VIEILLISSEMENT DES GÉOTEXTILES-FILTRES DANS LES OUVRAGES DE DRAINAGE – AUSCULTATION DU DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL DE ROISSARD

AGEING OF GEOTEXTILES USED IN DRAINAGE WORKS – MONITORING OF ROISSARD EXPERIMENTAL DRAINING TRENCHES

Yves-Henri FAURE¹, Patrice MERIAUX², Matthieu VERSTAEVEL¹⁻², Cécile BERTRAND³

RÉSUMÉ – Les risques liés au vieillissement des géotextiles-filtres utilisés dans le drainage constituent un enjeu majeur pour l'ingénierie des glissements de terrain et des ouvrages hydrauliques. Le projet DrainAgeing vise à mieux comprendre les phénomènes de vieillissement, notamment de colmatage, des drains afin de mieux les prévenir. Cet article présente l'état d'avancement du projet et les résultats de quelque dix-sept années de suivi du dispositif expérimental de tranchées drainantes de Roissard, qui en constitue le support. On conclut sur les perspectives pour la mise en œuvre d'une deuxième phase du projet consistant à excaver, prélever et analyser des échantillons de géosynthétiques et géomatériaux sur le site expérimental.

Mots-clés: Glissements de terrain, ouvrages hydrauliques, drainage, filtration, colmatage

ABSTRACT – Risks related to geofilters ageing used in drainage are very important in the context of landslides stabilization engineering and dams and dikes design. "DrainAgeing" project aims to a better understanding and prevention of drains ageing and clogging. This paper is about the state of progress of the project and the results of 17 years monitoring of Roissard experimental draining trenches. We conclude about the perspectives expected by the excavation and the analysis of geotextiles and geomaterials during the next second phase of the project.

Keywords: Landslides, hydraulic works, drainage, filtration, clogging

1. Objectif général. Justifications du projet DrainAgeing

Le projet DrainAgeing, piloté conjointement par le Cemagref et le LTHE, vise à étudier le vieillissement par colmatage de géosynthétiques-filtres utilisés dans les ouvrages de drainage, par l'intermédiaire d'un suivi d'auscultation et de plusieurs campagnes d'investigations réalisés sur le dispositif expérimental de tranchées drainantes de Roissard, construit il y a 17 ans en Isère (Trièves) avec le soutien du Pôle Grenoblois d'Etude et de Recherches pour la Prévention des Risques Naturels.

Le principal enjeu du projet est de mieux connaître les conditions dans lesquelles des phénomènes de colmatage peuvent se produire, d'en déduire les dispositions constructives permettant de les prévenir et par là d'assurer la durabilité d'ouvrages de drainage, utilisés soit dans la lutte contre les glissements de terrain, soit pour la protection-filtration d'ouvrages hydrauliques.

1.1. Justification dans le cadre de la lutte contre les glissements de terrain

La région céréalière du Trièves dans le sud du département de l'Isère s'étend sur le site d'un ancien lac glaciaire dans lequel s'est déposé au Quaternaire (Würm) un important gisement d'argiles litées dont la puissance atteint 250 m par endroits. Ces terrains, très peu perméables, aux caractéristiques mécaniques extrêmement médiocres en présence d'eau et aujourd'hui subaffleurants, sont le siège de glissements de terrain plus ou moins actifs et aux conséquences souvent désastreuses pour le bâti ou les voies de communication routières ou ferroviaires. C'est ainsi que de 20 à 50 % de ce territoire sont exposés à des mouvements de terrain déclarés ou potentiels.

La lutte contre ces glissements passe par la création de tranchées drainantes en épis dans les zones à enjeux, afin d'abaisser la ligne de saturation dans les horizons argileux de subsurface (profondeur inférieure à 5 m) et de stabiliser les mouvements de terrain superficiels, en général les plus actifs. C'est

¹ LTHE – Équipe TRANSPORE, Grenoble, France

² Cemagref Aix-en-Provence - Groupe de Recherche « Ouvrages hydrauliques », France

³ ONF - Service départemental RTM de l'Isère, Grenoble, France

ainsi que plusieurs kilomètres d'ouvrages drainants sont construits annuellement dans les montagnes françaises.

Ces ouvrages – remplis en général de gravette calibrée propre, à perméabilité très élevée - doivent drainer bien sûr, mais aussi filtrer le sol argileux à drainer afin d'en prévenir l'érosion et de ne pas se colmater. Compte tenu du fort contraste de perméabilité (et de granulométrie) entre le matériau de la tranchée drainante et les argiles à drainer, les concepteurs choisissent, dans la grande majorité des cas, un géotextile, d'ouverture de filtration adaptée, pour assurer la fonction de filtre. Celui-ci est posé à la périphérie de la tranchée drainante lors de son creusement mais avant son remblaiement : ce qui est une opération particulièrement délicate car la fouille provisoire, difficile à étayer dans de telles conditions, est alors très instable et nécessite des précautions de chantier afin de ne pas exposer le personnel et d'éviter l'éboulement des parois qui ruine l'ouvrage.

Or, divers témoignages ou retours d'expérience relatent des cas de colmatage plus ou moins avérés et/ou naissants de géotextiles filtres utilisés à une telle fin, au bout de quelques années de service et en dépit d'un dimensionnement initial semble-t-il respectueux des règles de filtre.

1.2. Justification pour l'ingénierie des ouvrages hydrauliques

D'une façon générale, dans l'important parc des ouvrages hydrauliques en remblai (terre ou enrochements) que possède la France, les dispositifs de drainage-filtration forment les derniers remparts face à un mécanisme de rupture particulièrement redouté et sournois : celui de l'érosion interne. La durabilité des drains et autres tapis drainants, très souvent filtrés par des géosynthétiques (Degoutte et Fry, 2002), est ici d'autant plus importante que ces dispositifs sont implantés au cœur des remblais des barrages ou des digues et se révèlent quasiment impossibles à réparer une fois construits.

Dans ce domaine d'application aussi, des incertitudes subsistent toujours aujourd'hui sur les risques de colmatage à moyen ou long terme des drains, en dépit de quelques opérations ponctuelles de démantèlement in situ, prélèvements et analyses de géotextiles-filtres (Faure et al., 1999; Testemale et al., 1999), toujours délicates à réaliser sur des ouvrages en exploitation.

Plusieurs volets du Projet National (PN) de recherche ERINOH (2008-2011) sur l'ERosion INterne dans les Ouvrages Hydrauliques s'intéressent à cette question et le site expérimental de tranchées drainantes de Roissard est devenu l'une de ses plateformes d'expérimentation.

2. Description du dispositif expérimental de tranchées drainantes de Roissard

Ce dispositif a été créé en septembre 1993 sur un terrain à pente homogène douce (5%) en bordure d'une prairie, sis sur le territoire communal de Roissard dans l'Isère (Faure et al., 1994, 1996). Les argiles litées sont subaffleurantes sur le site, qui s'étend en périphérie amont d'une zone marécageuse, drainée par deux ruisseaux (figure 4).

Il comprend six tranchées drainantes de 2 à 2,5 m de profondeur, numérotées T1 à T6 et aménagées comme suit (figure 1 et tableau I) :

- une tranchée T1 dite témoin dépourvue de dispositif-filtre, c'est-à-dire simplement remblayée de gravette calibrée 30/60 après son creusement, puis recouverte d'une couche de 40 cm de terre végétale;
- la tranchée T2 équipée d'un géotextile non-tissé aiguilleté de 130 g/m² de masse surfacique et de 140 μm d'ouverture de filtration (O_f), disposé uniquement sur sa face supérieure horizontale (sous la couche de terre végétale);
- la tranchée T3 dotée du même géotextile-filtre que T2 mais installé comme classiquement dans les drains opérationnels sur toute la périphérie de la tranchée drainante ;
- la tranchée T4 équipée sur toute sa périphérie d'un géotextile tissé de bandelettes de 190 g/m² et de 110 μm d'ouverture de filtration;
- la tranchée T5 équipée, sur toute sa périphérie (comme T3 et T4), d'un géotextile tissé de monofilaments de 200 g/m², dont l'ouverture de filtration est de l'ordre du millimètre ;
- la tranchée T6 creusée avec la même forme trapézoïdale, mais équipée d'un géocomposite drainant à picots en polypropylène de 3 cm d'épaisseur entouré par un géotextile non-tissé aiguilleté de 233 g/m² et de 100 μm d'ouverture de filtration. Ce complexe filtrant et drainant a été installé contre la paroi amont de la tranchée, avant remblaiement par les terres extraites.

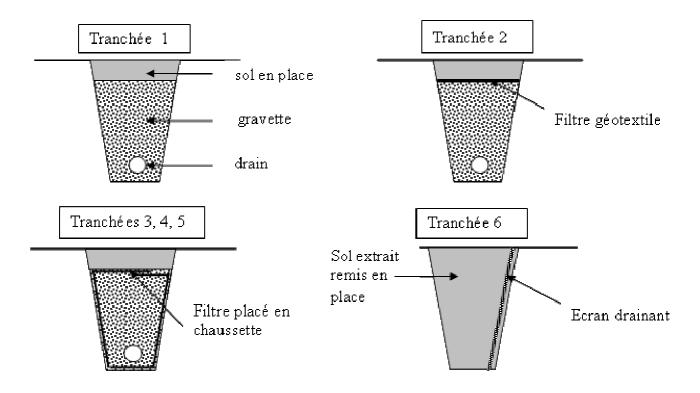


Figure 1. Vues en coupe des tranchées drainantes

T 1 1 0 1/11		, ,,,,,	
Lablaati Liiaraatarietiatiae	nhveiduce dos	, accentathetiance	doe tranchage drainantae
Tableau I. Caractéristiques	DITAVIONES NES	, 0602/1116110162	ues nanchees diamanes
rabioaa ii oarabionbiiqabo	p.,, c.qacc acc	9000,	acc transcribes aramames

N° de la tranchée	Structure	rture I Surtacique I '		Epaisseur (mm)	Ouverture de filtration (µm)	permittivité (s ⁻¹)	
1	sans géotextile						
2	Non tissé aiguilleté	BD 130	130	1.6	140	4.6	
3	Non tissé aiguilleté	BD 130	130	1.6	140	4.6	
4	Tissé de bandelettes	Px 190	190	0.7	110	0.12	
5	Tissé de monofilement	HT 200	200		1000		
6	Géocomposite drainant	HD 233	233	27.2	100	2.98	

Les tranchées font 12 m de longueur et comportent en fond, sauf pour la tranchée T6, un drain de diamètre 160 mm de type autoroutier, à cunette sans fente, destiné - comme dans les ouvrages couramment réalisés à l'époque - à collecter les débits interceptés par le drain et à les écouler vers l'aval sans qu'ils puissent se réinfiltrer dans le terrain. Les argiles litées en place ont été rencontrées vers 90 cm de profondeur, sous une couche de 20 à 30 cm de terre végétale et de 60 à 70 cm d'argile remaniée homogène.

Un dispositif approprié de collecteurs et de bacs décanteurs et filtreurs permet, depuis le fond de quatre regards de visite, le jaugeage individuel des 6 débits de drainage ainsi que la récolte du transport solide des eaux de drainage. La piézométrie de part et d'autre de chaque tranchée est suivie par 6 tubes piézométriques de 2 m de profondeur, complétés par 1 profil tensiométrique à 5 points de mesure installé près du bord amont du drain (figure 4). La pluviométrie journalière est fournie par la station météorologique voisine de Roissard.

3. Suivi du dispositif et mesures d'auscultation sur les périodes 1993-1999 et 2008-2010

3.1. Mesures de septembre 1993 à mai 1999

3.1.1. Analyse faite en 1999

Sur la période 1993-1999, les jaugeages de débit de drainage et les mesures piézométriques ont été effectués une fois par mois et les mesures pondérales de transport solide une fois tous les deux mois, sous la direction du LIRIGM (intégré au LTHE en 2007).

Les principaux résultats de ces mesures peuvent se récapituler comme suit, d'après Faure (2004) :

- les variations de débit de drainage sont essentiellement saisonnières avec, par exemple pour la tranchée T2, des minima à 5 l/min en fin d'été et des maxima à 45 l/min en hiver ou début de printemps, où la nappe phréatique est haute ;
- les tranchées T3, T4 et T5 ont un débit moyen de l'ordre de 6 l/min, T1 de 0,8 l/min et T2 de 19 l/min (figure 2);
- les piézomètres proches des tranchées suivent les mêmes variations saisonnières ;
- les diamètres maximaux des particules récoltées dans les bacs des tranchées T3 à T5 sont cohérents avec les ouvertures de filtration des géotextiles qui les isolent ;
- les masses de sol collecté sont les plus faibles avec les tranchées équipées d'un géotextile non tissé (T3 et T6, tableau II), mais au regard des observations faites dans les drains par vidéocaméra en 2009, ces valeurs ne reflètent pas les quantités de particules qui ont filtré au travers des géotextiles ou des graviers : la masse collectée dépend du débit dans le drain et du dépôt le long de la cunette.
- les mesures tensiométriques confirment l'existence d'une forte anisotropie horizontale de perméabilité du sol. Les écoulements dans les argiles litées s'effectuent à la faveur de cheminements préférentiels (fissures, lits silteux, ...) qui leur confèrent une perméabilité apparente d'ensemble de 10⁻⁵ m/s, étonnamment élevée pour un matériau argileux.

Tal	oleau II	. Va	aleurs	moy	yennes	des	masses	de	sol	col	lect	é.
-----	----------	------	--------	-----	--------	-----	--------	----	-----	-----	------	----

Tranchée N°	Masse de sol (g/j)	Concentration (g/m³)
T2	2,5	0,14
Т3	1	0,25
T4	3,1	0,74
T5	3,6	0,72
T6	1,8	2,15

3.1.2. Nouvelle analyse faite en 2010 avec le logiciel SURVEY du Cemagref

Le logiciel d'analyse statistique SURVEY a été mis en œuvre, à titre expérimental en 2010 (Chouchene, 2010), sur les chroniques de mesures des débits de drainage de septembre 1993 à mai 1999.

Ce logiciel, utilisé habituellement pour l'analyse statistique des mesures d'auscultation des barrages (Bonelli, 2001), permet de construire un modèle statistique des mesures - considérées comme les variables à expliquer - intégrant quatre principales variables explicatives : la cote du plan d'eau (assimilée ici au niveau d'eau d'un des piézomètres amont), la saison (date dans l'année), la pluviométrie antérieure aux mesures et le temps.

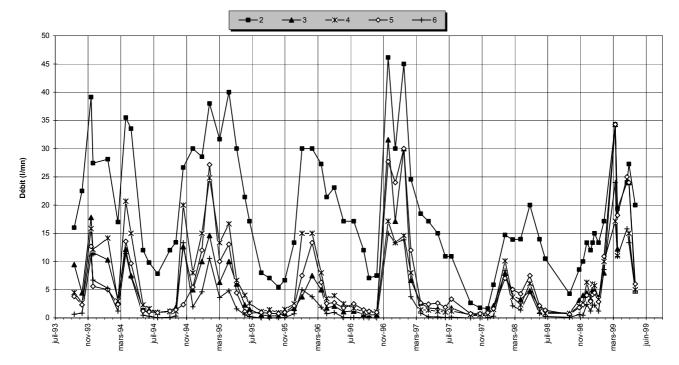


Figure 2. Débits mesurés pour les tranchées 2 à 6 de 1993 à 1999

Pour la tranchée 2, le coefficient de détermination de la qualité de l'ajustement statistique est satisfaisant (coefficient « R2 » près de 0,8, étant entendu que 1 constitue la valeur optimale). La variation du débit est expliquée à 17 % par la variation du piézomètre référent, à 32 % par la pluviométrie, à 38 % par les effets saisonniers et à 13 % par le temps (variation irréversible ou dérive).

L'analyse à conditions constantes SURVEY montre que la tranchée 2, se singularisant parmi les six tranchées étudiées, présente une forte dérive négative des mesures avec le temps (figure 3), ce qui pourrait résulter de son colmatage.

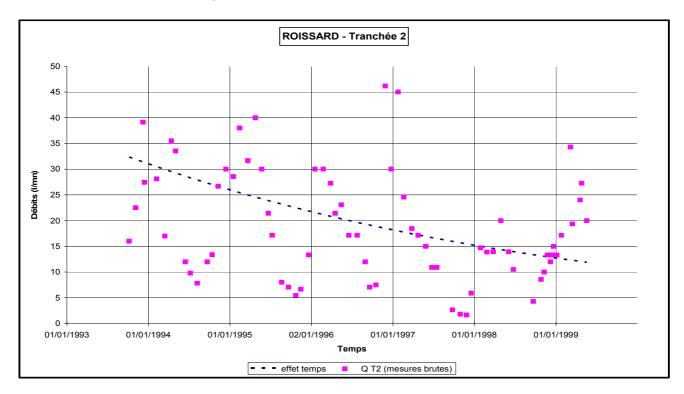


Figure 3. Illustration par SURVEY de la diminution avec le temps du débit de la tranchée T2 (de l'ordre de 20 l/min en 6 ans).

3.2. Reprise des mesures en 2008 et remise en état du dispositif

Lors d'une visite du site de Roissard au printemps 2008, les collecteurs pour le jaugeage des débits de drainage étaient apparus opérationnels, ce qui a permis dès le mois de juillet de reprendre des mesures à une cadence mensuelle, sous-traitées à la Régie ONF-RTM. Par contre, les 6 bacs qui filtrent, dans les quatre regards, les transports solides des eaux drainées étaient complètement obstrués par des concrétions de calcite et, dans un premier temps, seulement 3 piézomètres de contrôle étaient retrouvés dans l'environnement des tranchées.

Au début du printemps suivant, après quelques jours de recherche et à l'appui d'une campagne topographique (Verstaevel et al., 2010), on a retrouvé et remis en service 24 des 30 piézomètres du site (figure 4 ci-dessus). Les bacs décanteurs et filtreurs ont été eux aussi réparés ou changés. Aussi, à partir du mois de mai 2009, le jaugeage des débits et les relevés piézométriques sont effectués avec une cadence hebdomadaire, alors que les extractions de sol dans les bacs de récupération sont réalisées mensuellement.

3.3. Inspection télévisuelle de juin 2009

Une inspection télévisuelle effectuée le 29 juin 2009 (figures 5 et 6) a permis de constater l'état globalement satisfaisant, et encore fonctionnel, des collecteurs drainants en fond de tranchées.

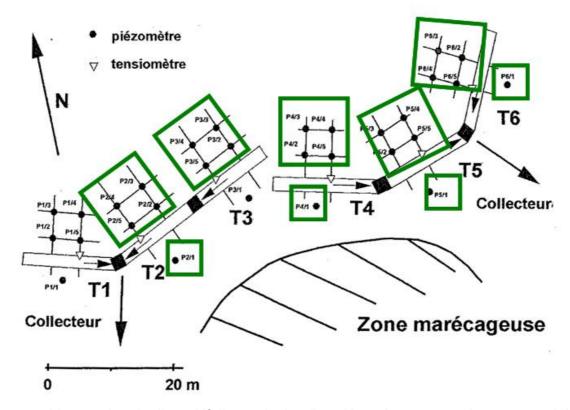
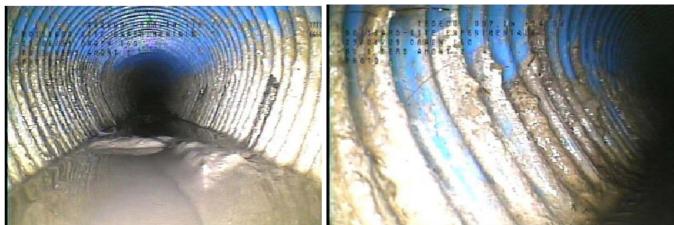


Figure 4. Vue en plan du dispositif d'auscultation (les piézomètres retrouvés sont encadrés)



Figures 5. Inspection télévisuelle des drains. Photo de gauche (M. Verstaevel) : descente de la caméra dans un des regards. Photo de droite (TEDECO) : encroûtement par la calcite de l'extrémité aval du géocomposite drainant de la tranchée T6.

Des dépôts ou coulures de calcite se remarquent sur de nombreux débouchés intérieurs de crépine (figure 6 – droite), mais il n'en existe pas de significatifs en radier, comme on aurait pu le craindre au vu de l'état des regards et des bacs de filtration. Par contre, sur certains tronçons de collecteur, d'importants dépôts de matériaux fins encombrent la cunette (figure 6 - gauche). En particulier, on notera que les dépôts dans la tranchée 2 et la tranchée 5 sont très importants, à tel point pour la tranchée T5 que la caméra n'a pas pu aller jusqu'à l'extrémité amont du drain. Évidemment dans la tranchée 6, la caméra n'a pas pu pénétrer dans le géocomposite, mais elle a permis d'observer la formation de calcite à l'extrémité aval de celui-ci (figure 5 – droite).



Figures 6. Inspection télévisuelle du collecteur drainant de la tranchée T2 (photos TEDECO) : dépôt de matériaux fins dans la cunette et de calcite sur les parois.

La présence de ces dépôts dans les collecteurs confirme donc que les argiles litées du site de Roissard sont fortement érodables¹ et que des particules fines passent au travers des filtres du dispositif. Dans ces conditions, la réalisation d'essais d'érosion interne (type Hole Erosion Test ou HET) sur les sols encaissants du site revêt un grand intérêt. Elle a été prévue dans le protocole d'essais élaboré pour la phase 2 du projet DrainAgeing (paragraphe 5 ci-après).

Enfin, l'examen approfondi de la vidéo de l'inspection nous a permis de repérer les principaux points ou zones d'entrée d'écoulements dans les drains autoroutiers. Ce repérage sera comparé avec celui établi en 1993, à l'ouverture des tranchées. Il servira à identifier les zones privilégiées où l'on procédera au déterrement des tranchées drainantes en vue de leur diagnostic approfondi (phase 2 du projet).

3.3. Interprétation des mesures 2008-2009 - comparaison avec les mesures antérieures

On ne dispose que de quelques mois de mesures récentes. Aussi, convient-il d'être prudent sur leur interprétation et leur comparaison avec la période plus ancienne de mesures (1993-1999).

Les principales conclusions que l'on peut formuler à la fin 2009 s'énumèrent comme suit :

- les débits actuels moyens des tranchées sont compris entre 3 et 6 l/min (abstraction faite de la tranchée T1 dont le débit est inférieur à 1 l/min depuis l'origine et qui, de ce fait, a cédé sa place de « tranchée témoin » - sans géotextile en chaussette – à la tranchée T2);
- les débits moyens des tranchées T3 et T6 paraissent remarquablement stables par rapport à la période 1994-1999 : respectivement, 6 et 3,5 l/min. Par contre, le débit moyen de la tranchée T2, la plus débitante du dispositif à l'origine (plus de 15 l/min), est tombé à 3 l/min : d'où la question, est-elle en train de se colmater?
- les débits de drainage atteignent classiquement leur maxima en période hivernale (avec, pour l'hiver 2008-2009, une plus forte réaction des tranchées T5 et T6) et les sols semblent s'être plus asséchés lors de l'été 2009 qu'en été 2008 (figure 7);
- les piézomètres remis en état sont fonctionnels et leurs niveaux suivent les mêmes variations saisonnières que les débits des tranchées. Les profils transversaux confirment les rabattements de ligne piézométrique résultant de l'effet des tranchées drainantes.

Au printemps 2011, on disposera d'assez de mesures récentes pour effectuer une nouvelle analyse à conditions constantes sur la période 2008-2011 et pour pouvoir comparer les deux périodes 1993-1999 et 2008-2011.

4. Travaux 2010 d'automatisation partielle de l'acquisition des mesures. Premiers résultats et suites envisageables

Au cours de l'année 2009 et dans le cadre de la phase 1 du projet DrainAgeing, a été mis en place un dispositif de suivi automatique des niveaux piézométriques dans le sol et des débits dans les tranchées.

Des cas de fontis sont d'ailleurs régulièrement signalés sur les terres agricoles du Trièves, en dehors de tout phénomène karstique (le substratum calcaire est, en effet, souvent recouvert par des dépôts d'argile litée de plus de 100 m de puissance).

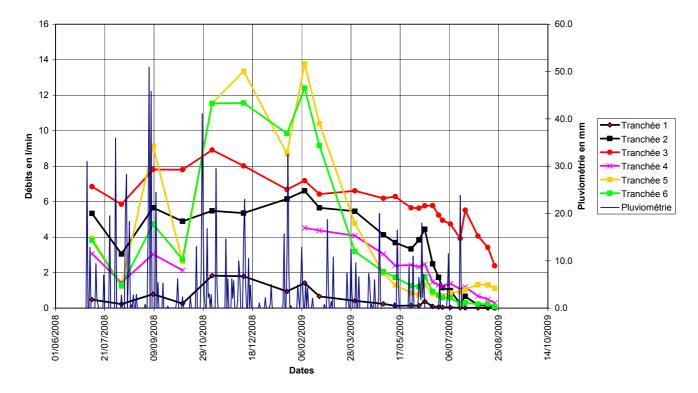


Figure 7. Débits des tranchées et pluviométrie journalière, sur la période juin 2008 à août 2009 (Verstaevel et al., 2010)

4.1. Débitmètres

Le LTHE a conçu et réalisé des débitmètres à augets adaptés à la gamme des débits précédemment mesurés sur le site (figure 8 - gauche). Le principe est basé sur le comptage des basculements des augets lorsqu'ils sont remplis. Des panneaux solaires ont été mis en place pour recharger les batteries qui alimentent le système (figure 8 - droite).

Réalisés à l'automne 2009, les six débitmètres ont été testés au laboratoire et descendus dans les regards en mars 2010. Les principales difficultés rencontrées ont été les suivantes :

- mise en oeuvre dans des conditions difficiles : espace exigus, arrivées d'eau continues, hauteurs sous drain limitées, ajustement horizontal des platines supports ;
- chocs répétés et vibrations fortes sur les différentes parties (soudures, articulations, fixations) ;
- fréquences de basculements élevées lors des gros débits qui réduisent la durée de l'acquisition.



Figure 8. Regard 1 : débitmètre à auget mis en place et panneau solaire extérieur

Leur fonctionnement n'est pas encore parfait mais l'acquisition de données à l'échelle de temps inférieure à la journée apporte des informations intéressantes (figure 9) : on observe un effet retard par

rapport à la pluie journalière et clairement des variations de débit pendant la journée, comportements évidemment jamais constatés auparavant.

Des adaptations sont en cours pour améliorer la fiabilité de ces dispositifs.

4.2. Sondes piézométriques

Les sondes de pression ont été installées début décembre 2009 dans un seul des piézomètres de chaque tranchée, considéré comme « référent ». En effet, au vu des résultats de mesure des années précédentes, il s'est avéré que les niveaux d'eau dans les piézomètres d'une même tranchée variaient sensiblement de la même manière.

Les niveaux piézométriques sont enregistrés toutes les quatre heures et donnent jusqu'à présent entièrement satisfaction. Les relevés mettent en évidence des comportements nettement différents suivant les tranchées, certaines montrant aussi des fluctuations à la journée avec un effet retard par rapport à la pluie (figure 9).

L'ensemble de ces données est en cours de traitement, d'une part pour contrôler la validité des mesures (en particulier, celles des débitmètres), d'autre part pour analyser les comportements des tranchées en relation avec la pluviométrie du site. L'objectif est de disposer d'un suivi du comportement hydraulique des tranchées pendant une année entière avant d'envisager leur ouverture et l'exhumation des géotextiles et des graviers après 18 ans de fonctionnement, à l'automne 2011, au titre de la phase 2 du projet DrainAgeing.

5. Perspectives pour la phase 2 du projet DrainAgeing

Le suivi de ces tranchées met clairement en évidence des comportements hydrauliques différents. L'étude en cours a pour objectif de déterminer si cette différence de comportement est liée à la conception du dispositif de drainage, en particulier le rôle et le choix du géotextile filtre, ou si c'est uniquement lié au contexte hydrogéologique et à l'hétérogénéité du site.

Des investigations géophysiques sont prévues au cours du printemps 2011 et à la fin de la période sèche, en septembre 2011, se déroulera le chantier d'ouverture des tranchées. Une étude de génie civil a permis d'esquisser les spécifications techniques générales des travaux de génie civil à mettre en œuvre pour la réouverture partielle des tranchées. On s'oriente vers une solution tout terrassement, avec une première ouverture précautionneuse, sur une emprise large, du mètre supérieur des tranchées à l'aide d'une mini-pelle mécanique qui permettra d'effectuer un travail fin, nécessaire à la bonne qualité des observations et prélèvements. Le coût des travaux est évalué à 35 k€ sur la base de deux ouvertures par tranchée, y compris la remise en état fonctionnel des tranchées et du site.

Un protocole de prélèvements et d'essais à mettre en œuvre pour la phase 2 du projet a été établi (Verstaevel et al., 2010) et comprend :

- 2 ou 3 prélèvements de géotextile par tranchée pour essais de perméabilité et d'ouverture de filtration (Cemagref Antony) ;
- 1 essai de perméabilité et 1 essai d'érosion interne (HET), par tranchée, sur l'argile litée encaissante (Cemagref Aix-en-Provence);
- 2 ou 3 essais de propreté de la gravette calibrée de remplissage des tranchées T1 à T5 (Cemagref Aix-en-Provence);
- 1 essai de filtration sur colonne et 1 essai de filtration sur échantillon non remanié par tranchée (LTHE);
- divers essais hors site à des fins d'intercomparaison ou de calage.

Le coût de ce programme d'essais est évalué entre 20 et 25 k€ selon le nombre de prélèvements par tranchée (2 ou 3). Un financement pluri-partenarial (FNADT/CIMA, CG de l'Isère, SNCF, PN ERINOH, PGRN) est quasiment acquis à ce jour pour envisager une réalisation de la phase 2 du projet DrainAgeing en 2011-2012.

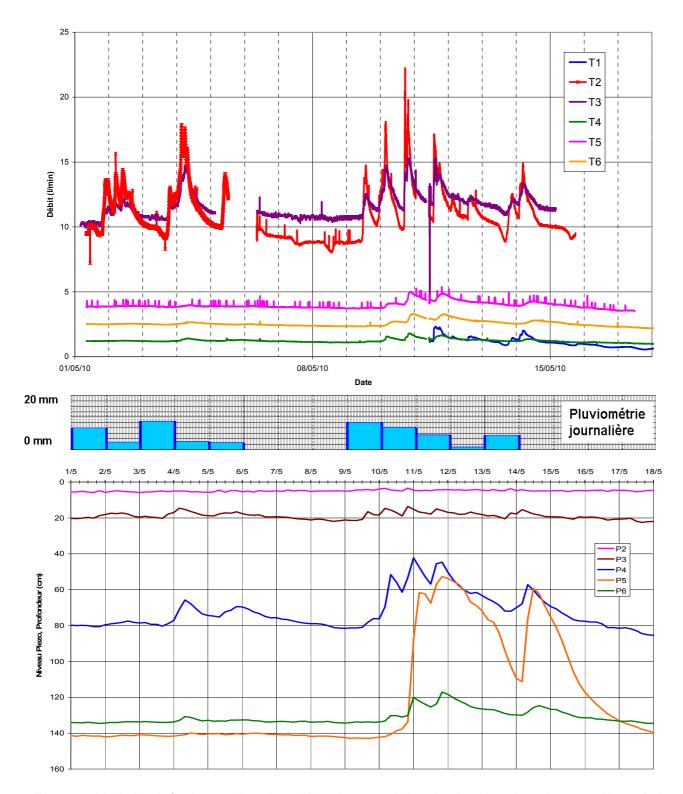


Figure 9. Variation infra-journalière des débits des tranchées (en haut) et des niveaux piézométriques relevés dans les piézomètres « référents » (en bas), en fonction de la pluviométrie journalière pour la période du 1^{er} au 17 mai 2010. Effets « retard » et variations infra-journalières.

6. Références bibliographiques

Bonelli S., Royet P. (2001). Delayed response analysis of dam monitoring data. *ICOLD European Symposium, Geiranger, Norway, 25-27 June 2001.*

Chouchene W. (2010). Faisabilité d'utilisation du logiciel statistique SURVEY pour l'analyse des mesures d'auscultation des mouvements de terrain. Rapport de stage Master Mécanique et Ingénierie. Université J. Monnet de St Etienne - Cemagref, sept. 2010.

- Degoutte G., Fry J.J. (2002). Les géotextiles dans les barrages : retours d'expérience. Colloque technique CFGB-CFG « Géotextiles et géomembranes dans les barrages », juin 2002.
- Faure Y.H. (2004). Comportement observé des filtres géotextiles dans les ouvrages de drainage, INTEREG III/RISKYDROGEO (Risques hydro-géologiques en montagne: parades et surveillance), octobre 2004, 14 pages.
- Faure Y.H., Farkouh B., Delmas P., Nancey A. (1999). Analysis of geotextile filter behaviour after 21 years in Valcros dam. *Geotextiles and Geomembranes*, Elsevier, Vol. 17, No 5, pp. 353-370.
- Faure Y.H., Farkouh B., Mériaux P. (1994). Long term behaviour of trench drains in the Alps. *Fifth International Conference on Geotextiles, Geomembranes et Related Products, Singapore*, tome 2, pp. 747-750.
- Faure Y.H., Kehila Y., Farkouh B. (1996). Behaviour of experimental in-situ trench drains in varved clays. *Proceedings Geofilters '96, Montreal*, pp. 543-552, may 1996.
- Testemale J.P., Faure Y.H., Parron C., Lambert S., Royet P., Fagon Y. (1999). Filtre géotextile du barrage de Torcy-le-Vieux (Saône-et-Loire): prélèvements et analyses. *Ingénieries EAT, numéro spécial 1999 « Géosynthétiques matériaux et applications* », pp. 31 à 39.
- Verstaevel M., Mériaux P., Faure Y.H. (2010). Étude du vieillissement des géotextiles-filtres utilisés en tranchées drainantes, sur site expérimental dans le Trièves. Rapport de recherches Cemagref-LTHE pour le PGRN et l'IREX, février 2010, 71 pages.

Remerciements

Les auteurs remercient le Pôle Grenoblois d'Étude et de Recherches pour la Prévention des Risques Naturels et l'IREX-Projet National ERINOH pour leur soutien financier à la phase 1 du projet DrainAgeing, ainsi que les propriétaires et locataires du terrain du site expérimental de Roissard et les techniciens de l'O.N.F. et du L.T.H.E. ayant contribué aux campagnes in situ.