



EPDE

Canal d'Oraison

10 ans de la méthodologie ETC – EPDE et d'évolution des méthodes de diagnostic des canaux

Exemple du canal d'Oraison

25/01/2024 – Présentation CFBR



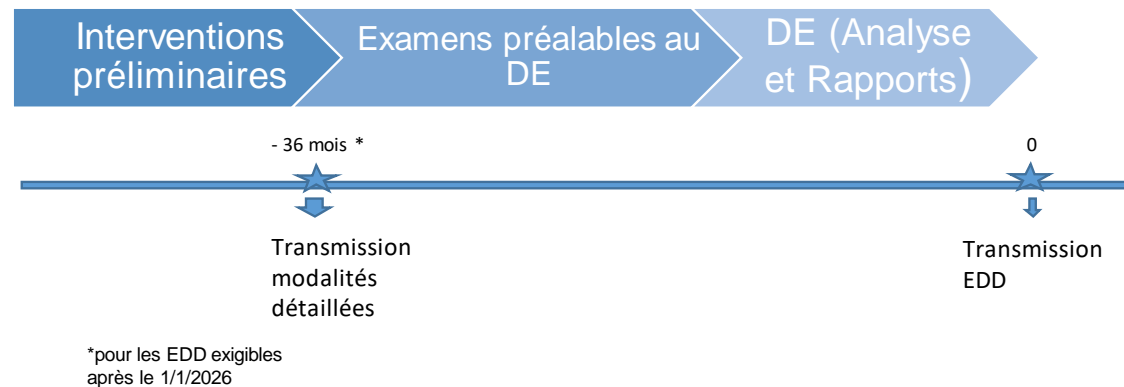
SOMMAIRE

- 1 – Rappel de la réglementation**
- 2 – Particularité des canaux – barrages latéraux de la Durance**
- 3 - Evolutions méthodologiques menées à EDF depuis 2011**
- 4 – Méthodologie actuelle appliquée à Oraison**
- 5 - Synthèse sur les techniques de reconnaissances géophysiques actuellement utilisées**

1 – Rappel de la réglementation

Les obligations :

- D'après l'Arrêté du 12 juin 2008 (modifié par les arrêtés des 3 septembre 2018 et 21 janvier 2022), l'Etude De Dangers comprend un Diagnostic Exhaustif tel que prévu par le n° II de l'article R.214-116 du code de l'environnement, réalisé moins de 36 mois avant la remise de l'EDD (clause d'antériorité).
- Le Diagnostic Exhaustif (DE) a pour objet de réaliser un état physique complet de l'ouvrage, en identifiant et caractérisant les évolutions intervenues entre deux diagnostics. Le résultat pratique du DE d'un ouvrage, est de donner une image fidèle et à jour de l'ouvrage pouvant être valablement utilisée dans l'analyses de risques de l'EDD.
- L'article R214-116 (modifié par le Décret n°2021-1902 du 29 décembre 2021) précise que la procédure de réalisation du DE (appelée modalité détaillée) est transmise au préfet 36 mois avant la transmission de l'EDD.



2 - Particularité des canaux – barrages latéraux de la Durance

Leur fonction principale : stocker et guider l'eau.

La particularité de leur conception :

- l'étanchéité est assurée par un masque amont étanche (béton de ciment, béton bitumineux principalement).
- couche drainante généralement située en sous-face du masque étanche, collecteur de drainage en pied amont, évacuation des eaux de drainage par des ovoïdes traversant le remblai.
- corps de remblai non zoné (« homogène »), sans ligne de saturation.
- matériaux constitutifs du corps de remblai issus de zones d'emprunt très locales => matériaux de remblai très voisins des matériaux de fondation.
- absence de filtre.
- fruits aval assez faibles (généralement de 1,5 à 2), mais cohérents avec le critère de stabilité statique utilisé dans les années 1960-70 pour ces ouvrages : coef. de sécurité recherché de 1,3 en situation normale d'exploitation (pour 1,5 actuellement).

2 - Particularité des canaux – barrages latéraux de la Durance

La particularité de leur conception (suite) :

Du fait de leur grand linéaire, ces ouvrages interceptent de nombreux Bassins Versants Latéraux (BVL) => nombreux ouvrages traversants (ovoïdes) ayant pour fonction de rétablir les écoulements.

La particularité de leur fondation :

Du fait du grand linéaire de ces ouvrages (jusqu'à 30 km), grande variabilité de la nature de la fondation le long du canal (ce qui a induit une grande variabilité de la nature des matériaux de remblai le long du linéaire, cf. remarque diapo précédente).

D'où la nécessité d'inclure dans l'analyse de sûreté (EPDE compris), une sectorisation de ces ouvrages en secteurs « homogènes ».

Homogène signifie : même nature de matériaux de fondation, même nature de matériaux de remblai, même type d'étanchéité.

Homogène ne signifie pas : que les matériaux constitutifs du remblai et de sa fondation sur un tronçon ne présentent aucune variabilité. La variabilité peut être importante au sein d'un même secteur.

3 – Evolutions méthodologiques menées à EDF depuis 2011

Méthodologie des ETC de canaux jusqu'en 2011 :

- Vidange totale
- Nettoyage ciblé sur un linéaire très limité de l'envasement du radier (2 zones de 50 ml pour l'ETC du canal de Sisteron en 2011, linéaire total du canal de 30 km)
- Observations visuelles du masque.

AVIS DREAL et EDF sur cette méthodologie : INSATISFAISANT

- Constat d'une mauvaise visibilité de l'ouvrage par la DREAL
- Pour EDF, opération de vidange et de nettoyage contraignante, coûteuse et présentant des risques sûreté pour l'ouvrage (lors de la remise en eau). Les observations visuelles des parties habituellement noyées du masque n'ont rien apporté à la connaissance de l'ouvrage.



3 – Evolutions méthodologiques menées à EDF depuis 2011

Méthodologie des ETC de canaux adoptée en 2012

En 2012, EDF, la DREAL PACA et le PONSOH ont conjointement travaillé sur l'adaptation de la méthodologie des examens techniques complets des ouvrages de grands linéaires de type canaux (REX des ETC réalisés entre 2007 et 2011) suite aux constats suivants :

- Ouvrage examiné en vidange (sans charge hydraulique)
- Le risque de décolmatage généré par la vidange d'un ouvrage induisant de nombreuses infiltrations lors de la remise en eau,
- Le peu d'informations récoltées lors de ces vidanges en raison de la présence importante de dépôts en radier et sur les bajoyers,

3 – Evolutions méthodologiques menées à EDF depuis 2011

Méthodologie des ETC de canaux adoptée en 2012

Actions préalables à l'ETC

- Examen visuel détaillé
- Reconnaissances géophysiques à grand rendement (radier et parements des zones en remblai)
- Reconnaissances topographiques

Objectif = cibler des zones sur lesquelles des investigations locales seront menées dans le cadre de l'ETC à proprement parler.

ETC (partie GC)

- Reconnaissances géophysiques locales
- Relevé des défauts sur le revêtement (zone de marnage, plus de nettoyages systématiques)
- Examen des ouvrages traversants
- VTA

3 – Evolutions méthodologiques menées à EDF depuis 2011

Les évolutions de cette méthodologie de 2012 à aujourd'hui.

Les raisons de ces évolutions :

- Prise en compte du REX (depuis l'ETC d'Oraison en 2012)
- Améliorations, par EDF, de la mise en œuvre, sur ce type d'ouvrages, des méthodes géophysiques
- Rationalisation de la combinaison des méthodes.

Mais maintien des objectifs, de la structure et des principales méthodes, constitutifs de cette méthodologie.

- Plus de vidange, abaissement de l'ordre de 1 m dans la zone de marnage
- Méthodes à grand rendement (> 1 km/jour) suivies de reconnaissances locales (sur quelques dizaines à centaines de mètres)
- Cheminements de fuite caractérisés par la localisation du point d'entonnement et la localisation de passage de l'eau à travers l'ouvrage.

3 – Evolutions méthodologiques menées à EDF depuis 2011

Les évolutions de cette méthodologie de 2012 à aujourd'hui.

Méthodologie ETC canaux de 2012	Méthodologie EPDE Oraison 2022
	Analyse multicritère / Sectorisation
Examens préalables à l'ETC (partie GC remblais) <ul style="list-style-type: none">- Examen visuel détaillé- Reconnaissances géophysiques à grand rendement (ERT)- Levé topographique	Interventions préliminaires aux examens du diagnostic exhaustif <ul style="list-style-type: none">- Examen visuel détaillé des remblais- Détection d'obstacles en radier (méthodes bathymétrie multifaisceaux et sonar latéral)- Reconnaissances géophysiques à grand rendement (méthode PS) et utilisation de reconnaissances locales antérieures (ERT/PP)- Reconnaissance par méthode d'écoute acoustique (localisation d'entonnements)
Examens constitutifs d'un ETC (partie GC remblais) <ul style="list-style-type: none">- Reconnaissances géophysiques locales<ul style="list-style-type: none">o Recherche d'entonnements : méthodes PS, écoute acoustique et éventuellement ROV)o Recherche d'exutoire : méthode PS sur parement avalo Recherche de cheminement : méthodes de traçage, LIP- Relevé des défauts sur le masque (zone de marnage)- VTA	Examens préalables au diagnostic exhaustif (partie GC remblais) <ul style="list-style-type: none">- Reconnaissances géophysiques locales définies selon 3 types de zones (pas de reconnaissance géophysique supplémentaire / PS et/ou sonar latéral / PS + sonar latéral + ERT+PP + caractérisations de cheminements de fuite sur zones ponctuelles).- Relevé de défauts sur le masque (zone de marnage)- VTA

3 – Evolutions méthodologiques menées à EDF depuis 2011

Synthèse des évolutions majeures entre 2012 et 2022

- Pour les reconnaissances géophysiques à grand rendement (dans la phase d'examens préliminaires), généralisation de la méthode PS (Polarisation Spontanée) au lieu de l'ERT (sauf contexte particulier)
- Approche « sectorisation », permettant de choisir les meilleures méthodes géophysiques adaptées aux caractéristiques du secteur, plutôt qu'un traitement systématique de l'ensemble du linéaire de l'ouvrage

3 – Evolutions méthodologiques menées à EDF depuis 2011

Les évolutions de cette méthodologie de 2012 à aujourd'hui : séquençage des examens.

- **Examens préliminaires en année N-1** : examens visuels détaillés des remblais, géophysique grand rendement , topographie, bathymétrie (pas systématique),
- **Examens technique complet (ETC) en année N** : géophysique locale, relevés du revêtement dans la zone de marnage, examen détaillé des ovoïdes et des ouvrages traversants, VTA (3 volets GC, HM, CC).

Les grandes lignes définies en 2012 n'ont pas été modifiées, les essais préliminaires à réaliser en N-1 de l'EPDE (examens visuels détaillés et géophysique à grand rendement) sont conservés. L'EPDE sera quant à lui réalisé dans les 36 mois qui précèdent l'EDD (géophysique locale - relevé dans les zones de marnage, examens détaillés des ovoïdes et VTA)

5 – Méthodologie actuelle appliquée au canal d'Oraison

Les grandes étapes :

1. Analyse et **synthèse** de toutes les données d'entrée disponibles
2. **Analyse multicritère** : Sectorisation de l'ouvrage en secteurs homogènes
 - Type 1 : Remblai et fondation sablo-graveleuse sans pathologie connue ;
 - Type 2 : Remblai et fondation sablo-graveleux avec une pathologie connue ;
 - Type 3 : Remblai sablo-graveleux ou limoneux, fondation limoneuse, avec ou sans pathologie connue.

→ Préconisation des reconnaissances préliminaires grand rendement et des reconnaissances locales déjà connues lors de l'EPDE.
3. Réalisation des interventions **préliminaires** grand rendement
4. Définition et réalisation des reconnaissances préalables au **diagnostic exhaustif** définies sur chaque secteur

Objectif de la sectorisation : Adapter et dimensionner les examens à prévoir dans chaque secteur lors de la phase préliminaire à l'EPDE.

5 – Méthodologie actuelle appliquée au canal d'Oraison

Examens et reconnaissances préalables au diagnostic exhaustif

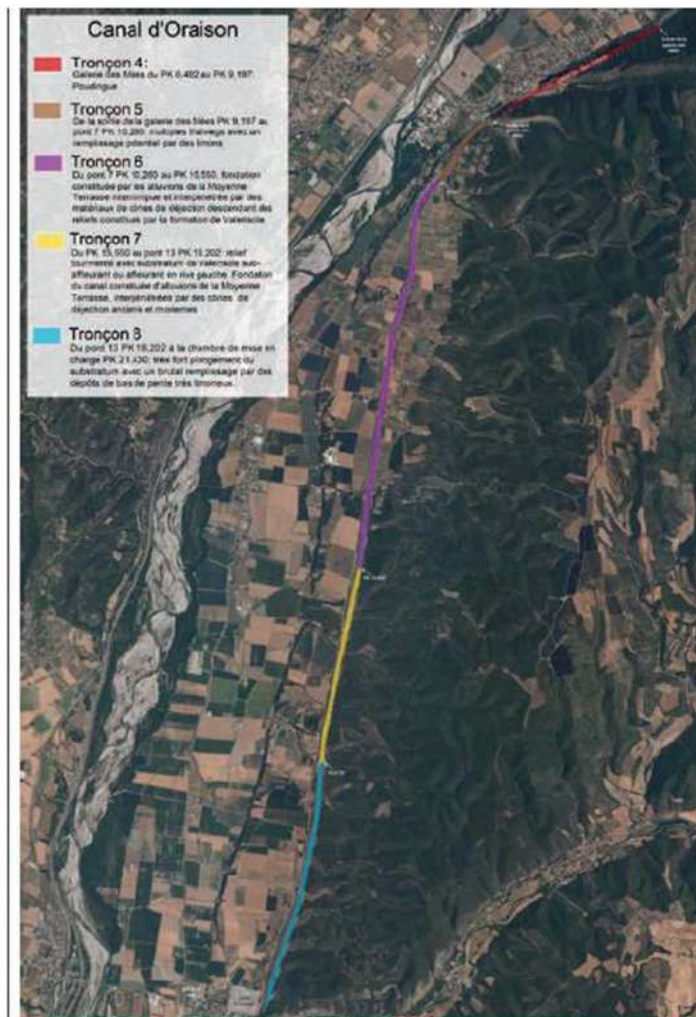
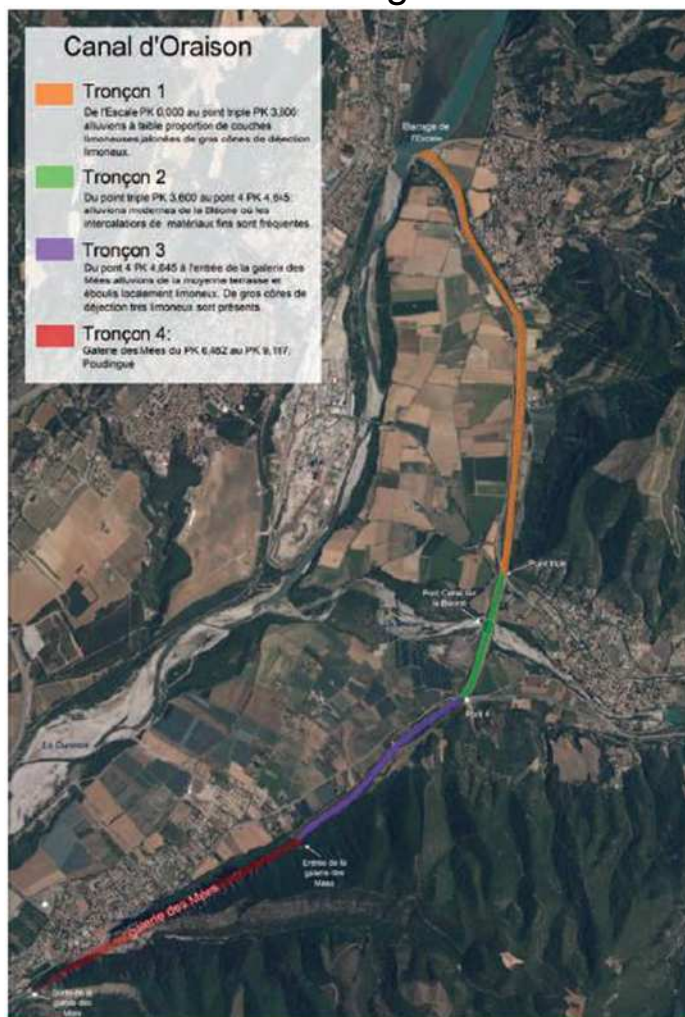
Le programme des examens et reconnaissances préalables au diagnostic exhaustif est le suivant :

- Examen des organes de vantellerie (vannes d'entrée, vanne de vidange, prise d'eau,...),
- Examen des matériels de contrôle-commande (mesures de niveau et systèmes de transmission des alarmes),
- Examen visuel de type VTA GC,
- Examen détaillé de l'ensemble des ovoïdes ou ouvrage traversant (examen direct hors d'eau ou examen par ROV en eau, exemple les PEA),
- Examen détaillé des dégradations de l'étanchéité sur la zone de marnage avec relevé des dégradations lors d'un abaissement de -2 m du plan d'eau,
- Reconnaissances géophysiques locales (PS, sonar latéral, méthodes mises en œuvre pour la caractérisation des fuites).

5 – Méthodologie actuelle appliquée au canal d'Oraison

Sectorisation

Sectorisation selon le critère : « Géologie de la fondation »

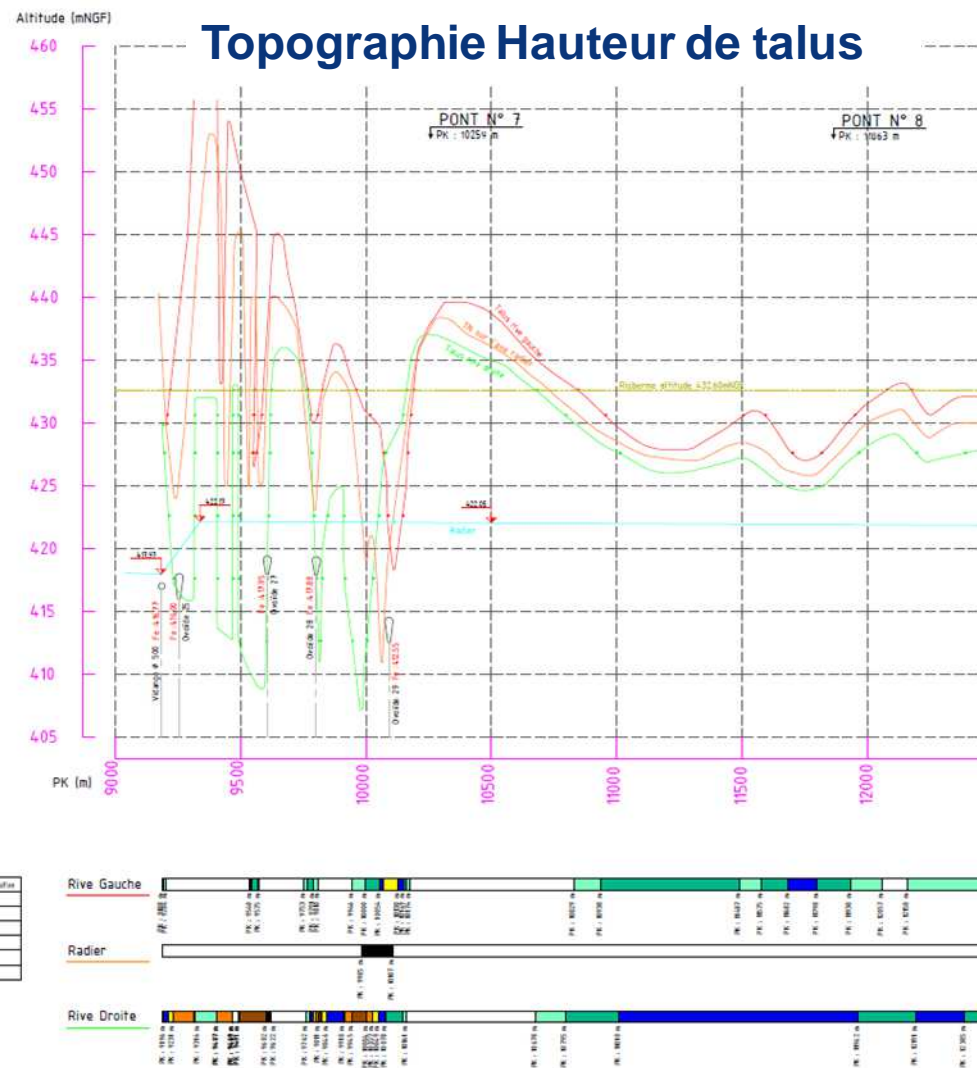
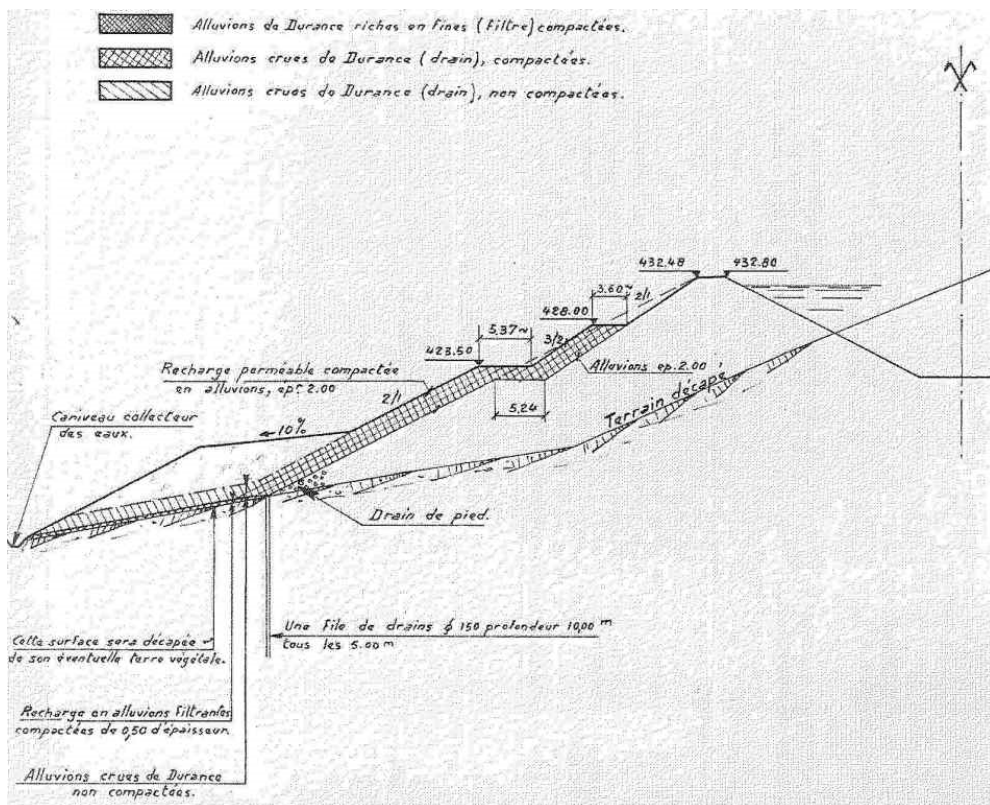


5 – Méthodologie actuelle appliquée au canal d'Oraison

Sectorisation

Sectorisation selon le critère : « Caractéristiques géométriques »

Profils en travers



4 – Méthodologie actuelle appliquée au canal d'Oraison

Sectorisation

Sectorisation selon le critère : « Conception et mise en place des remblais »

- Différents mode de mise en place des remblais :

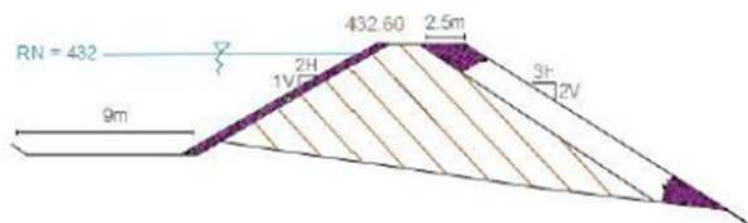


Figure 25 : Coupe type remblai limoneux.

Cas de déblais mixtes limons / alluvions

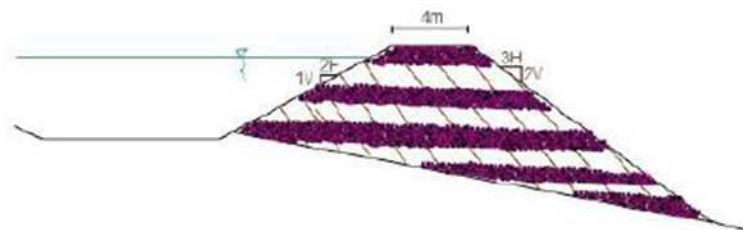
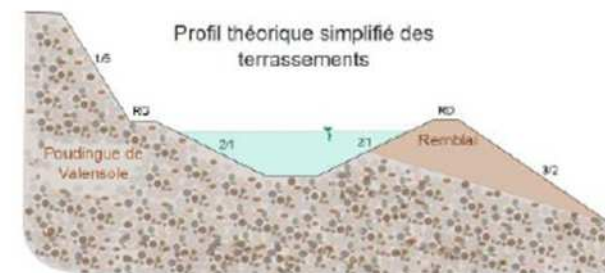
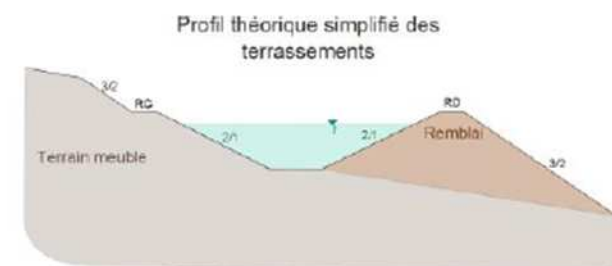


Figure 26 : Coupe type remblai par couches alternées limons/alluvions.



4 – Méthodologie actuelle appliquée au canal d'Oraison

Sectorisation

Sectorisation selon le critère : « Historique de construction »

- **TRAVAUX DE REPRISE : SUBSTITUTION DES TERRAINS + COMPACTAGE + BETON BITUMINEUX**



Photo 13 : Terrassement au droit de l'accident Paillerol (19/12/1962).



Photo 19 : Revêtement sous couche BB zone grand paillerol (19/08/1963).

4 – Méthodologie actuelle appliquée au canal d'Oraison

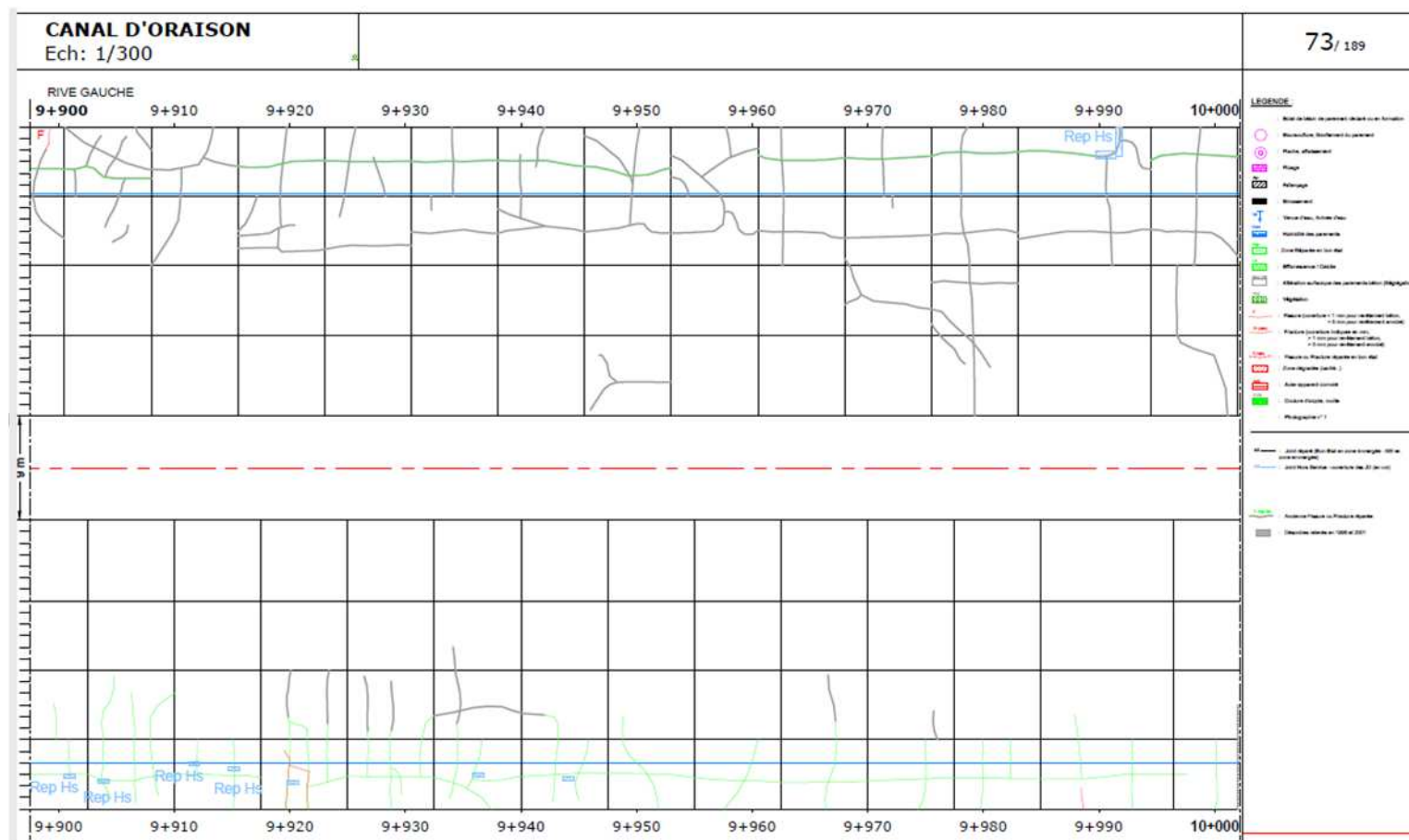
Sectorisation

Sectorisation selon le critère : « Nature et fissuration des revêtements »

Relevés des dégradations de surface

Un suivi et une mise à jour des évolutions sont réalisés classiquement sur la zone de marnage lors de l'EPDE.

L'objectif étant de relever les évolutions des dégradations situées sur la zone de marnage soumise aux variations d'exploitations et climatiques, afin d'éviter à long terme toute dégradation traversant le système d'étanchéité pouvant entraîner un risque sûreté.



4 – Méthodologie actuelle appliquée au canal d'Oraison

Sectorisation

Sectorisation selon le critère : « Pathologies connues »

Zones d'infiltration connues

Exemple : Equipement d'un drain au Pk 19,20 le 12 déc. 2013 en aval de l'ovoïde n°42 avec mise en place d'un suivi.

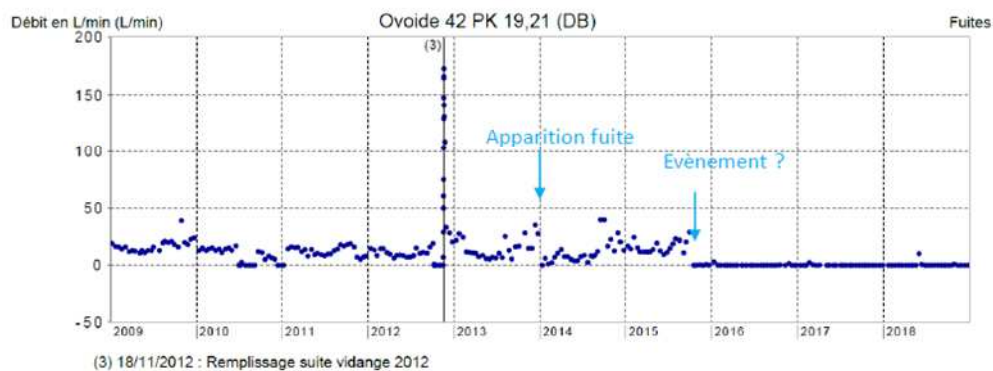


Photo 1 : Zone humide 12/12/2013.



Photo 2 & 3 : Zone humide après terrassement.



Photo 4 : Mise en place d'un drain (2013).



Photo 5 : Sortie de drain (2013).

4 – Méthodologie actuelle appliquée au canal d'Oraison

Sectorisation

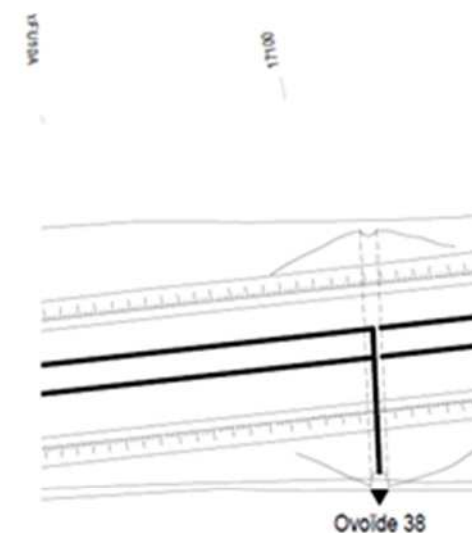
Sectorisation selon le critère : « Surveillance et auscultation »

Surveillance : Auscultation et examens visuels

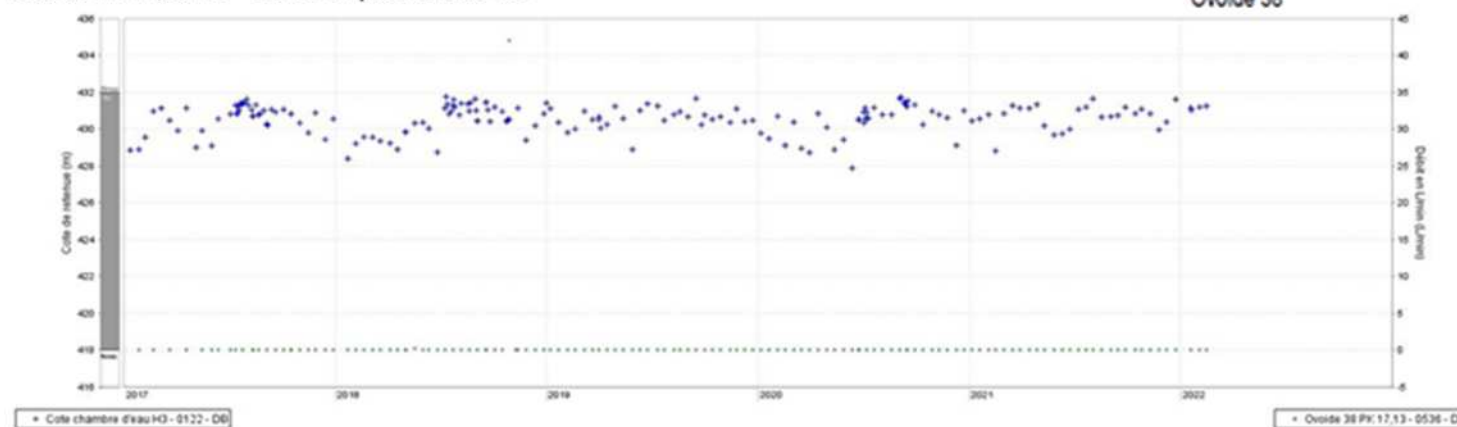
Les examens visuels exploitants et VTA



Photo 12 (VTA GC - 2021) : Talus au Pk 17,00 RD – Doline en pied de talus RD



L'évolution des mesures d'auscultation



4 – Méthodologie actuelle appliquée au canal d'Oraison

Sectorisation

Analyse multicritères

L'analyse multicritère synthétise les informations connues tout le long du canal, permet de le **sectoriser** en secteurs homogènes et de définir les reconnaissances spécifiquement à chaque secteur.

L'ensemble des critères connus et présentés précédemment sont analysés :

- La géométrie : distribution déblais/remblais, les hauteurs des remblais,
- Les informations sur la construction de l'ouvrage (aléas,...),
- La nature et les propriétés des matériaux constitutifs des remblais et de leur fondation,
- La nature du parement d'étanchéité, la présence ou pas de pathologie,
- Les données de surveillance sur le comportement hydraulique et mécanique : observations lors des examens visuels, l'historique de l'auscultation.

4 – Méthodologie actuelle appliquée au canal d'Oraison

Choix consécutifs à l'analyse multicritères

Un secteur ne présentant pas de risque sûreté de par sa conception ne fera pas l'objet de reconnaissances géophysiques supplémentaires.

→ **Un examen visuel de type Visite Technique Approfondie**

Exemple :

Un secteur présentant :

- Une faible hauteur de remblai (de l'ordre de 5 m),
- Des remblais constitués de matériaux drainants,
- Une fondation constituée de matériaux drainants,
- Aucune pathologie spécifique connue historiquement (tassement, glissement, fuite,...),
- Un coefficient de sécurité à la stabilité présentant une marge certaine au vu des règles de l'art,

4 – Méthodologie actuelle appliquée au canal d'Oraison

Choix consécutifs à l'analyse multicritères

Sur un secteur présentant soit une pathologie pouvant entraîner un risque sûreté sur l'ouvrage, soit avec la présence de limons en remblai ou en fondation, des reconnaissances géophysiques seront engagées dans le cadre des examens préliminaires à l'EPDE.

→ **Examens complémentaires en engageant des reconnaissances géophysiques.**

Exemple :

- Une hauteur de remblai plus importante (au-delà de 5 m),
- Nature des matériaux constituant les remblais (sablo-graveleux ou limoneux),
- Nature de la fondation (limoneuse, sablo-argileuse,...),
- Une ou des pathologies connues sur le secteur (fuite, tassement,..),
- Un coefficient de sécurité à la stabilité présentant une marge limitée au vu des règles de l'art,

4 – Méthodologie actuelle appliquée au canal d'Oraison

Choix consécutif à l'analyse multicritères – exemple du secteur 2

Secteur	Zones	Mesures proposées
SECTEUR 2 PK 3,600 au PK 4,645 du point triple au Pont 4	Point triple Talus humide en RD Fondation graveleuse Stabilité vérifiée Revêtement fracturé en partie supérieur uniquement Tassement non évolutif	<i>Les éléments connus sur cette zone ne nécessitent pas de reconnaissance géophysique pour l'EPDE.</i>
	Aval/Amont pont Canal Bléone	Mesures caméra acoustique sur 50 m en amont et aval contact Pont/Remblais
	Roseaux en pied de talus RG aval Pont Bléone	<i>Les éléments connus sur cette zone ne nécessitent pas de reconnaissance géophysique pour l'EPDE.</i>

Sur ce secteur, il est ressorti, de l'analyse multicritères, un besoin de compléter l'examen par un examen subaquatique de la zone de contact entre le pont canal de la Bléone et la partie remblai du canal.

Ces zones ont été examinées à l'aide d'un sonar latéral qui permet d'obtenir une imagerie des parties immergées, et de confirmer l'absence de pathologie importante sur cette zone.

Une analyse par méthode acoustique a également été réalisée sur le bajoyer rive droite au droit d'une zone présentant une infiltration actuellement équipée et suivie par l'exploitant.



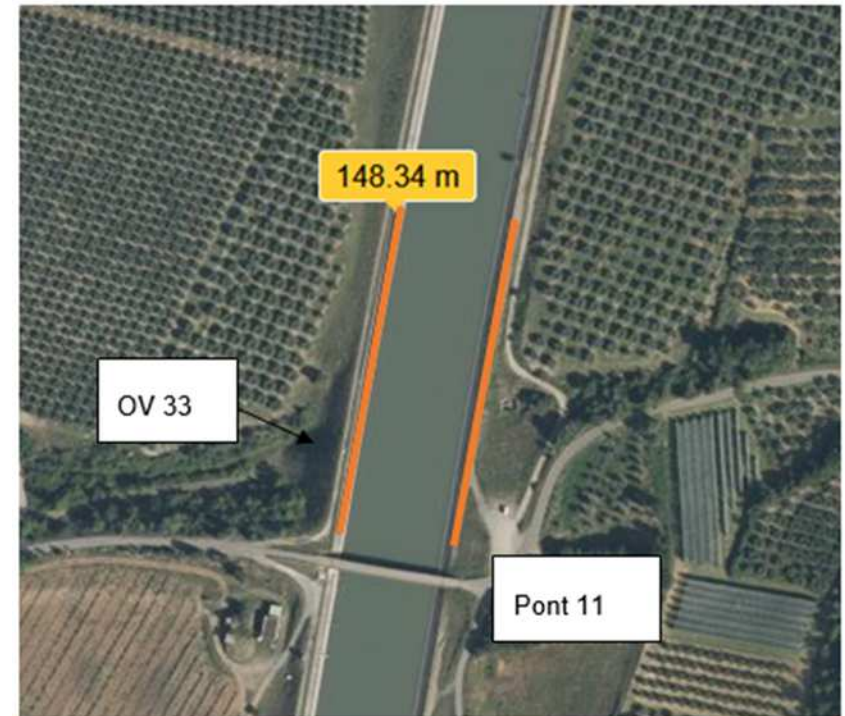
4 – Méthodologie actuelle appliquée au canal d'Oraison

Choix consécutif à l'analyse multicritères – exemple du secteur 5.

Secteur	Zones	Mesures proposées
SECTEUR 5 PK 10,260 au PK 15,800 du Pont 7 à l'Ovoïde 34	Pk 14,53 OV 33 talus RD raide Stabilité à 1,30 Etanchéité vieillissante Fondations graveleuses sur limons	PS non applicable en raison du pont et de l'ovoïde (oxydoréduction) Concerne 150 ml en RD au droit de l'OV 33 Caméra acoustique Puis Mesures acoustiques FUIITE BUSTER suivant les résultats

Sur ce secteur, nous n'avions pas de pathologie connue, néanmoins la présence d'un talus raide, d'une étanchéité vieillissante sur la zone de marnage, et de limon en fondation, nous a orienté vers un examen complémentaire.

Le choix d'utiliser la technique de la caméra acoustique a été modifié par la réalisation d'imagerie par sonar latéral, qui s'est avérée plus adaptée à notre besoin.



Pk 14,45 au Pk 14,6 – Caméra acoustique 150 ml RD/RG/Radier

4 – Méthodologie actuelle appliquée au canal d'Oraison

Calendrier de mise en œuvre des reconnaissances

Les différentes techniques de reconnaissances utilisées :

- **Reconnaisances grand rendement (année N-1 examen préliminaire de l'EPDE)**

- La bathymétrie et détection d'obstacles,
- La polarisation spontanée (cadence de 3 km/j de canaux)

- **Reconnaisances locales (année N de l'EPDE)**

- L'acoustique au chariot (FUIITE BUSTER V1 – cadence de 300 points/j soit 100 m/j de bajoyer)
- L'ERT + PP (profil de 500 m /j)
- Traçages à la saumure et/ou à la fluorescéine.

5. Synthèse des reconnaissances utilisées actuellement par EDF

- **Bathymétrie multifaisceaux**
- **Sonar latéral**
- **Polarisation spontanée (PS)**
- **Ecoute acoustique (méthode EDF FuiteBuster)**
- **Couplage des méthodes de Tomographie de Résistivité Electrique (TRE ou ERT) et de Polarisation Provoquée (PP)**
- **Traçages (à la saumure ou à la fluorescéine)**
- **Thermométrie**

5 – Focus sur les techniques de reconnaissances géophysiques actuellement utilisées

Méthodes géophysiques	Objectif	Local	Intermédiaire	Grand rendement
Imagerie Subaquatique (bathymétrie multifaisceaux et sonar latéral)	Recherche de zones de dégradation et de présence d'obstacles	X	X	X
Mesure de Polarisation Spontanée (PS)	Recherche de zones d'entonnement et/ou de résurgence	X	X	X
Mesures de Résistivité et de Polarisation Provoquée (ERT+PP)	Caractérisation de l'état hydrologique des remblais	X	X	
Mesures acoustique statique local (Fuite Buster V1)	Recherche de zones d'entonnement	X		
Mesures acoustique dynamique (Fuite Buster V2)	Recherche de zones d'entonnement	X	X	
Thermométrie	Recherche de zones d'écoulement	X		
Traçages (saumure, fluorescéine)	Localisation des cheminements de fuite	X		

Merci pour votre attention

