

# Présentation de méthodes de détection et de localisation de défauts dans les dispositifs d'étanchéité par géomembranes

ÉDITION DE 2003



**Groupe de travail "Détection de fuites dans les dispositifs  
d'étanchéité par géosynthétiques"**

**Présentation de méthodes de détection et de  
localisation de défauts dans les dispositifs  
d'étanchéité par géomembranes**

**Liste des principaux contributeurs à la rédaction de ce document**

Alkor Draka : Daniel FAYOUX  
Antea : Jean-Frédéric OUVRY  
Apave : Yves GERARD  
Aubine-Onyx : Mathias GASTEBOIS  
Cemagref : Nathalie TOUZE-FOLTZ  
Colas : Bernard BREUL  
CREED : Muriel MORCET, Yann MOREAU-LE GOLVAN, Jérôme RATHLE  
DRAST : Bertrand SOYEZ, Jean-Paul VAN HOOVE  
EDF : Jean-Marc DEBATTISTA  
Geolia : Séverine ARNAUD, Stéphanie RIVIERE  
I-Corp : Ian PEGGS  
Progeo : Michael ARNDT  
GSE : Yves DURKHEIM  
Insa de Lyon : Véronique NOROTTE  
IUP Génie de l'environnement Paris VII : Olivier DARLOT  
LNE : Renaud BURKHALTER  
LRPC Lyon : Laurent SAUGER  
Sensor : Philippe GANIER, Fabrice LOMBARD  
Siplast : Agnès GRISARD  
Solmers : Jean-Pierre BEHAXETEGUY, Louise CHAPUT

**Liste des relecteurs du document externes au CFG**

Jérôme BALLOT, Ronaval  
Jean-Paul BOURGEOIS, Soval  
Marc DEMANET, SECO  
Vincent MIANOWSKI, Chef de projet à la direction technique de GrandJouan ONYX  
James MIRALVES, CGEA en charge de grands projets industriels  
Hervé PERNOT, Valsud  
André ROLLIN, Ecole Polytechnique Montréal

### Avertissements

*Ce document a été élaboré par le groupe "Détection de fuites dans les dispositifs d'étanchéité par géosynthétiques" du Comité Français des Géosynthétiques (CFG).*

*Son objectif est de présenter les principales méthodes de détection de défauts dans les dispositifs d'étanchéité par géomembranes, les plus couramment utilisées en France. Ce document n'est pas exhaustif et ne présente que les méthodes pour lesquelles un ou plusieurs membres du groupe de travail disposent de connaissance ou de compétences.*

*Il ne rentre pas dans les attributions du groupe de travail de vérifier, par des expériences, les caractéristiques ou limites de validité des différentes méthodes dans le cadre de la rédaction de ce document qui se veut avant tout informatif et pas directif. Des démarches de validation ont été effectuées, en particulier en ce qui concerne certaines méthodes électriques, en Allemagne.*



# Présentation de méthodes de détection et de localisation de défauts dans les dispositifs d'étanchéité par géomembranes

ÉDITION DE 2003

1. OBJECTIF DU DOCUMENT .....	6
2. DÉFINITIONS .....	7
2.1. Définitions relatives aux géomembranes .....	7
2.1.1. Géomembrane .....	7
2.1.2. Termes relatifs à la fabrication des géomembranes .....	10
2.1.3. Termes relatifs aux assemblages de géomembranes .....	10
2.2. Défaut .....	11
2.3. Structure .....	12
2.3.1. Fond .....	12
2.3.2. Flanc .....	12
2.3.3. Couverture .....	12
2.3.4. Cuvelage .....	12
2.4. Ouvrages .....	12
2.4.1. Aire de stockage .....	12
2.4.2. Barrage .....	12
2.4.3. Bassin (ou lagune) .....	12
2.4.4. Canal .....	12
2.4.5. Installation de stockage de déchets .....	13
2.4.6. Réservoir .....	13
2.4.7. Tunnel .....	13
2.5. Niveau de qualification requis pour pouvoir effectuer la détection de défauts .....	13
3. PRÉSENTATION DES DIFFÉRENTES MÉTHODES DE DÉTECTION ET DE LOCALISATION DE DÉFAUTS .....	14
3.1. Introduction .....	14
3.2. Méthodes électriques .....	14
3.2.1. Géomembrane conductrice .....	14
3.2.2. Jet (ou flaque) d'eau .....	16
3.2.3. Sonde mobile .....	19
3.2.4. Système fixe de détection, de localisation et d'alarme .....	23
3.3. Tests utilisant de l'air sous pression ou en dépression .....	27
3.3.1. Cloche à vide .....	27
3.3.2. Mise en pression du canal central .....	29
3.4. Test à la pointe émoussée (ou au tournevis) .....	31
3.5. Tests utilisant des traceurs fluides .....	33
3.5.1. Spectrométrie infrarouge .....	33
3.5.2. Liquide coloré sous pression .....	33
3.6. Tests utilisant la thermographie infrarouge .....	35
3.7. Tests utilisant des ultrasons .....	36
3.7.1. Principe de fonctionnement et calibration .....	36
3.7.2. Conditions d'application .....	38
3.7.3. Limites particulières d'utilisation .....	38
3.7.4. Facilité de mise en œuvre .....	38
3.7.5. Types d'informations et de résultats, sensibilité .....	38
3.7.6. Types d'ouvrages auxquels la méthode est applicable dans les limites d'utilisation .....	39
3.8. Synthèse .....	40
4. BIBLIOGRAPHIE .....	43

---

## **Groupe de travail "Détection de fuites dans les dispositifs d'étanchéité par géosynthétiques"**

### **Présentation de méthodes de détection et de localisation de défauts dans les géomembranes**

Dans un contexte d'utilisation de plus en plus prononcée des étanchéités par géomembranes dans les ouvrages de génie civil, la détection et la localisation de défauts dans celles-ci s'avère devenir une étape incontournable pour confirmer l'efficacité de l'ouvrage, sa pérennité, sa sécurité ainsi que la protection de l'environnement associée à l'utilisation de l'ouvrage.

#### **1. Objectif du document**

L'objectif de ce document est de diffuser les informations relatives à différentes méthodes de détection de défauts dans les dispositifs d'étanchéité par géomembranes existantes.

Il présente les différentes méthodes existantes les plus couramment utilisées et les contraintes afférentes à l'utilisation de chacune d'elles. Les méthodes présentées sont celles pour lesquelles les membres du groupe de travail disposaient de connaissances et de compétences particulières.

Ce document mentionne également la nécessité de les intégrer dès la conception de l'ouvrage, pour les plus élaborées d'entre elles.

Ainsi, on souhaite faciliter la prise de décision quant au choix d'une méthode de détection de défauts en relation, en particulier, avec la nature de l'ouvrage concerné, le degré de fiabilité de l'étanchéité, le moment où la détection de défauts peut être effectuée par rapport au moment de la pose de la géomembrane, mais aussi avec l'évolution de l'ouvrage et les contraintes d'utilisation des différentes méthodes.

Ce document présente les principales méthodes de détection et de localisation de défauts existantes à la connaissance de ses rédacteurs, y compris les méthodes non destructives de test des soudures. On ne considère pas dans ce document les méthodes qui permettraient de détecter des défauts sans les localiser, l'objectif d'une détection de défauts étant de pouvoir réparer ces derniers pour garantir le fonctionnement d'une étanchéité.

A noter qu'une inspection visuelle de la géomembrane est le contrôle préalable ou complémentaire des méthodes présentées dans ce document. Elle peut être effectuée à n'importe quel moment, avant, pendant ou après la pose. En effet, le contrôle visuel permet de

---

vérifier la largeur, la continuité et l'homogénéité du cordon pour les soudures manuelles et pour les doubles soudures automatiques.

Enfin, aucune des méthodes présentées ici ne permet de quantifier les débits de fuite liés à l'existence de défauts dans les géomembranes. Le seul moyen existant à notre connaissance pour la quantification des débits de fuite est le recours à une double étanchéité avec drainage intermédiaire.

## 2. Définitions

### 2.1. Définitions relatives aux géomembranes

Ce paragraphe a pour but de définir ce que sont les géomembranes, les différents matériaux dont elles peuvent être constituées, ainsi que les principaux termes se rapportant à leur mise en place, tel que le terme de soudure.

#### 2.1.1. Géomembrane

##### 2.1.1.1. Définition

Les géomembranes sont définies selon la norme NF P 84-500 comme des *produits adaptés au génie civil, minces, souples, continus et étanches aux liquides, même sous les sollicitations de service*. Elles sont manufacturées avec une épaisseur minimale de 1 mm et conditionnées en rouleaux de largeur supérieure à 1,5 m. Les lés doivent être soudés ou collés entre eux pour assurer la continuité de l'étanchéité.

Les géomembranes sont utilisées dans les ouvrages hydrauliques comme les barrages et les digues, les bassins de rétention d'eau, les canaux, les ouvrages souterrains, et pour la protection de l'environnement, dans les ouvrages de stockage d'effluents industriels ou agricoles et les installations de stockage de déchets.

Remarque : dans le cas où les matériaux synthétiques d'étanchéité ont une épaisseur inférieure au millimètre, on les désigne sous le terme de géofilms.

##### 2.1.1.2. Les grandes familles de géomembranes

Les deux grandes classes de matériaux de base utilisés actuellement pour la réalisation de géomembranes sont (CFG, 1991) :

- ↳ les polymères synthétiques
- ↳ les produits à base de bitume : bitumes sans polymère et bitumes modifiés par des polymères.



---

#### 2.1.1.2.1. Matériaux de synthèse

Deux grandes familles de polymères sont très utilisées industriellement : les plastomères et les élastomères.

Les plastomères (ou polymères thermoplastiques) sont susceptibles d'être de manière répétée successivement ramollis par la chaleur et durcis par refroidissement. Les principaux plastomères utilisés pour les géomembranes sont :

- ↳ le polychlorure de vinyle plastifié (PVC-P) ;
- ↳ le polyéthylène haute densité (PEHD) ;
- ↳ le polyéthylène chloré (PEC) ;
- ↳ le copolymère d'éthylène-bitume (CEB).

D'autres produits apparaissent comme des polyéthylène moyenne et basse densité qui seront notés dans la suite FPE.

Les élastomères sont des polymères qui retrouvent rapidement leur dimension initiale après cessation des contraintes. Cette caractéristique est obtenue en usine par vulcanisation, opération qui rend en particulier le produit infusible. Les principaux élastomères utilisés pour les géomembranes sont :

- ↳ l'éthylène propylène diène monomère (EPDM) ;
- ↳ le copolymère d'isobutylène et d'isoprène (Butyl) ;
- ↳ le polyéthylène chlorosulfoné (CSPE).

#### 2.1.1.2.2. Matériaux bitumineux

Les principaux matériaux bitumineux utilisés pour la confection des géomembranes sont :

- ↳ les bitumes soufflés obtenus par oxydation en raffinerie de bitumes de distillation directe ;
- ↳ les bitumes modifiés par ajout de polymères (bitumes polymères). Les principaux polymères utilisés sont des élastomères thermoplastiques comme le Styrène-Butadiène-Styrène (SBS) et l'Éthylène-Vinyle-Acétate (EVA) ou des plastomères comme le polypropylène atactique (APP).

#### 2.1.1.3. Les sollicitations exercées sur les géomembranes à l'échelle d'un site

Les géomembranes n'ont aucune fonction de renforcement mécanique. Cependant, au sein d'un ouvrage elles peuvent être soumises à différentes sollicitations mécaniques susceptibles d'affecter leur fonction d'étanchéité. Ainsi les géomembranes peuvent être mises en tension :

- ↳ lors du tassement du sol support d'un ouvrage ;
  - ↳ en se rétractant, si la pose et l'ancrage de la géomembrane sont réalisés lorsque les différences de température diurne / nocturne sont importantes ;
  - ↳ sous l'action de leur propre poids sur les grandes pentes et en fonction de l'angle de la pente ;
  - ↳ sous la contrainte exercée par les matériaux qu'elles sont censées contenir, comme les déchets (Pirrion, 1998).
-

Cette liste n'est pas exhaustive. Elles peuvent également être soumises au poinçonnement. Deux types de poinçonnements sont à envisager : le poinçonnement dynamique et le poinçonnement statique.

Le poinçonnement dynamique est susceptible de se produire essentiellement lors de la mise en place de la géomembrane, par la chute d'objets, d'outils et par des chocs, directs ou par l'intermédiaire d'engins, avec les granulats.

Le poinçonnement statique peut intervenir à court terme lors du passage d'engins, ou à long terme, lors de la mise en service de l'ouvrage. Les irrégularités du sol support et la couche granulaire drainante peuvent alors poinçonner la géomembrane soumise à une pression lithostatique et/ou hydraulique.

La traction ou le poinçonnement de la géomembrane peuvent conduire à la rupture de la continuité du matériau qui présente alors des défauts.

### **2.1.2. Termes relatifs à la fabrication des géomembranes**

Toutes les définitions présentées ci-dessous sont issues de la norme NF P 84-500.

#### 2.1.2.1. Lé

Largeur de production d'une géomembrane. Usuellement, bande de géomembrane.

#### 2.1.2.2. Nappe

Ensemble de lés assemblés de manière définitive en usine ou dans un atelier.

### **2.1.3. Termes relatifs aux assemblages de géomembranes**

Les définitions suivantes sont également issues de la norme NF P 84-500.

#### 2.1.3.1. Soudure

Mode d'assemblage des surfaces, amollies, soit par solvant, soit plus généralement par la chaleur. Simultanément, une pression est appliquée au moins une des faces extérieures de l'assemblage.

#### 2.1.3.2. Double soudure

Mode d'assemblage comportant la réalisation simultanée de deux joints parallèles, effectués en soudure automatique et séparés par une zone non soudée. Ce canal sert généralement à faire des essais d'étanchéité sous pression du joint.

#### 2.1.3.3. Collage

Mode d'assemblage de deux surfaces par apport d'un matériau adhésif, liquide ou pâteux, froid ou chaud.

Par extension le terme de soudure désigne lui-même cet assemblage de surfaces qui peut être réalisé soit par soudure soit par collage.

#### 2.1.3.4. Extrusion

Apport de matière de même nature que la géomembrane à souder amollie par la chaleur pour réaliser la soudure.

#### 2.1.3.5. Plan de récolement

---

Lors de l'installation des géomembranes un plan de récollement permettra de garder en mémoire le positionnement réel des lés, ainsi que le mode d'assemblage, la position des réparations, points singuliers, prélèvements d'échantillons etc . (CFG, 1995)

## 2.2. Défaut

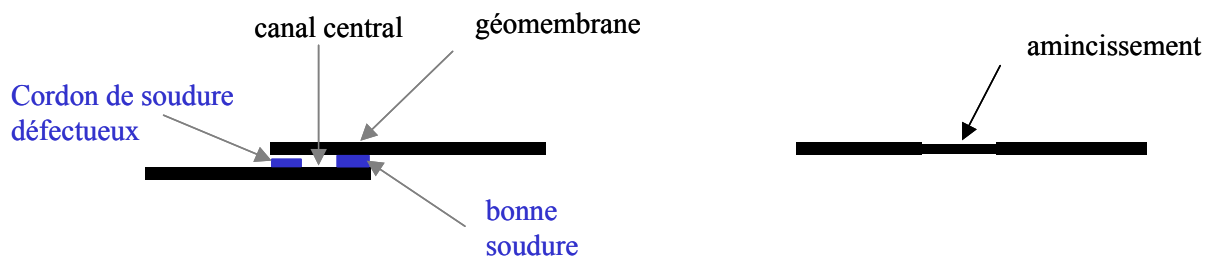
Dans ce document le terme défaut est utilisé pour désigner une non continuité de la géomembrane qui peut être un trou circulaire, un poinçonnement, une déchirure, une coupure, une soudure défectueuse, une fissure ou tout autre endommagement sur tout ou partie d'une géomembrane détecté pendant ou après la pose de la géomembrane.

On désigne par le terme **défaut sans fuite** :

- ↳ une non continuité dans la géomembrane, qui ne génère pas de flux de liquide ou de gaz dans le cas où la géomembrane est sollicitée hydrauliquement ou soumise à un gradient de pression entre ses deux faces ; typiquement, un défaut sans fuite de ce type correspond à une soudure défectueuse sur l'un uniquement des deux joints parallèles d'une double soudure ;
- ↳ une réduction d'épaisseur de la géomembrane causée par un écrasement ou un poinçonnement.

Le **défaut avec fuite** désigne quant à lui une non continuité de la géomembrane qui génère un flux de liquide ou de gaz lorsque la géomembrane est soumise à un gradient de pression entre ses deux faces.

### Défauts sans fuite



### Défaut avec fuite

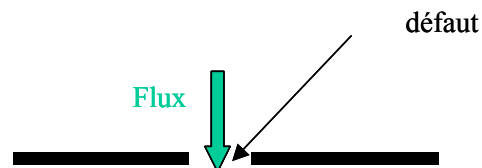


Figure 1 : exemples de défauts sans fuite et avec fuite

---

## **2.3. Structure**

### **2.3.1. Fond**

Partie la plus basse d'un ouvrage, généralement plane.

### **2.3.2. Flanc ou talus**

Partie inclinée d'un ouvrage, reliant le fond de celui-ci à ses extrémités extérieures, ou à la couverture dans le cas où l'ouvrage en comporte une.

### **2.3.3. Couverture**

Partie qui couvre un ouvrage, en constituant l'élément le plus haut.

### **2.3.4. Cuvelage**

Parement interne d'un réservoir qui peut être étanché à l'aide d'une géomembrane.

## **2.4. Ouvrages**

Ce paragraphe a pour objectif de définir les principaux ouvrages dans lesquels une étanchéité par géomembrane peut être mise en place et qui seront cités tout au long de ce document.

### **2.4.1. Aire de stockage**

Terme générique désignant une plate-forme destinée au stockage ou au transbordement de matériaux.

### **2.4.2. Barrage**

Toute construction conçue pour retenir de l'eau à un niveau supérieur au sol adjacent (projet de norme européenne prEN 13361, 1998).

### **2.4.3. Bassin (ou lagune)**

Espace naturel ou ouvrage destiné au stockage, à la régulation ou au contrôle d'eau ou de tout autre liquide (CEN TC 189, 2001).

### **2.4.4. Canal**

Voie d'eau destinée à transporter de l'eau depuis sa source jusqu'à l'utilisateur, ou bien à être empruntée par des bateaux, embarcations ou barges à utilisation commerciale ou de plaisance. Elle peut être entièrement artificielle, ou bien naturelle et agencée de façon à la rendre plus facilement navigable (projet de norme européenne prEN 13362, 1998).

---

---

### 2.4.5. Installation de stockage de déchets

Site pour le dépôt de déchets, incluant le stockage de déchets internes, mais excluant le installations dans lesquelles le déchet n'est pas mécaniquement chargé dans l'objectif de permettre sa préparation pour un transport ultérieur pour recyclage, traitement ou stockage sur un site différent (projet de norme européenne prEN 13493, 2003).

### 2.4.6. Réservoir

Construction conçue pour contenir de l'eau. La construction peut être telle que le niveau maximal de l'eau prévu soit situé ou bien sous le niveau du sol sur un ou plusieurs côtés, ou bien au-dessus du niveau du sol pour tous les côtés (projet de norme européenne prEN 13361, 1998).

### 2.4.7. Tunnel

On désigne sous le terme tunnel un passage souterrain, ouvert à la lumière du jour à l'une ou aux deux extrémités, avec un diamètre minimum d'un mètre, constitué par l'enlèvement de sol ou de roche (projet de norme européenne prEN 13491, 2003).

## 2.5. Niveau de qualification requis pour pouvoir effectuer la détection de défauts

Les différentes méthodes de détection de défauts présentées dans la suite de ce document nécessitent de faire appel à du personnel avec un niveau de compétence variable. Trois niveaux de compétence ont été définis.

**Niveau 1** : le personnel réalisant la détection de défauts doit recevoir au sein de son entreprise une formation élémentaire. Cette dernière peut consister en une lecture de notice et/ou de mode opératoire. L'analyse des résultats de la méthode de détection ne doit pas nécessiter une interprétation subjective. L'interprétation doit être binaire. La méthode et son mode opératoire sont d'utilisation simple.

**Niveau 2** : l'utilisateur de la méthode doit recevoir une formation préalable au sein de son entreprise. L'emploi de l'outil de détection nécessite "un coup de main" et/ou l'interprétation des résultats est multicritère, préétablie et graduée.

**Niveau 3** : la détection de défauts doit être réalisée et interprétée par un spécialiste. La méthode relève du domaine de l'expertise.

Il ne s'agit pas de notion de qualification associée à un référentiel dispensé par une entreprise de qualification, mais de qualification interne à l'entreprise, faute de l'existence d'un tel référentiel à l'heure actuelle. Aucune certification ou habilitation n'est délivrée à la

---

date de rédaction de ce document. Il n'existe pas à notre connaissance de formation diplômante.

### 3. Présentation des différentes méthodes de détection et de localisation de défauts

#### 3.1. Introduction

Les différentes méthodes de détection et localisation de défauts ont été classées en six catégories : méthodes électriques, méthodes utilisant de l'air sous pression ou en dépression, test mécanique<sup>1</sup>, traceurs fluides, thermographie infrarouge, ultrasons.

Pour chacune de ces catégories, la présentation des méthodes est axée autour de tout ou partie des points suivants : principe de fonctionnement et calibration, conditions d'application, limites particulières d'utilisation, facilité de mise en œuvre, types d'informations et de résultats, sensibilité, types d'ouvrages auxquels la méthode est applicable dans les limites d'utilisation.

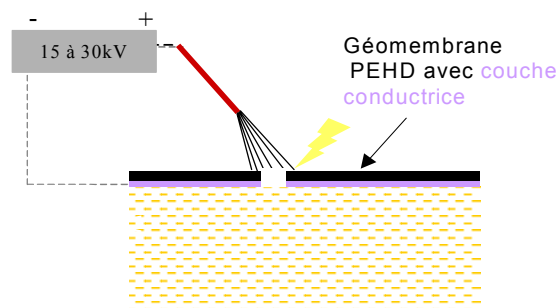
A noter qu'avant la mise en œuvre de l'une quelconque de ces méthodes, une inspection visuelle de la géomembrane est un préalable indispensable.

#### 3.2. Méthodes électriques

Le principe physique des quatre méthodes électriques qui vont être présentées dans la suite est de créer une différence de potentiel entre les deux faces de la géomembrane testée, et ensuite de localiser les endroits auxquels le courant électrique peut circuler à travers les défauts de la géomembrane.

##### 3.2.1. Géomembrane conductrice

###### 3.2.1.1. Principe de fonctionnement et calibration (Adams, 1997)



---

Figure 2 : Schéma de principe de la méthode géomembrane conductrice

On utilise une géomembrane PEHD conductrice qui comporte une couche supplémentaire coextrudée, d'environ 0,1 mm d'épaisseur, sur sa face inférieure. Cette couche est électriquement conductrice grâce à l'addition d'un fort taux de noir de carbone. Avant le démarrage de la prospection, la couche conductrice est chargée par induction par une unité de tension (15 à 30kV). La face supérieure, non conductrice, est alors prospectée à l'aide d'un balai électrique. Tout défaut de la géomembrane génère une étincelle visible ainsi qu'un signal sonore.

#### 3.2.1.2. Condition d'application

Toutes les géomembranes conductrices peuvent être testées. Les lés, soudures, points singuliers (jonction avec des éléments extérieurs mais non métalliques) peuvent être prospectés.

Cette méthode peut être appliquée sur des produits exposés, lors de la pose de ceux-ci, ou après achèvement de celle-ci si la géomembrane est sèche. Sous réserve que la géomembrane soit apparente, propre et sèche, cette méthode peut être envisagée au cours de la vie de l'ouvrage.

Les temps de pluie sont déconseillés.

#### 3.2.1.3. Limites particulières d'utilisation

Cette méthode doit être intégrée à la conception de l'ouvrage dans la mesure où elle nécessite l'achat d'une géomembrane conductrice.

La géomembrane à tester doit être sèche.

Par contre, la poussière ou les impuretés non conductrices ainsi que la présence de champs électriques périphériques n'affectent pas le test.

Cette méthode ne doit pas être utilisée en présence de gaz inflammables ou explosifs (risques liés à la production d'étincelles).

#### 3.2.1.4. Facilité de mise en œuvre

L'opérateur doit avoir un niveau 1 de compétence. Un contrôleur interne ou externe peut sans formation particulière effectuer la prospection. Le temps de mise en œuvre est immédiat dès lors que la géomembrane est prête à être testée.

Le temps de mesure est immédiat tout comme la durée d'interprétation des résultats.

La vitesse de prospection est de l'ordre de 6000 à 8000 m<sup>2</sup> par jour, pour un appareil et une équipe de deux personnes.

---

<sup>1</sup> Test à la pointe émoussée (ou au tournevis)



### 3.2.1.5. Type d'informations et de résultats, sensibilité

Cette méthode permet de localiser des défauts avec fuite de moins de 1 mm de diamètre (trous d'épingle).

Précision, fiabilité et répétabilité dépendent de l'opérateur puisque les défauts sont repérés visuellement et auditivement.

Les défauts sont à la fois marqués immédiatement sur la géomembrane à la bombe de peinture et sur le plan de récolement.

### 3.2.1.6. Types d'ouvrages auxquels la méthode est applicable dans les limites d'utilisation

Cette méthode s'applique :

- aux aires de stockage dont l'accès est possible: attention aux effets de bord ;
- aux barrages ;
- aux bassins ;
- aux canaux ;
- aux ISD (fond, flancs) ;
- aux réservoirs y compris en béton comportant un cuvelage.

## **3.2.2. Jet (ou flaque) d'eau**

### 3.2.2.1. Principe de fonctionnement et calibration

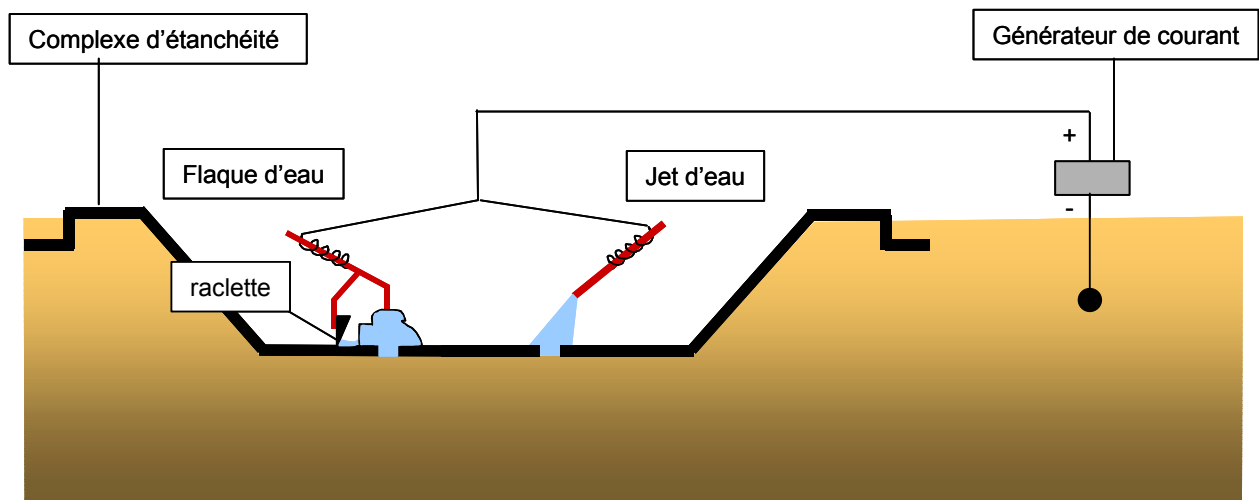


Figure 3: Schéma de principe de la méthode géo-électrique dite du « jet ou de la flaque d'eau »

Cette technique de prospection repose sur l'utilisation d'un jet d'eau et sur les propriétés d'isolant électrique de la géomembrane (Rollin et Jacquelin, 1998).

---

Pour les mesures, on utilise deux électrodes :

- ↳ la première est mise à la terre dans le sol support de l'ouvrage. Une seule électrode passive par site suffit,
- ↳ la deuxième est placée sur le jet d'eau ou sur le balai.

Les deux électrodes sont reliées à une source de courant continu 12 ou 24 volts (Rollin et Jacquelin, 1998).

L'alimentation en eau peut être fournie :

- ↳ par une citerne,
- ↳ par un circuit fermé : dans ce cas, une pompe placée au point bas du site permet la réutilisation des eaux de détection (ne s'applique qu'aux sites possédant une géométrie adéquate),
- ↳ par un réseau existant ayant une pression suffisante.

L'opérateur déplace le jet d'eau sur la zone à prospecter. Lorsque l'eau rentre en contact avec le sol chargé négativement par l'intermédiaire d'un défaut, le circuit entre le jet et le sol se ferme engendrant une augmentation du signal électrique (Swyka et al., 1999). Un signal sonore avertit l'opérateur de la présence du défaut.

Pour s'assurer du bon fonctionnement des appareils, des tests de vérification doivent être faits régulièrement aux cours des mesures. Un test de vérification consiste simplement à simuler une fuite en mettant le bout du jet en contact avec le sol.

#### 3.2.2.2. Conditions d'application

Toutes les géomembranes non conductrices (PP-F, FPE, PEHD, PVC-P, bitumineuses) peuvent être testées.

Les lés, soudures, points singuliers (jonction avec des éléments extérieurs mais non métalliques) peuvent être prospectés.

Cette méthode s'applique aux produits non recouverts pendant ou après la pose de la géomembrane, mais également au cours de la vie de l'ouvrage si on ne rencontre pas de problèmes de conductivité électrique (voir limites particulières d'utilisation) et si la géomembrane est propre.

Lorsque la géomembrane est installée ou que la pose de la géomembrane se fait de l'aval vers l'amont, il est préférable de commencer la détection des fuites par les zones les plus basses. En effet, les eaux de détection s'écoulant naturellement vers ces zones, si des fuites existent, elles vont engendrer un bruit de fond qui va perturber les mesures. De plus, pour localiser ces fuites, il faudra vider ces points bas. Lorsque la pose de la géomembrane se fait de l'amont vers l'aval, la détection se fait une fois les travaux de soudure terminés.

Les temps trop humides, pluvieux et le gel ne sont pas recommandés.

---

### 3.2.2.3. Limites particulières d'utilisation

L'alimentation en eau peut être un facteur limitant de l'utilisation de cette méthode.

Les matériaux sous la géomembrane doivent être conducteurs. Une argile très sèche pourra poser problème de même qu'une géogridde ou une couche de bentonite pulvérulente.

Sur les pentes, l'opérateur doit pouvoir se tenir debout, le film d'eau doit être suffisamment important pour permettre la mesure.

Pour que la détection puisse être opérée, il doit y avoir un bon contact entre la géomembrane et le sol (pas de plis). Dans le cas de l'existence de plis certains peuvent être écrasés pour être testés lors de la prospection.

### 3.2.2.4. Facilité de mise en œuvre

L'opérateur doit avoir un niveau 2 de compétence.

Le temps de mise en œuvre est de l'ordre de la demi-journée.

Le temps de mesure est immédiat, la durée d'interprétation des résultats est de 10 minutes maximum (recherche du défaut dans la zone suspecte).

La vitesse de prospection dépend du type de géomembrane, du débit d'eau disponible, de la géométrie du site à prospector, de la présence de plis, de la présence d'objets sur la géomembrane. Cette vitesse de prospection est de l'ordre de 200 à 300 m<sup>2</sup> par heure et par opérateur.

Une journée est nécessaire à la formation de l'opérateur.

### 3.2.2.5. Types d'informations et de résultats, sensibilité

Cette méthode permet de localiser des défauts avec fuite. Des défauts de diamètre minimal égal à 1 mm peuvent être détectés (Rollin et Jacquelin, 1998).

La sensibilité de cette méthode dépend surtout de la hauteur d'eau imposée sur la géomembrane.

Cette méthode de détection impose le passage d'un opérateur sur la géomembrane.

Cette méthode est moins précise en termes de localisation de défauts que d'autres méthodes électriques pour lesquelles on peut disposer de charges hydrauliques plus importantes.

Les résultats sont présentés sous la forme d'un plan de récolement des défauts repérés.

### 3.2.2.6. Types d'ouvrages auxquels la méthode est applicable dans les limites d'utilisation

Cette méthode s'applique :

- aux aires de stockage ;
-

- 
- aux bassins (effluents liquides ou solides) ;
  - aux canaux ;
  - aux ISD : pour le fond et pour les flancs si la circulation à pied est possible ; l'eau ruisselant plus qu'elle ne s'infiltré, la fiabilité diminue ;
  - aux réservoirs y compris en béton comportant un cuvelage en faisant attention à la fiabilité sur les parois verticales.

### 3.2.3. Sonde mobile

#### 3.2.3.1. Principe de fonctionnement et calibration

Pour la méthode utilisant une sonde mobile, on utilise deux électrodes. La première est mise à la terre dans le sol support de l'ouvrage, la deuxième, sert à établir la différence de potentiel entre le sol extérieur et le milieu interne. Elle est placée dans le matériau recouvrant la géomembrane. Une densité moyenne d'une électrode pour 2500 m<sup>2</sup> est généralement adoptée. Cette densité est d'autant plus faible que le terrain situé sous la géomembrane est conducteur. Les deux électrodes sont reliées à une source de courant continu.

A l'aide d'une sonde mobile, on effectue des mesures de potentiel électrique suivant une densité prédéterminée. Un changement de signe dans les valeurs mesurées peut être une indication sur la proximité d'un défaut. Notamment, le champ de potentiel diminue quand on s'éloigne de l'électrode. Une augmentation de celui-ci indique donc la proximité d'un défaut. L'intensité du champ est maximale lorsque l'opérateur se trouve juste au dessus du défaut. Quand le défaut est à équidistance des électrodes, aucun gradient de potentiel n'est détectable (Phaneuf et Peggs, 2001).

Une fois les courbes iso-potentielles tracées et l'interprétation des variations du champ faite, on peut localiser de façon précise les défauts et ainsi, dans la mesure du possible, les réparer.

Avant toute mesure, ou toute reprise du travail, une étape de calibration est nécessaire. Elle s'effectue en trois étapes :

- ↪ calibrage de la zone à prospecter par une analyse préliminaire afin de quantifier le bruit de fond,
- ↪ mesure du courant pour établir le niveau de sécurité,
- ↪ simulation de défaut en utilisant une cellule de calibration ou en ayant connaissance d'un défaut de diamètre et de localisation connus (Peggs, 1996).

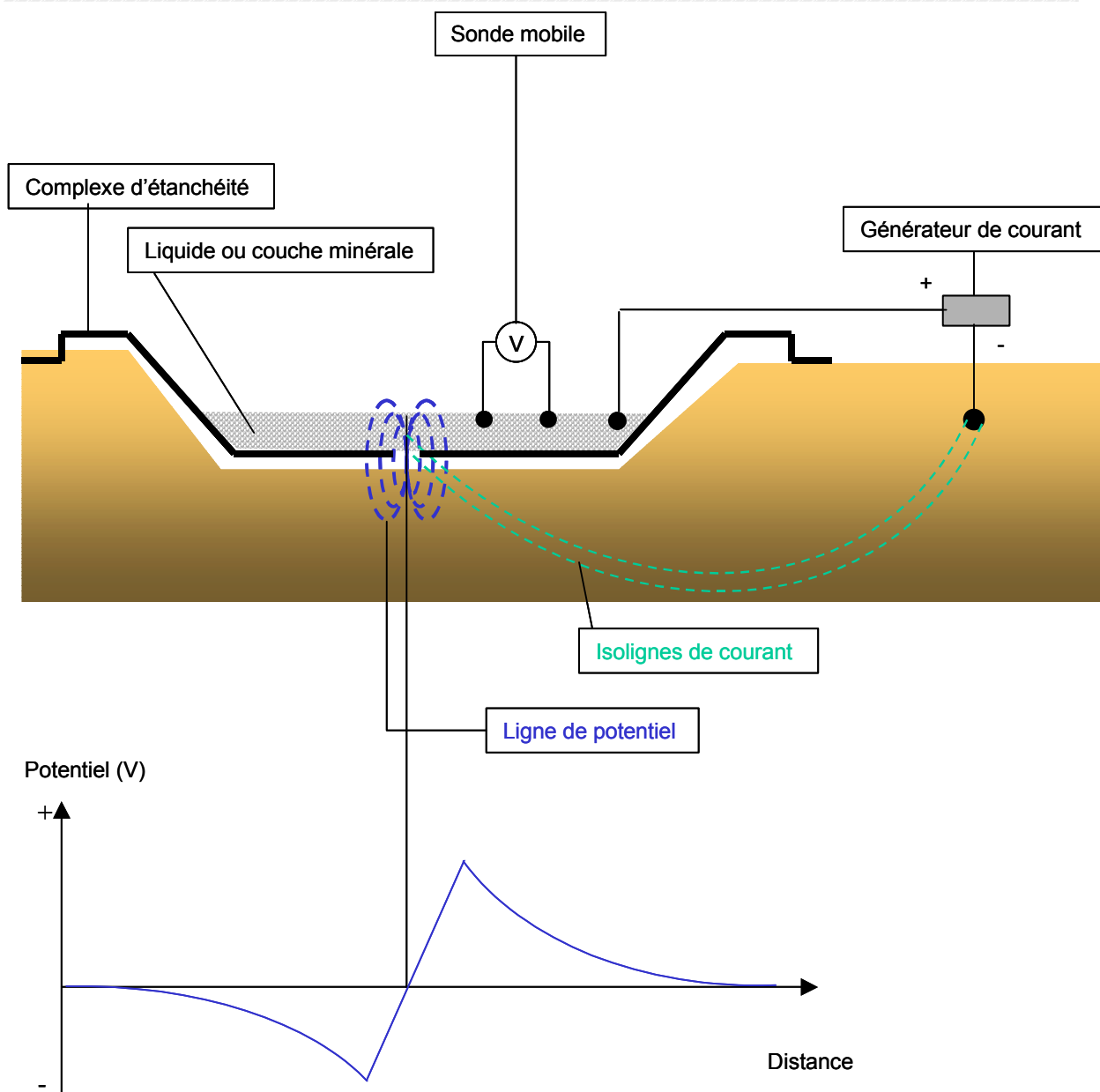


Figure 4 : Schéma de principe de la méthode géo-électrique dite "à sonde mobile"

### 3.2.3.2. Condition d'application

Toutes les géomembranes non conductrices (PP-F, FPE, PEHD, PVC-P, bitumineuses) peuvent être testées. Les lés, soudures, points singuliers (jonction avec des éléments extérieurs mais non métalliques) peuvent être prospectés.

---

Cette méthode s'applique aux produits recouverts après achèvement de la pose mais également au cours de la vie de l'ouvrage si on ne rencontre pas de problèmes de conductivité électrique (voir les limites particulières d'utilisation).

Un temps humide et/ou une pluie légère sont des conditions favorables à l'inverse du gel. Une pluie abondante est nuisible pour l'instrumentation et l'isolation électrique du bassin.

Un géotextile intercalé entre la géomembrane et le sol support peut faciliter la mesure.

### 3.2.3.3. Limites particulières d'utilisation

Dans le cas où la géomembrane est recouverte d'un liquide, la hauteur de celui-ci doit être comprise entre 0,1 et 1 m car au delà, la mobilité de l'opérateur est réduite.

Les matériaux de part et d'autre de la géomembrane doivent être conducteurs. Une argile très sèche sous la géomembrane pourra poser problème de même qu'une géogrille ou une couche de bentonite pulvérulente.

Les matériaux recouvrant la géomembrane (eau, boue, sable, terre, granulats, argile, déchet) doivent être, le plus possible, isolés électriquement du sol extérieur et contenir le moins possible d'éléments métalliques (Peggs, 1996). La prospection peut être gênée si la proportion d'éléments métalliques dans le matériau recouvrant la géomembrane est importante.

Il faut également faire attention aux effets de bords, créés par les pontages électriques des matériaux entre le dessus et le dessous de la géomembrane, si le matériau contenu dans l'ouvrage forme une couche continue en contact avec le sol extérieur. Ce pontage électrique va gêner les mesures en périphérie de l'ouvrage. Dans ce cas il faut isoler électriquement la périphérie de l'ouvrage.

Pendant la phase de mesure, pour éviter les perturbations électriques, la circulation d'engins doit être évitée.

Pour que la détection puisse être opérée, il doit y avoir un bon contact entre la géomembrane et le sol (pas de plis). L'existence d'une charge mécanique sur la géomembrane garantit en partie la bonne application de la géomembrane sur le sol dans les zones non plissées.

### 3.2.3.4. Facilité de mise en œuvre

L'opérateur doit avoir un niveau 3 de compétence.

Cette méthode est appliquée par des entreprises spécialisées qui ne la délèguent pas.

Le temps de mise en oeuvre est de l'ordre de la demi-journée. Le temps de mesure est immédiat, la durée d'interprétation des résultats est de 10 minutes maximum (recherche du défaut dans la zone suspecte).

La vitesse de prospection dépend du type de matériau recouvrant la géomembrane, de l'alimentation en eau dans le cas d'une humidification préalable nécessaire, de la géométrie du

---

---

site, des conditions climatiques, de l'expérience du personnel de surveillance. Cette vitesse de prospection est de l'ordre de 150 à 250 m<sup>2</sup> par opérateur et par heure.

### 3.2.3.5. Types d'informations et de résultats, sensibilité

Cette méthode permet de localiser des défauts avec fuite. Des défauts de moins de 1 mm de diamètre (trous d'épingle) peuvent être détectés (Peggs, 1996).

La sensibilité de cette méthode dépend :

- ↳ de la visibilité des perturbations engendrées par le défaut dans le champ de potentiel établi dans le sol (signal du défaut par rapport au bruit de fond ou à une anomalie connue comme la localisation d'un drain),
- ↳ de l'intensité du courant traversant le défaut : plus l'intensité du courant est élevée, plus le signal produit par le défaut est fort, meilleure est la sensibilité de détection ;
- ↳ de la qualité des mesures : sensibilité du multimètre, stabilisation du signal, etc... ;
- ↳ de la taille du maillage, qui est un paramètre très important de la mesure, car un maillage trop large ne permettra pas nécessairement de mettre en évidence deux défauts voisins ;
- ↳ de la résistivité électrique des matériaux situés de part et d'autre de la géomembrane ainsi que de leur homogénéité et de leur épaisseur (Darilek et Laine, 1999) ;
- ↳ de la nature du matériau recouvrant la géomembrane (un liquide permet une meilleure conductivité, un scan continu, et améliore de ce fait la sensibilité) (Swyka et al., 1999).

La résolution de cette technique est directement liée à la taille du maillage. Afin d'éviter que l'opérateur n'omette quelque défaut que ce soit, l'espace entre les profils de tests ne doit pas être de plus de 2 mètres. Il est donc conseillé d'effectuer un maillage le plus fin possible autour des zones de fuite. La résolution peut également être augmentée en maximisant la conductivité des matériaux recouvrant la géomembrane par un arrosage abondant (la charge hydraulique augmente l'efficacité).

Les résultats sont présentés sous la forme d'un plan de calepinage avec récolement des défauts repérés.

### 3.2.3.6. Types d'ouvrages auxquels la méthode est applicable dans les limites d'utilisation

Cette méthode s'applique :

- aux aires de stockage dont l'accès est possible: attention aux effets de bord ;
- aux canaux ;
- aux bassins ;
- aux ISD : pour le fond (si la géomembrane est recouverte) ;
- aux réservoirs y compris ceux en béton comportant un cuvelage.

---

### 3.2.4. Système fixe de détection, de localisation et d'alarme

#### 3.2.4.1. Principe de fonctionnement et calibration (Nosko et Ganier, 1999)

Des capteurs sont placés dans le sol sous la géomembrane, à faible profondeur. Ces capteurs sont positionnés selon une grille modélisée au préalable. Chaque capteur est relié par un câble électrique indépendant à un boîtier de contrôle situé à proximité de l'ouvrage. Après la pose de la géomembrane, de la couche de protection et de la couche de drainage, une source électrique est installée. Pour ce faire, une électrode est placée au-dessus de la géomembrane et une autre est mise à la masse dans le sol support de l'ouvrage. Un courant peut alors être appliqué. La densité de courant sous la géomembrane est ainsi mesurée par les différents capteurs et toute anomalie électrique proviendra d'un défaut de celle-ci.

L'ensemble des mesures est envoyé par liaison téléphonique (fax-modem, e-mail) au centre d'interprétation pour être analysé. Les défauts sont ainsi détectés et localisés.

Le logiciel développé pour l'interprétation des données prend en compte en particulier :

- ↻ la géométrie du site,
- ↻ le type d'étanchéité (simple ou double),
- ↻ la nature du support (terre, béton, sable, ...),
- ↻ la nature de la couche de protection (liquide, sable, ...),
- ↻ les systèmes de drainage eau et gaz sous ou sur la géomembrane.

Il peut dès lors prévoir le nombre d'électrodes nécessaires, la localisation de celles-ci, le nombre de mètres linéaires de fil électrique, le nombre et la position des boîtes électriques. La distance entre deux électrodes peut varier de 6 à 12 m.



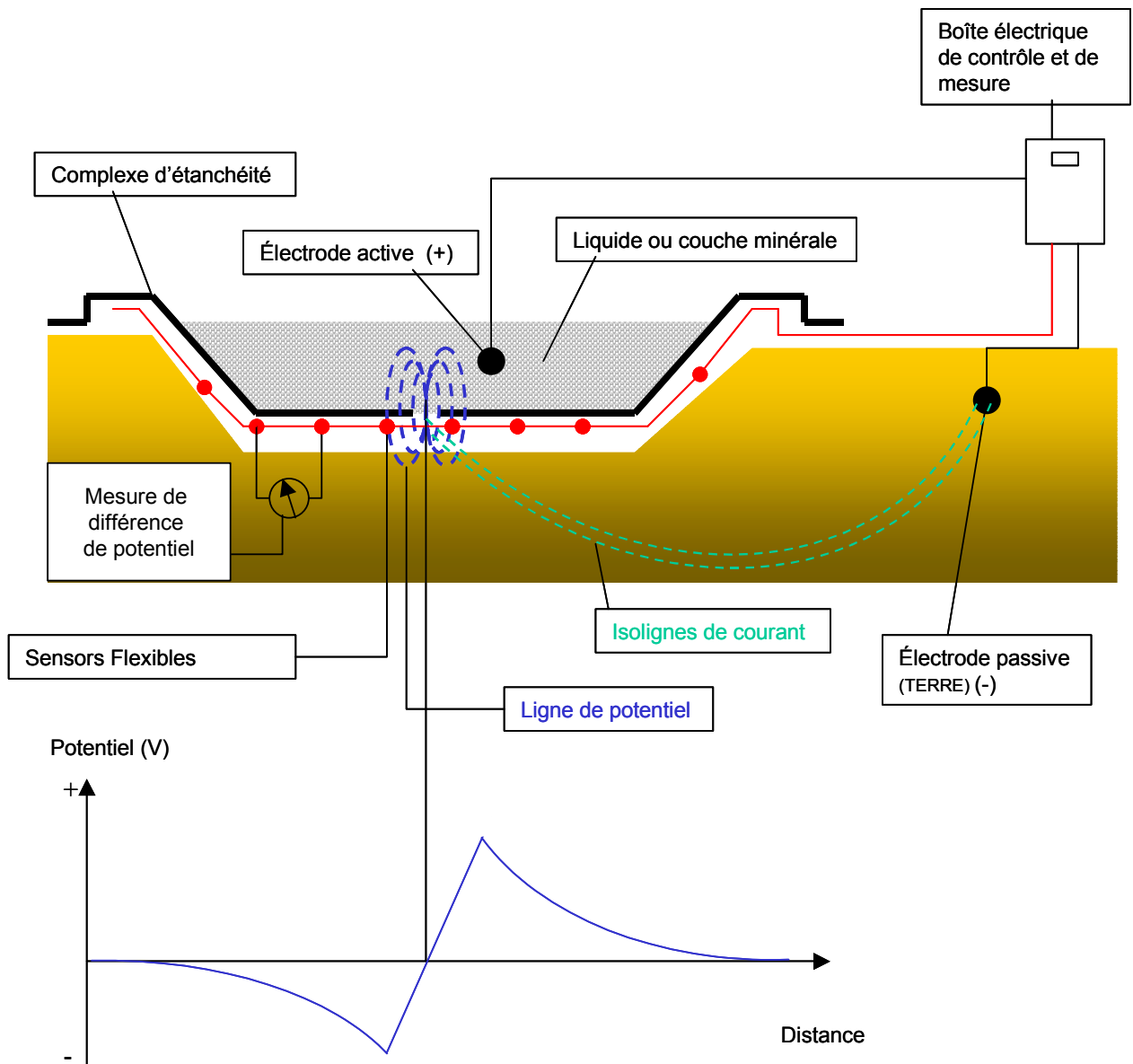


Figure 5 : Schéma de principe de la méthode Système fixe de détection, de localisation et d'alarme

### 3.2.4.2. Condition d'application

Toutes les géomembranes non conductrices (PP-F, FPE, PEHD, PVC-P, bitumineuses) peuvent être testées. Les lés, soudures, points singuliers peuvent être prospectés.

---

Cette méthode s'applique aux produits en utilisation ou recouverts. Cette méthode doit être prévue préalablement à la construction de l'ouvrage, car elle nécessite l'installation des capteurs sous la géomembrane. Elle est utilisable après la pose mais également au cours de la vie de l'ouvrage.

Par fortes pluies, les bords de la géomembrane étant mouillés, la polarisation électrique du site est difficile.

Par temps sec, les petits défauts sont difficilement localisables suite aux modifications de la conductivité électrique du sol.

Un géotextile intercalé entre la géomembrane et le sol support peut faciliter la mesure.

L'intérêt majeur de cette méthode réside dans le fait qu'elle permet une surveillance de l'étanchéité à la carte. Dans le cas des ISD où il semble illusoire d'excaver plusieurs mètres de déchets pour réparer les fuites de l'étanchéité, deux prospections peuvent être suffisantes. La première est à réaliser à réception de l'ouvrage, après mise en place de la couche drainante granulaire. La seconde est à réaliser après mise en place d'une couche de déchets de 50 à 60 cm d'épaisseur environ. Les retours d'expériences montrent en effet que c'est au cours de la réalisation de l'ouvrage et à la mise en place des premières couches de déchets que la majorité des défauts sont créés. Dans le cas des bassins de stockage d'effluents liquides vidangeables où la géomembrane peut être exposée sur des durées plus longues une auscultation sur des durées plus longues ne présente aucune difficulté quant à la réparation des défauts.

#### 3.2.4.3. Limites particulières d'utilisation

Les matériaux situés de part et d'autre de la géomembrane doivent être conducteurs et le plus homogènes possible. Une argile très sèche sous la géomembrane pourra poser problème de même qu'une géogrille ou une couche de bentonite pulvérulente.

Il est préférable avant une utilisation de cette méthode qu'une certaine humidité s'installe dans les couches minérales de l'ouvrage pour que celles-ci soient plus conductrices.

La surface maximale testable est de 6000 m<sup>2</sup> environ par centrale de mesure (128 électrodes). L'ouvrage à tester ne doit pas être trop petit pour pouvoir respecter un espacement minimal de 2 mètres entre deux électrodes voisines et un nombre minimal de 36 électrodes.

Pendant la phase de mesure, pour éviter les perturbations électriques, la circulation d'engins doit être évitée.

Pour détecter l'ensemble des défauts, plusieurs mesures successives doivent être effectuées (compter trois mesures par site).

Des précautions particulières doivent être prises en ce qui concerne les points singuliers. En ce qui concerne le passage de conduites à travers les géomembranes non conductrices, il est recommandé que celles-ci soient également constituées d'un matériau non conducteur afin d'éviter les anomalies électriques.

---

De même les ouvrages en béton doivent être revêtus d'une étanchéité non conductrice (PVC ou PE ou plaque de PE ou bitume) ou isolés du sol.

#### 3.2.4.4. Facilité de mise en œuvre

L'opérateur doit avoir un niveau 3 de compétence.

Cette méthode est appliquée par des entreprises spécialisées qui ne la délèguent pas.

Le temps de mise en oeuvre est de 3000 à 4000 m<sup>2</sup> par jour et par équipe pour un espacement de 8 mètres entre électrodes. Il faut compter également une heure de calibration. Le temps de mesure est de 2 minutes par mesure pour 10000 m<sup>2</sup>. La durée d'interprétation des résultats est de 2 heures par mesure.

#### 3.2.4.5. Types d'informations et de résultats, sensibilité

Cette méthode permet de localiser des défauts avec fuite avec une précision correspondant à 15 % de l'espacement entre deux électrodes. Ces valeurs sont typiquement de l'ordre de 0,5 à 1m. Les électrodes et câbles sont constitués de PEHD. Une garantie décennale est offerte sur ces éléments. Les résultats sont présentés sous la forme d'un rapport technique avec cartographie de la position des défauts.

La durabilité du système dépend de la qualité des électrodes et des conditions d'exploitation. Les électrodes les plus résistantes constituées de tubes en PEHD connectées par thermosoudage au câble en PEHD font l'objet d'une garantie décennale. La connaissance dont on dispose sur la durabilité des matériaux en PEHD laisse à penser qu'une durabilité minimale de 30 ans des capteurs est réaliste.

#### 3.2.4.6. Types d'ouvrages auxquels la méthode est applicable dans les limites d'utilisation

Cette méthode s'applique :

- aux aires de stockage ;
- aux bassins ;
- aux ISD ( fond, flancs, couverture) ;
- aux réservoirs y compris en béton contenant un cuvelage ;
- aux barrages.

### 3.3. Tests utilisant de l'air sous pression ou en dépression

#### 3.3.1. Cloche à vide

##### 3.3.1.1. Principe de fonctionnement

A l'aide d'une cloche à vide transparente (circulaire ou rectangulaire), on crée une dépression sur une portion de zone à tester, préalablement nettoyée et enduite d'un liquide savonneux. La présence d'un défaut entraîne l'apparition de bulles (ASNT, 1998).

La dépression est maintenue pendant 30 secondes minimum (Asqual, 2001b).

Pour les matériaux rigides (PEHD), la dépression est de l'ordre de 0,05 MPa (0,5 bar) tandis qu'elle est de 0,02 MPa (0,2 bar) pour les matériaux plus souples (PVC-P, FPE, PP-F, EPDM) (Asqual, 2001b).

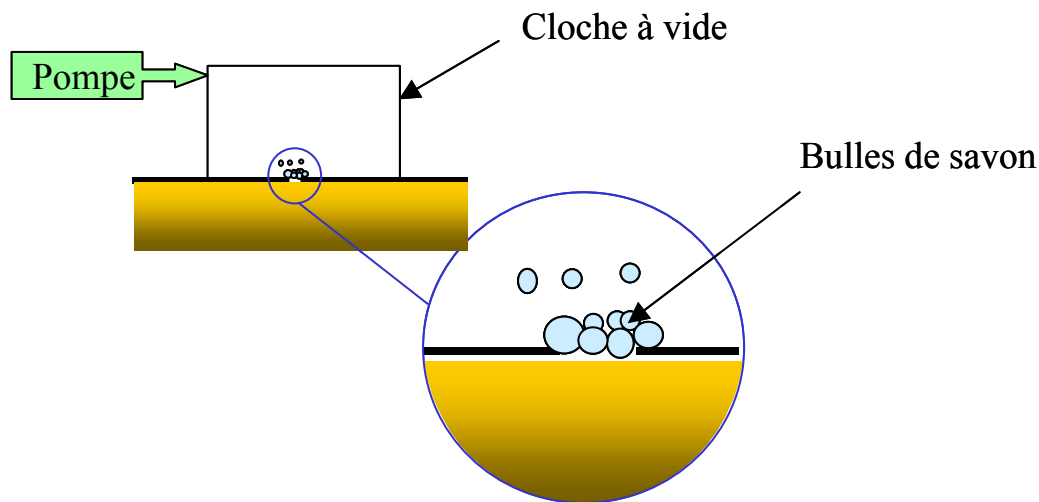


Figure 6 : Schéma de principe de la méthode de la cloche à vide

##### 3.3.1.2. Condition d'application

Toutes les géomembranes peuvent être a priori testées.

Les lés (lors de la validation de réparations ponctuelles), les simples soudures et celles par extrusion ainsi que les points singuliers s'adaptant à la forme et aux dimensions de la cloche peuvent être prospectés.

---

Cette méthode s'applique aux produits non recouverts pendant ou après la pose de la géomembrane, mais également au cours de la vie de l'ouvrage après enlèvement du contenu et nettoyage.

Par temps froid ou très chaud, l'intégrité de la géomembrane est à surveiller avec attention lors de la déformation induite par la mise en dépression. Cette remarque est en particulier valable par temps chaud pour les géomembranes bitumineuses qui ont tendance à fluer et pour les PP-F.

### 3.3.1.3. Limites particulières d'utilisation

La surface testable est inférieure au mètre carré.

Le contact géomembrane/cloche à vide nécessite un support plan et l'existence d'une résistance mécanique de ce support.

Un défaut de grandes dimensions peut masquer un défaut voisin de plus petites dimensions. C'est pourquoi il est indispensable à l'issue de la réparation d'un défaut de grandes dimensions de tester à nouveau la zone qui était défectueuse pour vérifier l'absence d'un autre défaut.

L'essai est difficilement réalisable sur paroi verticale.

### 3.3.1.4. Facilité de mise en œuvre

L'opérateur doit avoir un niveau 1 de compétence.

La durée de contrôle est inférieure à 5 minutes pour une zone de test, après identification du défaut ou du point singulier. Il dépend de la facilité d'accès de la zone à tester.

L'interprétation des résultats est immédiate.

La vitesse de prospection est fonction de la fréquence de contrôle requise et de l'accessibilité.

### 3.3.1.5. Type d'informations et de résultats, sensibilité

Cette méthode permet de localiser des défauts avec fuite. Des défauts de dimension inférieure au mm peuvent être détectés.

La précision des mesures est liée à la géométrie des soudures, notamment à leur planéité.

Les résultats sont présentés sous la forme d'un plan de récolement des défauts repérés.

### 3.3.1.6. Types d'ouvrages auxquels la méthode est applicable dans les limites d'utilisation

Cette méthode s'applique :

- aux aires de stockage ;
- aux bassins ;
- aux canaux ;
- aux ISD ;
- aux réservoirs y compris en béton comportant un cuvelage ;
- aux barrages ;

- 
- aux tunnels.

### **3.3.2. Mise en pression du canal central**

#### 3.3.2.1. Principe de fonctionnement

Ce contrôle concerne les doubles soudures automatiques à canal central. Il permet de vérifier l'étanchéité ainsi que la continuité de la soudure. Il consiste en une mise en pression d'air du canal central à l'aide d'une aiguille (si possible conique, qui de par sa forme assurera l'étanchéité lorsqu'elle sera piquée en force dans le canal au travers de l'une des deux géomembranes) reliée à un système permettant d'obtenir et de mesurer la pression de contrôle. Cette dernière est de l'ordre de 0,2 à 0,4 MPa (2 à 4 bars) selon les matériaux et les conditions de température.

L'aiguille peut être plantée dans le canal central, au travers de l'une des deux géomembranes, les deux extrémités du canal étant obturées, ou entrée en force et maintenue à l'une de ses extrémités (système dit "à pinces") l'autre étant obturée. Selon les conditions, en particulier les fortes températures et la longueur des soudures, il peut être nécessaire de réajuster une à deux fois la pression. En effet, il faut que la pression s'installe sur toute la longueur de la soudure et de plus le matériau peut légèrement fluer. Dans ce cas, le canal central augmente légèrement de volume et le système étant fermé, cela se traduit par une chute de pression sur le manomètre de contrôle. En principe, un à deux ajustements sont nécessaires pour un linéaire de 100 m.

La pression est maintenue pendant une durée de 5 minutes après stabilisation. Si la stabilisation ne se fait pas ou qu'il apparaît une chute de pression, c'est qu'il existe une fuite. Celle-ci peut être repérée soit au bruit pour le cordon intérieur (sifflement), soit à l'aide d'eau savonneuse pour le cordon extérieur. Si le défaut ne peut pas être repéré de cette manière, on procède par tronçons. On ouvre la soudure au centre et on teste la soudure de part et d'autre de cette ouverture. Cette procédure est répétée autant de fois que nécessaire jusqu'à repérage de la fuite.

Une fois le défaut réparé, on réitère la procédure pour déterminer s'il existe ou non d'autres défauts.

Lorsque la pression peut être maintenue pendant 5 minutes ou que la perte de pression est inférieure à 10% (Asqual, 2001b) (cette perte de pression tient compte du fluage encore possible des matériaux), on ouvre le cordon à l'extrémité de la soudure. Si la pression ne chute pas cela indique que le canal n'est pas continu (canal obturé). Dans ce cas, il faut tester indépendamment les uns des autres les différents tronçons continus de la soudure.

#### 3.3.2.2. Condition d'application

Les géomembranes PVC-P, FPE, PEHD et PP-F peuvent être testées (Asqual, 2001b).

Cette méthode s'applique aux produits non recouverts pendant ou après la pose de la géomembrane.

Sur les produits noirs, en pleine chaleur, il faut éviter des pressions trop fortes: 0,2 à 0,25 MPa maximum pour un PEHD de 20/10 mm d'épaisseur par exemple.

---

### 3.3.2.3. Facilité de mise en œuvre

L'opérateur doit avoir un niveau 2 de compétence.

La mise en œuvre de la méthode est immédiate, le temps de mesure de 5 min.

La durée d'interprétation des résultats est immédiate, mais la recherche de la fuite peut être longue (fonction de la longueur de la soudure).

La vitesse de prospection est fonction de l'opérateur (20 à 30 soudures par jour et par opérateur).

### 3.3.2.4. Type d'informations et de résultats, sensibilité

Cette méthode permet de localiser des défauts avec ou sans fuite. A noter qu'on peut localiser une fuite d'air qui ne donnera pas nécessairement une fuite de liquide lors de la mise en service de l'ouvrage : lors du contrôle, on détectera une fuite d'air sur le cordon extérieur mais ce défaut n'entraînera pas de fuite de liquide sur l'ouvrage.

Cette méthode permet de détecter des défauts de l'ordre du millimètre de façon fiable.

Les résultats sont présentés sous la forme d'un plan de calepinage avec récolement des défauts repérés.

### 3.3.2.5. Types d'ouvrages auxquels la méthode est applicable dans les limites d'utilisation

Cette méthode s'applique, dès lors qu'il y a présence de doubles soudures :

- aux aires de stockage ;
- aux bassins ;
- aux canaux ;
- aux ISD (fond, flancs et couverture) ;
- aux réservoirs y compris en béton comportant un cuvelage ;
- aux barrages ;
- aux tunnels.

### 3.4. Test à la pointe émoussée (ou au tournevis)

#### 3.4.1.1. Principe de fonctionnement

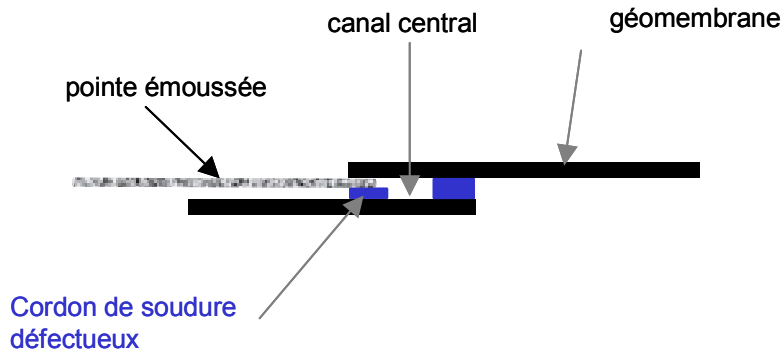


Figure 7 : Schéma de principe de la méthode dite à la pointe émoussée

Cette méthode permet la vérification de la bonne tenue mécanique de la soudure (absence de décollement).

La pointe émoussée (ou la lame du tournevis) est placée dans le plan de la géomembrane, parallèlement à la géomembrane et perpendiculairement au cordon de soudure. Une pression dépendant du type de géomembrane utilisée est alors appliquée avec l'outil. Des allées et venues sont effectuées sur de petites distances (5 à 10 cm) le long de la soudure et de part et d'autre du cordon dans le cas d'une extrusion.

Lorsque la pointe émoussée ou l'objet utilisé reste bloqué et/ou s'enfonce, on est en présence d'un défaut dans la soudure.

#### 3.4.1.2. Condition d'application

Toutes les géomembranes peuvent être testées (Asqual, 2001b).

Le cordon extérieur des doubles soudures ainsi que les soudures par extrusion peuvent être prospectés. Les points singuliers (jonction avec des éléments extérieurs) peuvent également faire l'objet de cet examen.

Cette méthode s'applique aux produits non recouverts lors de la pose de la géomembrane et après achèvement de celle-ci. Elle peut également s'appliquer après enlèvement de matériaux.

#### 3.4.1.3. Limites particulières d'utilisation

Sur les talus de plus de 2 m, des problèmes d'accessibilité et de sécurité peuvent subvenir.



---

Cette méthode est potentiellement destructive car elle peut endommager une soudure qui ne présentait pas de défaut avec fuite.

Elle est insuffisante pour la qualification des défauts. En effet, elle s'insère entre une inspection visuelle et l'utilisation d'une méthode plus performante qui permette de tester les points singuliers.

#### 3.4.1.4. Facilité de mise en œuvre

L'opérateur doit avoir un niveau 2 de compétence. Une formation pratique de l'opérateur est nécessaire car cette méthode nécessite un certain doigté.

Le temps de mise en œuvre est immédiat.

Pour une vérification soignée, la vitesse de prospection ne peut pas être rapide.

#### 3.4.1.5. Types d'informations et de résultats, sensibilité

Cette méthode permet de localiser des défauts avec ou sans fuite, en particulier on peut localiser un défaut de largeur de cordon ou une mauvaise géométrie de la soudure.

Les défauts détectables sont au minimum de l'ordre de la taille de la pointé émoussée (ou de la lame du tournevis) utilisée.

La précision du contrôle est fonction de l'outil utilisé. Elle est également tributaire de l'opérateur et du soin qu'il apporte au contrôle. Une absence de défaut détecté ne signifie pas l'absence absolue de défauts.

Cette méthode peut être d'utilisation rapide mais nécessite une vérification approfondie.

Les résultats sont présentés sous la forme d'un plan de calepinage avec localisation des défauts repérés.

#### 3.4.1.6. Types d'ouvrages auxquels la méthode est applicable dans les limites d'utilisation

Cette méthode s'applique :

- aux aires de stockage (parties planes ou talus accessibles) ;
- aux bassins ;
- aux canaux ;
- aux ISD (fond, flancs et couverture sous réservé d'accès) ;
- aux réservoirs y compris en béton comportant un cuvelage ;
- aux barrages ;
- aux tunnels.

---

## 3.5. Tests utilisant des traceurs fluides

### 3.5.1. Spectrométrie infrarouge

#### 3.5.1.1. Principe de fonctionnement

La méthode consiste à détecter le passage d'un gaz à l'aide d'un analyseur d'air, par exemple le méthane en couverture d'ISD, ou un traceur introduit sous la géomembrane pour une étanchéité en fond d'un ouvrage.

Toutes les géomembranes peuvent être testées, sur l'intégralité de leur surface. Dans le cas d'une étanchéité de fond, il est souhaitable que celle-ci ne soit pas recouverte par des matériaux susceptibles de générer des gaz pouvant perturber la détection.

Si la géomembrane est recouverte d'une couche de sol de protection, son épaisseur ne doit pas excéder 0,5 m (Swyka et al., 1999).

#### 3.5.1.2. Facilité de mise en œuvre

Cette méthode fait partie d'un domaine expert par conséquent un niveau 3 de compétence est exigé.

On peut tester aux environs de 160 hectares par jour à l'aide d'un hélicoptère.

La détection peut également être réalisée par l'intermédiaire d'un détecteur manuel déplacé par un opérateur. La surface quotidienne testée est donc nettement moins importante.

Cette méthode n'a jamais été utilisée en France jusqu'à présent.

#### 3.5.1.3. Type d'informations et de résultats, sensibilité

Les défauts peuvent être localisés à 0,6 m près pour des émanations de méthane à travers une géomembrane non recouverte (I-Corp, 2001).

#### 3.5.1.4. Types d'ouvrages auxquels la méthode est applicable dans les limites d'utilisation

La méthode a été appliquée aux ISD, en fond et en couverture, uniquement mais peut être appliquée à tout type d'ouvrage pour lequel un gaz peut être contenu sous la géomembrane.

### 3.5.2. Liquide coloré sous pression

#### 3.5.2.1. Principe de fonctionnement

Ce contrôle est à rapprocher du contrôle par "mise en pression du canal central".

Ce contrôle concerne les doubles soudures automatiques à canal central dans le cas de l'utilisation de géomembranes translucides (PVC-P ou FPE). Il permet de vérifier l'étanchéité ainsi que la continuité de la soudure.

---

---

On obture tout d'abord le canal central à une de ses extrémités, à l'aide d'une pince "étau". Une aiguille (si possible conique, qui de par sa forme assurera l'étanchéité lorsqu'elle sera piquée en force dans le canal au travers de l'une des deux géomembranes) reliée à un système permettant d'obtenir et de mesurer la pression de contrôle est introduite dans le canal central à environ 30 à 50 cm de la pince. Dès que le liquide coloré (fluorescéine ou bleu de méthylène) arrive à l'autre extrémité du canal, celui-ci est obturé par une deuxième pince "étau". Une pression de 0,2 MPa (2 bars) est alors maintenue pour les géomembranes en PVC-P.

Si au bout de 2 minutes la perte de pression est inférieure à 0,02 MPa, la soudure est considérée comme conforme. Si elle est supérieure à 0,02 MPa, la soudure est non conforme. Toute ou une partie de celle-ci doit alors être reprise selon que le défaut est localisable ou non. L'existence d'un défaut est mise en évidence par un écoulement de liquide coloré et une chute de pression.

#### 3.5.2.2. Condition d'application

Seules les géomembranes translucides peuvent être testées. Cette méthode ne concerne que les doubles soudures (pour les autres matériaux, voir le paragraphe 3.3.2 relatif à la "mise en pression du canal central").

Cette méthode s'applique aux produits non recouverts pendant ou après la pose de la géomembrane.

#### 3.5.2.3. Facilité de mise en œuvre

L'opérateur doit avoir un niveau 2 de compétence. Cette méthode est souvent exécutée par des bureaux de contrôle interne.

La mise en œuvre est immédiate, le temps de mesure également.

La durée d'interprétation des résultats est immédiate s'il y a une fuite.

Une vingtaine de soudures peuvent être testées par jour.

#### 3.5.2.4. Type d'informations et de résultats, sensibilité

Cette méthode permet de localiser des défauts avec ou sans fuite. A noter qu'on peut détecter une non-continuité de la soudure qui ne donnera pas nécessairement une fuite de liquide lors de la mise en service de l'ouvrage.

Cette méthode permet de détecter des défauts de l'ordre du millimètre de façon fiable.

Les résultats sont présentés sous la forme d'un plan de calepinage avec récolement des défauts repérés.

---

### 3.5.2.5. Types d'ouvrages auxquels la méthode est applicable dans les limites d'utilisation

Cette méthode s'applique essentiellement aux tunnels et aux ouvrages comportant un cuvelage.

## **3.6. Tests utilisant la thermographie infrarouge**

### **3.6.1. Principe de fonctionnement et calibration**

La thermographie infrarouge (TIR) permet de visualiser les variations de flux de chaleur. Par exemple, un courant d'air froid ou chaud à travers un défaut peut générer une variation de température qui va pouvoir être détectée. Il en est de même pour un courant de liquide.

A l'aide d'un radiomètre-imageur (scanneur ou caméra thermique) sensible dans l'infrarouge, on balaie la surface à tester afin de mesurer sa température.

Deux applications de la TIR sont utilisables pour les ouvrages étanchés par des géomembranes :

- ↳ les géomembranes PEHD non recouvertes, en fond d'ouvrage par exemple, constituent une barrière thermique. En effet, ces dernières ont une conductivité thermique relativement faible ; ainsi de jour la température de la géomembrane est plus élevée que celle du sol, alors que c'est le contraire la nuit (Swyka et al., 1999) ; un courant d'air froid ou chaud à travers un défaut va donc générer une variation de température qui va pouvoir être détectée ;
- ↳ lorsque la géomembrane est recouverte, et qu'il y a un flux de liquide à travers cette dernière, il va pouvoir être détecté à la surface du sol avoisinant. En effet, l'eau ( ou une zone humide) possède une forte inertie thermique, elle est donc plus froide que le sol le jour, et plus chaude la nuit.

### **3.6.2. Condition d'application**

Toutes les géomembranes peuvent a priori être testées.

La TIR permet de détecter des anomalies qui indiquent une zone potentielle de défaut dans le cas d'une géomembrane recouverte ou non. Il peut alors être nécessaire d'avoir recours à une méthode complémentaire de détection de fuites pour déterminer si c'est bien un défaut qui est à l'origine de cette anomalie. Il faut privilégier un temps froid et sec pour réaliser un test avec la TIR.

Cette méthode s'applique au cours de la vie de l'ouvrage.

### **3.6.3. Limites particulières d'utilisation**

Dans le cas d'une géomembrane non recouverte, cette dernière doit être sèche (Peggs, 1996).

Les essais doivent de préférence être effectués en seconde partie de nuit, lorsque le refroidissement est bien entamé, et le jour au maximum d'échauffement, vers 14h00 ou 15h00.

---

---

Une couverture végétale de type plantation de conifères peut poser problème en conditions hivernales. En effet une densité de feuillage élevée empêche la mesure de la température du sol. On mesure donc la température de l'arbre et non pas celle du sol situé dessous.

#### **3.6.4. Facilité de mise en œuvre**

L'opérateur doit avoir un niveau 3 de compétence.

Le temps de mise en œuvre est de 24 heures, le temps de mesure de quelques minutes et la durée d'interprétation des résultats estimée à une semaine.

La vitesse de prospection est d'environ 10 km / h pour les tests sur les soudures de géomembranes, pour une géomembrane non recouverte (Peggs, 1996) car les mesures s'effectuent généralement à partir d'un hélicoptère.

#### **3.6.5. Types d'informations et de résultats, sensibilité**

La résolution thermique est de 0,06°C pour les tests effectués sur les soudures des géomembranes non recouvertes et de 0,1°C pour les géomembranes recouvertes, avec une résolution spatiale de 0,2 à 0,3 m.

Le résultat obtenu est une cartographie des températures (jour et nuit). On doit interpréter les zones d'anomalies. En effet, toute source d'humidité (non nécessairement liée à une fuite) peut être détectée. Une anomalie thermique peut également correspondre dans le cas d'un ISD à une activité bactérienne intense liée à la diffusion d'air et pas nécessairement à une émission de méthane. La réalisation d'un plan des anomalies thermiques d'une zone doit être complétée par des observations visuelles afin d'éliminer les sources non liées à des fuites de liquide ou de gaz.

#### **3.6.6. Types d'ouvrages auxquels la méthode est applicable dans les limites d'utilisation**

Cette méthode est applicable aux géomembranes non recouvertes a priori dans tous types d'ouvrages, aux soudures, et aux couvertures d'ISD, pour l'intégralité de la surface.

### **3.7. Tests utilisant des ultrasons**

#### **3.7.1. Principe de fonctionnement et calibration**

L'appareil est basé sur un échographe et un transducteur déplacé à la surface de la soudure à tester, préalablement mouillée pour assurer une bonne transmission des ultrasons entre le(s) capteur(s) et la géomembrane, soit à l'aide d'eau, soit en y ajoutant de la colle de tapissier pour assurer une viscosité suffisante sur les pentes.

L'appareil émet alors un signal sonore pour la méthode portative ou visuel pour la machine automatique.

La bande utilisée est comprise entre 1 et 3 MHz. La figure 8 illustre les échos qui sont obtenus en retour suite à une émission d'ultrasons et observés sur un oscilloscope pour la machine automatique. Dans le cas où la soudure est continue dans son épaisseur on observe deux pics, aux interfaces entre la géomembrane et le milieu environnant (points A et C). Dans le cas où il existe une discontinuité dans la soudure un pic correspondant à cette dernière est également observé (point B).

Cette méthode repose sur l'utilisation d'un appareil portatif ou d'une machine automatique sur pneus.

La machine automatique comporte 24 capteurs d'ultrasons. Pour assurer la continuité entre l'appareil à ultrasons et le joint à tester, une rampe vaporise de l'eau sur la géomembrane (Breul et al., 1998). La machine progresse le long de la soudure testée (les soudures peuvent aller jusqu'à 20 cm de largeur, ce qui correspond à la largeur de la rampe de capteurs) en prenant une mesure tous les millimètres. Chaque émetteur balaie une bande parallèle au sens de déplacement. Chaque bande est subdivisée en rectangles virtuels (9 mm x 5 mm) afin de faciliter le traitement de l'information et son enregistrement (Breul et al., 1998).

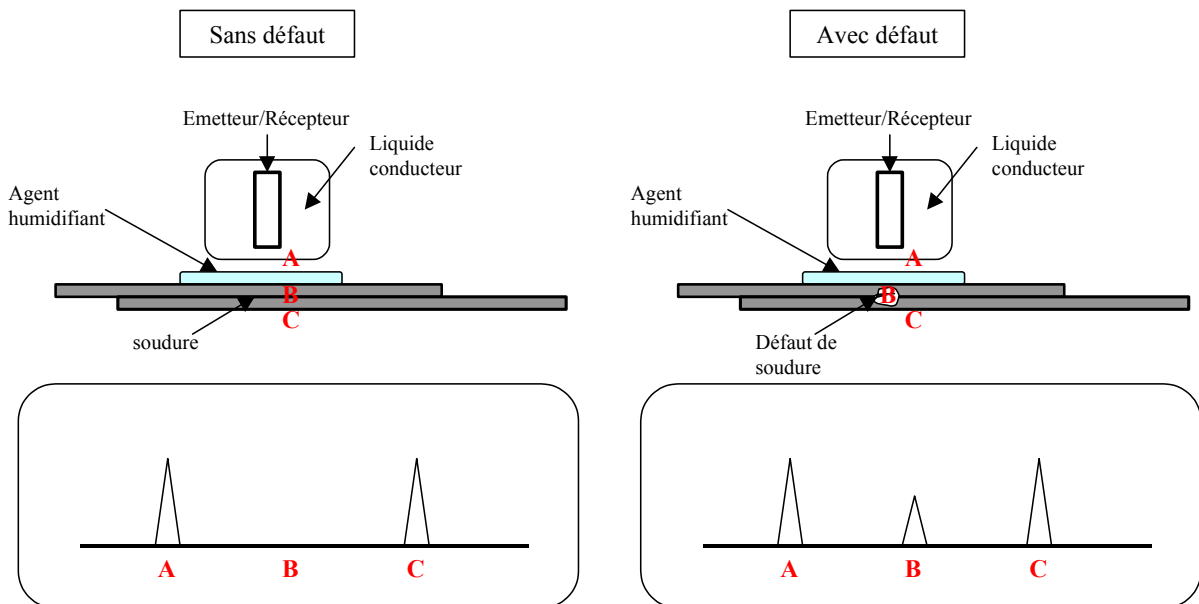


Figure 8 : Schéma de principe de la méthode utilisant des ultrasons

Avant toute utilisation, l'émetteur/récepteur est réglé en utilisant une plaque de PVC rigide, d'épaisseur et d'impédance acoustique constante. La machine est ensuite calibrée par rapport à l'épaisseur de la géomembrane testée.

---

### 3.7.2. Conditions d'application

Toutes les géomembranes sont a priori testables. Cependant seules les géomembranes bitumineuses ont été testées.

Les soudures et les points singuliers réalisés manuellement peuvent être prospectés.

Cette méthode s'applique aux produits non recouverts lors de la pose ou après achèvement de celle-ci. L'utilisation au cours de la vie de l'ouvrage peut être envisageable si la membrane est propre et non recouverte ; celle-ci peut être humide.

La température ambiante ne doit pas dépasser 35°C sinon la machine automatique qui pèse 200 kg environ, marque la géomembrane dont la température va atteindre 60 à 70°C dans ces conditions.

### 3.7.3. Limites particulières d'utilisation

La soudure testée doit être plane. La tolérance sur cette planéité est le centimètre. Les machines automatiques ne sont pas systématiquement adaptées à l'utilisation sur pentes car elles sont déplacées à partir d'un treuil situé dans un véhicule placé en tête de talus. Les machines portatives sont, quant à elles, utilisables.

### 3.7.4. Facilité de mise en œuvre

L'opérateur doit avoir un niveau 3 de compétence que ce soit pour l'appareil portatif ou pour la machine.

La calibration initiale nécessite une journée. Pour la vérification de la calibration chaque matin, il faut compter une demi-heure.

Le temps de mesure est immédiat. L'interprétation des résultats peut être faite immédiatement ou reportée en fin de journée sur la base des résultats collectés ce qui permet en outre de vérifier si les réparations ont été effectuées.

La vitesse de contrôle est de l'ordre de 250 à 500 m par jour, à plat, avec la machine automatique et de 80 à 100 m par jour avec l'appareil portatif.

### 3.7.5. Types d'informations et de résultats, sensibilité

Cette méthode permet de localiser des défauts avec ou sans fuite.

Dans le cas de l'appareil portatif l'opérateur peut définir la zone défectueuse et la signaler par un marquage à la peinture sur la membrane.

Pour la machine automatique, les résultats de mesure sont stockés en mémoire de l'ordinateur, et sont dépouillés sous forme de listing graphique présentant en abscisse la position le long de la soudure, et en ordonnée le nombre de capteurs indiquant un défaut.

---

La résolution est de 5 mm<sup>2</sup>. Cependant, le logiciel ne définit que les défauts d'au moins 1,5 cm<sup>2</sup> (Breul et al., 1998).

### **3.7.6. Types d'ouvrages auxquels la méthode est applicable dans les limites d'utilisation**

Cette méthode s'applique :

- aux aires de stockage ;
- aux canaux ;
- aux couvertures d'ISD ;
- aux bassins, avec un contrôle manuel pour les bassins de petite rétention (< 10000m<sup>2</sup>) ;
- aux barrages.



### 4. Synthèse

	Aire de stockage	Barrage	Bassin	Canal	ISD		Réservoir	Tunnel
					Fond et flancs	Couverture		
Géomembrane conductrice	*	*	*	*	*		*	*
Jet d'eau	*		*	*	*		*	
Sonde mobile	*		*	*	*		*	
Système fixe de détection de localisation et d'alarme	*	*	*		*	*	*	
Cloche à vide	*	*	*	*	*	*	*	*
Mise en pression du canal central	*	*	*	*	*	*	*	*
Test à la pointe émoussée (au tournevis)	*	*	*	*	*	*	*	*
Spectrométrie infrarouge					*	*		
Liquide coloré sous pression								*
Thermographie infrarouge	*	*	*	*	*	*	*	*
Ultrasons	*	*	*	*	*	*		

Tableau 1 : Synthèses des ouvrages auxquels les différentes méthodes sont applicables, dans leurs limites d'utilisation

	Lés	Soudures	Jonction avec des éléments extérieurs à la géomembrane
Géomembrane conductrice	✱	✱	✱
Jet d'eau	✱	✱	✱
Sonde mobile	✱	✱	✱
Système fixe de détection de localisation et d'alarme	✱	✱	✱
Cloche à vide		✱	✱
Mise en pression du canal central		✱	
Test à la pointe émoussée		✱	✱
Spectrométrie infrarouge	✱	✱	✱
Liquide coloré sous pression		✱	
Thermographie infrarouge	✱	✱	✱
Ultrasons		✱	

Tableau 2 : Synthèses des zones de la géomembrane pouvant être testées pour chacune des méthodes recensées

	Bitumineuses	Géomembrane conductrice	PEHD	PP-F	PVC-P	EPDM	FPE	Niveau de qualification
Géomembrane conductrice		✱						1
Jet d'eau	✱		✱	✱	✱		✱	2
Sonde mobile	✱		✱	✱	✱		✱	3
Système fixe de détection de localisation et d'alarme	✱		✱	✱	✱		✱	3
Cloche à vide	✱	✱	✱	✱	✱	✱	✱	1
Mise en pression du canal central			✱	✱	✱		✱	2
Test à la pointe émoussée (au tournevis)	✱	✱	✱	✱	✱	✱	✱	2
Spectrométrie infrarouge	✱	✱	✱	✱	✱	✱	✱	3
Liquide coloré sous pression					✱			2
Thermographie infrarouge	✱	✱	✱	✱	✱	✱	✱	3
Ultrasons	✱	✱	✱	✱	✱	✱	✱	3

Tableau 3 : synthèse des types de géomembrane auxquels chaque méthode est applicable et du niveau de qualification requis (voir paragraphe 2.5).

## 5. Bibliographie

Afnor, (1998). Norme NF- P 84-500 : Géomembranes, terminologie, 20 pages.

ASNT (American Society for Nondestructive Testing) (1998). Nondestructive testing handbook, Leak testing, volume 1, Troisième édition, Part 3. Leak testing of geosynthetic membranes, pp.592-597.

Asqual (2001a). Référentiel technique prescrit pour les géomembranes. Certificat de qualité produit. Révision n°8. 53 pages.

Asqual (2001b). Certification de services "application de géomembranes", Référentiel technique soudage sur chantier, en atelier et pour ouvrages souterrains, 83 pages.

Breul, B., Carroget, J. et Herment, R. (1998). Automatic ultrasound seam tester for bituminous geomembranes – Development and field results, Sixth International Conference on Geosynthetics, Atlanta, Georgia, USA, pp. 345-348.

CEN European Committee for Standardization (1998). Required characteristics for geomembranes and geomembrane-related products used in tunnels and underground structures. Projet de norme européenne prEN 189032, version novembre 1998, 12 pages.

CEN TC 189, European Committee for Standardization (2001). Geosynthetic Barriers – Characteristics required for use in the construction of reservoirs and dams. Version janvier 2001, référence prEN 13361 :2001, 34 pages.

Darilek, G.T. and Laine, D.L. (1999). Performance-based specification of electrical leak location surveys for geomembrane liners, Geosynthetics '99, Boston, Massachusetts, USA, April 28-30 1999, pp. 645-650.

Adams, M.W. (1997) Application of Conductive Geomembranes in Containment Applications, Proceedings Sardinia'97, Sixth International Landfill Symposium; Christensen, Cossu and Stegmann Eds., Volume III, pp. 57-63.

I-CORP International (1997) Geomembrane liner integrity survey technologies and their findings, report, 11 pages.

Lambert (1997)

Peggs, I.D. (1996). Defect identification, leak location, and leak monitoring in geomembrane liners, in Proceedings of the first european geosynthetics conference, Geosynthetics : Applications, Design and Construction, Maastricht, Netherlands, 30 september – 2 october 1996, de Groot, den Hoedt and Termaat Eds., pp. 611-618.

Phaneuf, R. and Peggs, I.D. (2001). Landfill construction quality, Lessons learned from electrical resistivity testing of geomembrane liners, Geotechnical Fabrics Report, April 2001, pp. 28-35.

Pirion, T. (1998). Mise au point d'une méthode de dimensionnement des dispositifs d'étanchéité par géomembrane vis à vis du poinçonnement. Rapport de stage, Antony, Cemagref, 146 pages.

Rollin, A.L. and Jacquelin, T. (1998). Geomembrane Failures : Lessons Learned From Geo-Electrical Leaks Surveys, in Lessons learned from geomembrane failures by J.P. Giroud (to appear), 17 pages.

Nosko, V. & Ganier, P. (1999) Damage Detection System – The New Tool for In-Situ Testing of Integrity of Geomembranes: Comparison and Results, in Two days seminar of Landfill Interest Group, Institute of Waset management, 16 & 17 September 1999, Cape Town, South Africa.

Swyka, M.A., Hullings, D., Losue, G. and Peggs, I.D. (1999). Overview of landfill liner leak location technologies, Waste Technical Conference, New Orleans, LA, USA, Feb 1-2, 9 pages.