

Surveillance d'une structure confinante

Utilisation d'un gaz traceur vis-à-vis d'une géomembrane



C4H5O2_5 2/ 9/99 THERMC 4H 50 2 0G 300.000 5000.000 1392.000 1
1.64121890E+01 1.20184883E-02-4.40468566E-06 7.30124728E-10-4.42784365E-14 2

SURVEILLANCE D'UNE STRUCTURE CONFINANTE

UTILISATION D'UN GAZ TRACEUR VIS-A-VIS
D'UNE GEOMEMBRANE

RAPPORT FINAL

avril 1994

G. BEAUDOING - CEN Grenoble

Créée en 1989 à l'initiative du Ministère en charge de l'Environnement, l'association RECORD – REseau COopératif de Recherche sur les Déchets et l'Environnement – est le fruit d'une triple coopération entre industriels, pouvoirs publics et chercheurs. L'objectif principal de RECORD est le financement et la réalisation d'études et de recherches dans le domaine des déchets et des pollutions industrielles.

Les membres de ce réseau (groupes industriels et organismes publics) définissent collégalement des programmes d'études et de recherche adaptés à leurs besoins. Ces programmes sont ensuite confiés à des laboratoires publics ou privés.

Avertissement :

Les rapports ont été établis au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

Ces documents comprennent des propositions ou des recommandations qui n'engagent que leurs auteurs. Sauf mention contraire, ils n'ont pas vocation à représenter l'avis des membres de RECORD.

- ✓ Pour toute reprise d'informations contenues dans ce document, l'utilisateur aura l'obligation de citer le rapport sous la référence :
RECORD, Surveillance d'une structure confinante : Utilisation d'un gaz traceur vis-à-vis d'une géomembrane, 1994, 86 p, n°91-0501/2A.
- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)
www.ademe.fr

© RECORD, 1994

Etude RECORD n°91-0501/2A

**UTILISATION D'UN GAZ TRACEUR
POUR LE MONITORING D'UNE DECHARGE**

CEA/DTA/DAMRI/SAR

**Section d'Application des Traceurs
Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble
17, rue des Martyrs
38054 GRENOBLE CEDEX 9**

**Tél. 76.88.48.28
Fax : 76.88.51.34**

Phase 1 : Etude expérimentale

1994

**T. CHARENTUS
G. BEAUDOING**

RESUME

Dans le cadre du contrat de recherche n° 91501 et de son avenant n° 91501/2A intitulés "UTILISATION D'UN GAZ TRACEUR POUR LE MONITORING D'UNE DECHARGE" : (thème 10 : déchets et sols, surveillance d'une structure confinante) l'Association RE.CO.R.D. a confié à la Section d'Application des Traceurs la mise au point au laboratoire, sur pilote et "in situ" d'une méthodologie qui permet de contrôler la tenue des cordons de collage de géomembranes avant et pendant l'exploitation du stockage de déchets.

Le rapport final rend compte des opérations qui se sont déroulées au cours des deux années d'étude.

Ces opérations ont porté en particulier sur :

- l'évaluation de l'aptitude de l'appareillage de détection du gaz traceur à localiser facilement une perforation calibrée à travers laquelle s'écoule le gaz traceur sous pression,
- à apprécier les limites et les performances de la méthode proposée utilisant des gaz traceurs,
- à réaliser sur site, l'étude comparative de deux gaz traceurs (Hélium, Hexafluorure de Soufre) utilisés pour déceler des fuites calibrées sur une géomembrane nue et recouverte de déchets réels (ordures ménagères, déchets inertes).

SOMMAIRE

1 - INTRODUCTION

2 - OBJECTIFS DE L'ETUDE

3 - MISE AU POINT DE LA METHODE

3.1. Principe de la méthode

3.2. Planning des essais

a - au laboratoire

b - sur pilote

c - "in situ" sur Centre d'Enfouissement Technique

4 - TECHNOLOGIE DES ESSAIS

4.1. Au laboratoire

4.1.1. Chaîne de mesure

4.1.2. Géomembrane

4.1.3. Cellule de perméation

4.1.4. Essais de perméation

4.2. Sur pilote

4.2.1. Aménagement du pilote pour les essais de perméation d'Hélium

4.2.2. Etude préliminaire des conditions optimales de perméation d'Hélium

4.2.3. Recherche de défauts calibrés sur des géomembranes encollées

4.2.4. Recherche de défauts calibrés sur des géomembranes encollées et recouvertes d'une couche sableuse drainante

4.3. En site industriel de type CET

4.3.1. Appareillage de contrôle

4.3.2. Géomembrane, étude sur site

a - "chambre" ou volume inter-joints neuf

b - "chambre" ou volume inter-joints perforé

4.3.3. Appareillage de détection de gaz traceur

a - détecteur portable d'Hélium

b - détecteur portatif d'Hexafluorure de Soufre (SF6)

4.3.4. Essais de terrain

5 - ADAPTATION INDUSTRIELLE

5.1. Adaptations techniques

5.1.1. Gaz traceur

5.1.2. Adaptation initiale du site étanchéifié

5.1.3. Evaluation des coûts

a - gaz traceur Hélium

b - gaz traceur Hexafluorure de soufre

6 - CONCLUSIONS

7 - ANNEXES

Annexe 1 : Appareillages

1 - INTRODUCTION

Dans le cadre d'étude n° 91501 intitulé "UTILISATION D'UN GAZ TRACEUR POUR LE MONITORING D'UNE DECHARGE", l'Association RE.CO.R.D. a confié à la Section d'Application des Traceurs la mise au point d'une méthodologie qui permet de contrôler la tenue d'une géomembrane encollée utilisée pour le confinement des déchets sur un site de stockage.

La Section d'Application des Traceurs a notamment décidé de mettre en oeuvre un gaz traceur : l'Hélium qui peut être détecté à très faible concentration pour des utilisations systématiques en recherches de fuites de fluide.

Au cours de la phase d'essais réalisés "in situ", des essais complémentaires et comparatifs ont été réalisés avec un autre gaz traceur : le SF6 ou hexafluorure de soufre.

L'étude complète s'est déroulée en plusieurs phases au cours des années 1992 - 1993 :

- phase 1 : étude bibliographique sur l'état de l'art des géomembranes,
- phase 2 : réalisation d'un pilote et d'un banc d'essai à l'Hélium,
- phase 3 : mise au point et validité de la méthode,
- phase 4 : sur pilote, application de la méthode de contrôle des joints encollés avant et après recouvrement par une couche sableuse de drainage,
- phase 5 : "in situ", application de la méthode sur un encollage de géomembrane avec le gaz traceur HELIUM,
- phase 6 : "in situ", application de la méthode sur un encollage de géomembrane avec le gaz traceur SF6.

Par ailleurs, une synthèse sur les appareillages portables et portatifs pouvant être utilisés pour la mise en application de la méthode est présenté en annexe.

2 - OBJECTIFS DE L'ETUDE

La méthodologie proposée permet d'assurer la surveillance d'une structure confinante par mise en oeuvre d'un gaz traceur (Hélium, SF6) vis-à-vis des double cordons de soudure de géomembranes encollées.

Pour être atteints, les objectifs de l'étude vont donc nécessiter des expérimentations au laboratoire et "in situ" qui permettront de tester la méthode, d'apprécier son efficacité avec ses limites d'utilisation "in situ" et de voir l'intérêt d'utiliser un second gaz traceur de type SF6.

3 - MISE AU POINT DE LA METHODE

3.1. Principe de la méthode

L'étanchéité de soubassement de stockage est assurée par la dépose de géomembranes encollées à l'aide de deux cordons de soudure.

Le contrôle global et localisé de cet encollage est obtenu par la mise en pression d'un gaz traceur (Hélium ou SF6) dans la chambre inter cordon de soudure et son inspection longitudinale avec un appareillage portable ou portatif de détection du traceur utilisé.

L'absence de ces gaz (He, SF6) dans le milieu ambiant ou leur présence à l'état de trace permet l'utilisation aisée de l'un ou l'autre de ces gaz traceurs tant en laboratoire que sur un Centre d'Enfouissement Technique.

Le schéma de principe de la méthode est présenté sur la figure 1.

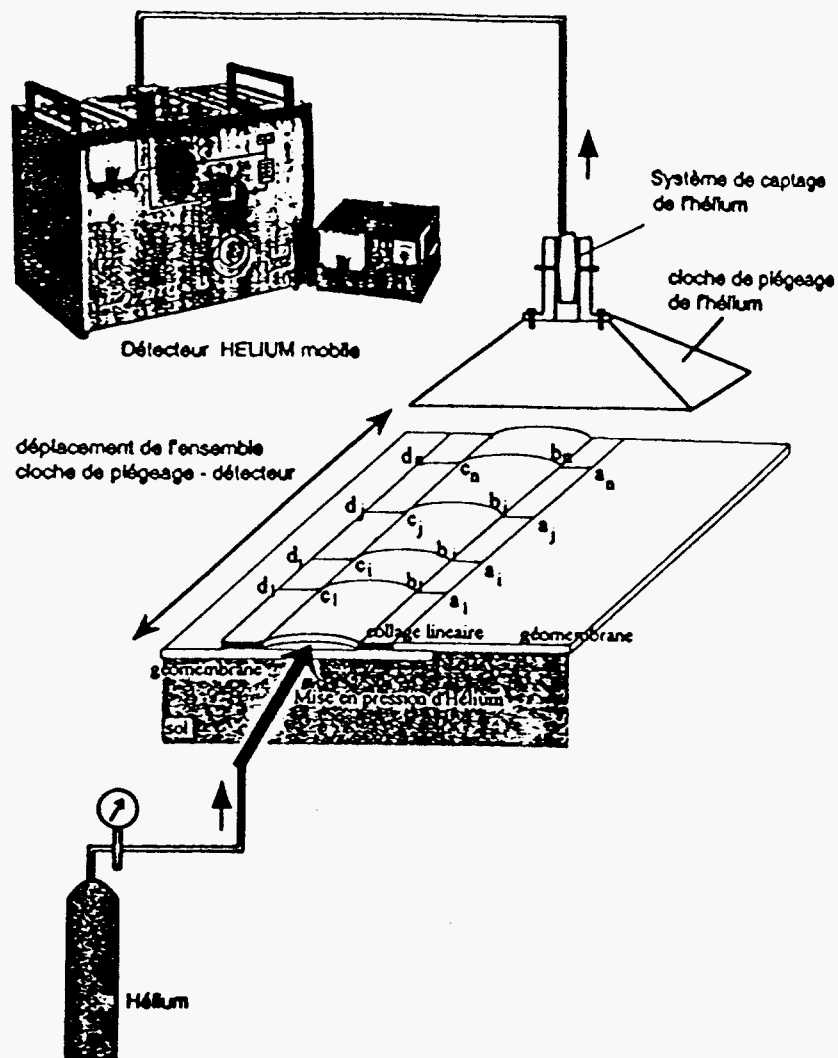


Figure 1 : Schéma de principe de la méthode proposée pour tester l'étanchéité de cordons de soudure.

3.2. Planning des essais

Les phases expérimentales réalisées au cours du programme d'étude sont présentées ci-dessous :

1. Au laboratoire : cellule d'essais sur des membranes avec et sans joints d'encollage
 - a - réalisation et essais de réception de la cellule de perméation gazeuse et du banc de mesures,
 - b - essais de perméation à l'Hélium,
 - c - rapports réalisés :
 - mars 1992 : rapport DTA/DAMRI/SAR/SAT/RAP/92.09
 - juillet 1992 : rapport DTA/DAMRI/SAR/SAT/RAP/92.28

2. Sur pilote : pilote à échelle semi-industrielle avec géomembranes neuves et perforées utilisées sans et avec couche sableuse drainante.
 - a - réalisation et essais préliminaires de réception du pilote,
 - b - essais de perméation à l'Hélium,
 - c - rapports réalisés :
 - juillet 1992 : rapport DTA/DAMRI/SAR/SAT/RAP/92.28
 - octobre 1992 : rapport DTA/DAMRI/SAR/SAT/RAP/92.40
 - mars 1993 : rapport DTA/DAMRI/SAR/SAT/RAP/93.06

3. "In situ" sur Centre d'Enfouissement Technique : géomembrane posée en soubassement sur CET avec double cordons d'encollage et chambre inter cordons.
 - a - essais de perméation à l'Hélium à travers les parois d'une chambre intercordons de soudure simulée par un tuyau vinyl neuf et avec des perforations calibrées, essais réalisés sans et avec une couche de déchets d'ordures ménagères et de déchets inertes non broyés.
 - b - essais de perméation à l'Hélium et à l'Hexafluorure de Soufre (SF₆) à travers les parois de la chambre intercordons de soudure de deux géomembranes réelles surmontées d'un empilement d'ordures ménagères et de déchets inertes non broyés.
 - c - rapports réalisés :
 - avril 1993 : rapport DTA/DAMRI/SAR/SAR/RAP/93.10
 - juillet 1993 : rapport DTA/DAMRI/SAR/SAT/RAP/93.19
 - octobre 1993 : rapport DTA/DAMRI/SAR/SAT/RAP/93.30
 - avril 1994 : rapport actuel.

4 - TECHNOLOGIE DES ESSAIS

4.1. Au laboratoire

Sur des échantillons de petites surfaces, des études de transfert d'Hélium sont réalisées pour apprécier l'étanchéité de la barrière et d'une zone de collage vis-à-vis d'un gaz avec des molécules de très petites dimensions.

Ces essais ont été réalisés sur une cellule de perméation dont le schéma de principe est présenté sur les figures 2 et 3.

Le programme des essais réalisés est le suivant :

1. transfert d'Hélium sous pression à travers un échantillon neuf non détérioré,
2. transfert d'Hélium sous pression à travers un échantillon neuf avec détérioration,
3. transfert d'Hélium sous pression à travers un échantillon avec soudure,
4. transfert d'Hélium sous pression à travers un échantillon neuf avec soudure volontairement détériorée.

4.1.1. Chaîne de mesure

Le principe de recherche de perforations consiste en une aspersion d'Hélium sous la membrane et une détection en surface.

Le détecteur utilisé est de marque ALCATEL, type ASM110 TURBO. Ce matériel est facile à utiliser et suffisamment robuste pour une utilisation "in situ". Son faible encombrement ainsi que sa facilité de transport en font un instrument aisément utilisable pour le contrôle d'une étanchéité de géomembranes encollées de soubassement.

4.1.2. Géomembrane

Les échantillons testés sont en polyéthylène haute densité prélevés sur une géomembrane avec bande de collage prévue pour être installée sur le pilote expérimental. La géomembrane mise en oeuvre a été fournie par la Société SOTRAP.

4.1.3. Cellule de perméation

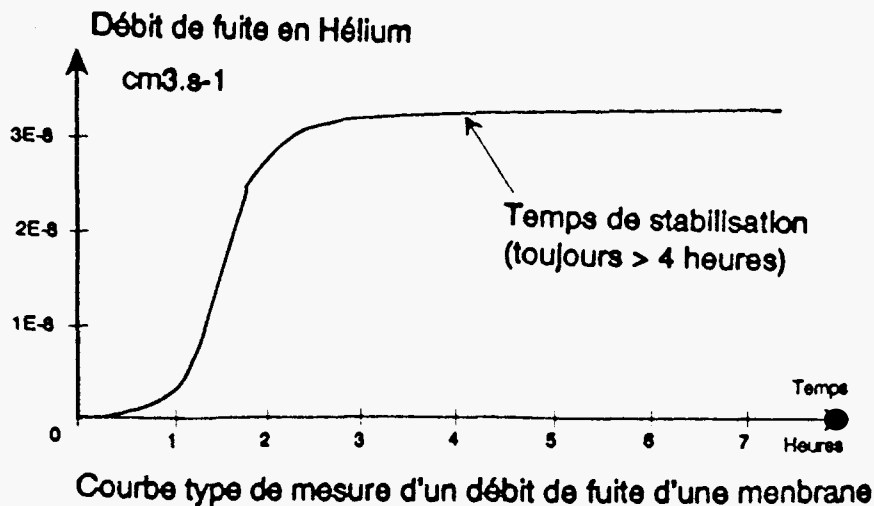
Le banc d'essais constitué de la cellule de perméation, du dispositif de mise en pression d'Hélium et du système de détection d'Hélium sont présentés sur la figure 3 A.

4.1.4. Essais de perméation

Le fil directeur des essais effectués est le suivant :

- a - mise en place d'une membrane dans la cellule de perméation et contrôle du débit de fuite d'Hélium dû à sa perméabilité,
- b - poinçonnage de la membrane pour générer une perforation calibrée et détection avec mesure du débit de fuite.

La courbe type de mesure d'un débit de fuite sur une membrane est la suivante :



Les essais réalisés sont les suivants :

c) Essai n° 1

- Pression Hélium à 0,25 bar
débit de fuite stabilisé à $3,8 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- Pression Hélium à 0,5 bar
débit de fuite stabilisé à $5 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- Démontage de la membrane, perçage avec une aiguille fine, remontage.
- Pression Hélium à 0,25 bar
saturation immédiate du détecteur : débit de fuite supérieur à $10^{-6} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

d) Essai n° 2

- Pression Hélium à 0,25 bar
débit de fuite stabilisé à $3,6 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- Pression Hélium à 0,5 bar
débit de fuite stabilisé à $5 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- Démontage de la membrane, perçage avec une aiguille fine, remontage.
- Circulation d'Hélium dans la cavité amont, sans mise en pression afin de simuler une simple aspersion :
saturation immédiate du détecteur : débit de fuite supérieur à $10^{-6} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

e) Essai n° 3

Pour cet essai, la mise en pression a été faite seulement pour vérifier l'étanchéité du montage. On évite ainsi la contamination de l'échantillon. La membrane n'a pas été démontée. Le perçage a été fait en place.

Ces essais devaient nous permettre de vérifier que le signal de sortie en Hélium était bien dû à la fuite provoquée et non à un défaut de montage.

En effet, dès la mise en circulation du gaz traceur (simulation d'une aspersion) le débit de fuite a été, comme pour les essais précédents, immédiatement supérieur à $10 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (saturation de la chaîne de mesure).

f) Essai n° 4

Cet essai a consisté, sur une membrane sans joint et non perforée, à déterminer les débits de fuite à différentes pressions.

- P = 0,25 bar : débit de fuite $4,4 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- P = 0,5 bar : débit de fuite $5,6 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
- P = 1 bar : débit de fuite $2,5 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Ces premiers essais en laboratoire nous ont permis de vérifier nos hypothèses :

- l'extrême sensibilité de la chaîne de mesures,
- la détection immédiate d'une fuite éventuelle, même si elle est de faible importance,
- le faible débit de fuite à travers une membrane non perforée.

4.2. Sur pilote

Le pilote est constitué d'un lit de sable servant d'écran filtrant surmonté d'une géomembrane de nature différente. Sur celle-ci seront déposés des déchets inertes et évolutifs pour simuler un entreposage de déchets. La couverture sera assurée par des géomembranes collées et de même nature que celles du soubassement. Ce pilote est de faibles dimensions de 2 m x 4,5 m au sol ($\leq 10 \text{ m}^2$) et exposés aux conditions météorologiques naturelles : figures 3 et 4.

L'implantation de ce pilote est effectuée sur le site du Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble, aux abords des laboratoires de la Section d'Application des Traceurs : photographies 1, 2, 3 et 4.

Le programme des essais à réaliser est le suivant :

1. Contrôle de la géomembrane par mise en pression d'Hélium des drains (1), puis (2).
Le contrôle s'effectue dans le plan de pose de la géomembrane collée dans détérioration,
2. contrôle de la localisation du point de fuite de la géomembrane de soubassement préalablement perforée avec un poinçon,
3. opération similaire au paragraphe (2), mais avec un empilement de déchet d'épaisseur $E_p > 0,50 \text{ m}$ simulé par un dépôt de sable et déposé au-dessus de la géomembrane.

4.2.1. Aménagement du pilote pour les essais de perméation d'Hélium

L'apport d'Hélium sous la géomembrane est réalisée par l'aspersion de gaz He dans un drain agricole disposé dans le lit sableux situé sous les géomembranes encollées (photographies 1, 2 et 3).

Les aspersion et les détections d'Hélium sont effectuées telles qu'elles le seraient sur un site en vraie grandeur.

Aspersion d'Hélium dans les drains

Le tuyau d'arrivée du gaz traceur est positionné à la verticale de la cloche de piégeage et du détecteur. Il peut se déplacer sur toute la longueur du drain et peut être repositionné à chaque nouvelle mesure.

Les drains sont bouchés à leurs extrémités afin de réduire les pertes de gaz traceur.

Le débit d'Hélium "injecté" est de 35 l/min. Il semble difficile de pouvoir mettre en pression les drains puisque l'on dispose d'une construction de type génie civil sur laquelle il est impossible de supprimer les pertes (à travers le sable, les extrémités de la membrane et des drains...).

Détection de l'Hélium sur la membrane

La cloche de mesure équipée du renifleur de détection d'Hélium (cf. photos 5 et 6) est déplacée sur les joints de la membrane.

A la verticale des drains, la membrane est perforée par endroit afin de simuler d'éventuelles fuites sur les joints (trou d'aiguilles, poinçons, trous de diamètres variables...).

L'ensemble de la chaîne de mesures se déplace parallèlement aux drains.

4.2.2. Etude préliminaire des conditions optimales de perméation d'Hélium

a - Essai sur pilote 1

La membrane a été perforée en un seul endroit avec une aiguille (perforation similaire aux essais en laboratoire). La figure ci-dessous schématise le déroulement de ce premier essai.

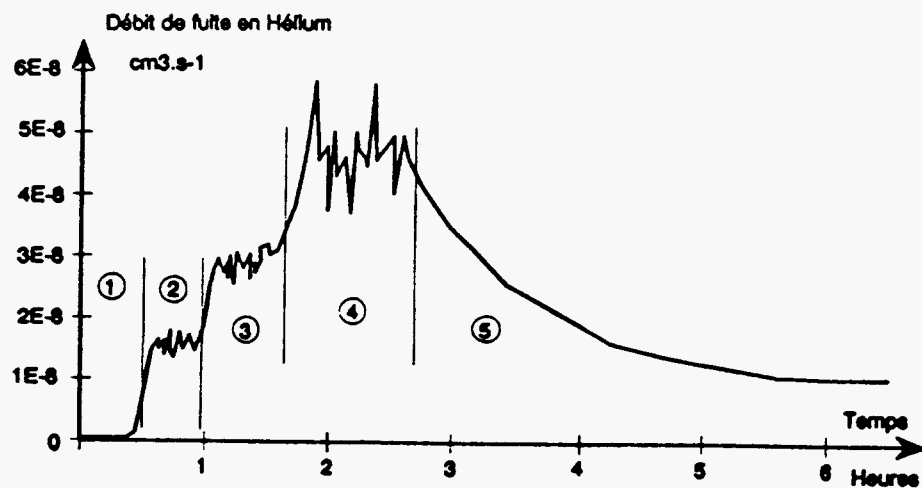


Schéma de visualisation d'une fuite sur une géomembrane (Essai pilote n°1)

- Zone 1** : Bruit de fond ambiant, système de mesure en place, avant aspersion d'Hélium : $0,1 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- Zone 2** : Aspersion d'Hélium à 20 l/min : débit de fuite mesuré de $1,7 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- Zone 3** : Aspersion d'Hélium à 25 l/min : débit de fuite mesuré de $2,8 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- Zone 4** : Aspersion d'Hélium à 35 l/min : débit de fuite mesuré entre $3,5 \cdot 10^{-8}$ et $6 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- Zone 5** : Arrêt de l'aspersion d'Hélium : descente lente du signal jusqu'à $1,2 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et tendance au retour au bruit de fond initial.

b - Essai sur pilote 2

Pour cet essai, la perforation de la membrane a été effectuée avec un forêt de 1 mm de diamètre.

La figure ci-dessous schématise le déroulement de l'essai qui est exprimé en débit de fuite d'Hélium.

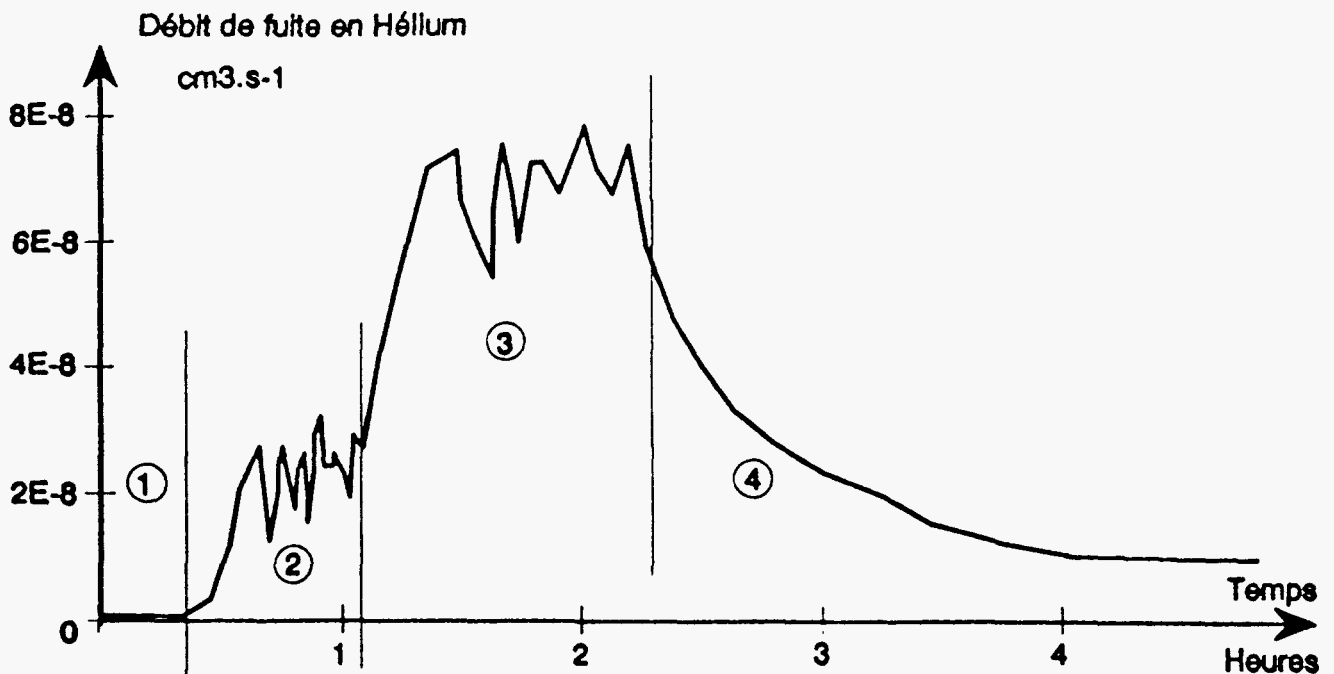


Schéma de visualisation d'une fuite sur une géomembrane (Essai pilote n°2)

- Zone 1** : La cloche de mesure est placée à l'extérieur de la zone perforée. Le bruit de fond, avec aspersion d'Hélium est de $0,1 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- Zone 2** : L'aspersion d'Hélium à 35 l/min débute. Le signal sous la cloche (celle-ci étant toujours placée à côté de la zone perforée) augmente et oscille entre $1 \cdot 10^{-8}$ et $3 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- Zone 3** : La cloche de mesure est déplacée au-dessus de la perforation. Le débit de fuite augmente et oscille entre $5 \cdot 10^{-8}$ et $8 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
- Zone 4** : L'aspersion d'Hélium est stoppée. Le signal baisse lentement jusqu'à $1,4 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

c - Commentaire

Ces premières mesures nous amènent à faire quelques commentaires sur les difficultés rencontrées au cours de ces expérimentations.

- On a observé une oscillation continue du signal de fuite qui est resté également relativement faible (par rapport aux essais en laboratoire par exemple). Il peut y avoir plusieurs raisons à cela : tout d'abord, un défaut d'étanchéité de l'ensemble cloche de piégeage géomembrane qui a été résolu au cours de la campagne de mesure suivante par l'interposition d'un joint à soufflet, ensuite une "dilution" de l'Hélium échappé dans cette même cloche. Enfin, la construction de type génie civil du pilote n'a pas permis pas de s'affranchir de toutes les fuites latérales et l'Hélium peut donc se disperser aisément sous la membrane ou dans le drain, ce qui a réduit considérablement le débit de fuite observé.
- La baisse très lente du signal s'explique de la même manière puisque l'Hélium dispersé sous la membrane ne s'évacue pas instantanément. Ceci n'a cependant pas posé de problèmes pour les expérimentations réalisées ensuite et qui ont consisté à déplacer la cloche sur la membrane pour déceler la localisation des perforations.
- Le retour du signal à une valeur supérieure au bruit de fond initial, dû à une contamination générale ambiante, n'a pas semblé gênant à priori, puisqu'il est resté toujours très inférieur au signal de débit de fuite.
- Malgré les oscillations du signal, une corrélation assez nette entre débit d'aspersion d'Hélium et débit de fuite a été observée. Pour une utilisation industrielle systématique, il conviendra de parvenir à un compromis afin de limiter la consommation d'Hélium tout en assurant une détection optimale du signal de fuite.
- Enfin, et ceci est notamment visible sur l'essai n° 2, la sensibilité du détecteur est telle, qu'une fuite légère vers l'extérieur de la cloche de piégeage engendre immédiatement un signal parasite non négligeable. Ce problème a été en partie résolu avec l'interposition du joint à soufflet.

4.2.3. Recherche de défections calibrées sur des géomembranes encollées

a - Essai n° 1 (figures 5, 6 et 7)

- . essai de type 1,
- . aspersion Hélium réglée) 35 l/min.

Description de l'essai

. Zone 1 : la cloche de piégeage est positionnée sur une zone "saine" de la géomembrane (sans perforation ou détérioration). Le signal de débit de fuite est resté stable et égal au bruit de fond ambiant.

. Zone 2 : le système de détection est déplacé sur une partie du joint dans lequel une perforation de \varnothing 3 mm a été effectuée. Dès la première minute de contrôle, le signal augmente significativement et la fuite a été nettement détectée.

. Zones 3 et 4 : la cloche est déplacée successivement sur 2 emplacements dans une zone non détériorée de la membrane. Bien que supérieur au bruit de fond, le signal ne peut être considéré comme une fuite (il reste relativement stable) : c'est une contamination résiduelle de la cloche suite à la mesure sur la zone fuiteuse.

Commentaires

. La technologie des essais mise en oeuvre est fiable, elle a permis la détection de fuite sans ambiguïté.

. Le temps de mesure sur chaque zone, ici de 4 min, a pu être réduit à 2 minutes, temps nécessaire pour visualiser ultérieurement une augmentation de signal. La confirmation de l'emplacement géographique pourrait ensuite se faire par une mesure de durée supérieure, 10 minutes par exemple.

. Les mesures consécutives à une détection de fuite devront toujours être interprétées de manière très critique : il ne faut pas assimiler une contamination résiduelle à une visualisation de fuite.

b - Essai n° 2 (figure 8)

. Essai de type 1,

. Aspersion Hélium réglée à 25 l/min.

Description de l'essai

. Zone 1 : mesure du débit de fuite sur une zone non détériorée (bruit de fond),

. Zone 2 : déplacement sur la perforation de \varnothing 3 mm, l'augmentation du signal est significative.

. Zone 3 : déplacement sur une zone "saine". Retour au bruit de fond.

. Zone 4 : mesure sur la perforation de \varnothing 1 mm. L'augmentation du signal de débit de fuite est immédiate et rapide.

. Zone 3 bis : la cloche est positionnée sur la zone 3 préalablement traitée. Le retour du signal au bruit de fond est significatif d'une membrane non détériorée.

. Zone 2 bis : détection du signal de débit de fuite sur la perforation de \varnothing 3 mm (idem zone 2). Augmentation de signal caractéristique.

Commentaires

. La diminution du débit de 35 l/min d'Hélium de l'essai n° 1 à 25 l/min pour cet essai n'a pas eu d'influence sur la rapidité et la fiabilité des mesures.

. Le débit de fuite détecté n'a pas semblé lié à l'importance de la perforation. Ceci explique notamment la grande dispersion aléatoire de l'Hélium, sous la géomembrane : la concentration en gaz traceur à l'emplacement du trou n'est pas maîtrisée.

. Il y a une bonne corrélation entre les mesures des zones 2 et 2 bis (ce sont les mêmes) : la reproductibilité des résultats est bonne.

c - Essai n° 3 (figure 9)

- . Essai de type 2,
- . Aspersion Hélium réglée à 35 l/min.

Description de l'essai

La cloche de piégeage de l'Hélium a été mise en place au-dessous de la perforation de \varnothing 1 mm. L'augmentation du signal rapide est sensiblement identique à celle de l'essai n° 2. Le régime permanent de débit de fuite n'a pas été atteint avant la saturation du système de mesure.

Commentaires

Il semble illusoire de vouloir connaître le débit de fuite d'une perforation.

- . Celui-ci dépend du volume de la cloche dans laquelle se dilue le signal.
- . La sensibilité du détecteur est telle qu'il sature avant l'atteinte du régime permanent.
- . La reproductibilité ne peut donc être démontrée.
- . Le temps de mesure est important.

4.2.4. Recherche de défections calibrées sur des géomembranes encollées et recouvertes d'une couche sableuse drainante

La finalité de ces essais (phase 5 du programme prévisionnel) était d'évaluer la fiabilité de la méthode de contrôle de géomembrane par un gaz traceur dans deux situations qui peuvent se rencontrer sur un site de stockage :

- après recouvrement de la géomembrane par 40 cm de sable ou d'argile de protection,
- après la mise en place d'une certaine hauteur de déchet. On pourrait alors envisager un contrôle de géomembrane pendant et après la phase d'exploitation.

Pour ces essais, le pilote a donc été rehaussé tel que le montre la figure n° 4. Pour tous les essais, l'aspersion Hélium a lieu sous la perforation (position 1 sur les figures). Les résultats sont présentés sur les figures n° 5 à 13. Des explications détaillées sont développées ci-dessous :

- Figure 10 : essai n° 1

Cette figure représente l'évolution du signal observé, la cloche de mesure étant positionnée d'abord sur une perforation puis à un mètre de cette perforation.

On remarque que :

- . le signal ne se stabilise pas à une valeur limite mais au contraire sature le détecteur,
- . lors du déplacement de la cloche, le signal ne peut diminuer vers une valeur proche du bruit de fond, la contamination ambiante étant trop importante,
- . dès le positionnement du détecteur au point 2, le signal augmente de manière similaire à celui observé sur le point 1.

- Figure n° 11

Cette figure représente un agrandissement des échelles d'axes de la figure n° 10. Cela permet de visualiser l'évolution du signal de fuite au début de la mesure. On peut ainsi remarquer une augmentation très rapide, de l'ordre de 1 minute, de ce signal.

- Figures n° 12 et 13: essai n° 2

Pour cet essai, le signal en Hélium est mesuré en continu pendant le déplacement rapide de la cloche de mesure.

. En position 1, on n'attend pas la saturation du détecteur avant de déplacer le point de mesure mais la courbe qui représente le signal de départ a une forme identique à celle observée sur la figure n° 10.

. Après déplacement de la cloche de mesure et un léger fléchissement du signal, celui-ci augmente à nouveau de manière à saturer rapidement le détecteur.

- Figure n° 6 : essai n° 3

. En position 1, le signal est identique à celui observé pendant l'essai n° 1.

. En position 3, c'est-à-dire sur le côté du pilote opposé à l'aspersion d'Hélium, le signal reste relativement stable mais à une valeur plus élevée que le bruit de fond. Rappelons que le point 1 est à égale distance du point 2 et du point 3.

. En position 2, le signal augmente à nouveau jusqu'à la saturation du détecteur.

Commentaires et conclusions

La première remarque à formuler est l'observation d'un signal quasi identique, que le détecteur soit placé sur une perforation ou à 1 m de celle-ci, du côté de l'aspersion d'Hélium. Aspersion et détection d'Hélium étant très près du bord de la membrane, on peut penser que la majorité du signal est due aux fuites du pilote à travers ses bords constitués de moellons, ce qui cause une contamination parasite du détecteur par effet de bord, seul le début du signal observé sur la figure n° 11, caractérisé par un temps d'arrivée petit pourrait être engendré par la fuite de la membrane.

L'essai n° 3, figure n° 6, va dans le sens de cette hypothèse puisque le signal au point 3 est beaucoup plus faible et quasiment stable. Le point 3 est situé à la même distance du point de fuite que le point 2 qui est sujet aux effets de bord.

Ces résultats, même s'ils ne sont pas très significatifs, ne remettent pourtant pas en cause la faisabilité sur site. En effet, les effets de bord sur une grande surface de géomembrane seront alors totalement négligeables sur une grande partie de la zone de mesure avec une sensibilité de détection qui devrait permettre aisément la visualisation d'une fuite.

Suite aux difficultés rencontrés pour obtenir des mesures fiables au cours de ces essais, aucun essais après recouvrement par une hauteur de déchet n'a été engagé, ceux-ci ne pouvant à priori donner de meilleurs résultats.

4.3. En site industriel de type C.E.T.

Au cours de la pose d'une géomembrane (photos 7, 8, 9 et 11) deux cordons de soudure ont été réalisés sur les bords de laies raccordées. Aux abords de chaque laie de largeur 6 m et de longueurs variables > 50 mètres, deux cordons de soudure délimitent un espace vide : figures 16, 17, 18, 19 et 20.

La mise en pression d'Hélium de cet espacement permet par un contrôle de surface de détecter aisément toute fuite par perforation de la géomembrane.

Sur le site du Centre d'Enfouissement Technique de X des contrôles ont été réalisés d'une part sur un dispositif simulant une vraie chambre inter cordon de collage et d'autre part sur un assemblage de deux géomembranes collées par deux cordons de soudure délimitant la chambre de contrôle.

4.3.1. Adaptation du dispositif de détection du gaz traceur

L'appareillage de contrôle utilisable "in situ" pour détecter le gaz traceur (Hélium : He ou Hexafluorure de soufre : SF6) est présenté sur la figure 16. Il est constitué :

- d'une source statique d'alimentation en gaz traceur (en général de l'Hélium) sous pression raccordée à l'espace situé entre les deux cordons de soudure,
- d'un ensemble dynamique portable (ensemble Hélium) ou portatif (ensemble SF6) constitué d'une part par la cloche ou système de captage du gaz traceur qui sera facilement déplacé au-dessus des zones à contrôler et d'autre part d'un détecteur de gaz traceur.

4.3.2. Principe de fonctionnement des appareillages de détection de gaz traceur

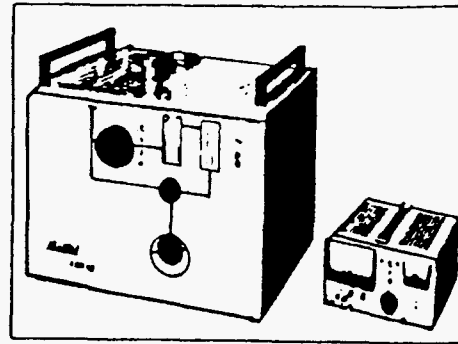
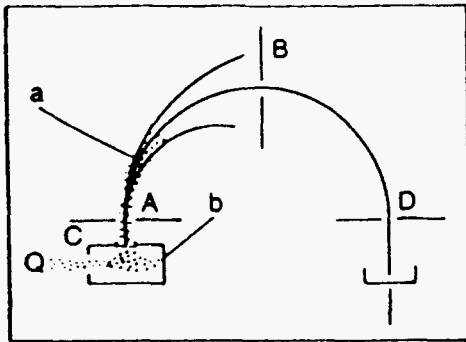
Deux types de détecteurs gaz traceurs ont été utilisés, il s'agit d'une part d'un détecteur d'Hélium portable (figure 1) et d'autre part d'un détecteur d'Hexafluorure de soufre portatif (annexe 1).

a - détecteur portable d'Hélium (He)

Le principe de la cellule d'analyse du détecteur repose sur un filament chauffant qui émet dans le vide des électrons, qui, soumis à la différence de potentiel d'une centaine de volts existant entre le filament et une chambre C, sont lancés vers la chambre et y pénètrent.

A l'intérieur de la chambre, ils rencontrent les molécules des différents gaz qu'ils transforment en ions, en leur arrachant, par choc, un électron. Le nombre d'ions produit est proportionnel à la pression.

Les ions formés (charges positives) sont à leur tour lancés (verticalement dans le plan de la figure) en direction de l'électrode A. A la sortie de A, nous avons donc un faisceau d'ions correspondant aux différents composants de l'air et éventuellement à l'hélium injecté à travers une fissure et envoyé sur l'analyseur. Ce faisceau pénètre dans un champ magnétique perpendiculaire au plan de la figure.



Variante : Poste complet à 1 seule pompe à palette

Sous son influence, les trajectoires des différents gaz deviennent circulaires et se séparent en fonction des masses respectives. Un système de diaphragmes B et D permet d'éliminer les ions plus lourds ou plus légers que l'Hélium, de manière à ce que seuls les ions Hélium arrivent sur la cible. En libérant sur la cible leur charge positive, ils donnent alors naissance à un courant électrique que l'on mesure.

Le courant électrique est proportionnel au nombre d'ions hélium, c'est-à-dire à la pression partielle d'hélium dans la chambre d'analyse, indépendamment de la pression totale d'air (document CIT ALCATEL).

b - détecteur portatif d'Hexafluorure de Soufre (SF₆)

Le principe de l'appareil de mesure consiste en un simple détecteur à capture d'électrons, petit cylindre creux comprenant une feuille de Ni⁶³ et une électrode, reliée à une carte électronique assurant l'amplification du signal, qui permet de détecter le SF₆ à des teneurs de 10 vpb (10⁻⁸ en rapport de dilution). En plaçant ce détecteur derrière une colonne de chromatographie de quelques dizaines de centimètres, on atteint en toute sécurité des sensibilités de 0,01 vpb ou moins.

Un analyseur de SF6 est devenu un appareil portatif, autonome, d'un coût unitaire faible et sans servitude d'emploi. Ceci permet de disposer en parallèle de plusieurs appareils (6 à 8 actuellement) au cours d'un même essai (document ETNA présenté en annexe 1).

4.3.3. Géomembranes : étude sur site

Deux types d'expérimentations ont été réalisées : d'une part sur une chambre d'encollage simulée par un tuyau vinyl neuf de 48 mètres de long et de 10 mm de diamètre avec des perforations calibrées localisées et d'autre par sur une réelle chambre d'encollage délimitée par deux cordons de soudure :

A- chambre d'encollage simulée (essais Hélium)

a - "chambre" ou volume inter-joints neuf

Pour des raisons de planning, il n'a pas été possible d'intervenir directement sur la "chambre" ou le volume inter-joints de la géomembrane de soubassement qui venait d'être posée. Nous avons donc simulé cette "chambre" par la mise en oeuvre d'un tuyau vinyl de diamètre 10 mm et de longueur 48 mètres.

Cette "chambre vinyl" développée a donc été déposée sur la couche graveleuse de drainage de la cellule du CET équipée de géomembranes de soubassement : photos 11, 12, 13 et 14. La mise en pression d'Hélium (photo 12) est obtenue avec une bouteille tampon source d'Hélium. La pression est maintenue constante pendant la durée des essais à $p_{He} = 1$ bar.

A l'aide de l'hélistest portable et de la cloche de détection qui lui est associée (photos 5, 6, 11, 12 et 14), un balayage est réalisé sur les 48 m de la "chambre" non détériorée. La valeur du bruit de fond en Hélium est de : $0,2 \cdot 10^{-9}$ atm.cm³/s.

b - "chambre" ou volume inter-joints perforé

Plusieurs perforations calibrées sont réalisées sur le tuyau. Leurs dimensions et leur position sur le tuyau sont les suivantes (figure 17) :

$z = 0$	cote d'injection d'Hélium ; section d'entrée de la chambre,
$z = 15$ m	perforation de diamètre $\varnothing = 2$ mm,
$z = 20$ m	perforation de diamètre $\varnothing 3$ mm,
$z = 25$ m	perforation de diamètre $\varnothing 4$ mm,
$z = 27$ m	perforation de diamètre $\varnothing 5$ mm,
$z = 30$ m	2 perforations de diamètre $\varnothing 5$ mm,
$z = 35$ m	3 perforations de diamètre $\varnothing 5$ mm,
$z = 40$ m	une estafilade au couteau sur une longueur de 50 mm.

Après mise en pression d'Hélium, un balayage est réalisé avec l'hélistest portable qui a conduit aux résultats des figures 14 et 15.

B - Chambre d'encollage de géomembranes encollées

L'expérimentation réalisée est schématisée par le schéma de la figure 20. Elle a consisté à localiser des perforations de la chambre d'encollage ou inter cordon de soudure par mise en oeuvre d'un gaz traceur de type Hélium ou Hexafluorure de Soufre.

a - essais avec le gaz traceur Hélium (He)

Deux géomembranes encollées avec une chambre d'encollage inter cordon de soudure préalablement perforées sont recouvertes d'un empilement de déchet de hauteur 1 mètre. Les déchets utilisés sont du tout venant composés d'ordures ménagères et de déchets inertes. Après leur dépôt sur les géomembranes, ces déchets ont été compactés "in situ".

La recherche des points de fuite a été réalisée par mise en pression du gaz traceur (He) dans la chambre d'encollage et une prospection systématique en surface au-dessus de l'empilement de déchets. Cette recherche a été effectuée avec et sans présence de la couche de déchets.

Chacune des campagnes de traçages en Hélium et de prospection de surface avec le dispositif de détection de terrain est présentée sur la figure 21.

Les résultats obtenus montrent nettement la localisation des perforations au-dessus desquelles, le signal observé en Hélium est supérieur à 100 fois la valeur décelable dans le milieu ambiant.

Cette recherche de zone perforée a été réalisée pour deux pressions de gaz traceur d'une part sur la géomembrane "nue" et d'autre part sur la géomembrane recouverte de déchets. Les pressions d'utilisation de l'Hélium étaient $p_{He} = 0,5$ bar et $p_{He} = 1$ bar correspondant aux débits volumiques respectifs de $Q_{He} = 16$ l/mn et $Q_{He} (1 \text{ bar}) = 32$ l/mn.

b - Essais avec le gaz traceur Hexafluorure de Soufre (SF6)

Le remplacement du gaz traceur Hélium par du SF6 pour la recherche de zone perforée est principalement conduit par l'intérêt d'utiliser des détecteurs portatifs de gaz traceur qui se trouvent dans les circuits commerciaux.

Une seule recherche a été effectuée sur les géomembranes recouvertes des mêmes déchets. Les résultats expérimentaux obtenus sont présentés sur la figure 22.

Précisons que le SF6 est utilisé en général à une concentration typique de 1 vpb (soit $6 \cdot 10^{-6}$ g/m³) et sa gamme de détection avec les analyseurs appropriés varie de 0,01 à 20 vpb. La valeur de 20 vpb est la valeur de SF6 qui sature les détecteur.

5 - ADAPTATION INDUSTRIELLE

Au cours des essais réalisés dans le cadre du contrat RE.CO.R.D. intitulé "UTILISATION D'UN GAZ TRACEUR POUR LE MONITORING D'UNE DECHARGE" : n° 91501 et 91501/2A, la Section d'Application des Traceurs a mis en évidence l'intérêt de la méthodologie proposée à partir du traceur gazeux Hélium et a montré en collaboration avec l'Entreprise ETNA (essaimage CENG-CEA) l'intérêt de l'utilisation d'un autre gaz traceur : l'Hexafluorure de Soufre (SF₆) pour réaliser ces expérimentations dans le cadre de prestations répétitives sur des sites industriels étanchéifiés par des géomembranes encollés par doubles cordons de soudure.

Dans le cadre d'une adaptation industrielle de la méthode, nous exposons quelques données complémentaires indispensables pour une utilisation continue et répétitive.

5.1. Adaptations techniques

5.1.1. Gaz traceur

Le gaz traceur utilisé pour tester et identifier des points de fuite de géomembranes encollées doit avoir la particularité d'être peu présent dans le fond gazeux atmosphérique et d'être aisément dosé à partir d'un détecteur portatif. La mise au point de la méthodologie a été réalisée par l'utilisation du gaz traceur Hélium qui a nécessité l'utilisation d'un détecteur de type HELITEST (photos 10 et 13).

Pour une utilisation industrielle, le gaz traceur SF₆ paraît aussi intéressant : un très faible bruit de fond, une grande sensibilité des appareillages de détection et un seuil minimal de détection très bas ; mais il présente surtout l'avantage d'être décelable avec des appareils PORTATIFS de détection.

L'appareil portatif de détection d'Hexafluorure de Soufre (SF₆) utilisé "in situ" est présenté en annexe 1.

5.1.2. Adaptation initiale du site étanchéifié

La méthodologie proposée est intéressante dans trois cas d'application :

1- le contrôle qualité d'encollages de géomembranes de soubassement de stockages de déchets.

2 - le contrôle de la qualité de pose à la réception et d'évolution dans le temps de la première barrière d'étanchéité de fond avant, pendant et après remplissage avec des déchets.

3 - le contrôle qualité d'encollage de géomembrane de couverture à la réception et dans le temps.

Pour réaliser la mise en pression d'un gaz traceur dans la chambre inter cordon de soudure, il convient au moment de la pose d'obturer préalablement une des extrémités et d'adapter à l'autre extrémité un raccord avec un tuyau prolongateur pour effectuer la mise en pression du gaz traceur pendant et après remplissage.

5.1.3. Evaluation des coûts

a - gaz traceur Hélium (He)

Le gaz traceur Hélium est stocké en bouteille acier de volume 50 litres à une pression de conservation de 200 bars (20 MPa). Le volume d'Hélium détendu présent dans une bouteille est de 10 m³. Le coût de la bouteille pleine d'Hélium (soit la charge) est évalué à 408 Francs. Les essais réalisés "in situ" ont montré qu'une recherche de perforations calibrées de diamètre 4 mm pour une pression d'Hélium imposée à 3 bars (300 KPa) conduisait à une consommation des 10 m³ en 5 heures d'essais.

b - gaz traceur Hexafluorure de Soufre (SF6)

Le gaz traceur Hexafluorure de Soufre (SF6) utilisé est stocké en bouteille de 6 m³ pour une charge d'environ 40 kg. Le coût de la bouteille pleine de SF6 est environ de 2700 Francs la charge. La durée d'utilisation pour une bouteille est évaluée à 11 heures avec un flux massique de 1 g/s.

6 - CONCLUSIONS

L'étude de faisabilité de l'utilisation d'un gaz traceur pour le monitoring d'une décharge a été menée à bien. Les essais effectués permettent d'avoir un jugement très clair quant à la méthode proposée :

- technologiquement, les essais ont été fiables : la procédure d'aspersion du gaz traceur, la qualité du détecteur et la reproductibilité des résultats a été démontrée,
- les résultats des essais après recouvrement de la membrane par 40 cm de sable sur le pilote, ont été perturbés par des problèmes dus en particulier à la géométrie du pilote.

L'intervention sur un site de stockage a montré la bonne mise en application de la méthode avec deux gaz traceurs différents : Hélium, Hexafluorure de Soufre et en présence d'une couche de déchets réels (ordures ménagères et déchets inertes). Ces derniers essais réalisés "in situ" ont montré leur capacité à localiser assez précisément des perforations de géomembranes de soubassement ou de couverture à l'aide de mise en oeuvre d'appareillage de détection portable ou portatif.

**UTILISATION D'UN GAZ TRACEUR
POUR LE MONITORING D'UNE DECHARGE**

CEA/DTA/DAMRI/SAR

**Section d'Application des Traceurs
Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble
17, rue des Martyrs
38054 GRENOBLE CEDEX 9**

Tél. 76.88.48.28

Fax : 76.88.51.34

Phase 2 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1994

C. ELOY-GIORNI

PHASE 2

Enquête et recherche bibliographique.

Etat de l'art des géomembranes.

C. ELOY-GIORNI

PLAN

INTRODUCTION

I - DEMARCHES REALISEES Méthodes d'investigation

1. Collectivités et laboratoires de recherche
2. Contacts directs

II - LE PVC (polychlorure de Vinyl)

1. Composition, fabrication
2. Caractéristiques
3. Pose et réalisation des joints
4. Stockage
5. Contrôle à la pose et problèmes techniques

III - LE PEhd (polyéthylène haute densité)

1. Fabrication, composition
2. Caractéristiques
3. Pose et réalisation des joints
 - Travail de terrassement
 - Mise en oeuvre des plaques
 - Réalisation des joints
4. Stockage
5. Contrôle à la pose et problèmes techniques
 - 5.a. contrôle des plaques d'étanchéité
 - 5.b. contrôle des opérations de soudure
 - 5.c. contrôle des soudures réalisées
 - Les essais destructifs
 - Les essais non destructifs

IV - MEMBRANE BITUMINEUSE

1. Composition, fabrication
2. Caractéristiques

3. Pose et réalisation des joints
 - . Travail de terrassement
 - . Mise en oeuvre des plaques
 - . Réalisation des joints
4. Stockage
5. Contrôle à la pose et problèmes techniques

V - COMPARAISON DES DIFFERENTS MATERIAUX

1. Composition, fabrication
2. Caractéristiques
3. Techniques de pose et contrôle associés

VI - CONCLUSION GENERALE

LES GEOMEMBRANES

INTRODUCTION

Les membranes d'étanchéité ont 60 ans. Elles ont connu un premier essor, il y a une vingtaine d'années dans l'étanchéification des digues, des barrages, des canaux et des bâtiments. Elles ont pris le nom de géomembranes, au début des années 80, dès qu'on les a utilisées pour le confinement des déchets domestiques et industriels aux U.S.A. On peut définir les géomembranes comme étant des membranes destinées à séparer deux milieux de caractéristiques physico-chimiques différentes dont l'un d'eux est le sol et à limiter les échanges de matière.

On peut constater que les matériaux d'étanchéité doivent répondre aujourd'hui à 2 types de sollicitations.

- A. Sollicitations dites traditionnelles, immuables, ayant pour origines les éléments naturels, atmosphériques et thermiques. L'eau est une des contraintes principales, sa pénétration par gravité et capillarité, attaque les matériaux et ménage la stabilité même des ouvrages.
- B. Sollicitations nouvelles, évolutives. Elles sont liées aux modifications du milieu environnant, comme l'aggravation des pollutions, l'évolution des techniques de construction des ouvrages.

L'utilisation des géomembranes est très diverse : chaque application est la combinaison d'une membrane et d'une technique de mise en oeuvre adaptée à la solution du problème posé. Ces systèmes sont aujourd'hui préconisés dans les domaines suivants :

- . bassins d'irrigation, lacs collinaires, plans d'eau touristiques,
- . réservoirs d'eau pour distribution publique,
- . bassins de décantation et de lagunage, fosses à lisiers, déversoirs d'orage,
- . réserves industrielles,
- . étanchéité de barrages et canaux,
- . protection de la nappe phréatique sous les décharges publiques ou industrielles,
- . stabilisation de talus et remblais,
- . ouvrages souterrains...
- . toitures.

Il faut donc choisir une géomembrane en fonction :

- de caractéristiques et conditions extérieures : utilisation, matériaux à stocker, type de problème à résoudre, connaissance technique du terrain...
- de caractéristiques propres à la membrane : composition, conditions de pose et de stockage, méthode de réalisation des joints, techniques de contrôle...

Toutes ces contraintes contribuent à réaliser un cahier des charges complet pour chaque type de membrane.

Après un aperçu de la démarche réalisée, une présentation de ces contraintes sera faite pour trois types de géomembranes : PVC, PEhd et membrane bitumineuse. Une tentative de synthèse et de comparaison sera entreprise dans une dernière partie.

I - DEMARCHES REALISEES

1. Collectivités et laboratoires de recherche

Avant de contrôler de façon individuelle un fabricant ou un poseur de membrane trouvé au hasard des recherches, il a paru logique de se renseigner auprès des syndicats professionnels, des collectivités ou des laboratoires de recherches s'il n'existait pas déjà une liste préétablie des professionnels de la géomembrane.

La conclusion est qu'il n'existe pas de fichier exhaustif mais la synthèse des renseignements obtenus a permis de sélectionner une trentaine de sociétés.

2. Contacts directs

Un courrier a d'abord été envoyé à chacune de ces sociétés. Elles ont été ensuite contactées par téléphone. La liste et les coordonnées de ces dernières sont fournies en annexe.

Les réponses ont permis de faire les conclusions suivantes :

- l'essentiel des sociétés contactées s'occupe de l'étanchéité de toitures. Ce type d'application ne concernant pas la Section d'Application des Traceurs, il est délibérément décidé de ne pas s'y intéresser.
- il y a peu de fabricant en France : quelques fabricants de PVC et de membranes bitumineuses et aucun de PEhd. L'essentiel de la production a lieu en Allemagne, en Italie et aux U.S.A.
- 6 sociétés ont été contactées :
 1. ALKOR MARECHAL : c'est une société du groupe SOLVAY qui produit son matériau : le PVC,
 2. GRILTEX : société poseuse de géomembranes en PVC et PEhd.
 3. VEFAPROMATS : spécialiste en pose de PEhd pour décharges contrôlées.
 4. SOTRAP : poseuse de PEhd, Butyl, EPDM, Hypalon, Elvaloy, PVC.
 5. SLT : société américaine fabricant du PEhd et qui a un bureau spécialisé en pose, en France.
 6. SIPLAST : société fabricant et posant des membranes bitumineuses.

Les données techniques reçues ont permis d'étudier dans le détail 3 matériaux parmi

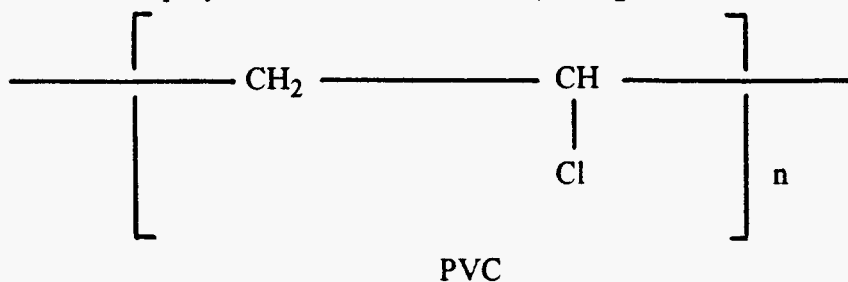
les plus utilisés :

- PVC,
- PEhd,
- membranes bitumineuses.

II- LE PVC (polychlorure de Vinyl)

1. Composition, fabrication

Le PVC est un polymère de chlorure de Vinyl $\text{CH}_2 = \text{CHCl}$. Le motif est le suivant :



Il se trouve naturellement à l'état vitreux donc très cassant. On lui ajoute jusqu'à 30 ou 40 % de plastifiant pour l'amener à l'état caoutchouteux et d'autres adjuvants, pour pallier à ces faiblesses (stabilisant, colorant...).

La mise en oeuvre du PVC est le calandrage.

C'est une technique de fabrication de plaques, de films et de feuilles par laminage du PVC entre plusieurs cylindres constituant la machine appelée calandre (figure 1).

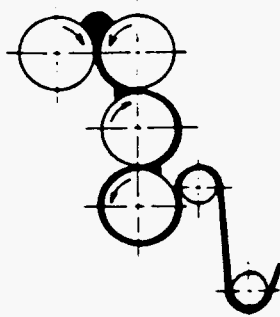


Figure 1 : schéma d'une calandre.

La feuille et le film calandrés se caractérisent par une anisotropie marquée. Les propriétés mécaniques mesurées dans le sens du calandrage sont supérieures à celles mesurées dans le sens transversal.

2. Caractéristiques

Les entreprises vendant du PVC sont SOTRAP, ALKOR-MARECHAL et GRILTEX.
SOTRAP ne fournit pas de notes techniques sur le PVC.

La présentation des matériaux est donnée dans les tableaux 1A et 1B.

Sociétés Réf.	Aspect	Application	Densité	Allongement à la rupture %	Résistance à la rupture %	Résistance à la déchirure n/mm ²	Divers
Alkor Maréchal 350-38	noir 25 x 2,05 Ep=1,5 mm	Parking Bassin de rétention Travaux souterrains avec compatibilité aux hydrocarbures	ISO 1183-87 DIN 53 479 ASTM D 882 NFT 54102 1,29 ± 0,02	ISO R 527 DIN 53 455 ASTM D 882 NFT 54 102 ≥ 300 L ≥ 300 T	ISO 527 DIN 53 455 ASTM D 882 ≥ 12 L ≥ 17 T	NFT 54 108 DIN 53 363 ≥ 80 L ≥ 80 T	. Résistance au gonflement, à la pourriture et au vieillissement. . Résistance au poinçonnement élevé. . Résistance aux bitumes, huiles goudrons.
Alkor Maréchal 350-84	Gris bleuté Ep = 1 mm 50 x 2,05 m ou 200x2,05 m Ep=1,2 mm 50x2,05 m ou 200x2,05 m	Géomembrane pour travaux hydrauliques à haute stabilité aux U.V.	ISO 1183-87 DIN 53 479 ASTM D 882 NFT 54102 1,27 ± 0,02	ISO R 527 DIN 53 459 ASTM D 882 NFT 54 102 ≥ 300 L ≥ 300 T	ISO 527 DIN 53 455 ASTM D 882 ≥ 18 L ≥ 18 T	NFT 54 108 DIN 53 363 ≥ 80 L ≥ 18 T	. Stabilisation aux U.V. . Résistance au gonflement, à la pourriture et au vieillissement. . Résistance aux racines selon DIN 4062. . Non résistance aux bitumes, huile, goudrons.
Alkor Maréchal 350 52	Gris clair 2,05 x 25m Ep = 1,2 m	Géomembrane agréée pour le stockage d'eau potable à haute stabilité aux U.V.	ISO 1183-87 DIN 53 479 ASTM D 882 1,29 ± 0,02	ISO R 527 DIN 53 455 ASTM D 792 NFT 54 102 ≥ 300 L ≥ 300 T	ISO R 527 DIN 53 455 ASTM D 882 ≥ 80 L ≥ 18 T	NFT 54 108 DIN 53 363 ≥ 80 L ≥ 80 T	. Stabilité aux U.V. . Résistance au gonflement, à la pourriture et au vieillissement. . Résistance aux racines selon DIN 4062. . Non résistance aux bitumes, goudrons.

Tableau 1a

Quelque soit la spécificité ou la particularité des différents PVC, on peut constater que les caractéristiques sont homogènes. On déduit les valeurs moyennes suivantes :

- densité : 1,27 g/cm³,
 - allongement à la rupture : 300 % L et T,
 - résistance à la rupture : ≥ 17 N/mm² L, ≥ 17 N/mm²T,
 - résistance à la déchirure amorcée : ≥ 80 N/mm L, ≥ 80 N/mm T.
- (L : longitudinale ; T : transversale).

Ces caractéristiques moyennes feront l'objet de comparaisons ultérieures.

Sociétés Réf.	Aspect	Application	Densité	Allongement à la rupture %	Résistance à la rupture %	Résistance à la déchirure n/mm ²	Divers
Alkor Maréchal 350-36	Translucide 25 x 2,05 m Ep = 1 à 3 mm	Tunnel Ouvrage enterrés Cuvelage	ISO 1183-87 DIN 53 479 ASTM D 792 1,22 ± 0,02	ISO R 527 NFT 54 102 DIN 53 455 ASTM D 882 ≥ 300 L ≥ 300 T	ISO 527 DIN 53 455 ASTM D 882 ≥ 17 L ≥ 17 T	NFT 54 108 DIN 53 363 ≥ 80 L ≥ 80 T	. Résistance au gonflement, à la pourriture et au vieillissement. . Résistance au poinçonnement élevé. . Résistance aux racines selon DIN 4062. . Résistance aux bitumes, huiles goudrons.
Alkor Maréchal 350-20	Protection en PVC homogène grise 25 x 2,05 m Ep=1,5 mm	Utilisé en protection de géomembranes en travaux souterrains ou en ouvrage hydraulique	ISO 1183-87 DIN 53 479 ASTM D 882 1,30 ± 0,05	ISO R 527 NFT 54 102 DIN 53 455 ASTM D 882 ≥ 220 L ≥ 220 T	ISO 527 DIN 53 455 ASTM D 882 ≥ 18 L ≥ 18 T	NFT 54 108 DIN 53 363 ≥ 130 L ≥ 130 T	. Résistance au gonflement, à la pourriture et au vieillissement. . Résistance au poinçonnement élevé. . Résistance aux racines selon DIN 4062. . Non résistance aux bitumes, huile, goudrons.
Griltex GSVV 13/10	Noir 2,05 x 50m Ep=1,5 mm	Travaux hydrauliques		NFT 54 102 ≥ 250 L ≥ 250 T		NFT 46 00 762 ≥ 60 L ≥ 60 T	. Bonne résistance aux microgranimes. . Bonne résistance à l'ozone.

Tableau 1b

3. Pose et réalisation de joints

Lors de la pose, l'assemblage des lés ou nappes préfabriquées est réalisé par soudure à l'air chaud ou au coin chauffant, éventuellement au solvant, suivant les conditions de chantier et l'épaisseur de la feuille. La soudabilité et la qualité des soudures faites sur chantier peuvent être influencées par les conditions atmosphériques (température, humidité de l'air) et par l'état de surface de la géomembrane (propreté de la surface, état plus ou moins sec de la surface), les conditions de soudure (température, vitesse, pression, nettoyage préalable) doivent être adaptées en conséquence.

La soudure par un courant haute fréquence peut être utilisée pour la préfabrication en atelier. Sur support représentant des aspérités, il sera mis en place, avant la géomembrane, un géotextile anti-poinçonnement ou une protection composite 35022 (cf. tableau 1). Dans le cas de la mise en place sur la géomembrane d'une couche de sable graveleux, gravier et remblai sélectionné ou béton, il sera généralement interposé un géotextile ou éventuellement une protection en PVC homogène 35022. La géomembrane peut être utilisée sur un support bitumineux après interposition d'un géotextile adapté.

4. Stockage

Les rouleaux doivent être stockés couchés parallèles dans leur emballage d'origine dans un endroit sec et à l'abri de la chaleur. Le stockage des rouleaux en lits croisés est à proscrire. L'aire de stockage doit être de nature à ne pas endommager la géomembrane.

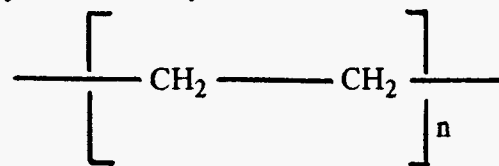
5. Contrôle à la pose et problèmes techniques

Une étude plus poussée dans ce domaine doit être entreprise car ces problèmes n'apparaissent dans aucune note technique.

III - Le PEhd (polyéthylène haute densité)

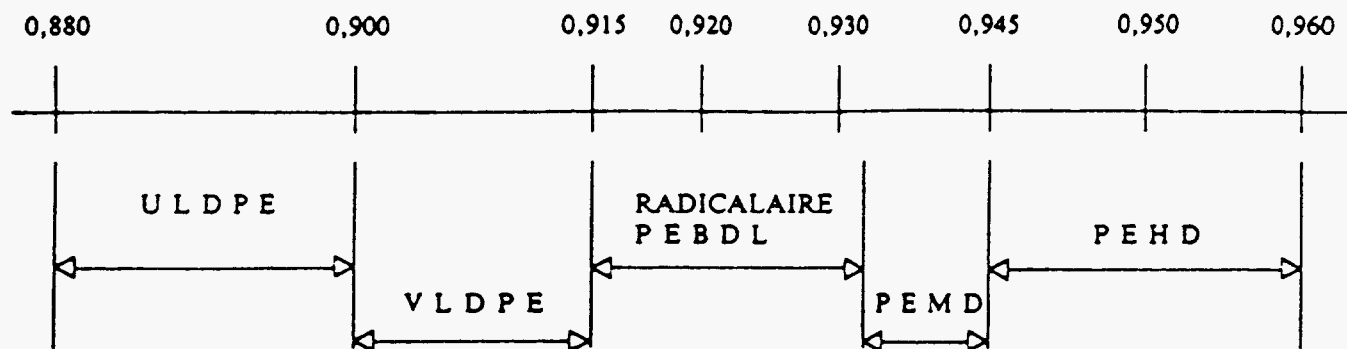
1. Fabrication, composition

Le polyéthylène est un polymère de l'éthylène et dont le motif est le suivant :



Les polyéthylènes ont une structure semi cristalline. Suivant leur degré de cristallinité, ils vont être classés selon une échelle de densité allant de 0,88 à 0,96 (figure 2).

Le PEhd est le polyéthylène ayant la structure la plus cristalline.



- ULDPPE = Ultra Low Density PE (Ultra basse densité linéaire)
- VLDPE = Very Low Density PE (Très basse densité linéaire)
- PE BDL = PE Basse Densité Linéaire
- PEMD = PE Moyenne Densité
- PEHD = PE Haute Densité

Figure 2 : Polyéthylène et densité.

La mise en oeuvre du polyéthylène est l'extrusion : c'est une technique de

transformation qui permet d'obtenir des produits finis ou semi finis par un processus technologique continu. Le schéma de la figure 3 explique le fonctionnement de l'extrudeuse : la matière est introduite à l'extrémité d'une vis d'Archimède qui tourne dans un cylindre régulé en température. Elle est constituée de 5 modules :

- un châssis,
- un groupe cylindre/vis avec leur équipement (chauffage, refroidissement),
- un groupe moteur,
- une tête d'extrusion porte-filière,
- une centrale de commande et de contrôle.

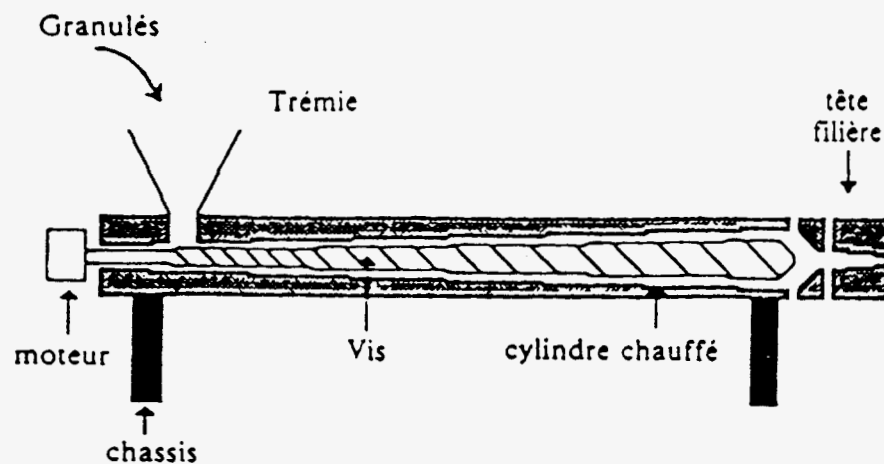


Figure 3 : Principe de fonctionnement de l'extrudeux.

L'extrudeuse accomplit 3 actions principales :

- 1°) elle transporte le long du cylindre la matière première du point d'alimentation à la filière,
- 2°) elle plastifie grâce au malaxage et à la chaleur apportée de l'extérieur,
- 3°) elle augmente progressivement ; la pression de la matière et la force à passer par la filière qui lui donne la section solidifiée ensuite par le refroidissement.

2. Caractéristiques

Les entreprises vendant et posant du PEhd sont : GRILTEX, SOTRAP, VEFAPROMATS et SLT.

GRILTEX et SOTRAP vendent tous les deux le même matériau fabriqué par une société allemande.

Les caractéristiques du matériau sont données dans le tableau 2.

Sociétés Réf.	Aspect	Application	Densité	Allongement à la rupture %	Résistance à la rupture %	Résistance à la déchirure n/mm ²	Divers
Griltex Vefapromats Carbofol	Noir Ep=2 mm	Bassins Ouvrage enterrés Décharges contrôlées		NRW ≥ 600 L ≥ 600 T	NRW ≥ 25 L ≥ 25 T	NRW ≥300 N/mm	
Sotrap "Gundtine HD"	Noir Ep de 0,75 à 3,5 mm Résultats sur 2,5 mm	Bassin Ouvrages enterrés Décharges contrôlées	ASTM D 105 0,945	ASTM D 638 type IV			. En général, pas d'attaque de la membrane par les acides inorganiques. . Pas d'attaque par les bases inorganiques. . Pas d'attaque par les sols inorganiques, les alcools, les aldéhydes, les amines, les détergents, les huiles et graisses naturelles. . Sévère attaque les hydrocarbonés halogènes.
SLT Vestolen A3512	Noir Ep de 2 à 3 mm Résultat sur 2,5 mm 10 x 100 m 10 x 150 m 10 x 200 m	Bassins Ouvrages enterrés Décharges contrôlées	ISO R 1183 0,945	DIN 53 455 ISO R 527 ≥ 800 L ≥ 800 L	DIN 53 455 ISO 5 527 ≥ 24 L ≥ 24 T		. Bonne tenue aux racines. . Même tolérance aux produits chimiques que le précédent.

Tableau 2

D'une manière générale, il faut remarquer que ce matériau a les propriétés suivantes :

- robustesse,
- comportement dans les domaines élastiques et plastiques,
- aptitudes à la réalisation,
- résistance aux produits chimiques,
- résistance à la déchirure,
- résistance au vieillissement.

On estime les caractéristiques moyennes suivantes afin de pouvoir comparer les données :

- densité : 0,945,
- allongement à la rupture : 700 % L et T,
- résistance à la rupture : ≥ 24 N/mm² L, ≥ 24 N/mm T.
- résistance à la déchirure amorcée : ≥ 300 N/mm L, ≥ 300 N/mm T.

3. Pose et réalisation de joints

Un travail de terrassement préalable est nécessaire :

- compactage du sol qui contribue à la stabilisation de l'ouvrage,
- un bon état de surface de support : pour une étanchéité par feuille déroulée, il est impératif de veiller au risque de poinçonnement par les aspérités du support (silex, racines, gravât) dans certains cas, ratissage et compactage s'avèrent insuffisants. Il est alors recommandé d'interposer, entre le support et la feuille d'étanchéité un feutre anti-poinçonnement d'un type non tissé,
- tranchée d'ancrage : cette tranchée sert à la fixation de l'étanchéité et doit avoir les dimensions de 0,40 x 0,40 m et être située à 0,60 m du bord du bassin. Le matériau de déblai de la tranchée est déposé à une distance d'environ 2 à 3 m de cette tranchée, ceci afin de permettre le roulage, le positionnement et le déroulement des matériaux à mettre en tête de digue (nappes d'étanchéité, feutre de protection...) (figure 3).

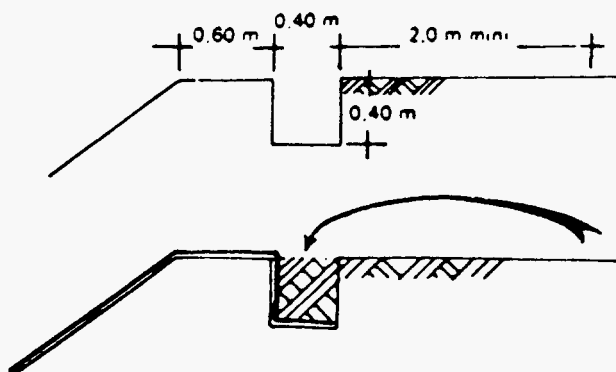


Figure 3 : La tranchée d'ancrage.

- rampe d'accès afin de permettre la manutention des rouleaux et des machines de chantier,
- drainage du sol pour limiter l'accumulation d'eaux en fond de bassin,
- propriété du sol : le support ne doit pas être souillé par des produits polluants susceptibles d'attaquer l'étanchéité.

La mise en oeuvre des plaques (figure 4) se fait ensuite selon un plan de pose qui donne la dimension exacte de chaque lé et le planning d'installation. Ce plan est mis au point selon 2 critères :

- minimisation des soudures,
- optimisation du travail.

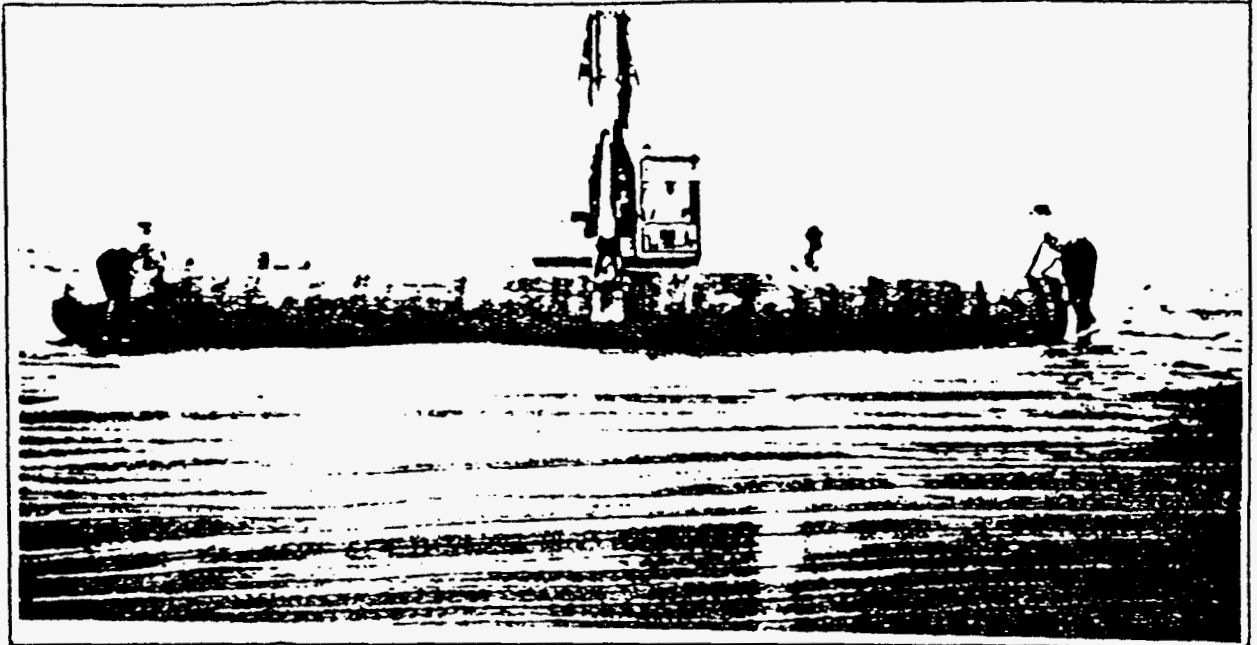


Figure 4 : Mise en oeuvre des plaques.

- Réalisation des joints

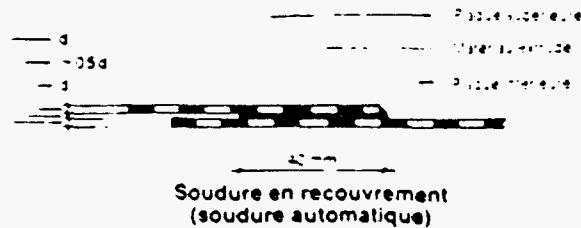
Le procédé de soudure comprend les phases suivantes :

- . préparation de la zone à souder (nettoyage des zones d'assemblage),
- . préchauffage de cette zone,
- . apport du matériau à extruder,
- . compression de la soudure.

Ces trois dernières phases sont réalisées simultanément grâce à des machines à souder automatiques dont le rendement peut atteindre 2 m/minute.

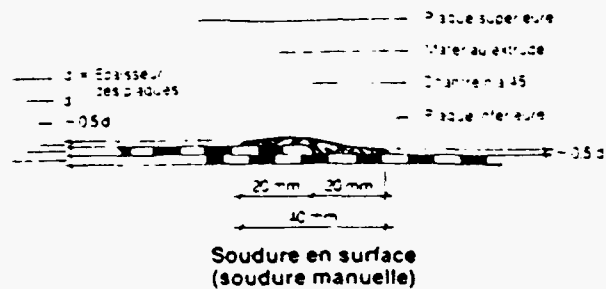
Il existe deux techniques de soudage par extrusion :

- les soudures par recouvrement entre les plaques pratiquée par SLT (figure 5),



C'est une soudure automatique exécutée sur les talus et sols.

- les soudures en surface réalisées par SLT et SOTRAP (figure 6)



Les soudures en surface sont systématiquement utilisées par SOTRAP et par SLT pour les soudures de raccordement destinées aux structures ou tuyauteries plastiques existantes, aux assemblages d'angles et aux rapiécages, ce sont de soudures manuelles.

4. Stockage

Les rouleaux doivent être stockés couchés parallèles dans leur emballage d'origine et dans un endroit plat et accessible. Des mesures particulières de protection contre les dommages mécaniques où l'action des U.V. sont recommandées pour un stockage prolongé.

5. Contrôle à la pose et problèmes techniques

Le dernier stade du suivi de qualité se situe au niveau de la pose et des opérations de soudure sur le chantier.

5.a. Contrôle des plaques d'étanchéité

Les plaques sont mises en place selon un plan préalable et inspectées optiquement afin de localiser les défauts signalés sur leurs fiches techniques ainsi que d'autres dommages éventuels.

5.b. Contrôle des opérations de soudure

La réalisation d'une soudure de qualité commence par l'exécution d'une soudure d'essai. On vérifie sur un témoin, le réglage des machines, le traitement préalable des

surfaces à souder et l'adaptation aux effets de l'environnement.

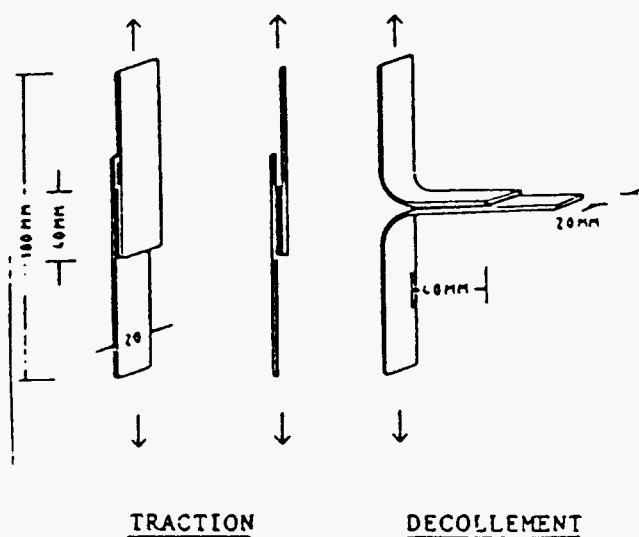
5.c. Contrôle des soudures réalisées

Il existe deux types d'essais de contrôle de qualité : des essais destructifs (contrôle ponctuel) et des essais non destructifs de la totalité des soudures.

Les essais destructifs

Les essais de traction et de décollement réalisés sur certaines soudures choisies par sondage. Ces dernières font l'objet d'essais en laboratoire pour SLT ou sur le terrain pour SOTRAP et SLT (figure 7).

Eprouvette pour essais destructifs :



Des contraintes ponctuelles appliquées sur une soudure nouvellement réalisées permettent de déterminer les zones de bonne adhérence. Pour cela, on fait passer le long de la soudure, entre le revêtement inférieur et le matériau d'extrusion, un tournevis.

Les essais non destructifs

le contrôle sous vide : il consiste à utiliser une dépression : on place le cordon de soudure sous une pression inférieure à la pression atmosphérique, en utilisant une coupelle d'aspiration en plastique transparent, fixée à une pompe à vide. Un agent moussant indique la position exacte des éventuelles fuites. Du fait de sa faible vitesse d'exécution, il est utilisé le moins possible.

le contrôle aux ultrasons : Il donne des renseignements sur l'homogénéité des soudures. C'est essentiellement la mesure d'une épaisseur. On passe une sonde au-dessus de la soudure à contrôler, le contact entre le capteur et la soudure est assuré grâce à de l'eau qui sert de fluide de contact.

L'appareil est préalablement étalonné sur une épaisseur particulière valant deux fois l'épaisseur du revêtement plus 1 mm pour l'extrudât. Le signal ultrasonique est envoyé dans le revêtement, où il subit une réflexion sur la surface du revêtement inférieur puis il est renvoyé au capteur et enregistré sur le moniteur (figure 8).

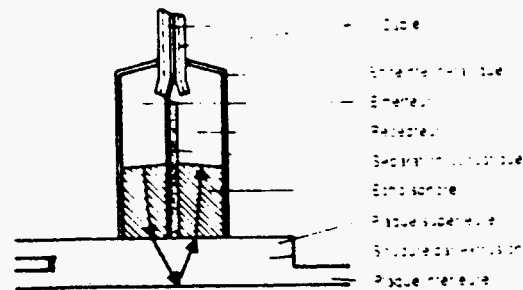


Figure 8 : Fonctionnement de la sonde à ultrasons.

Si la couche est homogène, le signal traverse tous les milieux successifs. S'il y a des inhomogénéités (contacts défectueux, cavités de sable ou d'air), le signal se réfléchit sur ces défauts et les indique sur le moniteur.

Cette méthode présente l'avantage d'une manipulation aisée et d'une grande vitesse d'exécution. Mais la face supérieure convexe des soudures, en surface rend impossible l'utilisation de cette méthode.

Le contrôle par système à étincelle avec fil de cuivre incorporé dans la soudure : c'est un système qui utilise un courant à haute tension pour localiser les cavités et les défauts dans les matériaux non conducteurs. L'électrode de contrôle est déplacée systématiquement le long de la soudure, tout défaut provoque l'émission d'une étincelle (figure 9).

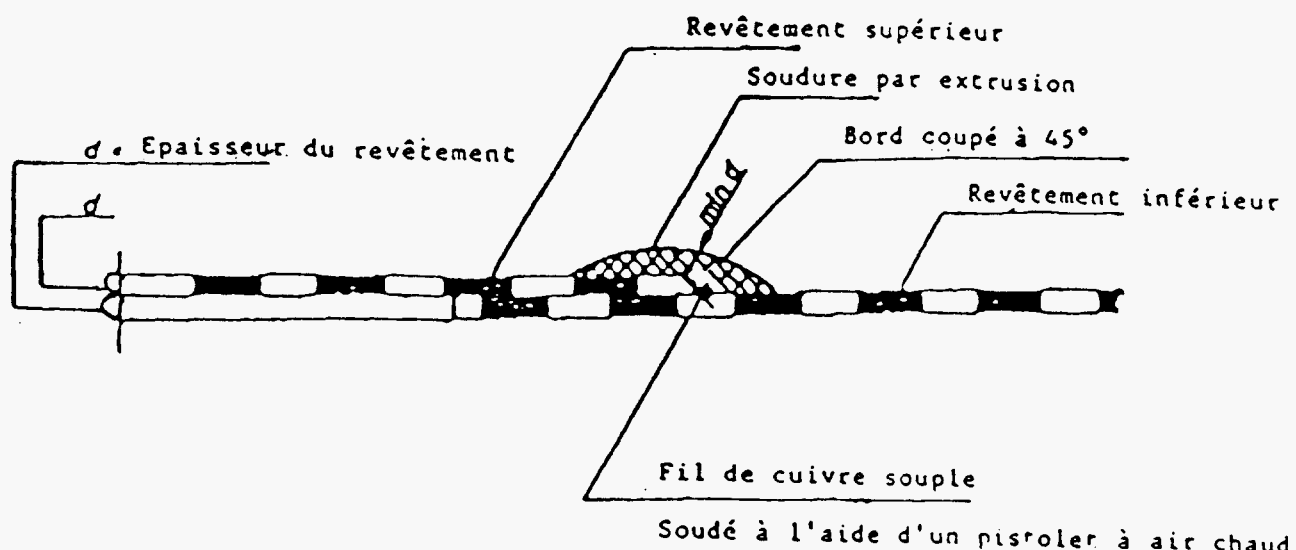


Figure 9 : Contrôle par système à étincelle avec fil de cuivre incorporé dans la soudure.

Ce système de contrôle est utilisé pour les soudures en surface.

IV - MEMBRANE BITUMINEUSE

1. Composition, fabrication

Je n'ai trouvé aucune documentation concernant ces membranes. Seule l'entreprise SIPLAST qui fabrique le Teranap 331 TP et 431 TP m'ayant répondu, je n'étudierai que ces deux matériaux.

D'une manière générale, le Teranap TP est une feuille préfabriquée à base de bitume élastomère avec des armatures en non tissé polyester.

La face supérieure du matériau est grésée et la face inférieure, revêtue d'un film polyester, présente une surface lisse particulièrement résistante à la pénétration des racines.

Le tableau 3 suivant montre la composition des 2 types de matériau :

Composition Rouleaux de 4 m de l	Teranap 331 TP	Teranap 431 TP
mélange élastomère-bitume	3,410 kg/m ²	4,460 kg/m ²
armature en non tissé	0,180 kg/m ²	0,780 kg/m ²
film polyester	0,034 kg/m ²	0,034 kg/m ²
grésage anti-adhérent	0,175 kg/m ²	0,175 kg/m ²

Tableau 3

2. Caractéristiques

Les caractéristiques du Teranap 331 TP ET 431 TP sont données dans le tableau 4

Sociétés Réf.	Aspect	Application	Densité	Allongement à la rupture %	Résistance à la rupture %	Résistance à la déchirure n/mm ²	Divers
Siplast Teranap 331 TP	Noir 2 faces différentes en 2 ou 4 m de largeur Ep = 3 mm longueur : 20 ou 100 m	Etanchéité des ouvrages hydrauliques	1,23	Afnor G07-001 ≥ 43 L ≥ 46 T	Afnor G07-001 ≥ 17 L ≥ 11,4 T	≥ 290 L ≥ 290 T	
Siplast Teranap 431 TP	Même aspect 2 m de largeur Ep = 4 mm Longueur : 20 m	Etanchéité des ouvrages hydrauliques	1,23	Afnor G07-001 ≥ 50 L ≥ 50 T	Afnor G07-001 ≥ 18 ± 3 L ≥ 12 ± 3 T	≥ 300 L ≥ 300 T	
Siplast Teranap 431 TP	Même aspect 4 m de largeur EP = 4 mm Longueur : 80 m	Etanchéité des ouvrages hydrauliques	1,23	Afnor G07-001 ≥ 38 L ≥ 44 T	Afnor G07-001 ≥ 23 L ≥ 17 T	≥ 400 L ≥ 700 T	

Tableau 4

Si l'on cherche des caractéristiques moyennes pour cette famille de matériaux, on a :

- . densité : 1,23 g/cm³,
- . résistance à la rupture : ≥ 18 L N/mm², ≥ 14 T N/mm²,
- . allongement à la rupture : 45 % L et T,
- . résistance à la déchirure amorcée : 300 L et T N/mm.

(L : longitudinale : T : transversale).

Les performances, liées à la nature de l'élastomère bitume sont les mêmes pour les 2 matériaux :

- bonne résistance à l'agressivité des eaux usées, acides, bases, alcool...
- mauvaise résistance aux hydrocarbures,
- emploi possible au contact de l'eau potable.

3. Pose et réalisation des joints

3.1. Un travail de terrassement

Il faut enlever toute végétation et toutes traces de matières organiques végétales pour éviter le contact direct des souches avec la membrane d'une part et le pourrissement de ces matières organiques qui entraîneraient la compressibilité du sol et le dégagement de gaz d'autre part.

La pente des talus : la pente des talus doit être déterminée en tenant compte des règles

de mécanique des sols : les talus doivent être stables par eux-mêmes.

Une tranchée d'ancrage : l'ancrage a le double rôle d'empêcher le glissement de la géomembrane sur le talus et de lui permettre de résister aux efforts de soulèvement entraînés par la dépression due au vent. La tranchée d'ancrage classique a la forme donnée par la figure 10.

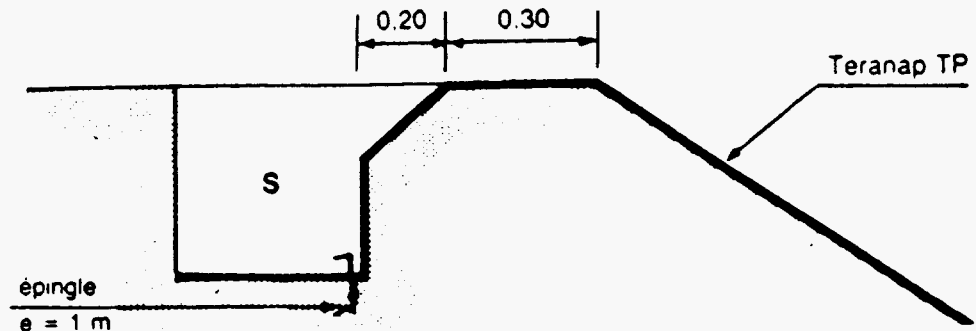


Figure 10 : Schéma classique de l'ancrage.

Le support : il pourra suivant la charge hydrostatique être constitué par le terrain naturel si le niveau de la nappe phréatique ne nécessite pas de couche drainante, par une couche de sable ou de tout-venant de 10 à 15 cm d'épaisseur si la couche drainante est nécessaire, par une couche de feutre non tissé polyester ou polypropylène imputrescibles dans le cas où aucune des solutions précédentes ne peut être réalisée.

Un drainage des eaux et des gaz si ces éléments peuvent nuire au bon comportement de l'ouvrage.

Un excellent état de surface obtenu par un nettoyage, un rôtiage, un compactage et un traitement antivégétation du support. Pour une sécurité supplémentaire, on peut placer un revêtement en feutre sous la membrane.

3.2. La mise en oeuvre des plaques

La face placée au contact du support sera celle recouverte d'un film. On commence la pose du revêtement par la crête des talus en continuant le travail suivant la ligne de plus grande pente et en tenant compte dans la mesure du possible du sens des vents dominants suivant la figure 11.

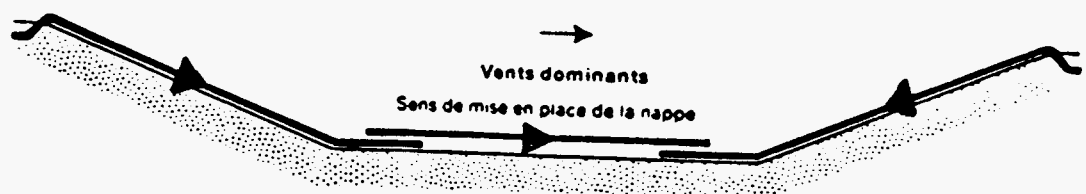


Figure 11 : Mise en oeuvre des nappes Teranap.

3.3. La réalisation des joints

La réalisation des joints varie selon la largeur du matériau :

Teranap TP en 2 m de largeur : après déroulement et positionnement correct d'un lé de Teranap TP, on réenroulera les deux demi-longueurs en enlevant soigneusement le papier de protection de la bande de soudure. Les joints auront au minimum 15 cm de largeur. Ils seront soudés au chalumeau à propane ou collés avec un bitume 110/30. La portion des feuilles servant à la confection des joints sera toujours maintenue parfaitement propre.

La soudure sera réalisée, de préférence à l'avancement, en faisant rouler le lé supérieur sur le lé voisin et en maintenant en permanence un bourrelet de bitume au contact du rouleau suivant la figure 12.

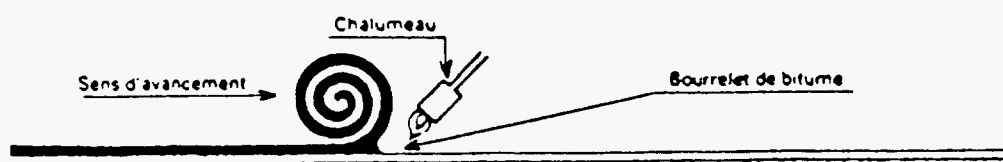


Figure 12 : Réalisation des joints.

Teranap 431 TP de 4 m de largeur

En 4 m de largeur, le Teranap 431 TP est enroulé avec le film polyester à l'intérieur (c'est le contraire pour les autres matériaux) de façon à ce que le film se trouve au contact du sol lors du déroulement du rouleau.

Il faut obligatoirement un moyen de manutention électrique pour la mise en oeuvre du Teranap 431 TP : portique ou grue.

Le soudage du Teranap 431 TP en rouleaux de 4 m ne pouvant être réalisé à l'avancement, la largeur de recouvrement sera au moins égale à 20 cm. Le papier de protection de la bande de soudure sera soigneusement enlevé avant début du soudage. On chauffera ensemble les deux lés sur toute la longueur du recouvrement et on procédera au marouflage avec un chiffon ou un rouleau humique aussitôt après soudage (figure 13).

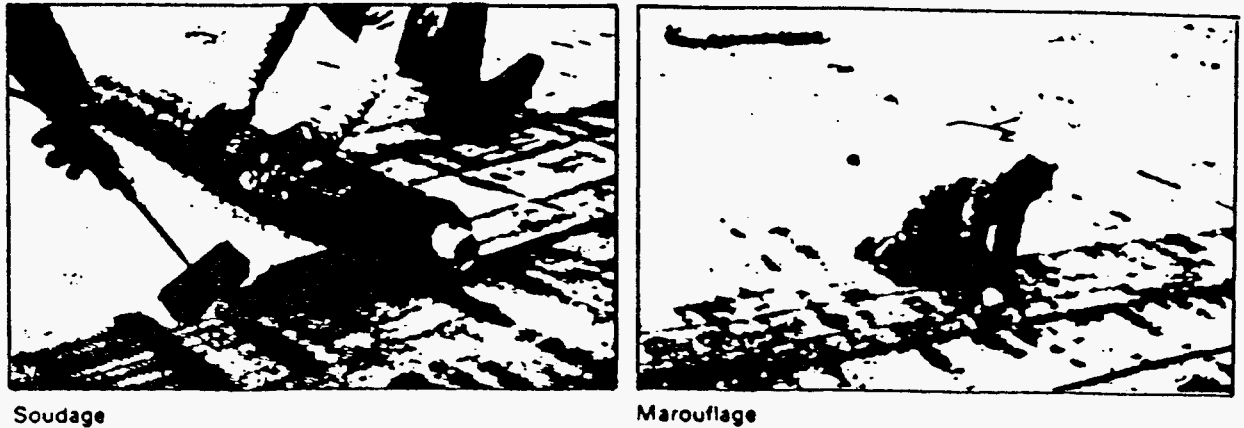


Figure 13 : Opérations de soudage.

4. Stockage

Sur chantier, avant la pose, les rouleaux de Teranap TP doivent être stockés couchés, mais non entreposés les uns sur les autres. Les rouleaux de 4 m seront soutenus par les extrémités des mandrins reposant sur des supports.

5. Contrôle à la pose et problèmes techniques

Peu de choses sont dites dans le cahier des charges de pose. Il s'agirait d'un contrôle visuel. Eventuellement, il pourra être procédé à un contrôle par ultrasons effectué par une société dont il donne les coordonnées :

Qualitest, Domaine de Corbeville, 91400 ORSAY.

V - COMPARAISON DES DIFFERENTS MATERIAUX

Cette partie du rapport n'est pas complète dans la mesure où il manque encore des données importantes. Je ne citerai pas de conclusion et me contenterai de signaler certaines ressemblances ou différences entre les matériaux.

1. Composition, fabrication

Les matériaux étant tous fondamentalement différents, il est normal que les processus de fabrication soient différents.

Pour avoir plus de renseignements, il semble intéressant de contacter des fabricants : Alkor-Maréchal et Siplast sont prêts à faire visiter leurs usines.

Les fabricants de géomembranes en PEhd étant tous étrangers (Allemands, Italiens, Américains...) il faudrait les contacter ultérieurement.

2. Caractéristiques

Les caractéristiques moyennes obtenues pour chaque matériau sont rassemblées dans le tableau 5 suivant :

	Densité g/m ³	Résistance à la rupture N/mm ²	Allongement à la rupture %	Résistance à la déchirure amorcée N/mm
PVC	1,27	≥ 17 L et T	300 L et T	≥ 80 L et T
PEhd	0,94	≥ 24 L et T	700 L et T	≥ 300 L et T
Teranap	1,23	≥ 18 L ≥ 14 T	45 L et T	≥ 300 L et T

Tableau 5

Les courbes comparatives sont données sur la figure 14.

A la vue des données, le PEhd semble avoir les meilleures caractéristiques mécaniques.

Il faudrait contacter un poseur de géomembranes de plusieurs qualités afin qu'il détaille les avantages et les inconvénients de chaque type de matériaux.

Une étude poussée sur les normes et les types d'essais associés est nécessaire pour une meilleure compréhension des résultats.

3. Techniques de pose et contrôle associés

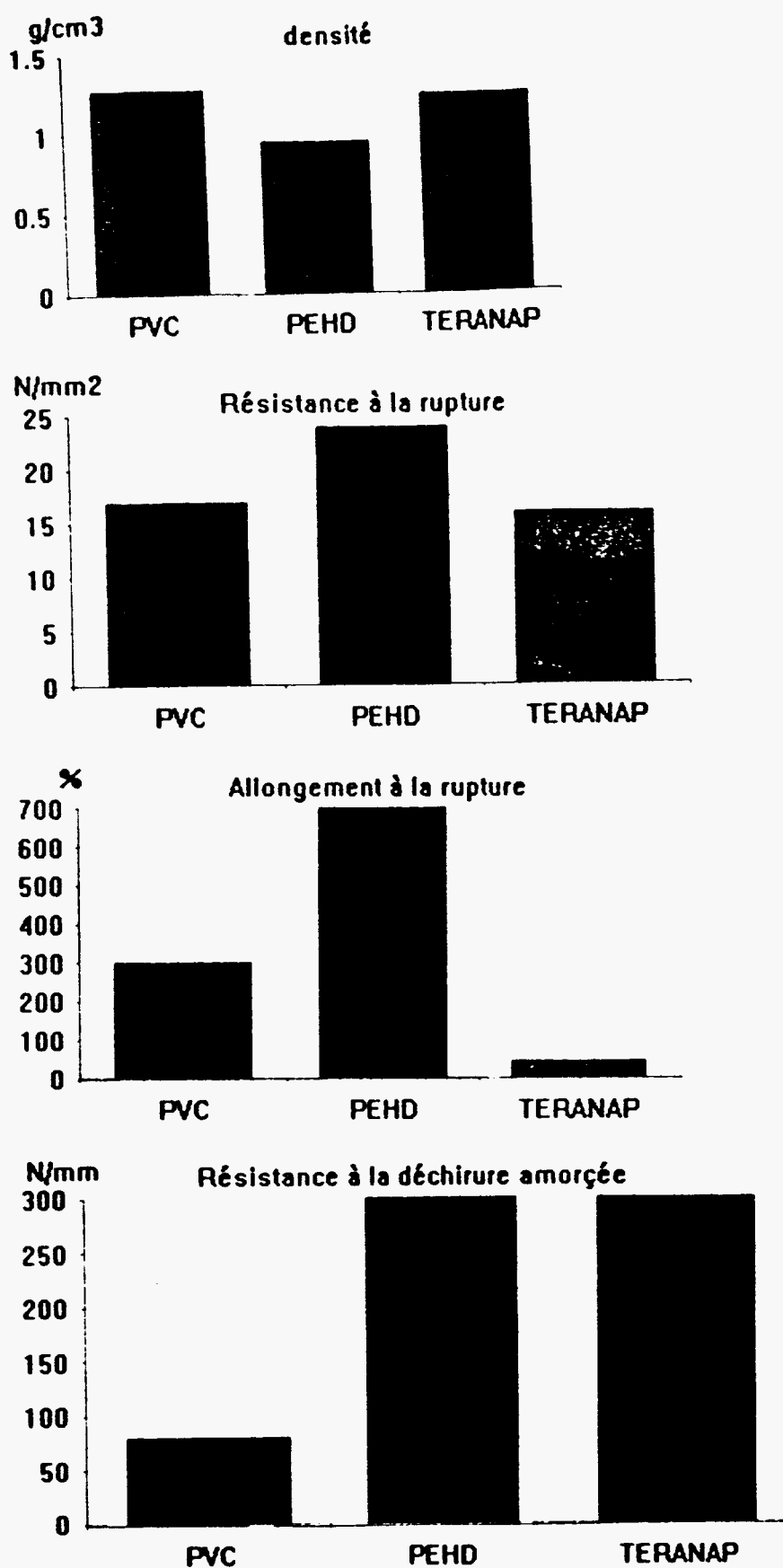
Le peu de renseignements obtenus à ce sujet tend à montrer que les techniques ne varient pas beaucoup en fonction du matériau :

- même préparation du terrain destiné à recevoir l'étanchéité (terrassment, tranchée d'ancrage...),
- même type de pose (par déroulement du matériau),
- même stockage des matériaux (à plat, dans des conditions de températures et d'humidité données).

Ces remarques doivent être tempérées par le fait que seules trois sociétés ont fourni des détails à ce sujet.

En ce qui concerne le contrôle des joints à la pose, une étude complémentaire doit être entreprise. Le contrôle par ultrasons est utilisable pour les joints en PEhd, en bitumes - élastomère et probablement en PVC.

Figure 14 : Courbes comparatives des caractéristiques mécaniques.



VI - CONCLUSION GENERALE

L'utilisation des géomembranes connaît en France un développement accéléré. Le présent rapport n'est qu'une introduction à une étude plus poussée qui devra faire intervenir :

- les process de fabrication détaillés pour chaque type de produit, ce chapitre sera fondé sur des visites d'usines,
- une analyse poussée des essais réalisés et des normes employées,
- une analyse comparative des techniques de pose, de réalisation des joints et de contrôle de qualité,
- une enquête réalisée auprès des poseurs de géomembranes pour expliquer l'utilisation d'un matériau dans des circonstances déterminées.

Aucune donnée financière n'a pu être obtenue : le coût de la géomembrane varie avec le type d'utilisation à réaliser, l'état du terrain destiné à recevoir l'étanchéité...

DOCUMENTATION UTILISEE

Livres :

J.P. TROTIGNON

M. PIPERAUR Précis de matières plastiques AFNOR NATHAN 1989

J. VEROU

A. DOBRACZYNSKI

Plaquettes :

- Membranes monocouches thermoplastiques :
Comité membranes d'étanchéité (CME)
- Qu'est ce que le polyéthylène ? A quoi est-il destiné ? :
- Barbier et Cie. Société d'extrusion du polyéthylène.
- Plaquettes de présentation SLT
- Plaquettes de présentation SIPLAST
- Plaquettes de présentation VIFAPROMATS
- Plaquettes de présentation SOTRAP
- Plaquettes de présentation GRILTEX
- Plaquettes de présentation ALKOR-MARECHAL

**FIGURES
ET
PHOTOGRAPHIES**

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma de principe de la méthode proposée pour tester l'étanchéité de cordons de soudure.

Figure 2 : Pilote d'essai et système d'aspersion et de détection d'Hélium.

Figure 3 : Pilote d'essai et cellule de mesure du transfert de l'Hélium à travers une membrane PEHD avec ou sans joint.

Figure 4 : Pilote d'essai réhaussé par une couche sableuse drainante.

Figures 5 A-B-C : Evolution du débit de fuite en Hélium sur la membrane recouverte de 40 cm de sable.

Figure 6 : Evolution du débit de fuite en Hélium sur la membrane recouverte de 40 cm de sable : mesure en 3 points équidistants.

Figure 7 : Mise en évidence de l'emplacement d'une perforation \varnothing 3 mm sur un joint de géomembrane.

Figure 8 : Profil de fuite d'une géomembrane préalablement détériorée par des perforations \varnothing 1 et \varnothing 3 mm.

Figure 9 : Mesure du débit de fuite d'une perforation de \varnothing 1 mm sur un joint de géomembrane.

Figure 10 : Evolution du débit de fuite en Hélium sur la membrane recouverte de 40 cm de sable : décontamination partielle du détecteur entre 2 mesures.

Figure 11 : Evolution du débit pendant les premières minutes de mesure en position 1.

Figure 12 : Mesure continue pendant le déplacement de la cloche.

Figure 13 : Evolution du débit de fuite en Hélium sur la membrane recouverte de 40 cm de sable, mesure en 3 points équidistants.

Figure 14 : Mesure du débit de fuite en différents points d'un tube perforé sur un site de stockage en cours d'aménagement.

Figure 15 : Mesure du débit de fuite en différents points d'un tube perforé sur un site de stockage d'ordures ménagères.

Figure 16 : Schéma de principe de l'appareillage mis en oeuvre "in situ" au cours du contrôle.

Figure 17 : Schéma du tube perforé sur site pour simuler la détérioration d'une géomembrane.

Figure 18 : Vérification préalable de l'intégrité de la soudure.

Figure 19 : Détection de la fuite provoquée par la perforation de la chambre.

Figure 20 : Détection du panache de traceur au-dessus d'un empilement de déchets.

Figure 21 : Recherche de perforations de la chambre d'encollage ou intercordons de soudure par mise en oeuvre du gaz traceur Hélium (He).

Figure 22 : Recherche de perforations de la chambre d'encollage ou intercordons de soudures par mise en oeuvre du gaz traceur SF6.

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

- Photographies 1 et 2 : Réalisation du lit support de drain soumis à pression d'Hélium, sous la géomembrane de soubassement.
- Photographies 3 et 4 : Pilote avec géomembrane de soubassement et drain agricole à injection d'Hélium.
- Photographies 5 et 6 : Cloche de piégeage et détecteur d'Hélium en position de mesure sur un joint de la membrane.
- Photographie 7 : Pose de la géomembrane de soubassement d'une alvéole du CET de X. Vue sur les cordons de soudure.
- Photographie 8 : Alvéole du CET de X avec géomembrane de soubassement et couche de matériaux de protection.
- Photographie 9 : Vue latérale de la cellule du CET avec lit de drainage et sa géomembrane.
- Photographie 10 : Héli-test portable
- Photographie 11 : Vues sur le site expérimental, la "chambre" sous pression d'Hélium et l'appareillage de mesure.
- Photographie 12 : Vues sur l'alimentation en Hélium et la source d'énergie.
- Photographie 13 : Héli-test portable mis en oeuvre sur un empilement de déchets réels.
- Photographie 14 : Expérimentation de contrôle de fuite sur la "chambre" sous pression d'Hélium posée sur un empilement de déchets réels.

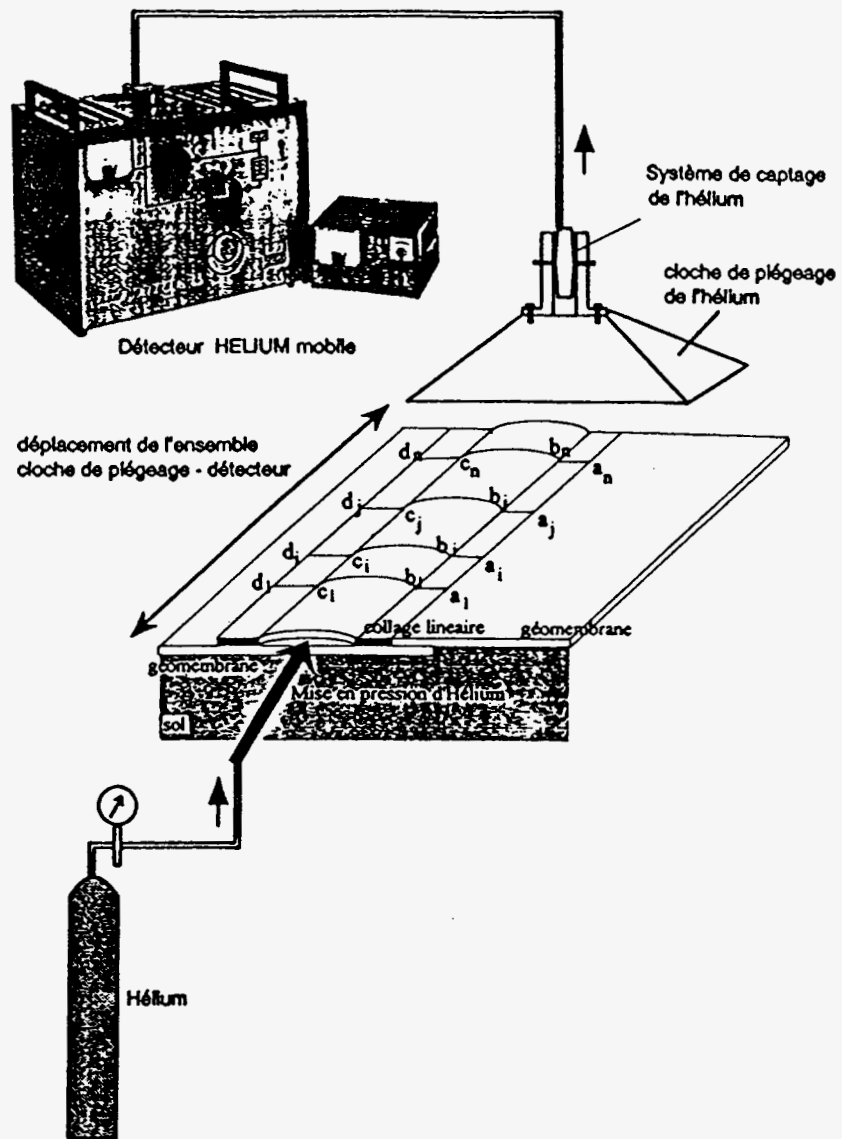


Figure 1 : Schéma de principe de la méthode proposée pour tester l'étanchéité de cordons de soudure.

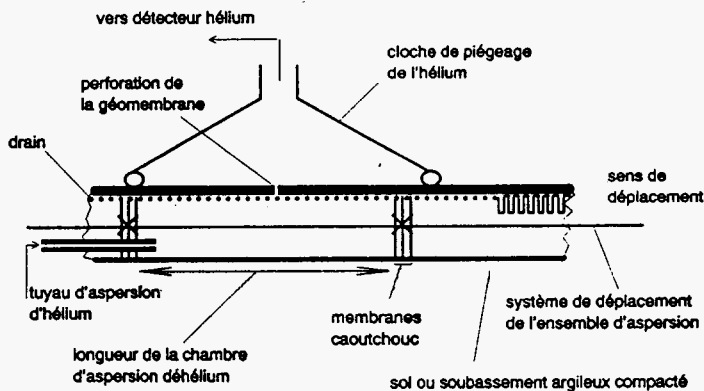


Figure 2 : Pilote d'essai et système d'aspersion et de détection d'Hélium.

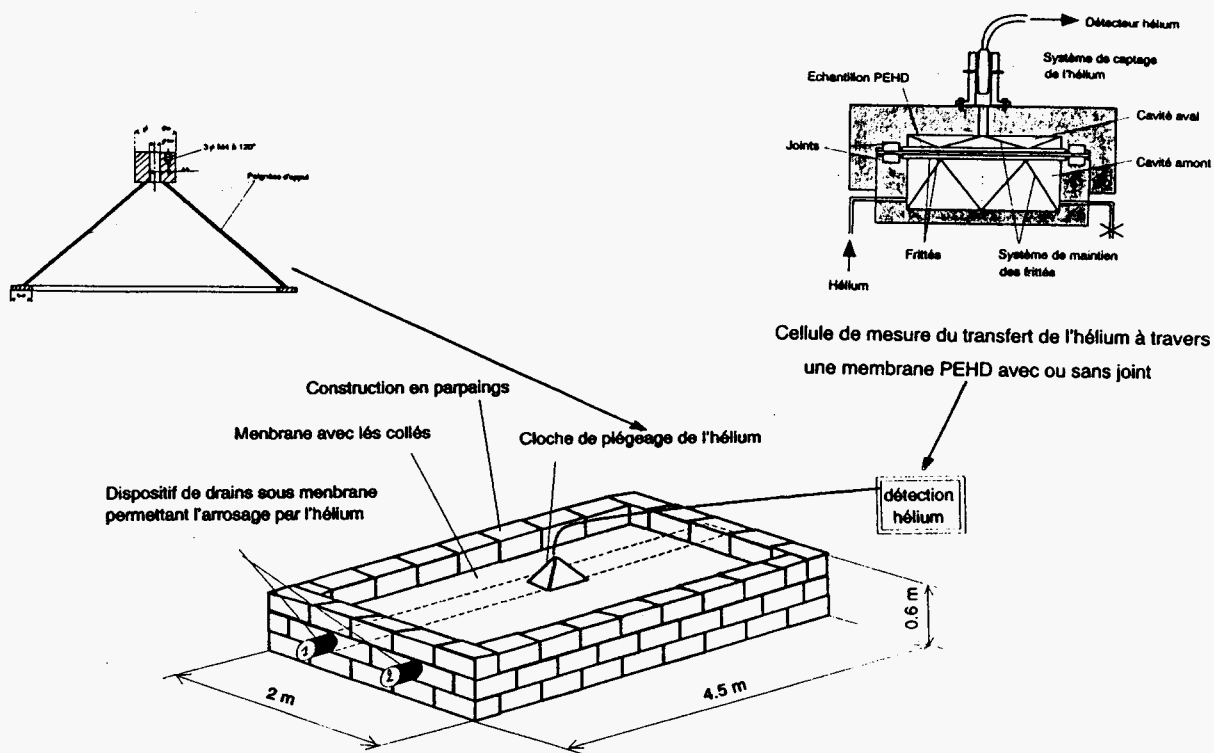


Figure 3 : Pilote d'essai et cellule de mesure du transfert de l'Hélium à travers une membrane PEHD avec ou sans joint.

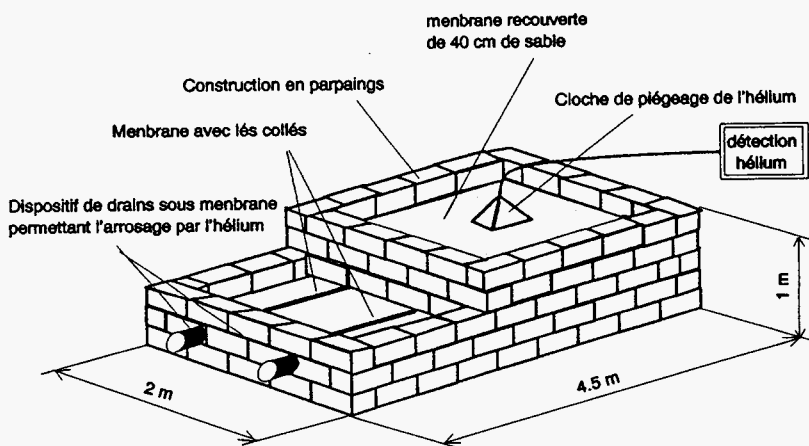


Figure 4 : Pilote d'essai réhaussé par une couche sableuse drainante.

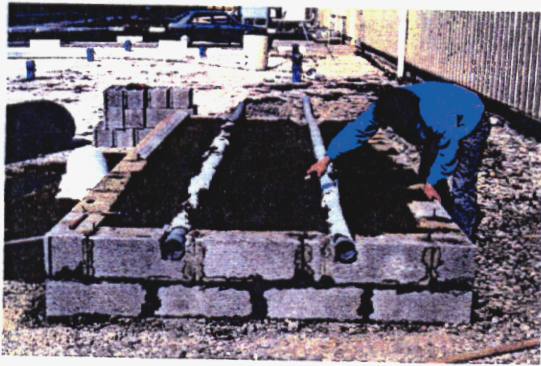


Photo 1

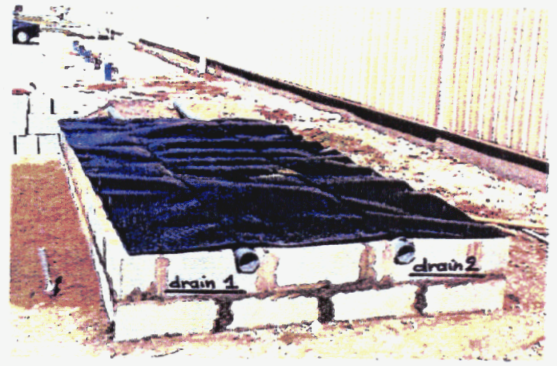


Photo 1



Photo 2

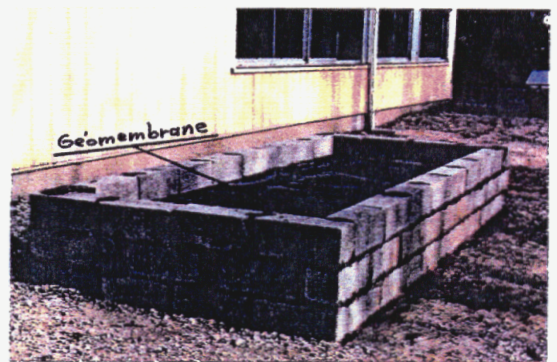
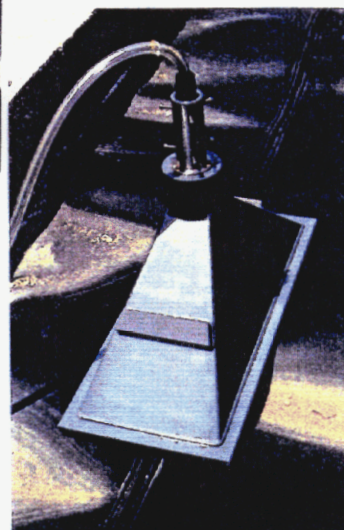
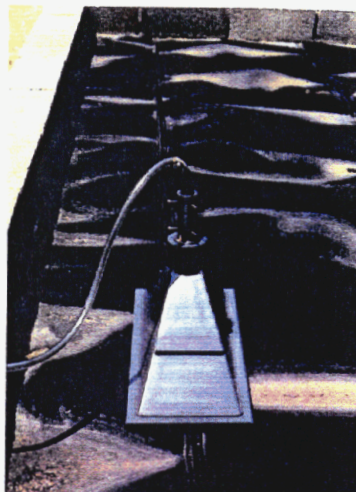


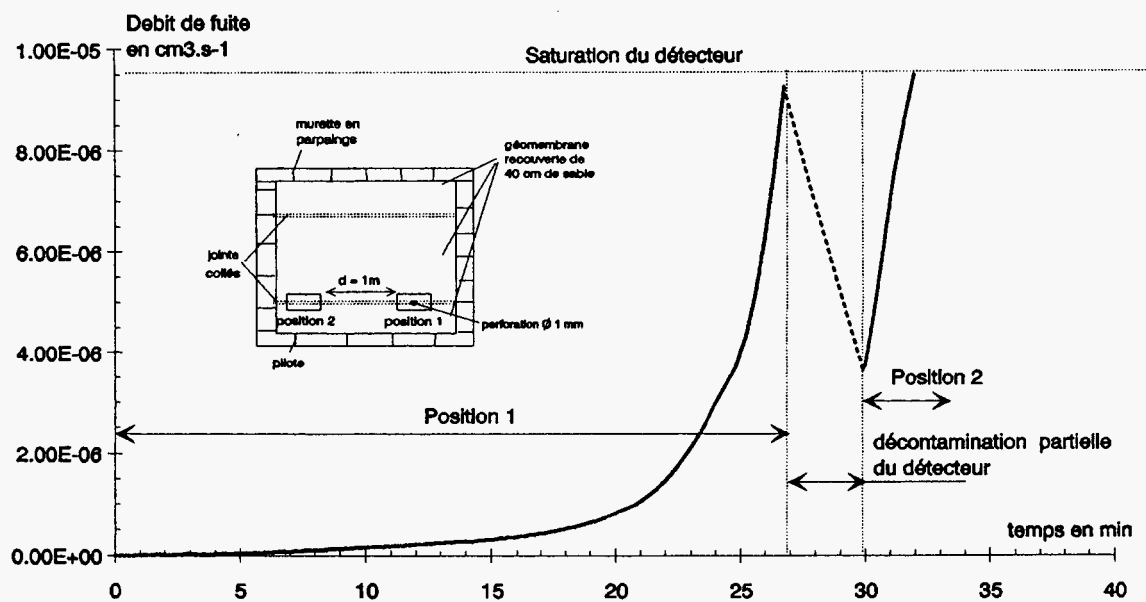
Photo 2

Photographies 1 et 2 : Réalisation du lit support de drain soumis à pression d'Hélium, sous la géomembrane de soubassement.

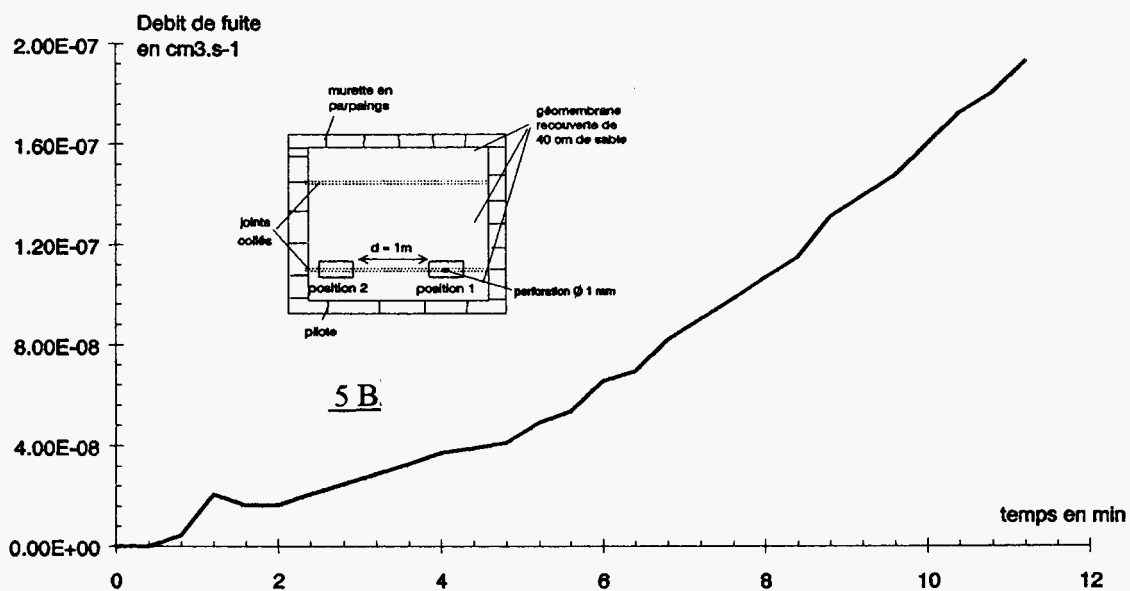
Photographies 3 et 4 : Pilote avec géomembrane de soubassement et drain agricole à injection d'Hélium.



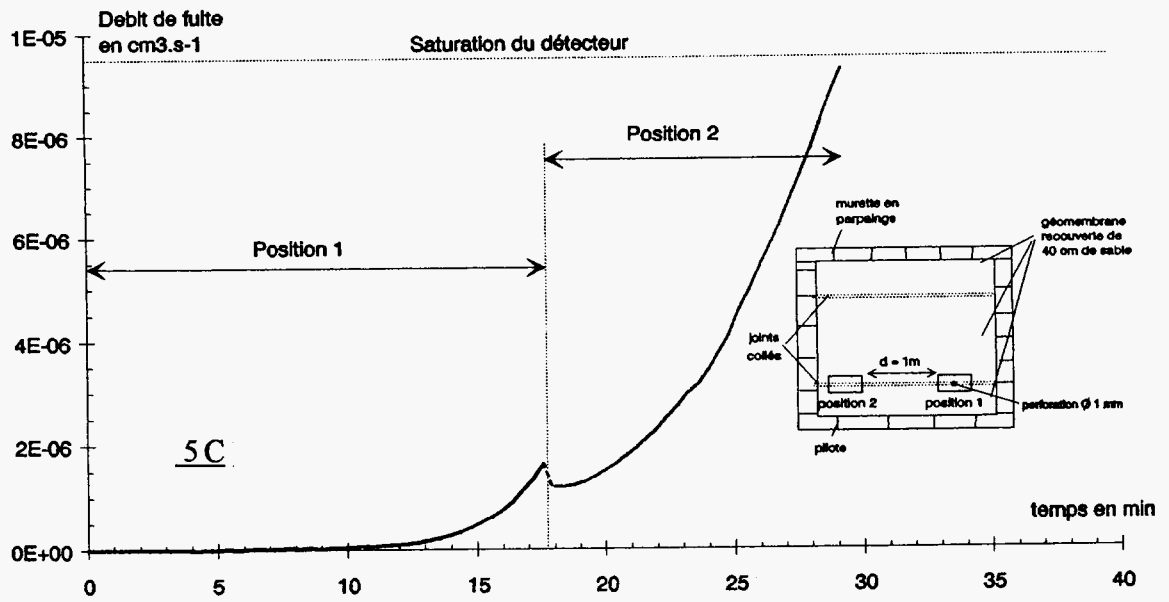
Photographies 5 et 6 : Cloche de piégeage et détecteur d'Hélium en position de mesure sur un joint de la membrane.



5 A. Essai n° 1 : Evolution du débit de fuite en hélium sur la membrane recouverte de 40 cm de sable
Décontamination partielle du détecteur entre 2 mesures



Figures 5 A-B-C : Evolution du débit de fuite en Hélium sur la membrane recouverte de 40 cm de sable.



Figures 5 A-B-C : Evolution du débit de fuite en Hélium sur la membrane recouverte de 40 cm de sable.

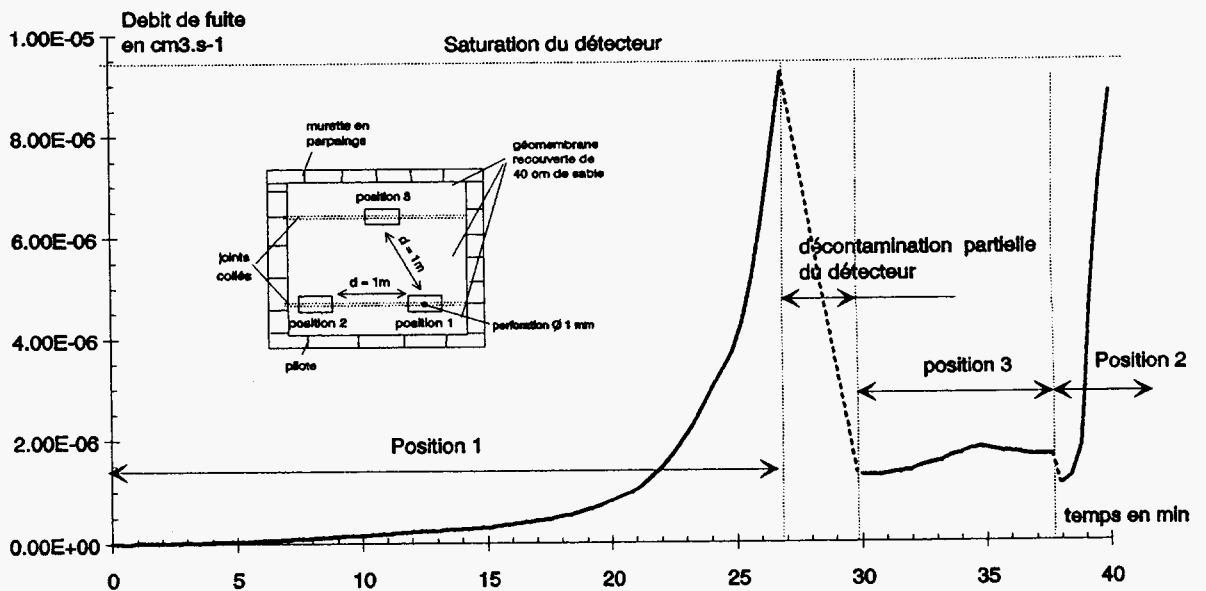


Figure 6 : Evolution du débit de fuite en Hélium sur la membrane recouverte de 40 cm de sable : mesure en 3 points équidistants.

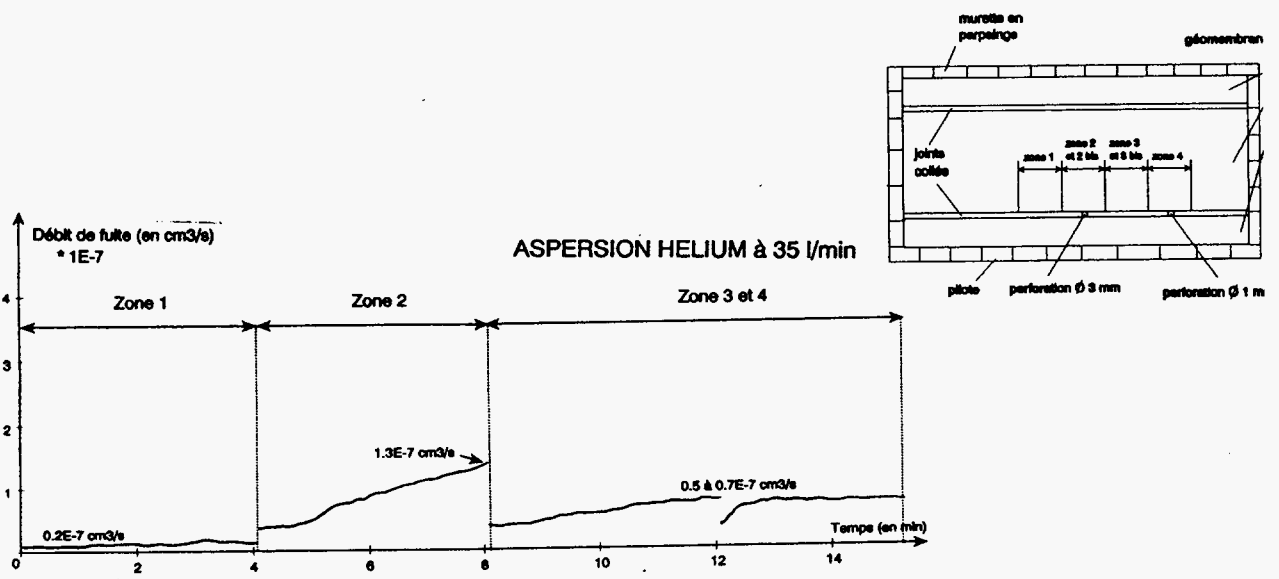


Figure 7 : Mise en évidence de l'emplacement d'une perforation $\varnothing 3 \text{ mm}$ sur un joint de géomembrane.

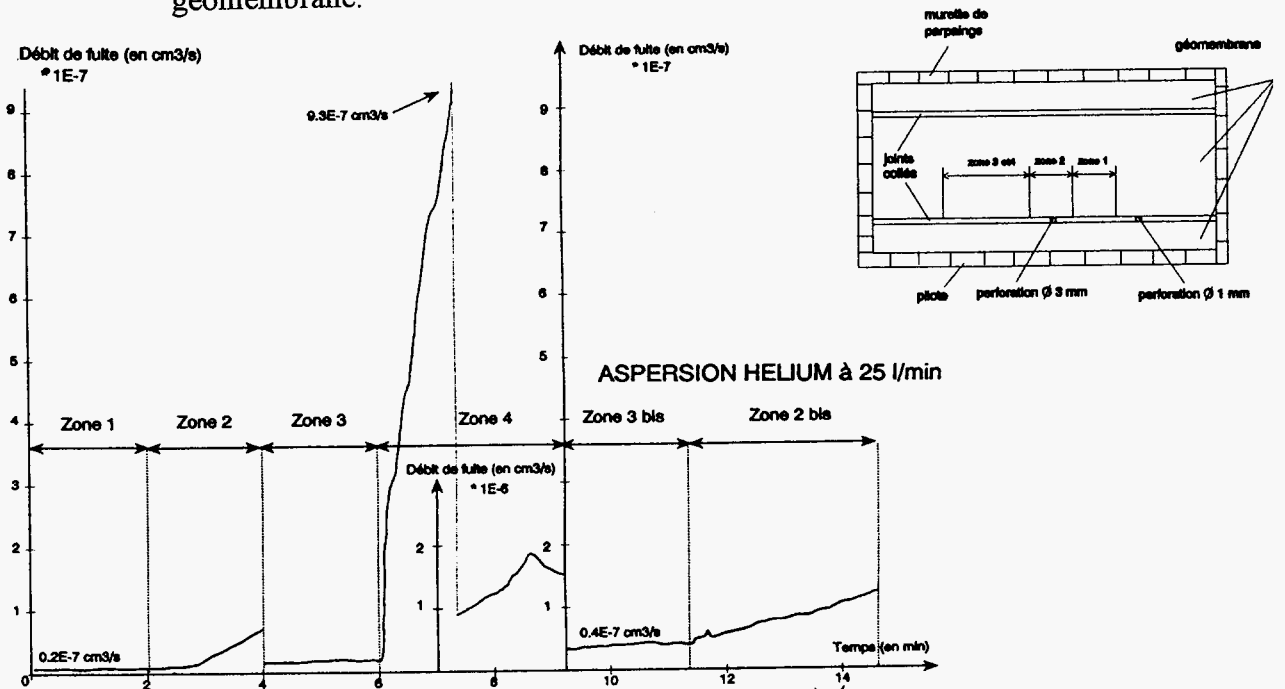


Figure 8 : Profil de fuite d'une géomembrane préalablement détériorée par des perforations $\varnothing 1$ et $\varnothing 3 \text{ mm}$.

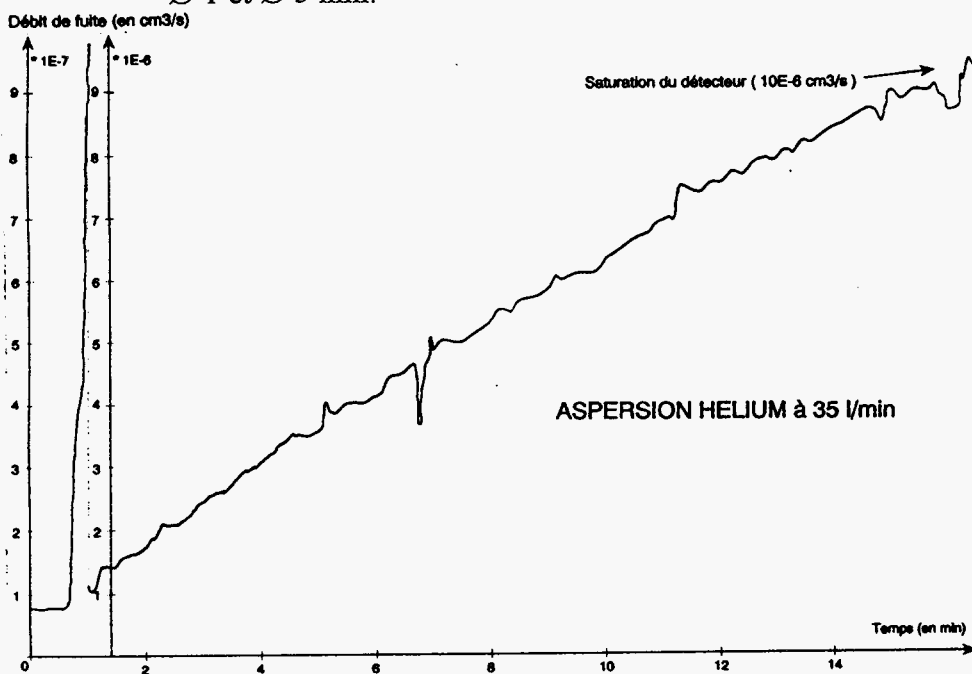


Figure 9 : Mesure du débit de fuite d'une perforation de $\varnothing 1 \text{ mm}$ sur un joint de géomembrane.

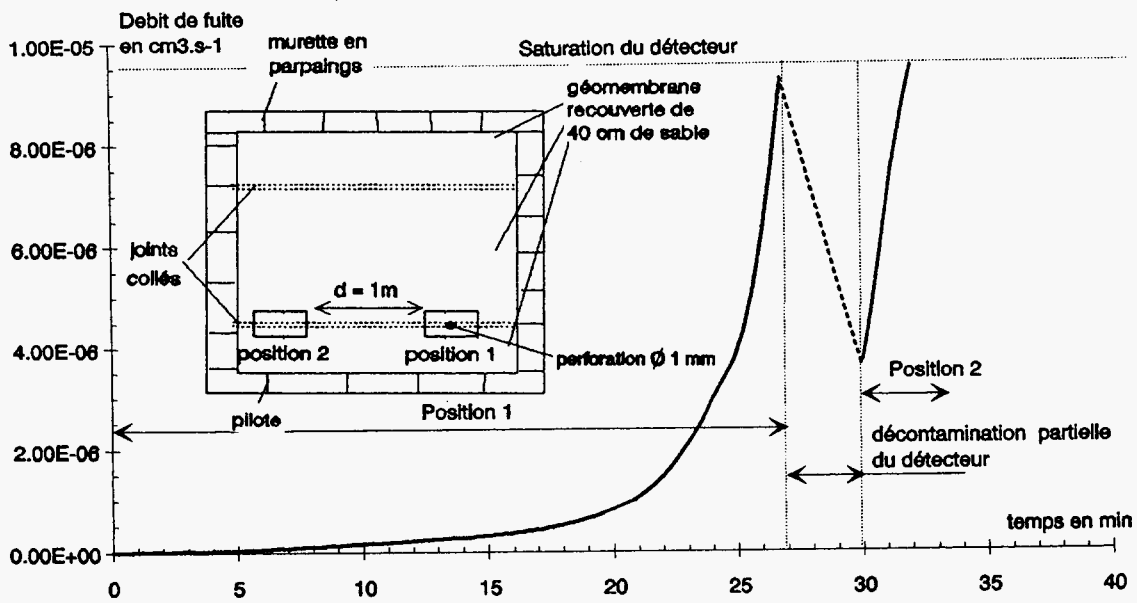


Figure 10 : Evolution du débit de fuite en Hélium sur la membrane recouverte de 40 cm de sable : décontamination partielle du détecteur entre 2 mesures.

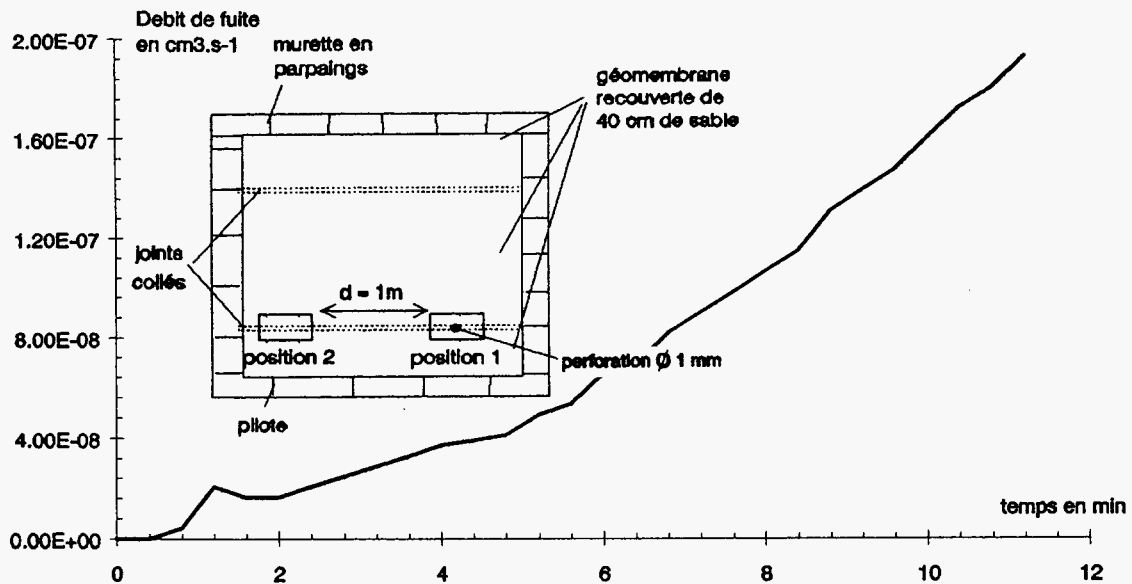


Figure 11 : Evolution du débit pendant les premières minutes de mesure en position 1.

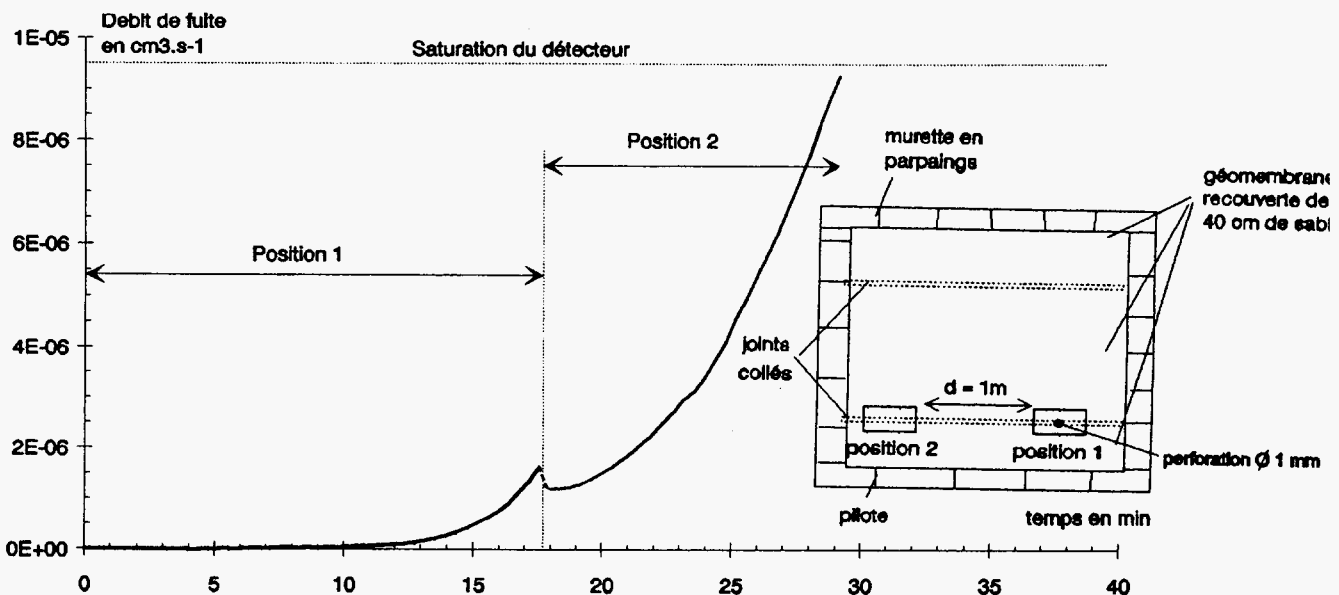


Figure 12 : Mesure continue pendant le déplacement de la cloche.

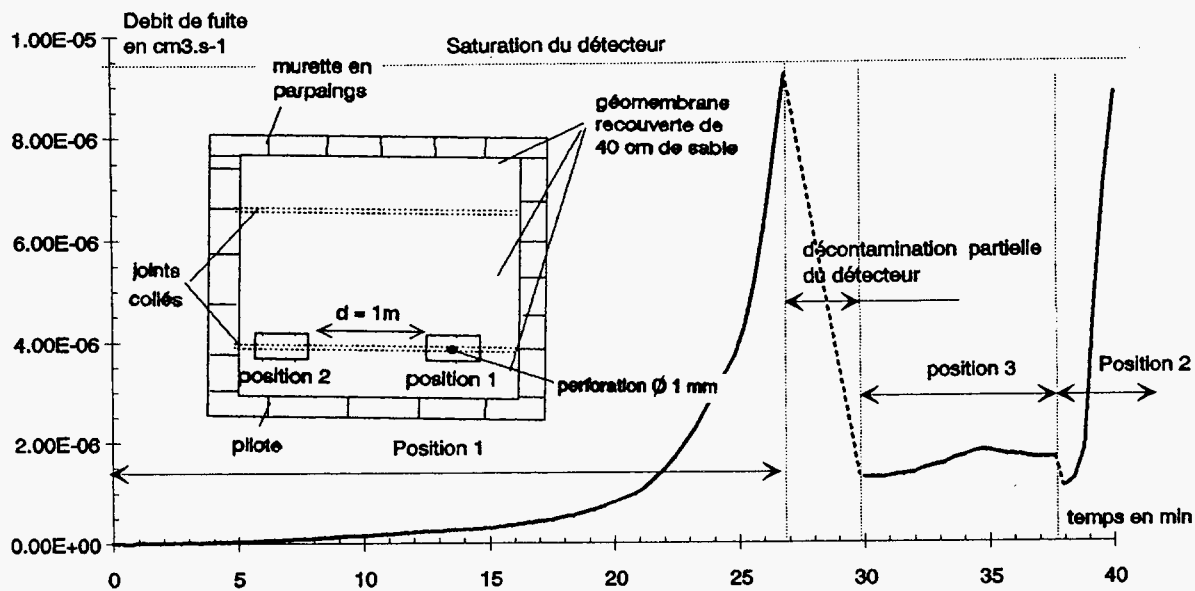
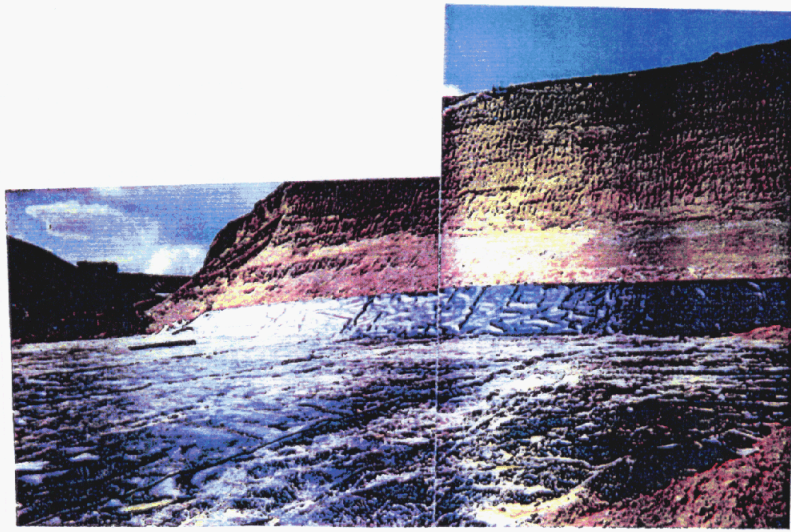


Figure 13 : Evolution du débit de fuite en Hélium sur la membrane recouverte de 40 cm de sable, mesure en 3 points équidistants.



Photographie 7 : Pose de la géomembrane de soubassement d'une alvéole du CET de X.
Vue sur les cordons de soudure.



Photographie 8 : Alvéole du CET de X avec géomembrane de soubassement et couche de matériaux de protection.

MESURE DU DEBIT DE FUITE EN DIFFERENTS POINTS D'UN TUBE PERFORE SUR UN SITE DE STOCKAGE EN COURS D'AMENAGEMENT (simulation de la détérioration d'une géomembrane)

Figure 14 :

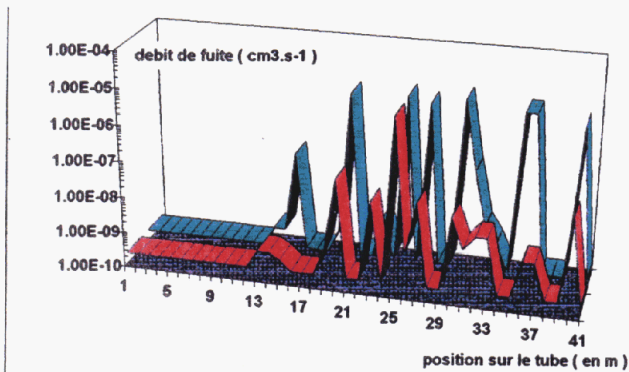


figure 3 : représentation tridimensionnelle

mesure à 1 m mesure au sol Bdf avant perforation

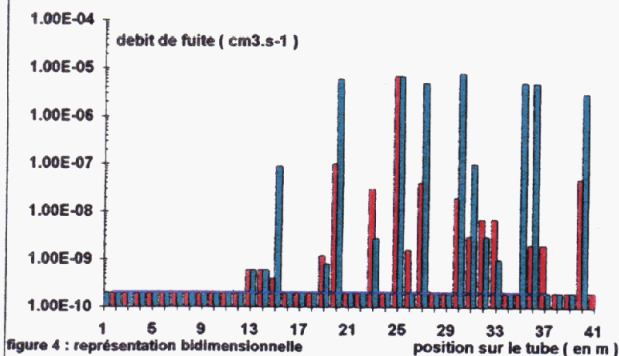


figure 4 : représentation bidimensionnelle

MESURE DU DEBIT DE FUITE EN DIFFERENTS POINTS D'UN TUBE PERFORE SUR UN SITE DE STOCKAGE D'ORDURES MENAGERES (simulation de la détérioration d'une géomembrane)

Figure 15 :

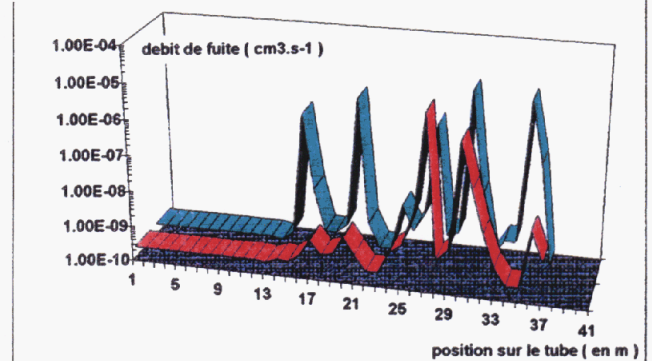


figure 5 : représentation tridimensionnelle

mesure à 1 m mesure au sol Bdf avant perforation

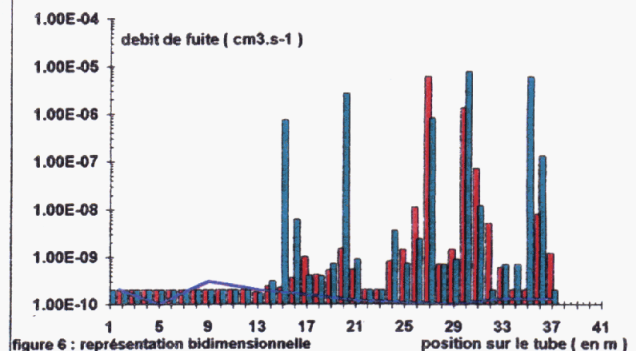


figure 6 : représentation bidimensionnelle

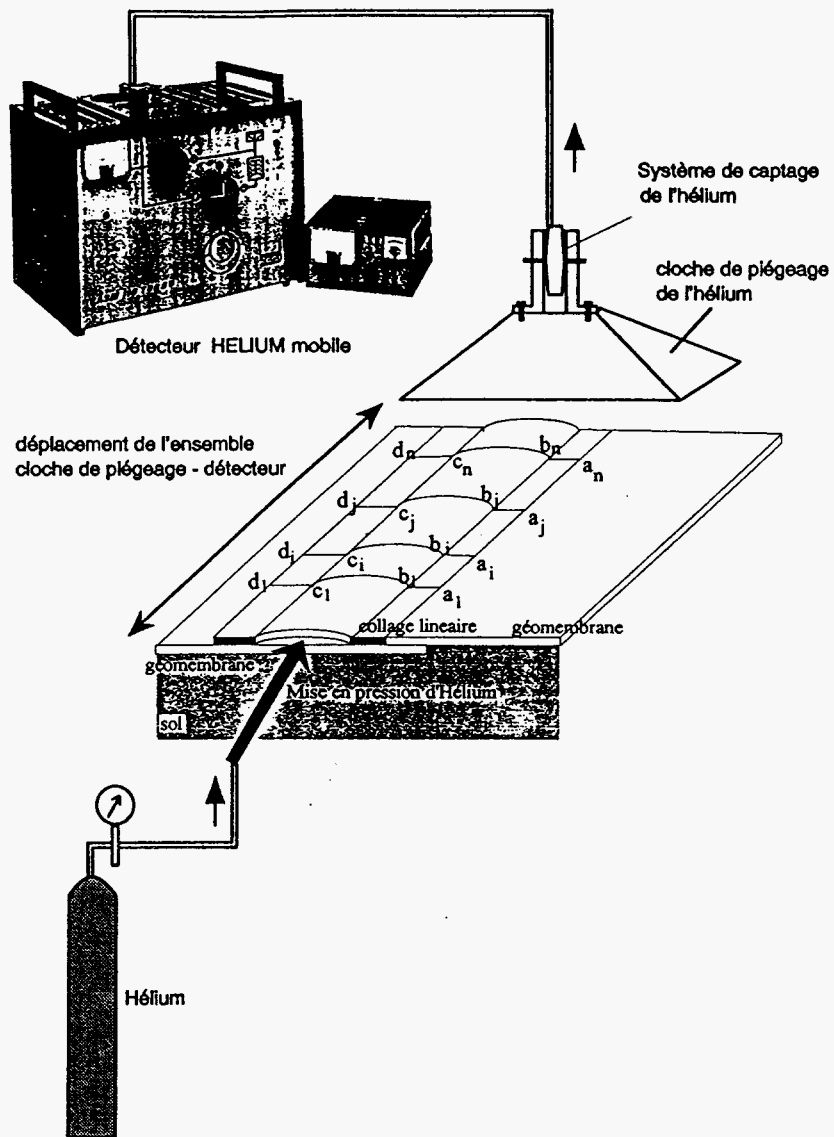


Figure 16 : Schéma de principe de l'appareillage mis en oeuvre "in situ" au cours du contrôle.

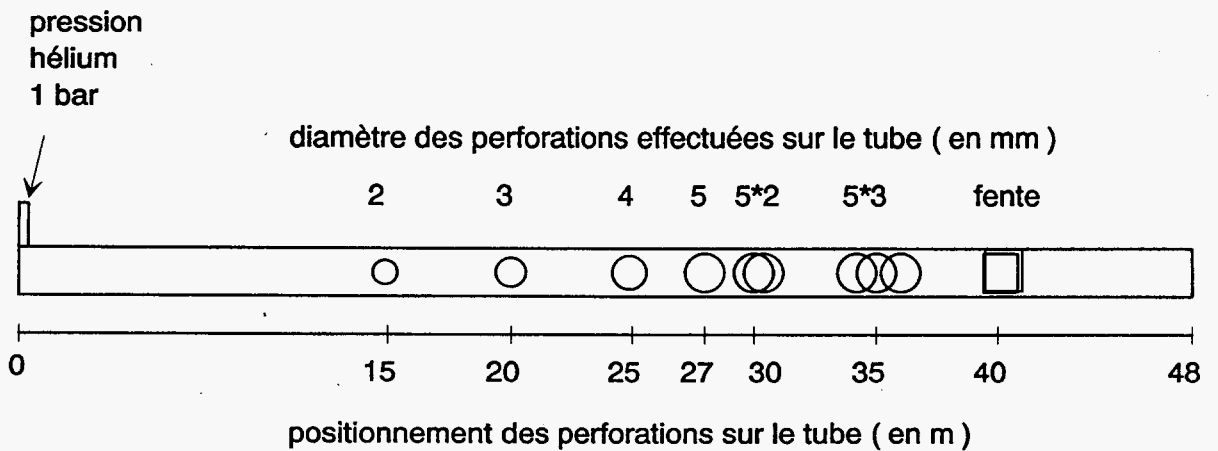


Figure 17 : Schéma du tube perforé sur site pour simuler la détérioration d'une géomembrane.

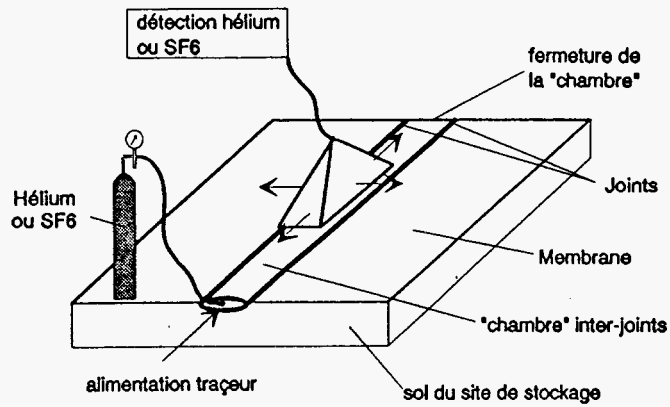


Figure 18 : Vérification préalable de l'intégrité de la soudure.

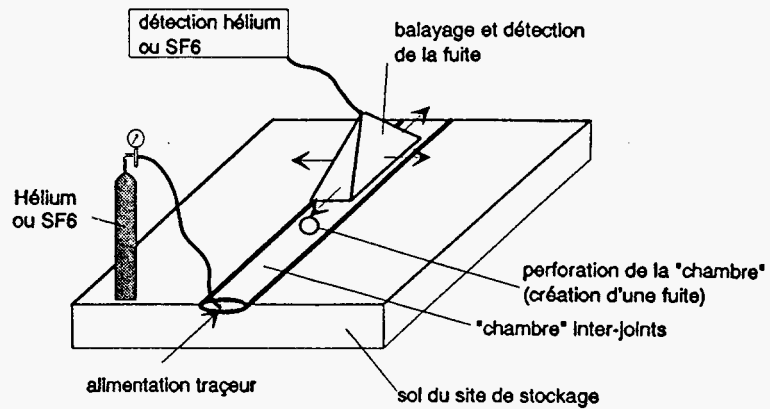


Figure 19 : Détection de la fuite provoquée par la perforation de la chambre.

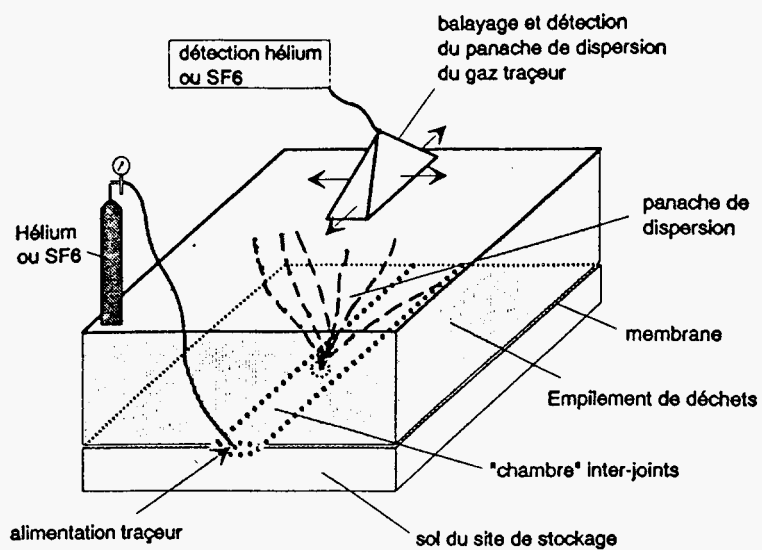
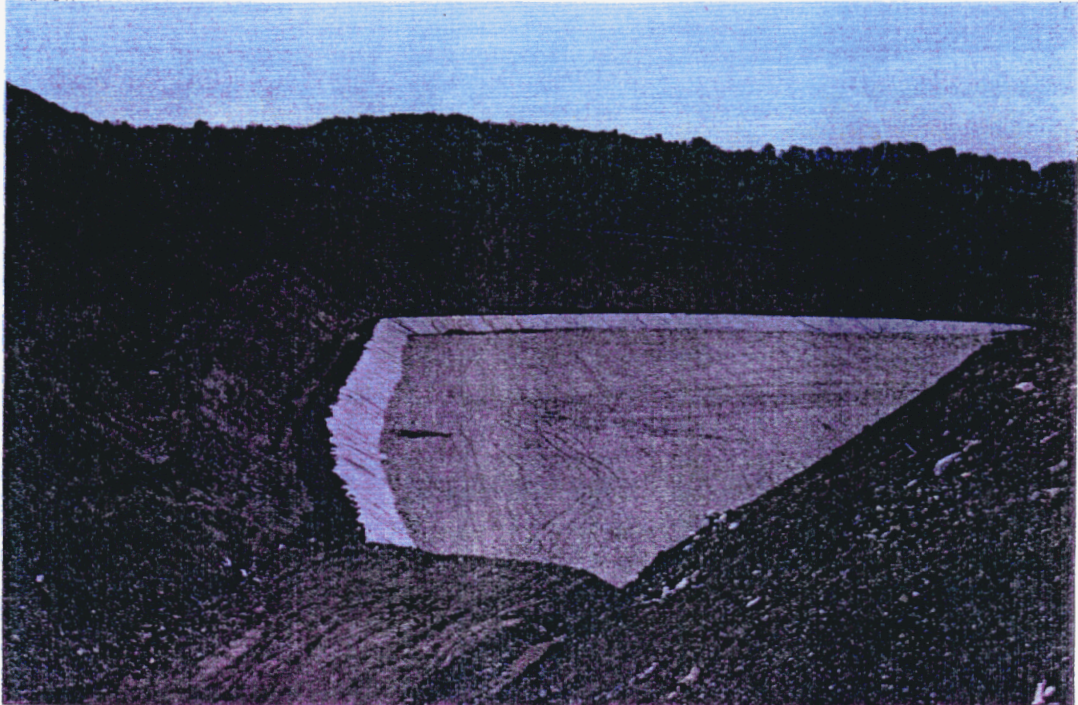


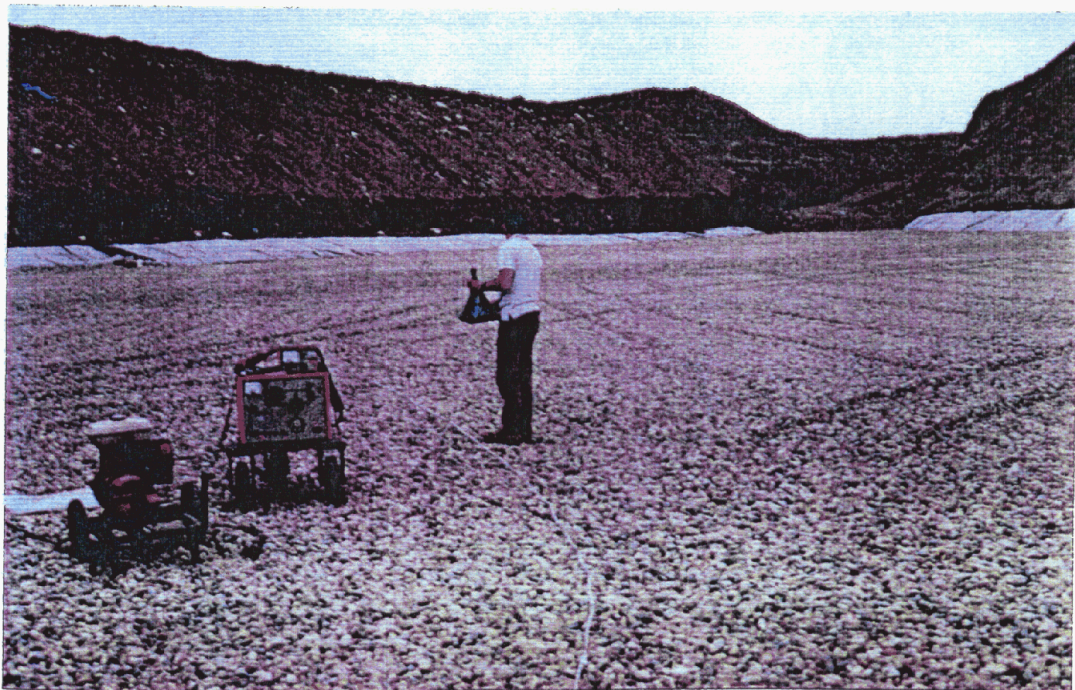
Figure 20 : Détection du panache de traceur au-dessus d'un empilement de déchets.



Photographie 9 : Vue latérale de la cellule du CET avec lit de drainage et sa géomembrane.

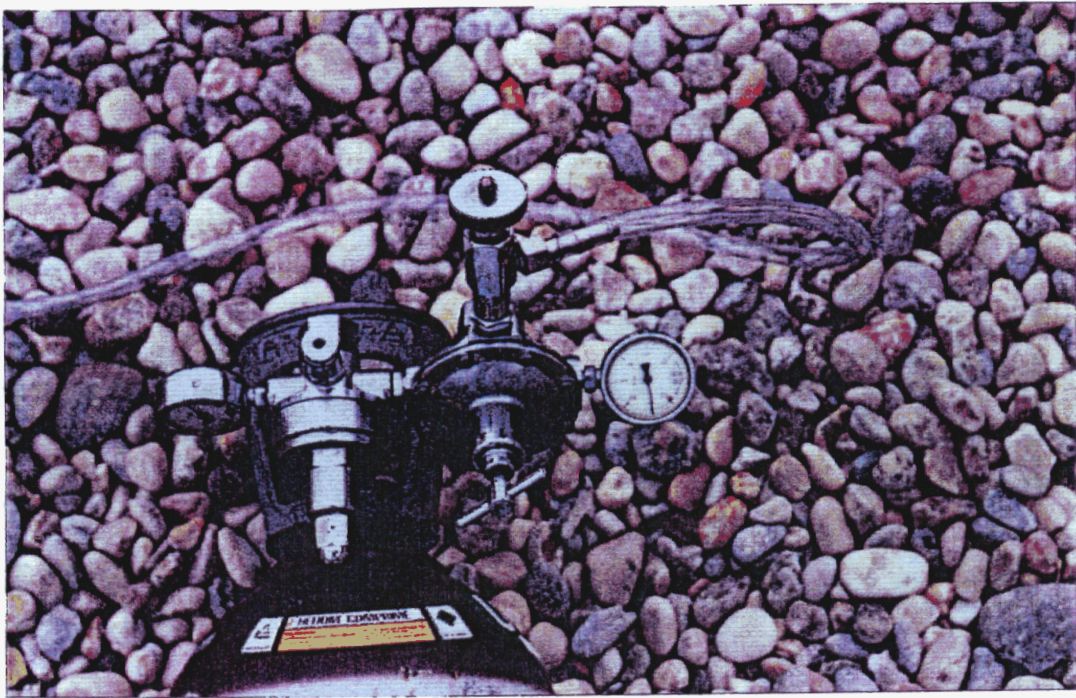


Photographie 10 : Héli-test portable

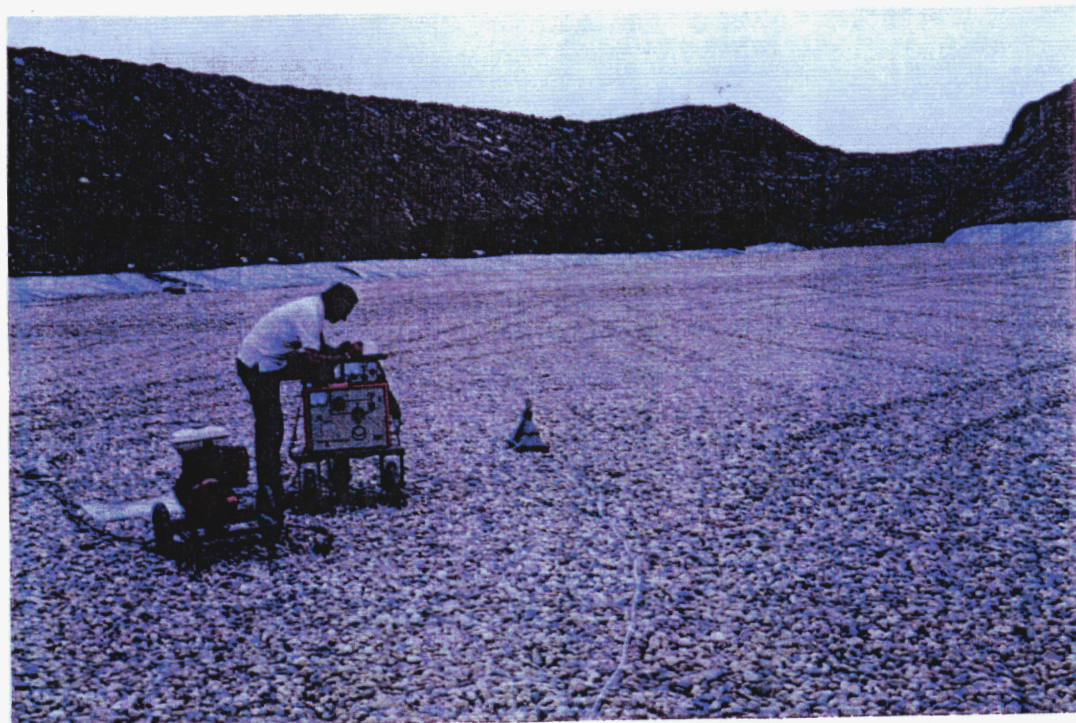


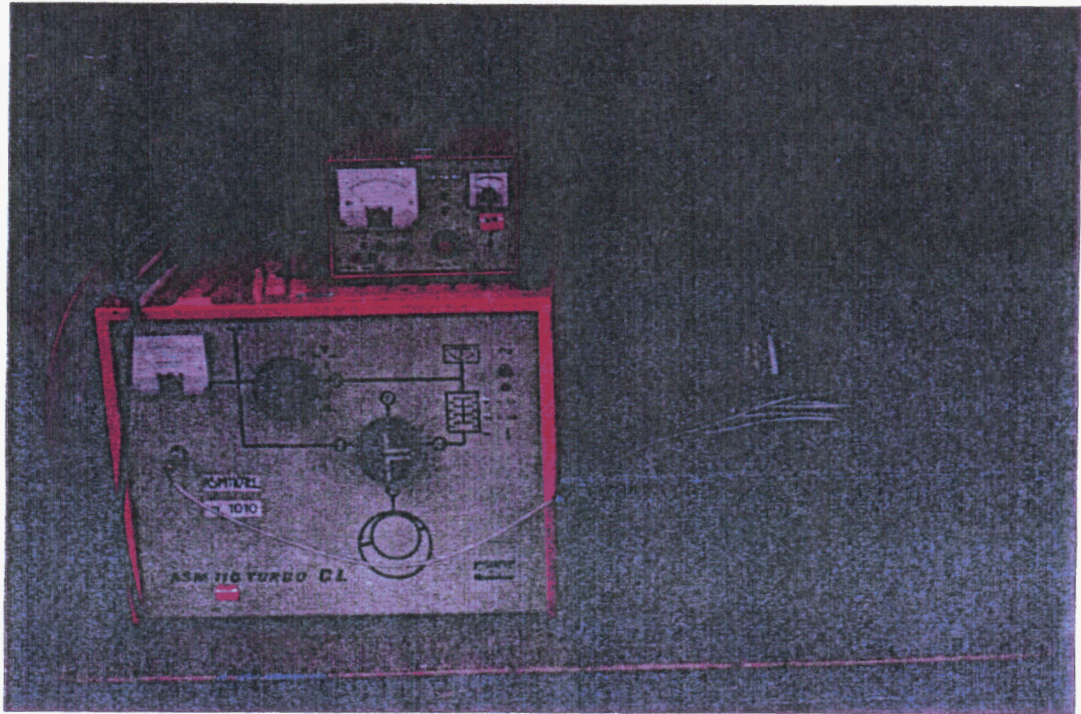
Photographie 11 : Vues sur le site expérimental, la "chambre" sous pression d'Hélium et l'appareillage de mesure.





Photographie 12 : Vues sur l'alimentation en Hélium et la source d'énergie.





Photographie 13 : Héliotest portable mis en oeuvre sur un empilement de déchets réels.





Photographie 14 : Expérimentation de contrôle de fuite sur la "chambre" sous pression d'Hélium posée sur un empilement de déchets réels.



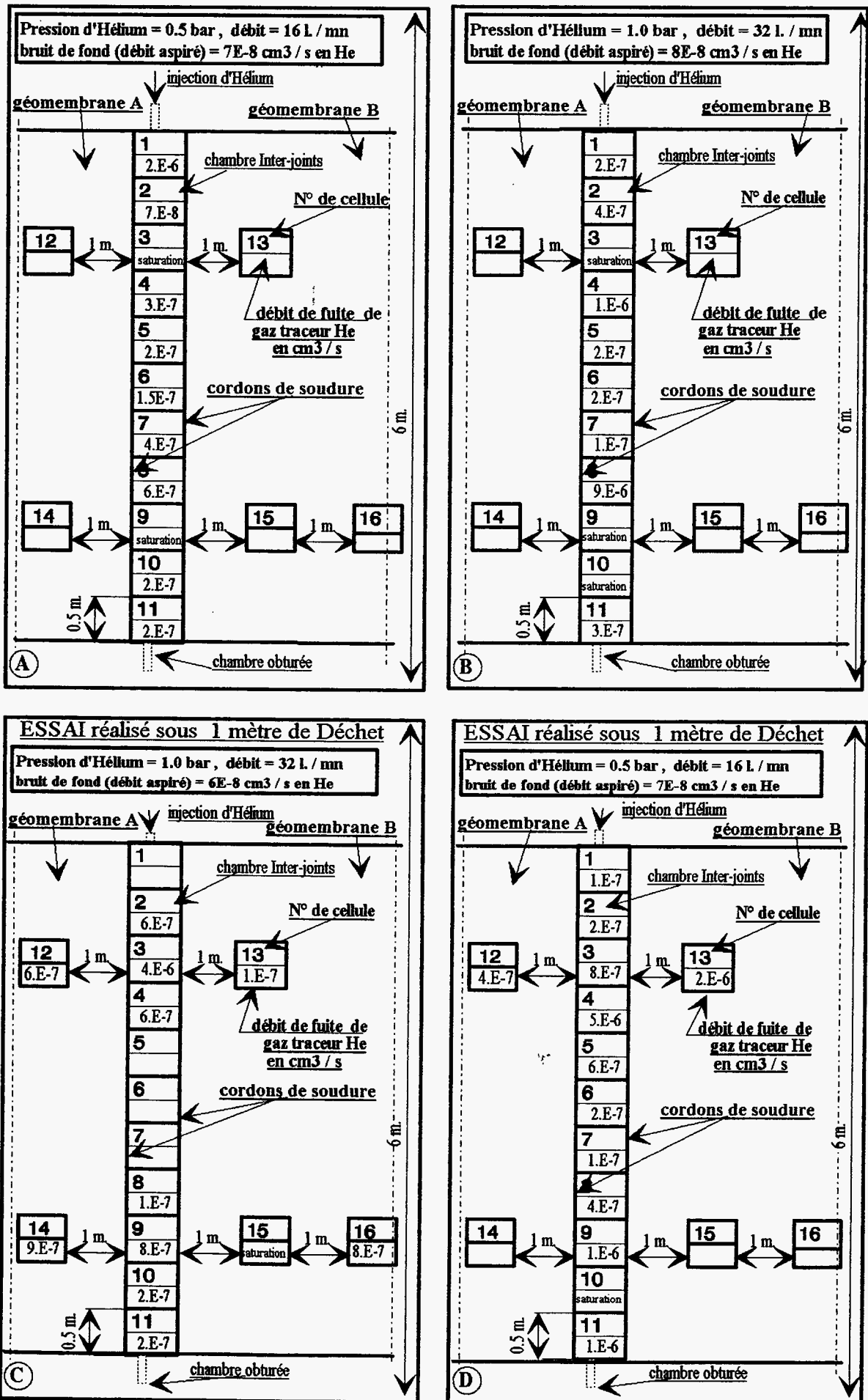


Figure 21 : Recherche de perforations de la chambre d'encollage ou intercordons de soudure par mise en oeuvre du gaz traceur Hélium (He).

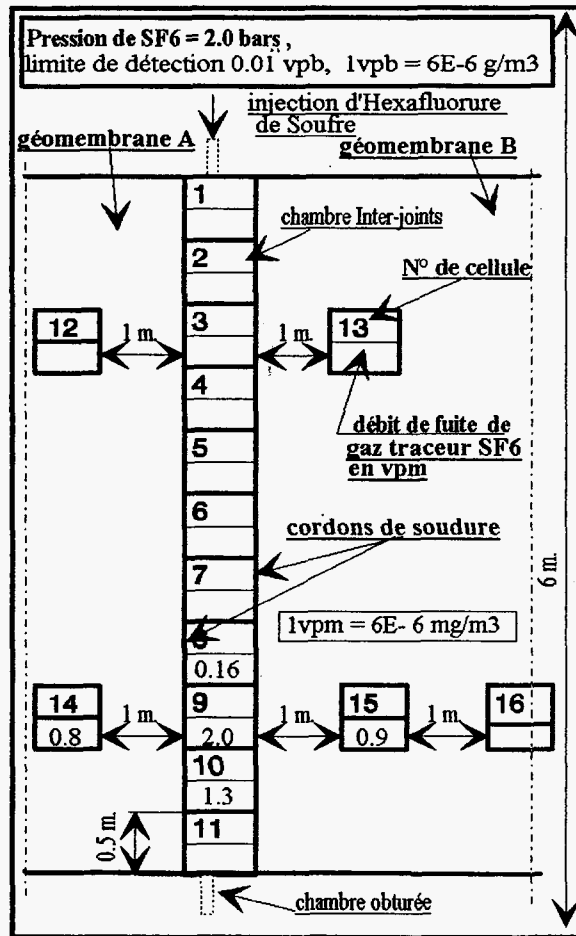


Figure 22 : Recherche de perforations de la chambre d'encollage ou intercordons de soudures par mise en oeuvre du gaz traceur SF6.

ANNEXE

Annexe 1

APPAREILLAGES

- 1. Appareillage portatif.**
- 2. Appareillage portable.**
- 3. Méthode complémentaire.**

1. Appareillage portatif et principe

EVALUATION DE LA POLLUTION GAZEUSE
ET PARTICULAIRE PAR MESURE DE
LA DIFFUSION D'UN TRACEUR



ETUDE LOCALE DE LA DISPERSION DE POLLUANTS

PAR UNE ETUDE DE TRACAGE EN TEMPS REEL

Une mesure par traçage a pour finalité de simuler au niveau d'une installation polluante en condition normale de fonctionnement ou en situation accidentelle reconstituée, le transfert de matière entre la source et les points d'émission.

La méthode utilisée, soit le traçage SF6 en temps réel avec points de mesure simultanés permet :

- de prendre en compte les singularités du relief (bâtiments, rivière froide induisant des phénomènes de canalisation, courants thermiques le long des flancs de vallée, couche d'inversion),
- de suivre en permanence l'évolution d'un panache en fonction de la rotation des vents ou de la structure thermique de l'atmosphère,
- de mettre en évidence l'influence de l'orographie du site et de définir une source virtuelle d'émission
- d'identifier des sources par marquage de l'une d'entre elles,
- d'effectuer une évaluation comparée des émissions canalisées et diffusées et d'accéder au débit massique de celles-ci.

2

Une simulation par gaz traceur sur site en temps réel par des mesures simultanées est un complément indispensable aux études prévisionnelles par simulation mathématiques ou sur maquette. En effet, elle prend en compte des paramètres difficilement modélisables et permet d'accéder à la couche limite au sol.

Dans le cas d'étude de situations accidentelles (nappe de gaz dérivante), cette méthode est la seule envisageable car les modèles mathématiques ou les essais sur maquette sont basés sur une estimation statistique avec moyennage dans le temps.

METHODES ET TECHNIQUES PAR GAZ TRACEUR

RESUME

Les gaz présents dans l'atmosphère à l'état de polluants, c'est à dire à des teneurs inférieures à 1 %, diffusent tous avec le même comportement, quelle que soit leur nature chimique, car le mécanisme essentiel de la dispersion est la diffusion turbulente. Il en est de même des aérosols, tant que leur diamètre aérodynamique reste inférieur à quelques microns. C'est pourquoi l'hexafluorure de soufre (SF6), gaz inerte et de toxicité comparable à celle de l'azote, est un bon traceur pour l'étude de la dispersion des aérosols et des polluants.

Une instrumentation spécifique a été construite. Elle permet la mesure en continu et en temps réel des concentrations simultanément et en plusieurs points. Des calibrateurs portatifs garantissent la qualité des mesures. Grâce à la sensibilité des analyseurs, il est possible d'opérer à des niveaux de concentration inférieurs à la pollution atmosphérique, donc sans perturber les processus industriels et sans exposer le personnel à la moindre gêne.

3

Les applications sont nombreuses :

- quantification des transferts de masse entre zones différentes,
- études générales de ventilation,
- recherche des recyclages ou des cheminements de la contamination,
- mesures des efficacités de captage,
- marquage d'une source parmi d'autres,
- simulation de conditions accidentelles,
- débitmétrie, mesure de la répartition de flux.

I - INTERET DES ESSAIS PAR TRACAGE

Le mécanisme de la dispersion de la contamination est régi principalement par l'effet du mouvement des masses d'air, phénomène qui est décrit dans la théorie de la diffusion turbulente. On peut considérer au premier ordre près que l'atmosphère agit comme une matrice se déformant et se déplaçant, dans laquelle les polluants vont lentement diffuser. Si l'on se limite à une description macroscopique, qui est la seule à prendre en compte dans la pratique, car on y caractérise le transfert atmosphérique à des distances supérieures à 10 centimètres, l'étude du transfert de la contamination revient à l'étude de la circulation de l'air, c'est à dire à celle des déformations de la matrice.

L'erreur que l'on commet en assimilant le transfert de la contamination à la circulation de l'air est composée de termes que l'on peut négliger :

• A l'échelle microscopique la diffusion d'un gaz est régie par la théorie cinétique des gaz (diffusion moléculaire), et celle des aérosols fins est décrite par le mouvement brownien. Intégrés sur la durée du transfert, ces effets conduisent à des écarts de quelques centimètres, négligeables devant les dimensions des turbulences.

4

• Les aérosols et les poussières solides sont soumis aux effets de la gravitation (sédimentation) et de l'inertie (différence des trajectoires entre la matrice air et les particules pour les trajets courbes). Les écarts deviennent notables à partir de diamètres aérodynamiques > 3 microns.

• Les gaz dits "lourds" (SF6, Xe, CO2), ou "légers" (H2, He), ne présentent un effet de densité et n'ont une trajectoire spécifique que lorsqu'ils existent à l'état pur, dans une atmosphère calme. Dans l'atmosphère réelle, et a fortiori dans celle des installations où l'on utilise une ventilation mécanique, les turbulences homogénéisent rapidement les concentrations. A une teneur inférieure à 1 % (soit 10000 vpm), la densité du mélange est pratiquement égale à celle de l'air pur, et les écarts de densité dus à la différence des masses moléculaires sont négligeables devant les différences de densité dues aux inhomogénéités thermiques (effet de la dilatation sur la densité).

On peut affirmer qu'étudier le transfert de la contamination revient à étudier la circulation de l'air. Ce raisonnement peut être inversé, ce qui revient à dire que l'on peut étudier la circulation de l'air en étudiant le transfert d'un gaz particulier, que l'on injecte volontairement au lieu supposé de la contamination, et que l'on appellera traceur.

II - INTERET DE L'HEXAFLUORURE DE SOUFRE (SF6) COMME TRACEUR

Nous utilisons l'hexafluorure de soufre (SF6) pour deux séries de raisons :

• Raisons liées au gaz lui-même

SF6 est un gaz d'origine anthropogénique, et donc absent de l'atmosphère normale. Il est d'une utilisation industrielle très limitée : le remplissage des disjoncteurs électriques, et à peu d'autres applications (utilisation médicale en remplacement de l'azote pour des tests fonctionnels de la respiration). Dans la pratique, on ne trouvera pas de SF6 avant l'expérience, et sa détection sera spécifique des essais en cours.

Ce gaz est incolore, inodore, non toxique et l'un des plus stables chimiquement que l'on connaisse. Il est insoluble dans l'eau et les solvants et ne se piège pas sur les pièges habituels.

• Raisons liées au mode d'utilisation et au "SYSTEME SF6"

L'intérêt majeur du SF6 vient de la facilité, de la spécificité et de la sensibilité avec lesquelles on le détecte.

Un simple détecteur à capture d'électrons, petit cylindre creux comprenant une feuille de Ni63 et une électrode, reliée à une carte d'électronique assurant l'amplification du signal, permet de détecter SF6 à des teneurs de 10 vpb (10-8 en rapport de dilution). En plaçant ce détecteur derrière une colonne de chromatographie de quelques dizaines de centimètres, on atteint en toute sécurité des sensibilités de 0,01 vpb ou moins.

5

Un analyseur de SF6 est devenu un appareil portable, autonome, d'un coût unitaire faible, et sans servitude d'emploi. Ceci permet de disposer en parallèle de plusieurs appareils (6 à 8 actuellement) au cours d'un même essai. Les mesures en simultané et en temps réel permettent en peu d'essais de comprendre comment circule l'air.

SPECTS SANITAIRES DE L'UTILISATION DE L'HEXAFLUORURE DE SOUFRE

Rappelons d'abord des ordres de grandeur :

- le traceur SF6 est utilisé à une concentration typique de 1 vpb (rapport de mélange 10-9) soit 6 microgrammes par mètre cube. La gamme utile s'étend de 0,01 à 20 vpb (20 vpb, soit 0,12 mg/m3, correspondent à la saturation des analyseurs).

- la pollution atmosphérique est constituée principalement par le SO2. La valeur typique est de 70 µg/m3 en moyenne annuelle avec des pointes sur 15 minutes de 1,2 mg/m3.

SF6 est donc utilisé à des concentrations inférieures d'un facteur 10 au minimum à celles subies du fait de la pollution atmosphérique.

- Risques liés au gaz pur SF6

L'hexafluorure de soufre SF6 est un des gaz les plus stables que l'on connaisse, en raison de la conformation de la molécule et du caractère totalement covalent des liaisons. L'inertie chimique est remarquable, et la stabilité thermique prouvée jusqu'à 800 °C.

Sans excitation extérieure, SF6 ne réagit que dans des conditions extrêmes : sodium bouillant, magnésium et calcium au rouge, vapeur de soufre à plus de 400°C, H2S à chaud.

On observe une décomposition en présence d'oxygène ou d'hydrogène, dans un arc électrique intense, avec formation de fluorures inférieurs et de fluorure de thionyle.

La toxicité de SF6 est nulle, au sens de l'essai normalisé IEC378/A. SF6 est moins soluble dans l'eau (0,001 ml/ml : 25°C, 1 bar) et dans les graisses que l'azote, auquel il peut être comparé pour ses propriétés biologiques et sa toxicité.

- Risques liés au produit industriel SF6

Le produit industriel comprend (valeurs typiques) :

- SF6.....	: 99,94 %
- air.....	: 100 ppm (10 -4)
- F4C.....	: 500 ppm (15 ppm *)
- eau.....	: 2 ppm
- FH.....	: 0,3 ppm
- fluorures hydrolysables.....	: 1 ppm
- huiles.....	: 1 ppm

*) gaz purifié type AIR LIQUIDE

On voit qu'il existe un rapport 1 / 2000 entre le SF6 et la principale impureté (tétrafluorure de carbone F4C) et un rapport 1 / 800000 entre le SF6 et les produits toxiques (fluorures hydrolysables et FH). Si on rappelle que le SF6 est émis pour que sa concentration au niveau des opérateurs et de la mesure soit de 1 vpb, on voit que la concentration maximale en impuretés dans l'atmosphère est inférieure à 1 vpb (10-12), c'est à dire indétectable par les méthodes usuelles, et évidemment sans toxicité (< 0,000001 vpm)

Le produit de dégradation le plus toxique est le tétrafluorure de soufre, assimilable au phosphore. Mais si on se rappelle que la concentration visée en SF6 est de 1 vpb, valeur inférieure d'un facteur 10 à la pollution atmosphérique urbaine, même si l'on admet une dégradation totale du SF6 en SF4, on atteint des valeurs inférieures d'un facteur 100 aux valeurs prises en compte en toxicologie ou pouvant perturber un processus. Il faut rappeler que SF6 est utilisé dans les disjoncteurs pour son pouvoir d'extinction des arcs électriques et pour la stabilité de sa molécule, et donc qu'il ne crée pas de produits corrosifs susceptibles de dégrader les contacts des disjoncteurs de puissance. L'hypothèse d'une dégradation totale du SF6 apparaît comme une hypothèse d'école, sans rapport avec la réalité.

Il faut enfin signaler que SF6 est utilisé dans l'industrie de la microélectronique, dans les machines de microgravure. Les emballages de gaz étant rarement étanches, il est usuel de mesurer des teneurs de 10 vpb dans les salles de microgravure avant notre intervention. Une chasse patiente à la bouteille fuyarde permet de ramener la teneur en SF6 avant essai à une valeur de 0,1 vpb.

IV - LE "SYSTEME SF6" UTILISE

Nous avons été amené à développer et à construire une instrumentation, en fonction de critères qui ont été retenus avec l'expérience.

Le système utilisé comprend

- un générateur autonome de SF6 pour les essais en intérieur. Il s'agit d'un appareil portable, ayant une autonomie totale (gaz et électricité), et qui délivre un débit de SF6 asservi électroniquement à un signal de télécommande. Le débit est réglable en continu entre 0,3 et 100 cm3/min

- un calibrateur de terrain. Il s'agit d'un étalon de terrain, délivrant un débit massique connu et réglable dans la gamme de fonctionnement de nos analyseurs. Cet appareil est portable, et possède une autonomie totale de 48 h, ce qui permet de le transporter en tout point du globe. L'étalon secondaire incorporé est associé à un dilueur de précision. Ce calibrateur est utilisé pour l'étalonnage des analyseurs et les mesures de concentration de précision par la méthode de comparaison à une concentration étalon.

- 6 analyseurs portatifs autonomes "SF83"

Il s'agit de stations de mesure portatives et autonomes, intégrant :
 l'accumulateur et son système de recharge tous courants,
 la réserve de gaz,
 le chromatographe,
 l'enregistreur pour l'archivage des mesures (1 ou 2 par min.).

- 2 analyseurs portatifs en continu "SFD84"

Ces appareils ont la même présentation que les précédents, mais mesurent la concentration de SF6 en continu avec une résolution de une seconde.

§ Risques liés à la présence d'un processus industriel

Il résulte de ce qui précède que le seul risque éventuel ne pourrait provenir que d'un processus industriel qui dégraderait le traceur, et en fait le seul SF6.

On trouve dans les fiches INRS les valeurs moyennes d'exposition 8 h pour les produits de dégradation du SF6 :

- SF6.....	: 1000 ppm (6 mg/m3)
- F10S2.....	: 0,025 ppm (0,25 mg/m3)
- F4S.....	: 0,1 ppm (0,4 mg/m3)
- F2SO2.....	: 5 ppm (20 mg/m3)
- FH.....	: 3 ppm (2 mg/m3)

- des équipements annexes pour l'enregistrement en continu des paramètres du transfert atmosphérique :

- ... température de l'air,
- ... gradient thermique vertical,
- ... vitesse de l'air...

6

V - LES APPLICATIONS DU TRACAGE SF6

V - 1 - Limitation d'utilisation

Les applications découlent des possibilités d'un système permettant d'accéder à un bilan massique à partir de mesures de différence de concentration, et offrant des possibilités de mesure en simultané en plusieurs points et en temps réel.

Les données brutes sont des mesures de concentration, et de leurs évolutions dans le temps (temps de transfert et taux de renouvellement). Mais complétées par des mesures annexes, elles sont interprétables pour quantifier les mécanismes mis en jeu par la ventilation.

Les limitations à l'universalité du procédé découlent :

- du fait que le phénomène à étudier doit s'accompagner d'une variation de concentration. On peut mesurer le taux de fuite d'un bâtiment en dépression, mais pas s'il est en surpression.
- du comportement différent du SF6, gaz totalement inerte, et des contaminants, piégeables sur les filtres chimiques, à charbon actif, à poussières ou absolus.

V - 2 - Mesure des étanchéités

On peut par traçage :

- mesurer des étanchéités statiques (comme une boîte à gants ...)
- mesurer des confinements dynamiques, obtenus par le jeu des dépressions relatives entre systèmes.

En injectant le traceur dans les zones contaminables, en contrôlant l'absence de SF6 dans les soufflages des zones "vertes" pour tester l'absence de recyclage externe, on dispose, grâce aux mesures en simultané et grâce à la grande sensibilité des analyseurs, d'une méthode simple pour tester l'absence de rétrodiffusion aux frontières de zones (portes, trappes de passage de canalisations), ou d'une méthode de référence pour la réception des nouvelles installations de ventilation, plus performante que la méthode actuelle de contrôle des dépressions relatives. On peut prendre en compte, dans l'essai, des contraintes diverses, comme la circulation du personnel d'entretien ou des rondiers, ou les transitoires de basculement entre les divers régimes de fonctionnement (normal, réduit, secours).

La procédure d'essai de réception, applicable de la cellule à l'atelier, est facile à formuler, puisqu'il s'agit de tester directement la fonction pour laquelle la ventilation a été conçue.

7

Y - 3 . Mesure des efficacités d'extraction

Dans la mesure où l'on maîtrise le bilan massique, on peut tester par traçage l'efficacité de la captage.

La méthode consiste à simuler de la façon la plus fidèle la source de contamination. On respectera en particulier la dimension de la surface d'émission (tuyaux poreux), la vitesse d'éjection (jet d'air marqué), les phénomènes thermiques (convection), en émettant le traçeur avec un débit connu (en général un signal "porte" de durée compatible avec le renouvellement d'air), ou une masse connue (bouffée). On contrôle en simultané l'évolution des concentrations dans les systèmes de captage (évaluation de la fraction collectée) et dans les zones exposées qu'il convient de protéger de la contamination.

L'efficacité de captage peut s'exprimer par le rapport entre la quantité collectée (mesurée) et la quantité émise (fixée). Mais l'essai fournit en outre les évolutions temporelles des concentrations en plusieurs points, ce qui permet de connaître les zones exposées et celles où il est judicieux d'implanter les systèmes de détection.

Y - 4 . Débitmétris

L'excitation d'un système de ventilation en différents points par injection d'un débit connu q de traçeur permet de connaître le débit d'air neuf Q par mesure de la concentration C en aval : $C = q/Q$. On peut donc évaluer :

- la dilution d'un flux donné dans d'autres flux par marquage sélectif
- l'influence en un point d'une bouche de soufflage donnée
- le taux de recyclage
- l'influence du flux recyclé d'une hotte sur les systèmes voisins.

Y - 5 . Etude de la ventilation des locaux

Si dans un local de volume V , où le débit de soufflage d'air neuf est D , on injecte un débit q de traçeur selon un signal "porte" suffisamment long, et si dans le local l'air est idéalement homogénéisé, une théorie simplifiée indique que la concentration va évoluer de façon exponentielle avec une constante de temps V/D assimilable à un taux de renouvellement horaire

$$C = (q/D)(1 - \exp(-t/(V/D)))$$

puis, à la décroissance,

$$C = (q/D)\exp(-t/(V/D))$$

Tout écart à la loi théorique traduit l'existence :

- de zones mortes,
- d'un temps de transfert et d'un retard à l'homogénéisation.

En mesurant en simultané l'évolution réelle des concentrations en divers points, fonction, comme l'expérience le confirme, de la disposition des bouches de soufflage, on peut évaluer les écarts à cette théorie simplifiée. Les disparités temporelles peuvent s'interpréter en temps de transferts et d'échanges horizontaux entre cellules convectives. Les disparités en intensité ou dans la vitesse d'évolution vont permettre de mettre en évidence l'existence d'éventuelles zones mortes, ou échangeant peu de matière avec le reste du local. Assez souvent, on observe une prédilection des concepteurs d'installations nouvelles pour y placer les systèmes de détection : ces zones, situées en hauteur, sont en général moins encombrées ou libres de servitude (circulation des ponts roulants).

L'interprétation de l'ensemble des résultats permet de mettre en évidence la circulation réelle de l'atmosphère, et l'adéquation de la ventilation à la fonction cherchée.

Y - 6 . Simulation de situations accidentelles - test du rôle fonctionnel des systèmes de surveillance

Les techniques de traçage qui étudient les conséquences d'un accident ou la façon dont le système de surveillance le perçoit, ont l'intérêt de permettre l'analyse de tous les effets sans en subir les inconvénients et les dommages, tout en laissant le système dans ses conditions normales d'exploitation.

Nous avons réalisé de nombreux essais de ce type :

- Détermination des conséquences d'une contamination, dans le local, dans les locaux adjacents.
- Mesure de l'efficacité de captage en situation accidentelle,

- Optimisation de l'emplacement des têtes de prélèvement ou des détecteurs.

- mesure du temps de transfert,

- évaluation du rapport signal reçu / quantité émise,

- contrôle des performances comparées des systèmes de contrôle par prélèvement ponctuel (balises ...), régional (gainés), ou global (sonde avant filtration et rejet).

- Evaluation des risques sanitaires associés à :

- des lâchers de gaz liquéfiés ou non : influence sur le taux d'oxygène et le temps de survie,

- des émissions de gaz toxiques ou suffocants : impact sur le bâtiment même (recyclage par les prises d'air neuf, transfert dans les locaux adjacents, dans les couloirs de circulation et les itinéraires de repli ...), impact sur les bâtiments voisins (recherche d'une meilleure stratégie pour assurer la survie du personnel, disponibilité des moyens propres de secours de l'usine), impact sur l'environnement, aide à l'établissement des études de danger : recherche des séquences critiques conduisant à une aggravation de la situation par suite de l'indisponibilité des opérateurs responsables,

- évaluation de la façon réelle dont un accident survenant dans une installation sera perçu en salle de contrôle : apparition des alarmes, niveaux lus, alarmes multiples s'il y a transfert. Un des intérêts de l'essai est d'estimer la façon dont l'opérateur identifiera la source réelle et décidera de l'intervention.

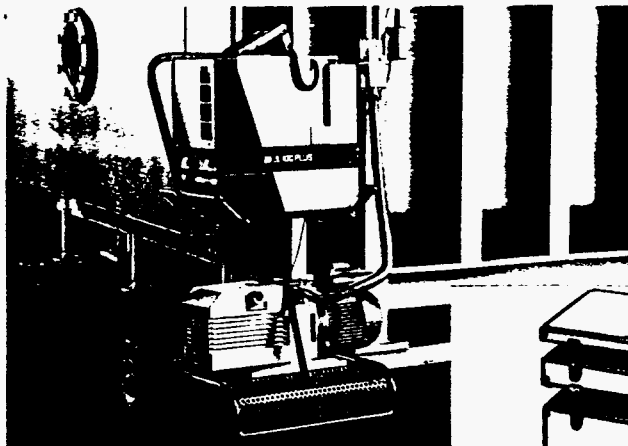
Ces essais peuvent être conduits dans les deux sens : impact sur l'environnement ou impact à l'intérieur des locaux d'un accident survenant à l'extérieur. Il convient de rappeler que SF6, comme les traçeurs gazeux, est un gaz inerte à flux conservatif.

2. Appareillage portable.

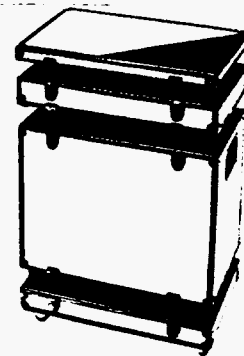
PLUS PLUS PLUS

L'UL 100 PLUS est aussi le détecteur professionnel le plus mobile et le plus transportable

Sur son chariot, équipé de pneumatiques, vous déplacez aisément l'UL 100 PLUS avec une pompe primaire aussi grosse qu'une TRIVAC® D 25 B, comme le montre la photo (ci-contre) d'un ensemble «test grosses fuites».



Plus de protection, plus d'élégance pour l'UL 100 PLUS et ses accessoires avec le coffret de transport à roulettes.



Caractéristiques techniques

Taux de fuite minimum détectable air	$7.4 \cdot 10^{-11}$ mbar · l · s ⁻¹
Taux de fuite minimum détectable	$2 \cdot 10^{-10}$ mbar · l · s ⁻¹
Gamme d'indication du taux de fuite	$2 \cdot 10^{-10}$ à $1 \cdot 10^{-7}$ mbar · l · s ⁻¹
(avec option grosse fuite)	$2 \cdot 10^{-10}$ à 1 mbar · l · s ⁻¹
Plage de mesure de fuite	8 décades
(avec option grosse fuite)	10 décades
Pression d'entrée maxi	0,2 mbar
(avec option grosse fuite)	100 mbar

Temps de réponse (63% de la valeur du pic) inf. à 1 sec

Temps de mise en service	inf. à 3 mn
Spectromètre de masse	secteur magnétique 180°
Source d'ions	2 cathodes en iridium, thorie
Masses détectables	2, 3 et 4
Brides	2 x DN 25 KF
Longueur du flexible	8 m
Sur demande	30 m

Groupe de pompe

Vide primaire	TRIVAC® D 16 B
Vide secondaire	TURBOVAC® 50 L

Entrée/Sortie

Taux de fuite (chaque décade)	0-10 V R > 2,5 kohms
Sensibilité (exposant)	(1 V par décade)
(1 V par décade)	0-8 V R > 2,5 kohms
Seuil Alarme	2 contacts flottants indépendants
Interface	RS 232, V 24
Sortie casque d'écoute audio	connecteur 3,5 mm

Alimentation principale

Module détection	100, 120, 220, 240 V 50/60 Hz (commutable)
Module pompe	220, 240 V, 50/60 Hz (Option: 100, 120 V, 50/60 Hz)

Dimensions

ULTRATEST® UL 100 PLUS	(h x l x p) 430 x 460 x 250 mm
Module de détection	(h x l x p) 320 x 460 x 250 mm
Module de pompe	(h x l x p) 255 x 460 x 250 mm

Poids

Module détection	20 kg
Module pompe	13,5 kg
Poignée de commande	0,45 kg

Référence:

ULTRATEST® UL 100 PLUS (220/240 V)	15582
ULTRATEST® UL 100 PLUS (100/120 V)	89638
MODULE DE DÉTECTION	15583

LEYBOLD SA
7, Avenue de Québec
Z. A. de COURTABOEUF B.P. 42
91942 LES ULIS CEDEX
Téléphone (1) 69076400
Télex H ORSAY 600852 F
Télécopie (1) 69075738

LEYBOLD AG
Bonner Str. 498/P.O.B. 510760
D-5000 Köln 51
Téléphone (0221) 347-0
Télex 888481-0 lh d
Télécopie (021)347-1250

Portable, fully automatic MS-20 (Available with turbo pump or diffusion pump)

Performance features

- Complete operation from small, hand-held remote
- Automatic gross and fine leak detection
- Liquid nitrogen-free operation
- Built-in direct-drive mechanical pump
- Fully automated valve operation
- Quick 6-min. start-up
- Weighs only 86 pounds

MS-20 Leak Detector Specifications.

PERFORMANCE

- **Sensitivity:** Dual 90° sector mass spectrometer with a sensitivity of 4×10^{-10} atm cc/sec for air at full pumping speed. The unique design of the tube eliminates the requirement for liquid nitrogen.
- **Response Time:** Less than 1.5 seconds in the 10^{-10} atm mode (10^{-9} atm cc/sec) and less than 2 seconds in the gross mode (10^{-4} to 10^{-10} atm cc/sec).
- **Resolution:** The miniaturized dual 90° sector mass spectrometer tube provides resolving power of 14 at mass 4. This assures positive identification of helium clearly distinguished from any other gas or carbon contamination.
- **AS-20 Automatics Leak Ranging:** Diffusion pump model and turbopumped model with enter-

nal pump give 10 atm cc/sec to 6×10^{-10} atm cc/sec for air at full pumping speed, presented over 10 ranges with automatic or manual range selection. Leak rates are digitally displayed on a hand-held, calculator style remote control box with an easy-to-read bar type display.

MS-207 Automatics Leak Ranging Without External Pump: With self contained 2 cfm mechanical pump, operation range is 10^{-10} to 4×10^{-4} atm cc/sec for air at full pumping speed presented over 7 ranges with automatic or manual range selection.

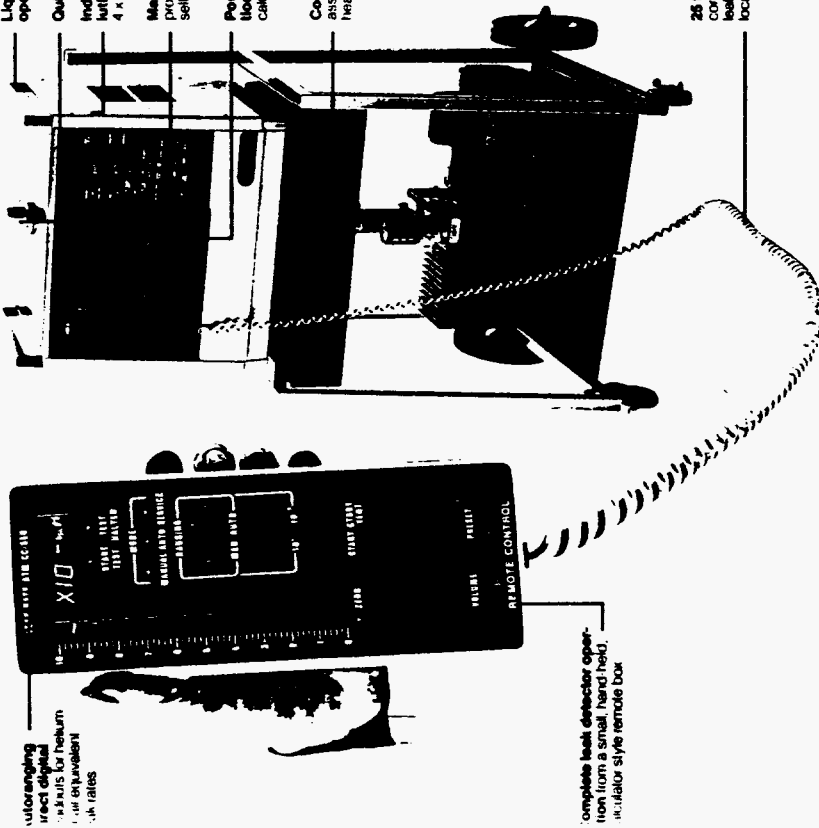
Direct Reading: The unit has an internal selector switch which allows automatic direct reading in either:
(1) atmospheric cc/sec air equivalent.
(2) atmospheric cc/sec helium.

Test Time: 5 seconds or less with a blank test port to a preselected range in the fine mode.
Helium Scan: Front panel mounted helium scan control assures positive helium identification by detecting ion accelerating voltage ($\pm 10\%$).
Noise Level and Amplifier Drift: Less than 5% of full scale on the 10^{-10} scale.
Pumping Speed: 2.5 liters/sec air, 6.7 liters/sec helium at the spectrometer tube length. Maximum operating pressure is 1×10^{-4} in the leak mode (10^{-4} to 10^{-10} atm cc/sec) and 5000 millitorr in the gross leak mode (10^{-4} to 10^{-10} atm cc/sec).

SPECTROMETER TUBE

Dovetail 90° deflection spectrometer tube. Source and collector assemblies (larged) and self-aligning. Self-cleaning heated repeller. Non-warping, self-aligning filaments.

- Liquid nitrogen-free operation
- Quick disconnect test port
- Industry's Highest Resolution and sensitivity of 4×10^{-10} atm cc/sec
- Maximize Uptime. Microprocessor electronics include self-test diagnostics
- Positive Helium Identification. Scan switch simplifies calibration
- Constant Sensitivity assured by a self-cleaning heated repeller



Complete leak detector operation from a small, hand-held, calculator style remote box.

Applications

- In the field
- Nuclear reactors
- Process lines
- Power applications
- Heat exchangers
- Dry etching systems
- Diffusion furnaces
- Ion implantation systems
- High vacuum pumping stations
- Vacuum stations
- Furnaces
- CVD equipment
- In light spaces

Pressure Sensors: Pirani Gauge, the roughing and backing pressures, are monitored continuously from 760 torr to 10^{-10} Torr. Cold Cathode Gauge, the high vacuum pressure, is measured from 10^{-1} torr to 10^{-10} Torr. Gauge includes removable liner to facilitate maintenance.

Test Inlet: Top inlet is a quick vacuum coupling for 1/2" O.D. tube.

VACUUM SYSTEM

Mechanical Forepump/Roughing Pump: Built in 2 cfm test drive mechanical pump serves as both forepump and internal roughing pump. 7 cfm external pump optional.

Diffusion Pump: Veeco 2" diameter 75 liters/sec air cooled 3 stage fully fractionating diffusion pump.

Turbomolecular Pump: 60 l/s air cooled liquid molecular pump.

External Roughing Option: External roughing port and an electrically actuated high conductance butterfly valve allows the use of a larger mode (10^{-4} to 10^{-10} atm cc/sec) and 5000 millitorr in the gross leak mode (10^{-4} to 10^{-10} atm cc/sec) external roughing pump when required.

Valves: High vacuum fast acting solenoid valves.
Gross Leak Valve: The unit utilizes a multi second response gross leak valve. The valve in conjunction with the roughing pump acts as a 100,000:1 attenuator to helium thus extending the range to 10 atm cc/sec air.

PHYSICAL DATA:

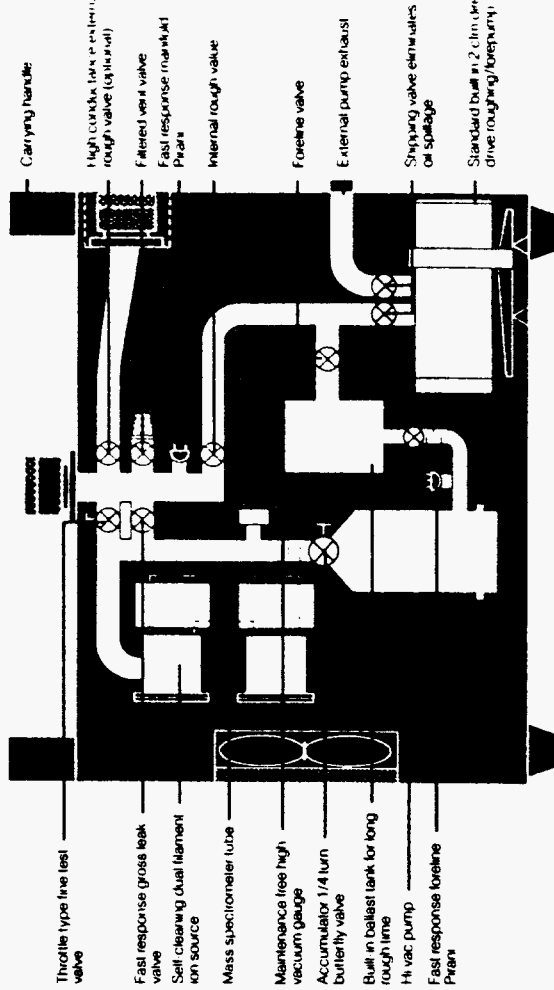
- **Size:** Console With Stored Remote: 15" high, 15" wide, 15" deep
- **Weight:** Total weight of MS-20 is 86 pounds including a 2 cfm test drive mechanical pump and turbine cold cathode MS-207 roughing pump. Heavily rugged, high impact plastic shells are fully replaceable for a less than the year maintenance electronics assembly.

- **Performance:** Measured in accordance with MS Standard 2-1.
- **Measured in accordance with MS Standard 2-1.**

MICROPROCESSOR ELECTRONICS

Remote Control Box: Calculator style remote control box contains operational switches and indicators for remote operation of the MS-20. Easily hand held, 3 1/2" wide, 9 1/2" long, 1 1/2" thick. A 25 foot coiled telephone type cord is supplied for communication to console electronics. 45 foot cord optional.

Console: Electronics have been designed utilizing state of the art microprocessor hardware coupled to modular, dedicated software. Self test diagnostics automatically display error codes. The leak rate ranges are automatically cycled until a leak is found and the proper measurement



les nouveaux mini A.GC

CHROMATO-SUD

ANALYSEURS DE GAZ PORTABLES AUTOMATIQUES EN CONTINU

- O₂, N₂, CO, CO₂, CH₄, H₂
- COV avec ou sans **PIEGEAGE/THERMODESORPTION**
- Hydrocarbures totaux / avec ou sans méthane
- SF₆ / Pesticides / COV Halogénés
- Gaz toxiques / Gaz soufrés

PRESSION TÊTE DE COLONNE

RÉGULATEUR DE DÉBIT

RÉGULATEUR TEMPÉRATURE PIÈGE
(ex. : 20°C puis 250°C)

RÉGULATEUR
TEMPÉRATURE COLONNE
(ex. : GRADIENT ENTRE 10 et 150°C)

L'APPAREIL REPRÉSENTÉ
CI-DESSUS EST
LE MODÈLE A.COV

ON/OFF

CÂBLE 220 VOLT

POIGNÉE DE TRANSPORT

OPTIONS

- BOUTEILLE INTERNE POUR LE TCD/ECD
- KIT AIR POUR LA FLAMME
ET/OU BOUTEILLE H₂ COMME GAZ VECTEUR
- 24 VOLT / 110 VOLT / 220 VOLT

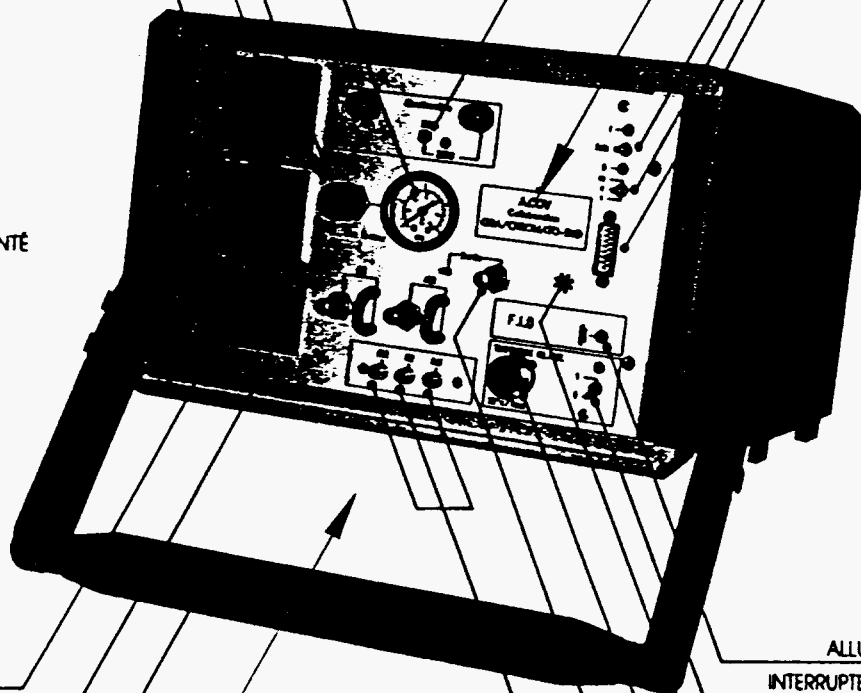
ÉLECTROMÈTRE

FID, NPD, FPD

COMMUTATION MANUELLE
DE VANNE

POMPAGE MANUEL

SORTIE VERS LE PC
(OPTION RS 232)



ALLUMAGE DE LA FLAMME

INTERRUPTEUR RÉGULATEUR BLOC

ECD / TCD / DOUBLE TCD

RÉGULATEUR BLOC • INJECTEUR
• DÉTECTEUR
• COLONNE
si isotherme

RÉGULATION DU DÉBIT
D'ASPIRATION DE L'ÉCHANTILLON

ENTRÉE DES GAZ

DIMENSIONS :
FACE AVANT 320 x 252
PROFONDEUR 400
POIDS : moins de 15 kg



Meets Your Testing Needs Now and in the Future

Your products, and your test equipment, have to do more than keep up with the competition. They have to stay ahead. Leybold Inicon's HLD4000 Halogen Leak Detector gives you the edge you need.

The HLD4000 comes in two models:
• Series A, which detects fluorine-based gases, and
• Series C, which detects conventional refrigerants.

Both models provide features so innovative they could only come from Leybold Inicon.

Consistent Calibration

The HLD4000 automatically alerts you when it has lost sensitivity and needs to be recalibrated, guaranteeing consistent results from unit to unit and shift to shift.

A built-in calibrator eliminates the need for a separate calibrating unit. You may calibrate at any time simply by inserting the probe tip into the socket; the HLD4000 automatically adjusts itself to your programmed specifications.

Since the calibrating chamber is sealed from outside interference, calibration is highly consistent and accurate.

Time-Saving Standby Mode

Standby mode turns off the pump and lowers the sensor temperature, extending the life of both parts. In addition, standby mode suppresses any

alarms in your absence. When you're ready to use the HLD4000 again, it warms up in less than 30 seconds.

Convenient Search Mode

To allow for variations in operator technique, the HLD4000 offers a search mode, which significantly increases its sensitivity. If you detect the trace gas while in this mode, you simply press a button. The sensitivity returns to its calibrated level, allowing you to verify the size of the leak.

Foolproof Performance

To ensure proper performance, the HLD4000 monitors itself continually. Twenty times a second it checks the pump, sensor, air flow, power supply, sensor temperature, cable connections, leak and sensitivity programs, and other critical operations. An alarm sounds if the instrument stops working correctly.

Automatic Troubleshooting

If a problem occurs, status readings help you pinpoint the cause so that you can get the HLD4000 up and running again quickly.

Simple Programming

The menu-driven program walks you through setting your specifications step by step. If your specs change, you can reprogram them quickly.

Minimal Maintenance

Along with eliminating conventional knobs and dials, the HLD4000's durable, modular design eliminates many conventional maintenance tasks. The few remaining tasks can be done quickly, often right on the production line.

For example, you can change the sensor in seconds. The pump, located in the handpiece, is easy to clean and easy to repair by replacing component parts rather than the entire assembly.

Secure Access

The HLD4000 is designed to be tamperproof. You can password-protect your specifications. As an additional safety feature, a special tool gives only authorized personnel access to the electronics.

Your Best Choice

The HLD4000 is simply the best halogen leak detector available -- whether you're detecting fluorine-based gases or conventional refrigerants. Call us today to arrange for a demonstration right on your production line.

Consistent Sensitivity

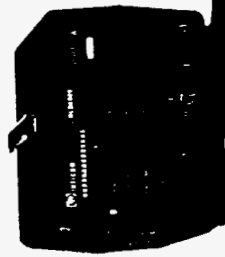
A microprocessor controls the pump speed to keep the flow rate constant, ensuring that sensitivity stays consistent.

Comfortable Operation

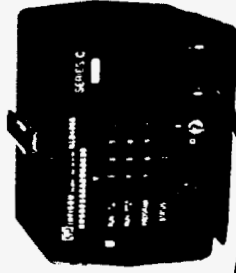
The probe is designed to dissipate heat, making the handpiece comfortable to hold. And the flexible, straight cord feels light and moves easily.

Computer Compatibility

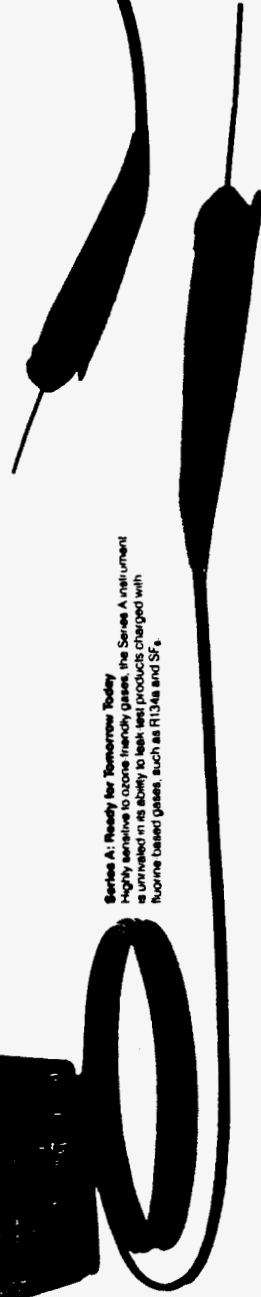
The HLD4000 comes with an RS232C communications port, relay alarm output, an input for calibration, and another for probe-switch function.



Series A: Ready for Tomorrow Today
Highly sensitive to ozone-friendly gases, the Series A instrument is unrivaled in its ability to leak test products charged with fluorine-based gases, such as R134a and SF₆.



Series C: Ready for Change When You Are
The Series C is exceptionally well suited to testing for H₂ or other conventional refrigerants. In addition, Leybold Inicon can convert your Series C to a Series A conveniently any time your needs change.



3. Méthode complémentaire.

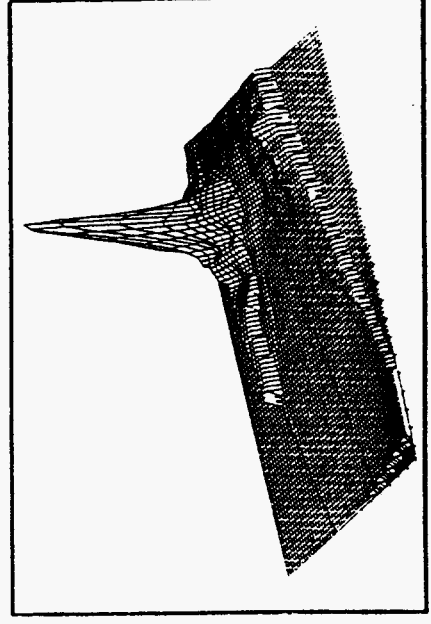
**UN SUIVI CONTINU DE L'ÉTANCHÉITE
LE DISPOSITIF PERMANENT**

**L'INTERVENTION
SUR DES OUVRAGES EXISTANTS
LE PROCÉDE MOBILE**

Le procédé consiste en un dispositif de capteurs disposés sous l'étanchéité et reliés à un boîtier de contrôle par l'intermédiaire de câbles électriques. Lors de la phase de contrôle, un courant est injecté sur la face supérieure de la membrane et une cartographie des lignes équipotentielle est générée grâce au réseau de capteurs.

Le signal est traité informatiquement et tout défaut d'étanchéité, aussi petit soit il, même situé sous une couche de sable, gravier ou de déchets est localisable à 20 cm près.

Cette procédure de contrôle est applicable dès la réception de l'ouvrage, mais aussi durant la vie de l'ouvrage puisque le boîtier de contrôle est disposé à proximité du site dans un endroit accessible.



Visualisation d'un diagramme en 3 dimensions - Détection d'une fuite

Ce dispositif permet, après une étude de faisabilité, de détecter les fuites et de les localiser précisément sur des étanchéités géomembranes existantes.

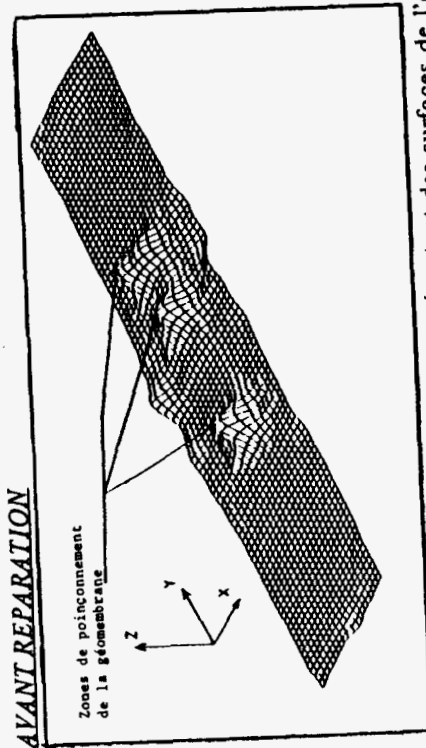
Ce système requiert des capteurs mobiles qui sont déplacés sur toute la surface à contrôler.

Un générateur émetteur envoie un courant électrique dans la source placée sous l'étanchéité en cause.

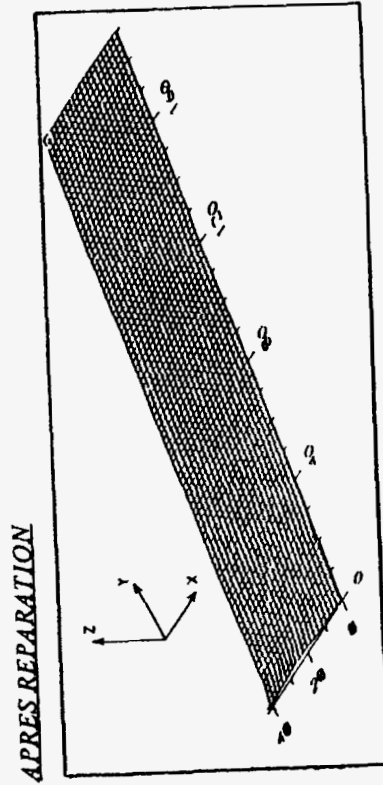
Les mesures électriques sont alors immédiatement saisies sur ordinateur, traitées par le logiciel SENSOR qui donne suivant l'interprétation graphique et l'analyse des données, la localisation des endroits où la géomembrane présente un dommage (défaut, malfaçon, poinçonnement, arrachement,...).

L'efficacité du procédé mobile dépend de la nature du site et de l'épaisseur des protections mécaniques situées sur la géomembrane. Il est préférable de nous consulter pour toute analyse préalable.

EXEMPLE DE GRAPHIQUE DES LIGNES EQUIPOTENTIELLES AVANT ET APRES REPARATION (SITE DE BUDMERICE - SLOVAQUIE)



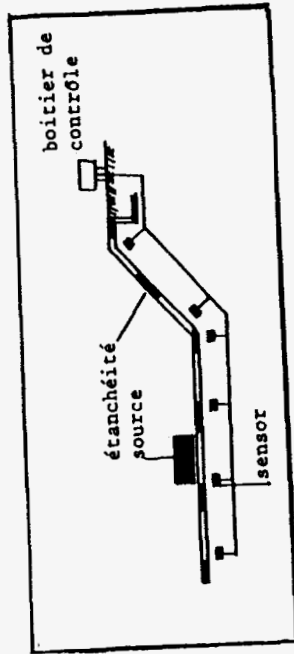
Les zones d'anomalie électriques représentant des surfaces de l'ordre de 800 à 1000 m², le recours au logiciel informatique SENSOR EMS a été nécessaire. La localisation de 5 poinçonnements a été faite avec une précision de 10 cm (pour une surface de décharge de 8.000 m²).



Les endommagements ayant été réparés, une nouvelle cartographie du site a été réalisée, mettant en évidence l'intégrité totale de l'ouvrage.

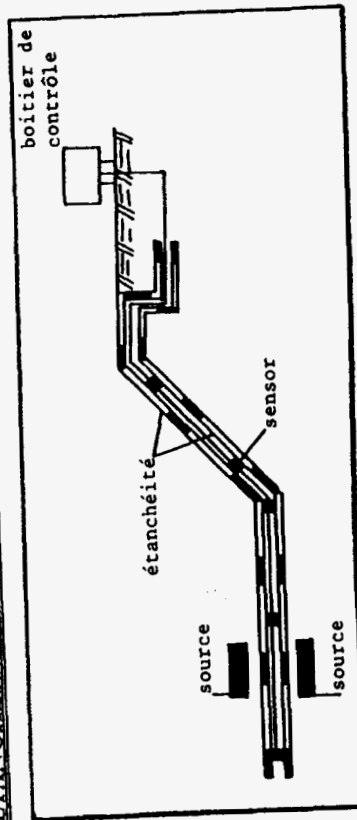
SCHEMAS DE PRINCIPE

ETANCHEITE PAR SIMPLE GEOMEMBRANE



La source ici est positionnée sur la géomembrane et permet la mise sous tension de la face supérieure de l'étanchéité. Le signal réceptionné par le réseau de capteurs est recueilli au niveau du boîtier de contrôle puis analysé jusqu'à la localisation de fuites éventuelles.

ETANCHEITE PAR DOUBLE GEOMEMBRANE



Deux sources sont disposées sur l'étanchéité primaire et sous l'étanchéité secondaire. Ainsi par une analyse successive des champs électriques issus de la mise sous tension des 2 sources, les deux géomembranes pourront être testées dans leur intégralité.