

RECHERCHE DE FUITES ET CALCUL D'UN DÉBIT DE FUITE À TRAVERS UNE GÉOMEMBRANE POUR DES BASSINS DE STOCKAGE D'EFFLUENTS

SEARCH FOR LEAKS AND CALCULATION OF A LEAK FLOW THROUGH A GEOMEMBRANE FOR EFFLUENT STORAGE BASINS

Jean-Frédéric OUVRY¹, Jean-Baptiste DUQUET², Jérôme MUESSER³.

1 ANTEA Group, Olivet, France

2 ANTEA Group, Aubagne, France

3 IDUNA Environnement, Rueil-Malmaison, France

RÉSUMÉ – Les bassins sont étanchés avec un dispositif d'étanchéité drainage, composé de deux géomembranes PEHD séparées par un géocomposite de drainage.

Lors de la mise en service des bassins à l'été 2017, des fuites d'effluent ont été constatées dans le système de drainage. Il a alors été procédé à une recherche de fuites par les méthodes géophysiques dites du « balai électrique » et du « dipôle électrique mobile ». Les résultats obtenus lors des opérations de détection de fuite sur les bassins sont présentés dans l'article. En parallèle, il a été étudié le débit de fuite admissible d'un tel système d'étanchéité à double géomembrane. L'article conclut avec des débits de fuite admissibles qui peuvent être intégrés dans les clauses de réception de tels ouvrages.

Mots-clés : Géomembrane, Fuites, Géophysique, Clause de réception des ouvrages

ABSTRACT – The ponds are sealed with a drainage waterproofing device, composed of two HDPE geomembranes separated by a drainage geocomposite.

When the ponds were commissioned in summer 2017, effluent leaks were observed in the drainage system. A search for leaks was then carried out by geophysical methods called "electric brush" and "mobile electric dipole". The results obtained during leak detection operations on the basins are presented in the article. At the same time, the permissible leakage rate of such a double geomembrane waterproofing system was studied. The article concludes with admissible leakage rates which can be incorporated into the acceptance clauses of such works.

Keywords: Geomembrane, Leaks, Geophysics, Works acceptance clause

1. Introduction

Lors d'un projet international d'un constructeur du BTP, de conception réalisation de bassins de retentions de liquide, celui-ci s'est trouvé confronté lors des opérations de réception à la définition du débit de fuite admissible pour ce type d'ouvrage. Il ne figurait aucune valeur dans le contrat de travaux permettant aux parties (maitre d'ouvrage – entreprise) de procéder sereinement aux opérations préalables à la réception qui consistaient à remplir le bassin et à constater le débit de fuite dans les ouvrages prévus à cet effet.

Unités

Les unités suivantes sont utilisées pour le taux de fuite :

- $1 \text{ m}^3 / \text{s} = 1000 \text{ litres par seconde} = 60\,000 \text{ litres par minute}$

Les unités suivantes sont utilisées pour le taux de fuite par unité de surface :

- $1 \text{ litre par hectare et par jour (l/h/j)} = 1,157 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3 / \text{s} = 1,157 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^3 / \text{s}$.

2. Contexte

2.1. Géométrie et volume des bassins

Les dimensions de chaque bassin sont :

- Hauteur de talus (m) : 23,8 (niveau supérieur) - 14,2 (niveau inférieur) : 9,6 m avec pente d'inclinaison 1V : 2H
- Dimensions du fond pour chaque bassin : 70 x 190 m
- Niveau maximum de liquide (8,1 m)

La surface de la géomembrane en contact avec le liquide est : 14 463 m².

Le volume de stockage liquide est de 152 000 m³.

2.2. Étanchéité des bassins

Chacun des trois bassins est étanché avec deux géomembranes HDPE de 1,5 mm, constituant une étanchéité primaire et une étanchéité secondaire.

Entre les deux étanchéités, un géocomposite de drainage de 5 mm agit comme un milieu libre capable de collecter toute fuite dans un système de détection / collecte de fuite.



Figure 1. Géocomposite de drainage Agru

2.3 Débit de fuite observé

Lors de la mise en eau des bassins des débits de fuite supérieurs à 366 l/min (pour l'ensemble des trois bassins d'une surface mouillée d'environ 5 hectares (débit de fuite de 105 408 l / jour / hectare)).

Ce débit observé a amené le maître d'ouvrage à refuser la réception de l'étanchéité du bassin sur l'argumentaire que l'étanchéité par géomembrane devait être parfaite et totale.

3. Mesures de réparations et élaboration d'une procédure de réception.

3.1. Recherche de fuites

3.1.1. Méthodologie

La recherche de fuite a été réalisée par deux méthodes complémentaires :

- méthode du balai-flaque, pour les zones sèches du fond, et les talus
- méthode du dipôle mobile, pour les zones sous eau du fond

Ces deux méthodes utilisent l'électricité pour détecter les fuites : un courant électrique est généré entre les deux faces de la géomembrane par une alimentation 12 V DC. Une cathode est implantée sous la géomembrane PEHD isolante, et une anode est soit implantée dans les flaques recouvrant le fond du bassin (méthode du dipôle Figure 2), soit connectée au balai électrique (méthode du balai-flaque, Figure 3 et Figure 4).

Avec la méthode du dipôle mobile, l'alimentation en eau est assurée par la flaque présente sur la géomembrane. Avec la méthode du balai-flaque, le balai est relié à un jet d'eau alimenté en continu. L'opérateur marche en poussant le balai devant lui ; le jet d'eau associé crée une flaque devant le balai. L'opérateur procède donc en même temps à un contrôle visuel direct de l'intégralité de la surface fraîchement nettoyée et peut détecter visuellement et marquer des défauts même non fuyards (poinçons, griffures...).

En l'absence de fuite, le circuit électrique est ouvert, et aucun signal électrique n'est détecté. En présence d'une fuite, l'eau qui s'écoule par le trou ferme le circuit électrique, et le courant est détecté par l'opérateur – les potentiels augmentent en s'approchant du trou où se concentrent les lignes de courant. Les résultats immédiatement visibles sont marqués directement sur la géomembrane nue.

En raison de la conception en double membrane du dispositif d'étanchéité de ces bassins, la cathode a été implantée dans l'espace intermembranaire vers le point bas du site : l'eau présente dans cet intervalle et la température élevée permettent de garantir une humidité de condensation suffisante sur l'ensemble de la superficie du bassin, y compris sur les talus.



Figure 2. Contrôle au dipôle électrique mobile dans les zones sous eau



Figure 3. Contrôle au balai électrique - flaque sur les zones sèches du fond



Figure 4. Contrôle au balai électrique - flaque sur les talus

3.1.2 Résultats

Le contrôle réalisé au dipôle mobile et au balai-flaque a permis de détecter près de cinq à six fuites sur le fond et les talus des deux bassins contrôlés, soit 1 fuite par 2500 à 3000 m² ou 3,5 à 4 fuites par hectare.

La majorité des fuites avérées (5 sur 6) a été détectée sur des soudures ou des extrusions, pour des dimensions de 0,2 cm à 5 cm (Figure 6). Quelques-unes ont été détectées au centre de lés (Figure 5), parfois associées à des poinçonnements par-dessus (chutes d'outils) ou par-dessous (cailloux), plus petites, avec des dimensions de l'ordre de 0,1 à 0,2 cm, que sur les soudures.

Ces fuites n'avaient pas été détectées lors des contrôles visuels et à la cloche à vide (Figure 7).

but de la couche de drainage est de collecter, transporter, détecter et éliminer les fuites qui peuvent se produire à travers l'étanchéité primaire ».

« Un autre aspect du concept de double étanchéité est que les fuites à travers la géomembrane primaire peuvent être détectées à la sortie de la couche de détection des fuites... ».

« La capacité d'écoulement de la couche de collecte et de détection des fuites est essentielle. Cette couche doit avoir une pente appropriée et le matériau de cette couche doit avoir une conductivité hydraulique élevée pour véhiculer rapidement l'écoulement avec une charge hydraulique la plus faible possible. En effet, un débit rapide assure une détection rapide des fuites et une faible charge hydraulique est nécessaire pour assurer un faible taux de fuite à travers l'étanchéité secondaire, c'est-à-dire un faible taux de fuite dans le sol. La couche de collecte et de détection des fuites doit être conçue avec un facteur de sécurité élevé, par exemple avec une capacité d'écoulement au moins dix fois supérieure au taux de fuite attendu à travers le revêtement primaire, pour garantir qu'il n'y aura pas d'accumulation de pression dans la collecte des fuites et une couche de détection à moins qu'il n'y ait une défaillance catastrophique du revêtement primaire. Dans ce cas, un avertissement sera fourni par le taux de fuite détecté anormalement élevé, l'installation de confinement à double paroi devrait alors être mise hors service et le revêtement devrait être réparé ».

« Les matériaux de couche de détection de fuite adéquats sont des couches de gravier et de drainage géosynthétique à faible compressibilité, telles que des géonets et des géocomposites de drainage avec un noyau de géonet. Le sable n'est pas adéquat car il n'est pas suffisamment perméable pour assurer un écoulement rapide et il retient l'eau par capillarité ».

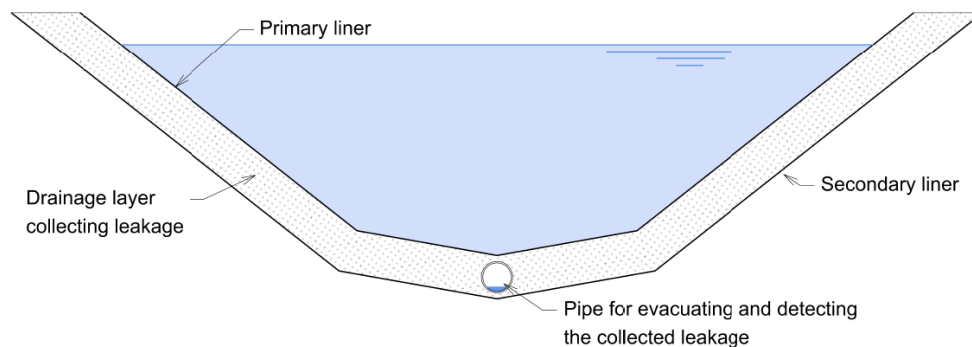


Figure 8

3.3. Considérations sur un débit de fuite admissible

Toutes les étanchéités de bassin par géomembranes ont un taux de fuite (voir Giroud et Bonaparte (1989a) et J.P. Giroud, *Leakage control using geomembrane liners, et general recommendations for seal operations with geomembranes, 2017 edition, Comité Français des Géosynthétiques*).

« Cela ne doit pas être interprété comme signifiant qu'il n'y a aucun moyen de stocker des liquides en toute sécurité. En fait, reconnaître que toutes les géomembranes peuvent fuir est la première étape vers la conception sûre des systèmes de confinement de liquides. La conception d'une structure de confinement ne peut être sûre si la possibilité de fuite n'est pas reconnue lors de la première étape de conception. »

3.3.1. Taux de fuite constatés sur des ouvrages étanchés par géomembranes

M. Koerner et Jamie R. Koerner (2009) ont fourni des valeurs des taux de fuite admissibles dans les réservoirs et les bassins (Tableau 1).

À partir de ce tableau, nous pouvons retenir les taux de fuite suivants pour les bassins d'environ 767L / jour / hectare) (0,077 L / jour / m²) après comparaison avec les rétentions pour liquides dangereux. Le taux maximum de fuite est de 10 429,57 L / jour / hectare).

3.3.2. Calculs prédictifs de fuite sur des ouvrages étanchés par géomembranes

De nombreux auteurs ont produit des équations empiriques pour prédire les taux de fuite à travers les étanchéités par géomembrane.

Le taux de fuite à travers une géomembrane dû à la perméabilité de la géomembrane est négligeable par rapport au taux de fuite à travers des défauts de la géomembrane (Giroud et Bonaparte, 1989). Par conséquent, seules les fuites à travers des défauts seront considérées.

Tableau 1. Taux de fuite admissibles dans les réservoirs et les bassins

STATE AGENCY	TYPE OF IMPOUNDMENT	LEAKAGE IN REGULATIONS	LEAKAGE IN GAL/ACRE-DAY
Alaska DEC - Division of Water	metal laden seepage water pond	$7.7X 10^{-6}$ gal/min/ft ²	480 gal/acre-day
	wastewater treatment lagoon	≤ 500 gal/acre-day	500 gal/acre-day
Arizona DEQ - Groundwater	general aquifer	≤ 550 gal/acre-day	550 gal/acre-day
Arkansas DEQ -GL/UM River Board*	wastewater storage ponds	≤ 500 gal/acre-day	500 gal/acre-day
California Lagoon and Pond Require.	lagoons and retention ponds	do not specify leakage rate	n/a
Colorado Water Quality Control	sewage ponds	$\leq 10^{-6}$ cm/sec or permit is required	125 gal/acre-day
Delaware EPA- Water Pollution	reservoirs and ponds	do not specify leakage rate	n/a
Florida - GL/UM River Board*	storage ponds	lined to prevent measurable seepage	500 gal/acre-day
Georgia DNR - Engineering	preapplication treatment ponds	1/8 inch per day	3400 gal/acre-day
Great Lakes/Upper Mississippi River Board	wastewater storage ponds	≤ 500 gal/acre-day	500 gal/acre-day
Idaho Water Allocation Bureau	reservoirs and ponds	do not specify leakage rate	n/a
Illinois NRCS	waste storage ponds	$\leq 1X10^{-7}$ cm per sec	13 gal/acre-day
Indiana DNR - Division of Water	wastewater storage ponds	≤ 550 gal/acre-day	550 gal/acre-day
Iowa DNR - Wastewater	municipal and industrial lagoons	1/16 inch per day at a water depth of 6 ft.	1700 gal/acre-day
Kansas DHE - Bureau of Water	wastewater lagoons	1/64" per day	425 gal/acre-day
Kentucky DEP - Division of Water	wastewater treatment lagoon	≤ 500 gal/acre-day	500 gal/acre-day
Maine EPA - Watershed Mgmt.	reservoirs and ponds	do not specify leakage rate	n/a
Maryland Code 378 Pond Standards	reservoirs and ponds	do not specify leakage rate	n/a
Michigan - GL/UM River Board*	wastewater storage ponds	≤ 500 gal/acre-day	500 gal/acre-day
Minnesota - GL/UM River Board*	wastewater storage ponds	≤ 500 gal/acre-day	500 gal/acre-day
Mississippi DEQ - Water	wastewater treatment ponds	≤ 500 gal/acre-day	500 gal/acre-day
Missouri - GL/UM River Board*	wastewater storage ponds	≤ 500 gal/acre-day	500 gal/acre-day
Nebraska DEQ	municipal and industrial lagoons	1/8" per day	3400 gal/acre-day
	livestock waste control	new facility = 0.13 inches/day	3400 gal/acre-day
	livestock waste control	prior to 2000 = 0.25 inches/day	6800 gal/acre/day
New Hampshire DES - Wastewater	wastewater lagoons	no numerical requirement	n/a
New York - GL/UM River Board*	wastewater storage ponds	≤ 500 gal/acre-day	500 gal/acre-day
North Carolina DNR	basins, lagoons, ponds, trenches	$\leq 1X 10^{-6}$ cm per second	125 gal/acre-day
	earthen impoundments	$\leq 1X 10^{-7}$ cm per second	13 gal/acre-day
Ohio - GL/UM River Board *	wastewater storage ponds	≤ 500 gal/acre-day	500 gal/acre-day
Oklahoma DEQ - Water Quality	retention lagoons	≤ 500 gal/acre-day	500 gal/acre-day
Oregon DEQ - Water Quality	existing lagoons	1/8" per day (No leakage allowed in new)	3400 gal/acre-day
Pennsylvania DEP	wastewater storage ponds	≤ 550 gal/acre-day	550 gal/acre-day
South Carolina DHEC	basins holding wastewater	$\leq 10^{-6}$ cm/sec	125 gal/acre-day
South Dakota NR - Engineering	in-situ leach mines	shall not exceed 1/16 inch per day	1700 gal/acre-day
	reservoirs and ponds	case by case basis	case by case basis
Tennessee DEC- Water Supply	reservoirs and ponds	do not specify leakage rate	n/a
Texas TWDB	reservoirs and ponds	do not specify leakage rate	n/a
Utah EPA - Ground Water Protection	leak collection system	200 gal/acre-day	200 gal/acre-day
United States EPA	surface impoundments	≤ 32 gal/acre-day	32 gal/acre-day
Vermont DNR	wastewater ponds/lagoon	≤ 500 gal/acre-day	500 gal/acre-day
Virginia DEQ - Wastewater	storage lagoons	no referenced standard for lined lagoons	n/a
Wisconsin DNR - Wastewater	sludge storage/ treatment lagoons	≤ 500 gal/acre-day	500 gal/acre-day
	wastewater lagoons	≤ 1000 gal/acre-day	1000 gal/acre-day

*GL/UM = Great Lakes - Upper Mississippi River Board of State and Provincial Public Health and Environmental Managers

Dans le cas d'une étanchéité par géomembrane reposant sur un milieu perméable, tel qu'un sol perméable ou une couche de détection de fuite, le taux de fuite peut être calculé à l'aide de l'équation de Bernoulli (2) comme le suggère Giroud :

$$q = 8.64 \times 10^{-7} NQ \quad (1)$$

$$Q = 0,6a \sqrt{2gh} \quad (2)$$

où $Q(m^3 / s)$ = vitesse de fuite, $a (m^2)$ = surface du trou, $g (9,81 m / s^2)$ = accélération due à la gravité et $h(m)$ = charge hydraulique, q = débit de fuite (l/hectare/jour) , N nombre de trous à l'hectare

En combinant les équations (1) et (2) on obtient

$$q = 230 a N \sqrt{h} \quad (3)$$

3.3.3. Considérations sur le nombre de trous ou de défauts à prendre en compte et sur leur dimensions
En 2016, J.P. Giroud a écrit dans une revue bibliographique :

« Le nombre de trous à la fin de l'installation de la géomembrane avec assurance qualité de la construction est généralement estimé à 1 à 5 trous par hectare (Giroud et Touze-Foltz) (2003)

Plus récemment.... Cet examen a fourni 5,4 trous / ha pour les géomembranes HDPE installées aux États-Unis avec une assurance qualité de construction typique. »

En conclusion, un nombre de trous ou de défauts de 5 ou 6 par hectare peut être considéré comme typique à la fin de la pose de géomembrane avec un plan d'assurance qualité de pose.

Les tailles typiques des trous dans les géomembranes sont résumées ci-dessous (J.P. Giroud) :

- Les trous inférieurs à 1 mm² ne peuvent pas être détectés par les méthodes de localisation des fuites électriques avec la technologie actuelle.
- Les dimensions minimales des trous qui peuvent être détectées par les méthodes de localisation des fuites électriques sont de l'ordre de 1 mm² sous la faible profondeur d'eau nécessaire pour réaliser le relevé de localisation des fuites électriques dans des conditions optimales ;

Dans le cas de nos trois bassins nous avons retenus :

- Un nombre de 6 défauts par hectare
- Une surface de défauts de 0,031 cm²

3.3.4 Calcul d'un débit admissible pour ce chantier (pour une charge hydraulique h de 3 m)
Le tableau suivant donne les débits de fuite pour des défauts de surface de 1mm² à 3mm²

Tableau 2. Calcul des débits de fuites

Diamètre du défaut : d	Surface du défaut : a	Débit de fuite : Q
mm	cm ²	l/hectare/jour
1	0,008	1 874
1,5	0,018	4 217
2	0,031	7 497

Nous avons proposé pour la réception de l'étanchéité primaire que la valeur maximale de débit de fuite sous 3 m de charge soit inférieure à 7497 L / hectare /jour durant une durée de 7 jours consécutifs.

4. Conclusions

Les projets de bassins de retentions avec une étanchéité par géomembrane PEHD en conception réalisation doivent impérativement prévoir des procédures et des critères de réception lors de la contractualisation des marchés.

Parmi les procédures de réception, il nous semble nécessaire de prévoir un contrôle électrique sur la membrane primaire, puis sur la membrane secondaire, afin de diminuer la probabilité de laisser des défauts sur les étanchéités par géomembranes PEHD.

Lors des opérations préalables à la réception, dans le cas d'un bassin avec une double étanchéité, ou un débit de fuite peut être mesuré, il est nécessaire d'intégrer un débit de fuite admissible et une durée d'observation en dessous duquel la réception peut être prononcé.

Le débit de fuite admissible peut être déterminé selon la méthode proposée par JP GIROUD.

5. Références bibliographiques

- Comité Français des Géosynthétiques (2017). General recommendations for sealing operations with geomembranes.
- Giroud J.P. (2016). Leakage control using geomembrane liners, *Soils and Rocks*, São Paulo.
- Giroud J.P., Bonaparte R. (1989). Leakage through liners constructed with geomembrane Part I. Geomembrane liners and Part II. Composite liners, *Geotextiles and Geomembranes* 8.
- Giroud J.P., Khire M.V., King T.D., Sanglerat T.R., Hadj-Hamou T. (1997). Rate of liquid migration through defects in a geomembrane placed on a semi-permeable medium, *Geosynthetics International* 4 (3-4).
- Koerner M. R. (2012). Designing with geosynthetics, 6th Edition.
- Koerner M. R. and Koerner R. J. (2009). Survey of U.S. State Regulations on allowable leakage rates in liquid impoundments and wastewater ponds.
- Touze-Foltz N., Giroud J.P. (2003). Empirical equations for calculating the rate of liquid flow through composite liners due to geomembrane defects, *Geosynthetics International*, 10, No. 6, 215–233.

