements de terrains, ne permettant pas d'assurer la viabilité économique de l'installation.

La présente étude a pour but de livrer à la DRIRE un avis neutre sur le niveau d'exposition de la conduite forcée et sur l'aléa résultant.

Il s'agit d'une mission de type G51 (expertise géotechnique sans sinistre) selon le classement établi dans la norme NF-P 94 500.

2. Eléments exploités

2.1. RÉUNIONS

Une réunion s'est tenue le 21 Juin 2004 aux bureaux d'EdF – TEGG aux Milles. Etaient présents :

- pour EdF : M. Roux, M. Lopez et M. Devèze
- Pour la DRIRE PACA : M. Pauchon
- Pour le brgm : M. Nédellec

Lors de cette réunion ont été exposées les principales raisons pour lesquelles EdF ne souhaite pas renouveler la concession. En particulier, le géologue d'EdF a présenté une synthèse de l'analyse géologique et géotechnique du secteur traversé par la conduite forcée.

2.2. DOCUMENTS

2.2.1. Documents généraux

- Carte géologique au 1/50 000 – Feuille n° 871 Embruns
- Carte IGN au 1/25 000

2.2.2. Documents remis par la DRIRE

- Plan au 1/1000 du tracé de la conduite forcée (doc. EdF)
- Historique des incidents ayant affecté les prises d'eau et la conduite forcée entre 1960 et 2003 (doc. EdF)

2.2.3. Documents consultés au RTM 04

- Novembre 1986 – Fondasol – "Amélioration du CD 29 – Condamine Sainte-Anne – Etude géologique et géotechnique" – rap; MCH/AR/286-164
- Octobre 1989 – CETE d'Aix – "ZAC de Sainte Anne – Reconnaissance géotechnique" – rap. 41.3984.31
- Août 1990 – DDE 04 – "Compte rendu de visite du 25/08/90" – réf. 1015/90
- Septembre 1990 – CETE d'Aix – "Route départementale 29 – Avis géologique" – rap. 41.5285.41
- Octobre 1990 – Conseil Général 04 – "Compte rendu de la réunion du 29 Octobre à Manosque"
- Août 1992 – CEBTP – "Glissement du Plenelet – Equipement et mesures" – rap. 4112.2.175.92-PV 2175.01
- Août 1993 – CEBTP - "Glissement du Plenelet – Equipement et mesures" – rap. 4112.1.175.92-PV 175.02
- Novembre 1993 – CEBTP - "Glissement du Plenelet – Equipement et mesures" – rap. C112.9.280.93
- Août 1995 – CEBTP - "Glissement du Plenelet – Equipement et mesures" – rap. 4112.4.144.92-PV 144.03
- Avril 2001 – CEBTP – "Le Plenelet – Suivi de l'instrumentation" – rap. C112.0.304/04

2.3. VISITE DU SITE

NOUS AVONS EFFECTUE UNE VISITE DU SITE EN DATE DU 26 NOVEMBRE 2004. ETAIENT PRESENTS :

- pour EdF : M. Sterminger – responsable d'exploitation
- pour le brgm : JL. Nédellec – géotechnicien – responsable de l'unité Risque Mouvements de Terrain

A cette occasion, le lit du Parpaillon a été suivi sur environ 80 % du linéaire de la conduite forcée.

3. Présentation rapide de l'ouvrage

La conduite forcée est un ouvrage en fonte d'environ 1800 m de longueur et de 350 mm diamètre utile, mis en service en 1906. Son dénivelé entre la prise d'eau amont et la centrale aval est approximativement de 180 m, ce qui se traduit par une pente de 10 %, valeur relativement faible pour ce type d'ouvrage. Le débit théorique d'exploitation est de 260 l/s pour une production de 1,8 GWh/an.



Photo 1 – Vue de la conduite forcée en rive gauche



Photo 2 – Barrage et prise d'eau amont

Le tracé de la conduite se place en rive gauche sur environ 650 m (36 % du linéaire) le restant étant en rive droite.

Cette conduite est solidarisée au sol par de multiples procédés :

- conduite enterrée ;
- conduite en tranchée ;
- conduite en travée aérienne reposant sur des massifs maçonnés ;
- conduite suspendue par des câbles ou des chaînes fixés au rocher ou au sol.



Photo 3 – Traversée aérienne de la conduite

On soulignera qu'elle montre de nombreuses traces d'endommagement anciens ou récents (enfoncements par impacts, déflexions, torsions, fuites aux raccords ou en section courante ...) ayant nécessité ou nécessitant des travaux de réfection (mise en place de soudures, changement des colliers, rejointoiement des raccords, changement de section, mise en place de soutènements ...).

Enfin, on notera l'existence d'une ancienne prise d'eau en aval de celle toujours en service, à environ 350 m au dessus de la centrale. Cette deuxième prise d'eau a été abandonnée en septembre 1989.

4. Analyse de l'aléa mouvements de terrain

4.1. EXAMEN DES DOCUMENTS D'ARCHIVES

4.1.1. Contexte morphologique et géologique

a) Morphologie

Dans le secteur traversé par l'ouvrage hydraulique, la vallée du Parpaillon est encaissée sur toute sa longueur (cf. Figure 1).



Figure 1 – Implantation de l'installation hydroélectrique – Extrait de la carte IGN au 1/25 000

En rive gauche, le torrent est dominé par des falaises abruptes d'environ 600 m de hauteur. En rive droite, le versant, bien que plus haut, est moins incliné avec des pentes moyennes d'environ 30 % dans la partie amont et de 50 % en aval (sur les 200 à 300 premiers mètres au dessus du Parpaillon).

Les versants encadrant le Parpaillon présentent donc de fortes pentes propices aux instabilités de sols et à la propagation des éléments décrochés.

Toute la partie basse du versant en rive droite est boisée, le couvert végétal étant mixte (feuillus et résineux).

On notera que la route départementale 29 remonte dans le versant en rive droite pour desservir la station de sports d'hiver de La Condamine-Sainte Anne et plusieurs hameaux.

b) Géologie

D'après la carte géologique au 1/50 000 – feuille des Embruns – la rive gauche de la vallée du Parpaillon est constituée de flyschs à helminthoïdes (cf. Figure 2). Il s'agit de schistes grisâtres, de calcaires schisteux et de grès découpés en bancs décimétriques, pouvant se débiter en plaquettes ou en blocs de taille variable (décimétrique à plurimétrique).

L'orientation de la schistosité est très variable (nombreux plis pincés visibles à l'affleurement dans le versant) avec toutefois une dominante de pendage incliné de 40° à 60° vers le Nord et le Nord-Est en bas de versant, c'est à dire une configuration d'amont pendage dans le versant rive gauche¹.

En rive droite, le substratum, qui affleure localement, principalement en fond de vallée, est recouvert par des moraines et des éboulis délicats à différencier. Il s'agit de blocs de flysch de volume variable (décimétriques à plurimétriques) emballés dans une matrice argilo-sableuse généralement assez lâche. L'épaisseur de ces éboulis excède localement 25 m (valeur issue de sondages réalisés dans le secteur).

¹ La configuration d'amont pendage correspond à des structures "rentrant" dans le massif ce qui favorise sa stabilité.



4.1.2. Hydrologie - Hydrogéologie

Sur la section de vallée recoupée par la conduite forcée, quatre torrents principaux plus ou moins pérennes rejoignent le Parpaillon en rive droite (cf. Figure 3):

- le "canal" du Plénelet situé environ 120 m en aval de la prise d'eau
- le torrent du Plénelet à environ 350 m en aval de la prise d'eau
- le torrent des Eyssalps situé environ 1280 m en aval de la prise d'eau
- le torrent du Combalet à environ 1380 m en aval de la prise d'eau

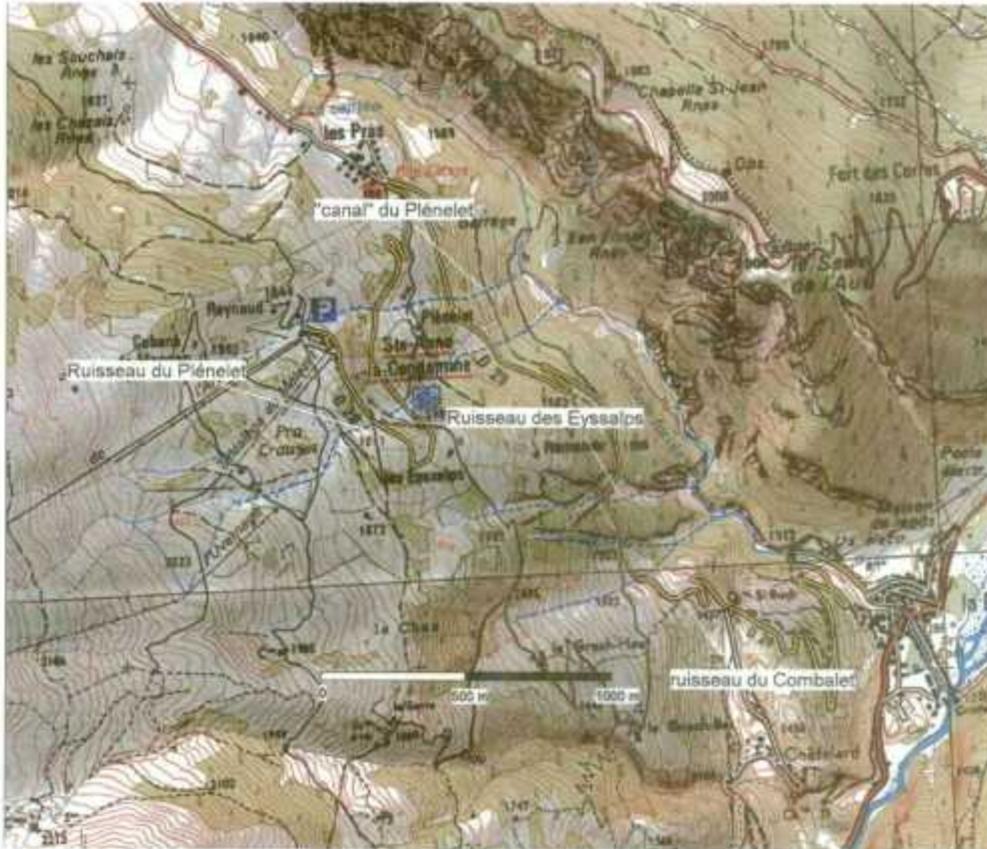


Figure 3 – Principaux affluents du Parpaillon dans la zone d'étude

On notera qu'en 1990 la DDE 04 écrivait que "beaucoup d'eau transite dans le versant, provenant essentiellement de sources déviées par les agriculteurs".

En terme d'hydrogéologie, les piézomètres suivis par le CEBTP en rive droite entre 1991 et 2001 ont mis en évidence une nappe variable entre 1 et 16 m de profondeur dans la zone du glissement du Plénelet.

On retiendra donc que les terrains de couverture (moraines et éboulis) sont largement baignés par une nappe relativement peu profonde.

4.1.3. Campagnes de reconnaissances

Deux principales campagnes de reconnaissance géologiques et géotechniques ont été effectuées sur le site. L'implantation des sondages est présentée sur la Figure 4.



Figure 4 – Implantation des sondages d'archives (en rouge sondages FONDASOL – en orange, sondages CEBTP)

Le descriptif de ces deux campagnes est le suivant :

- campagne FONDASOL de 1986 (répartie sur une grande partie du versant rive droite):
 - . 2 sondages carottés (dont un dans la zone du glissement actif du Plénelet). Des échantillons ont été testés en laboratoire.
 - . 5 sondages pressiométriques

Cette campagne a principalement mis en évidence les points suivants :

- . au droit du glissement du Plénelet, la couverture de moraines et d'éboulis atteint une quinzaine de mètre.
 - . bien que les teneurs en eau se soient révélées faibles, les essais en laboratoire et in situ ont mis en évidence des terrains de couverture assez médiocres. A ce titre, la modélisation du versant par Fondasol concluait à une stabilité très précaire.
- campagne CEBTP de 1991 (concentrée au droit du glissement du Plénelet):
 - . 3 piézomètres de 10 à 20 m de longueur
 - . 2 cellules de pression interstitielle
 - . 3 inclinomètres de 20 à 30 m de longueur

Les carottages ont permis d'apprécier plus de 25 m de moraines et d'éboulis dans l'axe du glissement.

Les instruments ont été suivis par le CEBTP, au moins jusqu'en avril 2001, et ont mis en évidence les points suivants :

- . les piézomètres ont sensiblement varié puisque des amplitudes de près de 10 m ont été enregistrées dans ceux des forages équipés. Cependant, on notera que le forage où la nappe est la plus haute (z ~ 1 m) n'a que très peu varié en 10 ans ;
- . entre 1999 et 2001, les niveaux piézométrique et les cellules de pression ont généralement augmentés ;

- en ce qui concerne les inclinomètres, après de forts déplacements mesurés entre 1991 et 1993 (près de 50 mm dans l'inclinomètre amont sur 24 m d'épaisseur, près de 200 mm dans l'inclinomètre central sur 16 m d'épaisseur, des mesures non significatives sur l'inclinomètre aval de 20 m car le glissement semble passer sous sa base au delà de 20 m), les mouvements semblent s'être amortis après que des travaux de drainage aient été engagés ;
- il semblerait qu'il se dégage une relation entre la piézométrie et les mouvements mesurés dans les inclinomètres, sans toutefois que cette relation soit très claire.

4.1.4. Instabilités recensées

Plusieurs types d'instabilité sont recensées dans les documents d'archives :

- en rive gauche : chutes de blocs et éboulements rocheux
- en rive droite :
 - Instabilités superficielles : érosions de berge, glissements plans, ravinements, affaissements de remblais routiers, basculements d'ouvrages de soutènement, renflements dans les murs, glissements bancs sur bancs dans les schistes.



Photo 4 – Glissements bancs sur bancs

L'épisode le plus important semble être lié aux fortes intempéries de Mai 2003 qui ont provoqué un ravinement importants et des transports solides conséquents dans le torrent des Eyssalps (probablement plusieurs dizaines de milliers de m³). Des glissements superficiels dans la zone de ravinement ont probablement favorisé un accroissement significatif de la masse en mouvement.



Photo 5 – Zone de ravinement et transports solides associée à l'évènement de Mai 2003

Instabilités profondes : glissement plan et fluage.

Dans la zone d'étude, c'est le glissement du Plénelet qui se révèle critique. Il s'agit d'une masse de terrains de couverture (moraines et éboulis), localement de plus de 20 m de puissance qui glisse vers le Nord-Est. L'extension du glissement est de plus de 600 m (N-S dans l'axe du versant) par 250 m. On peut estimer le volume en mouvement à plus de 1 Mm³. Des mouvements maximum de près de 200 mm ont été enregistrés entre 1991 et 1993 dans la partie centrale du glissement. Il semblerait que depuis cette période le glissement s'amortisse suite à des travaux de drainage effectués.

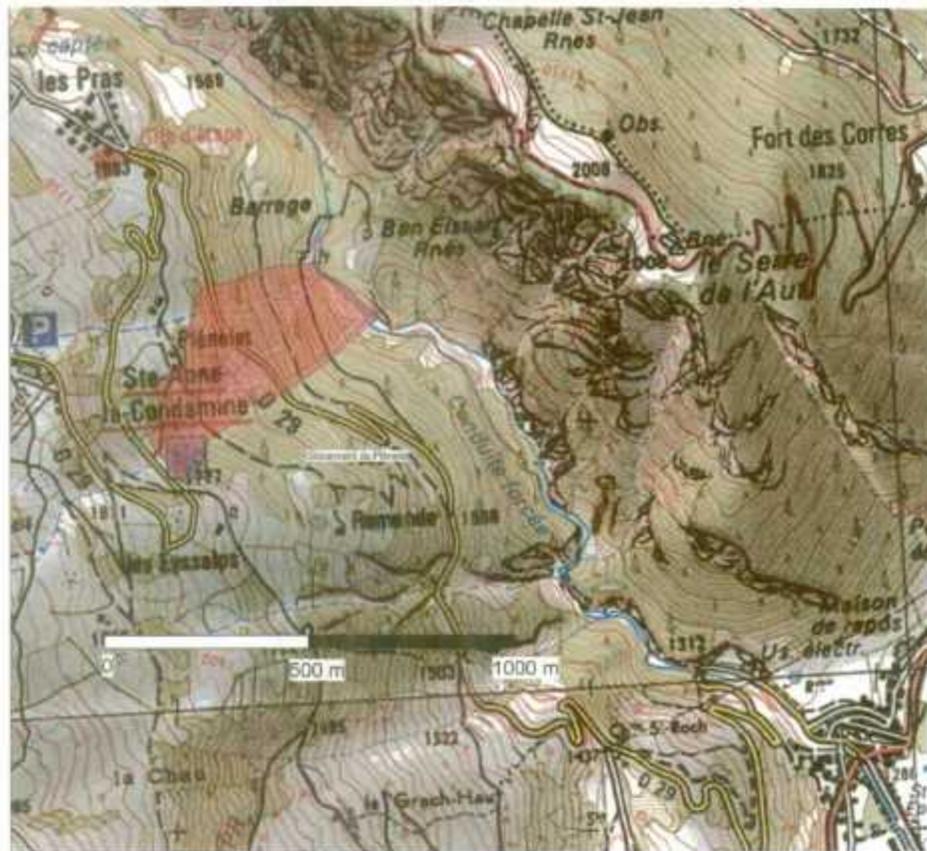


Figure 5 – Limites du glissement du Plénelet selon le rapport Fondasol



Photo 6 – Partie aval du glissement du Plénelet

- dans le lit du Parpaillon : érosion et engraissement actifs. Par exemple, la crue de Mai 2003 a provoqué un déplacement latéral du lit principal de plusieurs dizaines de mètres, se traduisant par un enfouissement de la conduite forcée dans une zone où elle était initialement suspendue. De même, à proximité de l'ancienne prise d'eau aval, un ouvrage de dérivation en gabion a été éventré par les crues successives du Parpaillon.



Photo 7 – Troncs d'arbres charriés dans le lit du Parpaillon et conduite exhumée

4.1.5. Analyse de l'historique des désordres sur la conduite et la prise d'eau

Nous avons exploité le registre des désordres et interventions sur la conduite forcée et les ouvrages annexes, fourni par EdF. Entre 1958 et 2003, nous avons noté 134 interventions en tout genre sur la conduite elle-même, l'origine des désordres n'étant que très rarement spécifiée. Jusqu'à 14 interventions dans une même année ont été effectuées (en 1991), la moyenne s'établissant à près de 3 interventions par an, EdF précisant une moyenne d'environ 2 grosses avaries par an.

La Figure 6 illustre sur 40 années d'observation l'absence de périodes significatives sans dommages. Cela peut s'expliquer par le type de phénomènes auxquels la conduite est exposée (éboulements, glissements, crues ...), ces phénomènes étant récurrents années après années, le relief du site n'évoluant que très lentement à l'échelle humaine.

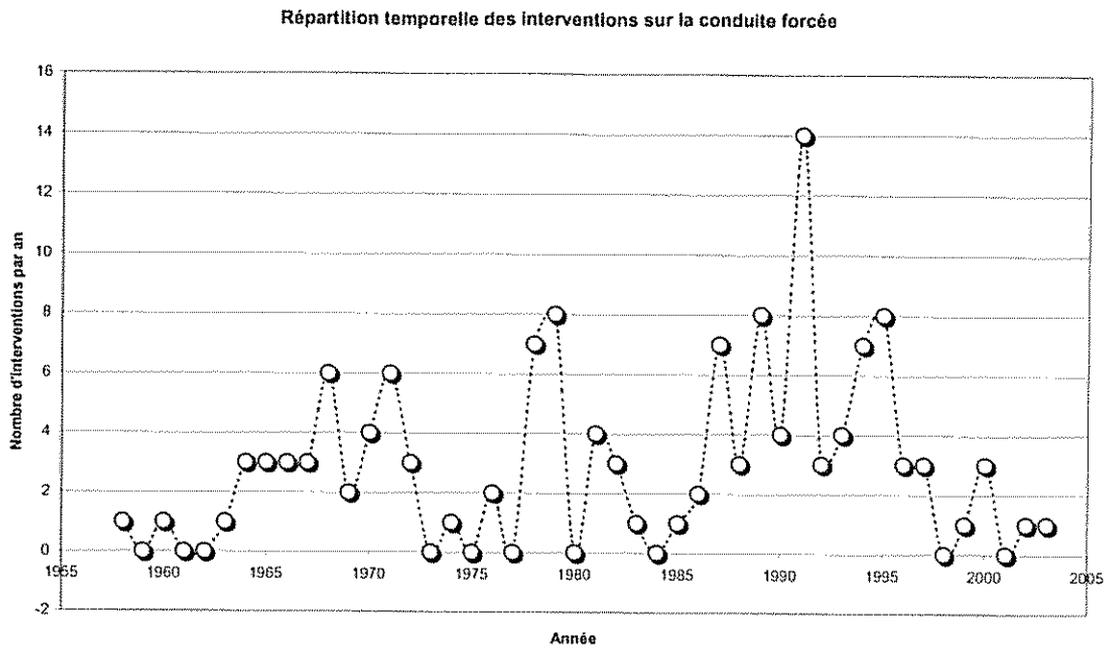


Figure 6 – Répartition temporelle des interventions sur la conduite forcée

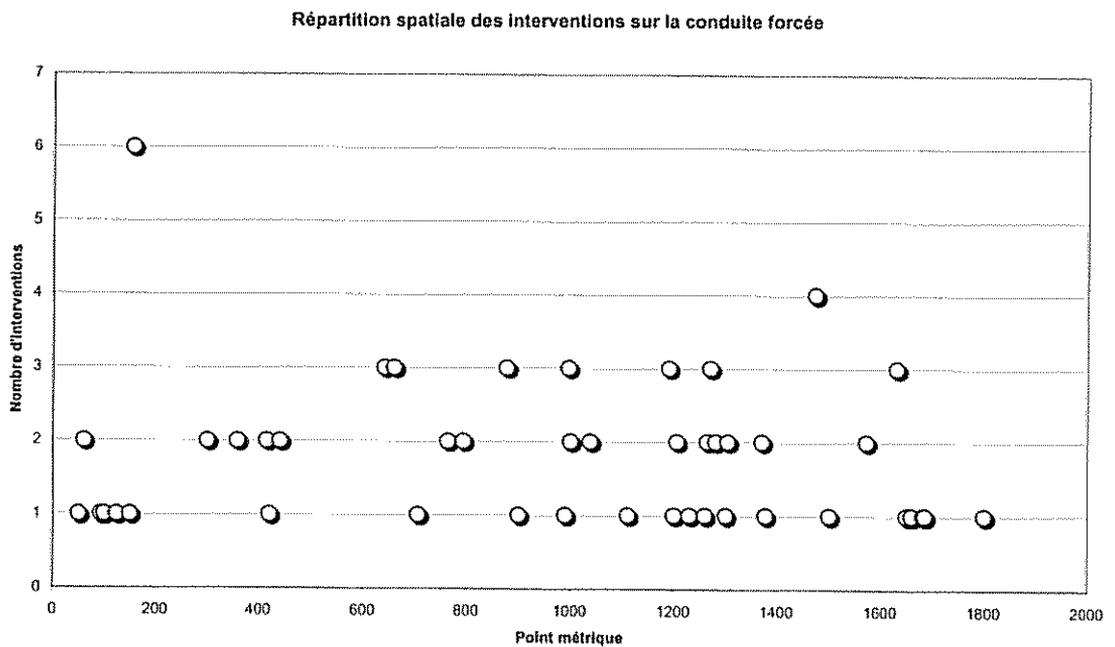


Figure 7 – Répartition spatiale des interventions sur la conduite forcée

Par ailleurs, nous avons reporté sur la Figure 7, la répartition des désordres sur le linéaire de l'ouvrage.

On constate que les zones les plus exposées se situent entre les pm 0 et 200 (zone où la conduite a été en partie placée en rive gauche suite à de nombreux problèmes récurrents), et entre les pm 1200 et 1400 (coude dans le tronçon du Parpaillon où la conduite passe en rive gauche). Toutefois, au regard de ce graphique, on observe qu'aucun tronçon de linéaire significatif ne se caractérise par une absence manifeste d'exposition aux phénomènes à risques.

4.2. ELÉMENTS TIRÉS DE LA VISITE SUR LE SITE

Notre visite sur le site a permis de confirmer les éléments tirés des études d'archives, à savoir :

- les versants gauche et droite du Parpaillon se révèlent instables (constat de blocs effondrés, nombreux indices de glissements et de décrochement, ravines actives, ...);
- entre les pm 400 et 900 où la conduite remonte fortement dans le versant en rive droite, de nombreux indices d'instabilité sont également visibles (arbres penchés, niches d'arrachement, bourrelets, ravinements, blocs déchaussés ...)
- le lit du Parpaillon est très variable (dépôts pouvant être déplacés en masse) en raison de son régime torrentiel;
- la conduite forcée est exposée aux instabilités de terrain sur la quasi totalité du linéaire exploité;
- plusieurs fuites récentes ont été constatées;
- les conditions d'accès à la conduite pour l'entretenir sont délicates;

la RD 29, bien que récemment refaite par tronçons, montre encore des signes de mouvements de sols : fissures dans la chaussée, affaissements

5. Conclusions

L'examen des documents d'archives, complété par un visite du site, ont permis d'avancer les conclusions suivantes :

- 1) La conduite forcée est exposée sur la quasi totalité de son linéaire à des instabilités superficielles provoquant de nombreux dommages sur l'ouvrage :
 - chutes de blocs et éboulements (principalement en rive gauche) ;
 - glissements, ravinements, affaissements, glissements bancs sur bancs, reprise de blocs (principalement en rive droite).

Le registre des interventions consignées depuis 40 ans montre que ces phénomènes sont récurrents et encore actifs.

Le versant gauche et le versant droit sont tout autant actifs, bien qu'affectés par des phénomènes différents.

- 2) Localement, entre les pm 120 et 400 environ, la conduite est exposée à un grand glissement profond d'environ 1 million de m³. Ce glissement, dit du Plénelet, semble s'être ralenti depuis 1993 date à laquelle des travaux de drainage ont été engagés. Toutefois, étant donné le ravinement important en pied de glissement, associé au changement climatique en cours pouvant se traduire vers un régime plus humide, on ne peut exclure une prochaine réactivation des mouvements rapides du glissement du Plénelet.
- 3) Le lit du Parpaillon est soumis à un régime torrentiel très actif. Cela se traduit par des transports solides importants lors des crues provoquant tantôt un enfouissement de la conduite forcée, tantôt une exhumation, voire son entraînement.

En conséquence, dans sa configuration actuelle (ouvrage en fond de vallée du Parpaillon ou à proximité), la conduite forcée EdF est exposée à un aléa mouvements de terrains fort. Sans modification significative du tracé et de la nature de l'ouvrage, son exploitation ne pourra se poursuivre qu'en acceptant des contraintes d'entretien majeures telles que rencontrées jusqu'à présent. En effet, aucun indice probant, ne permet de prévoir que les deux versants du Parpaillon seront moins actifs dans l'avenir.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

**Service géologique régional Provence-Alpes-Côte-
d'Azur**
117 avenue de Luminy – BP168
13276 – Marseille Cédex 09 - France
Tél. : 04.91.17.74.77