

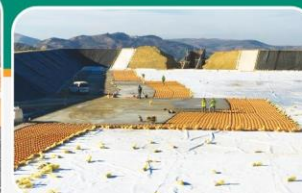


COMITÉ MAROCAIN DES
GÉOSYNTHÉTIQUES



5^{ème}

RENCONTRE GÉOSYNTHÉTIQUES SOUS LE THÈME — LES GÉOSYNTHÉTIQUES AU SERVICE — DE L'ENVIRONNEMENT ET LE DÉVELOPPEMENT DURABLE



08 > 10
JUN
2023

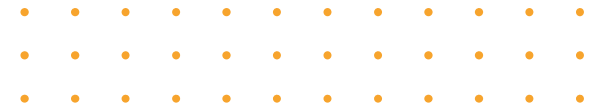
HÔTEL ROSE GARDEN
MARRAKECH

SOUS-THÈMES

- Normes et applications des géosynthétiques
- Etanchéité et géomembranes
- Géotextiles, drainage, filtration, protection et séparation
- Géogrilles et renforcements

CONTRÔLE DE QUALITÉ DES INSTALLATIONS DES GÉOSYNTHÉTIQUES

Présenté par Mr HAMDY MEHDI



P **01.**

INTRODUCTION

P **02.**

LES GÉOSYNTHÉTIQUES
DANS LES INSTALLATIONS
CLASSÉES

P **03.**

LE CONTRÔLE

INTRODUCTION

01



INTRODUCTION

- Un article (**Rollin et al**), a mis en évidence que **97 %** des défauts détectés par **sondage** sur les géomembranes étaient générés en **phase de construction des ouvrages** en dépit d'un programme d'assurance qualité rigoureux.
- D'après les auteurs, les défauts dans les géomembranes dans les centres de stockage de déchets seraient de l'ordre de **17 à 1 hectare**,
- Ces **17 défauts** correspondraient pour **65%** à des défauts de **soudage** et pour **35%** à des défauts en **partie courante** des géomembranes.
- Il s'agit pourtant de défauts **détectables en phase de construction** ou lors de la réception des dispositifs d'étanchéité
- Ces défauts pourront conduire ultérieurement à **une altération prématurée** du complexe d'étanchéité, et donc à **des fuites** à plus ou moins long terme.

- C'est dire l'importance que revêt **le contrôle** des géosynthétiques et de leur installation, tout particulièrement dans les ouvrages répertoriés comme **installation classée**.
- Nous nous attacherons dans cette présentation, à décrire **l'organisation et les moyens du contrôle des géosynthétiques** avec un regard plus particulier sur **les géomembranes** dont le rôle direct est **d'assurer l'étanchéité des ouvrages**.

LES GÉOSYNTHÉTIQUES DANS LES INSTALLATIONS CLASSÉES

02



Les Géosynthétiques dans les installations classées

- La notion d'installation classée pour la protection de l'environnement est défini ainsi :

« Sont soumis aux dispositions du présent titre les usines, ateliers, dépôts, chantiers et, d'une manière générale, les installations **exploitées** ou détenues par toute personne physique ou morale, publique ou privée, qui peuvent présenter **des dangers ou des inconvénients** soit pour la commodité du voisinage, soit pour la santé, la sécurité, la salubrité publiques, soit pour l'agriculture, soit pour **la protection de la nature et de l'environnement**, soit pour la conservation des sites et des monuments ainsi que des éléments du patrimoine archéologique ».



*Figure : Installation Classée
(Centre de Stockage de déchets)*

Les géosynthétiques sont aujourd'hui largement utilisés dans les installations classées afin de protéger l'environnement d'éventuelles pollutions dues à des fuites accidentelles ou pour le stockage de produits polluants, ils sont donc présents :

- **Dans les installations de stockage de produits polluants solides ou liquides (déchets, produits chimiques...).**
- **Dans les installations industrielles présentant un caractère potentiellement polluant.**
- **Dans des bassins tampons et des bassins de régulation ou de modulation**



Les Géosynthétiques dans les installations classées.

Au résumé :

- ❖ La notion **de contrôle** est donc **primordiale** dans ces environnements sévères où la moindre négligence ou erreur peut avoir des conséquences **graves** tant **sur le plan environnemental** que **sur le plan économique**.

LE CONTRÔLE

03



Objectif du contrôle

- Le **contrôle** des géosynthétiques ne se résume pas à la seule recherche de fuites, il concerne tous les points qui peuvent **conduire à la non-fonctionnalité** du dispositif d'étanchéité, instantanée ou à plus long terme, c'est à dire :
 - Le dimensionnement ;
 - L'adéquation matériau-milieu ;
 - La stabilité des géosynthétiques ;
 - Leur vieillissement dans les conditions de service.

❖ **L'objectif est la durabilité de l'ouvrage.**

Organisation du contrôle

Contrôle intérieur

Un contrôle interne

auto-contrôle assuré par l'équipe d'installateur présents sur site et qui vérifie chacune de ses soudures par une méthode appropriée. Dans le cadre de cet autocontrôle sont également vérifiés les fournitures à leur arrivée sur site.

Un contrôle externe

exécuté par une personne de l'entreprise ou par une société extérieure. **Ce contrôle externe** doit être indépendante de la production. Il pourra s'agir, d'une personne de l'entreprise spécifiquement affectée à cette tâche, placée sous l'autorité du chef d'entreprise. **Le contrôleur externe** procède donc à ses propres mesures sur site, indépendamment de ce qui a été contrôlé par l'équipe d'installateurs et remet son rapport au chef d'entreprise

Contrôle extérieur

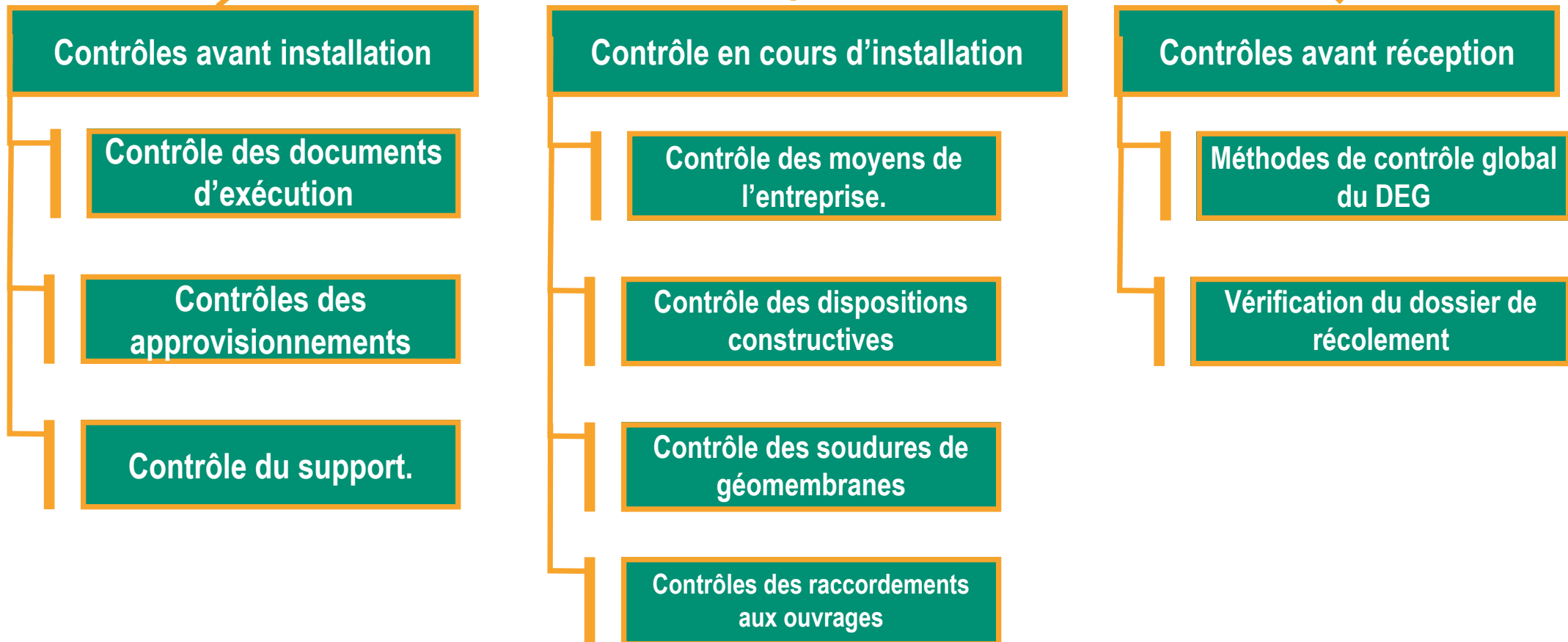
Le contrôle extérieur agit en tierce partie indépendante, pour le compte du Maître d'Ouvrage qui souhaite s'assurer les services d'une société.

Dans le cadre d'une installation classée, l'organisme de contrôle extérieur est le garant de l'application des dispositions relatives à l'ouvrage destiné à être étanché.

Quatre points essentiels nous semblent néanmoins essentiels à vérifier et à valider :

- **Les documents d'exécution (PAQ, plans d'exécution, plans de calepinage...)** ; matériaux livrés ;
- **L'application des matériaux et son contrôle ;**
- **Les dossiers et plans de récolement.**

Les principales étapes du contrôle des Géosynthétiques



Contrôle des documents d'exécution

On distinguera **les plans d'exécution, les plans de calepinage, et le plan d'assurance pour la qualité (PAQ).**

Souvent, des difficultés apparaissent en cours d'exécution car il y eu incompréhension ou manque de communication entre les intervenants du chantier.

Ces problèmes peuvent être de différents types :

- Un support mal adapté. Les conditions de réception n'ont pas été clairement formulées et le support fourni à l'applicateur est incompatible avec les matériaux proposés ;
- Des points singuliers mal définis (tuyauteries, ancrages, raccords divers,...) qui conduisent à des discussions sur la méthode à adopter en phase d'exécution
- Des matériaux inadaptés

Contrôle des documents d'exécution

Alors **le contrôle** et **la validation du plan d'assurance qualité**, doivent permettre d'éviter tous ces écueils, dont les quels on précise :

- Les objectifs de performances ;
- Les spécifications ;
- Un organigramme, des plans et des devis ;
- L'établissement des tâches et des responsabilités hiérarchiques ;
- La compétence des intervenants ;
- Le mode de communication et les modes d'interventions ;
- Les spécifications techniques des matériaux ;
- Les procédures d'évaluation de la conformité, y compris les essais à réaliser, les résultats anticipés et les correctifs apportés ;
- Les modes d'acceptation des travaux ;
- Le contenu du rapport final.

Contrôles des approvisionnements

❖ Sur site

Après avoir reçu l'approbation du Maître d'œuvre, les matériaux sont **approvisionnés sur site**, stockés dans des conditions préalablement définies et **mis en attente avant installation** d'où on **contrôle** :

- le nom du produit ; Référence commerciale,
 - Désignation du produit ; la nature du polymère;
 - Marquage de certification, l'ouverture granulométrique (pour les géotextiles).
 - la densité (en précisant le protocole de mesure);
 - la résistance à la rupture; l'allongement à la rupture
 - l'épaisseur ; la résistance aux UV
 - Numéros de lots et de rouleaux seront contrôlés et archivés dans **le dossier de récolement** afin de garantir leur traçabilité.
- Sont donc concernés par cette phase de **contrôle** :
- Le contrôle des géotextiles qui assurent la protection des géomembranes, mais également la filtration, la séparation ou le renforcement ou le drainage,
 - les géomembranes qui assurent l'étanchéité de l'ouvrage
 - les produits apparentés tels que les géospaceurs, les géogrilles,...

❖ En laboratoire

- Il Ya une liste des principaux essais pouvant être effectués en laboratoire sur les géomembranes, les géotextiles et les géosynthétiques bentonitiques **dans le cadre de leur réception sur site.**
- **Certaines** essais nécessitent des laboratoires **accrédités**. Cette accréditation **garantit une stricte application des normes par les laboratoires.**

Contrôle du support.

- **le contrôle** du support consiste à vérifier **l'adéquation de la surface** avec les exigences de la profession.
- C'est à dire **l'absence** d'éléments **poinçonnant**, (**cailliaux**, **racines**,,), **d'ornières**, de **zones humides** ne présentant **pas la portance suffisante**.



➤ La stabilité du support est considérée **acquise**, elle fait l'objet de contrôles géotechniques en dehors du lot étanchéité.

Contrôle en cours d'installation

Pendant la phase d'installation des géosynthétiques, **le contrôle** aura pour objectif :

- La vérification des conditions de mise en œuvre des géosynthétiques (moyens humains et matériels fournis par l'entreprise) ;
- La vérification de l'installation des géotextiles et autres géosynthétiques ;
- La vérification de l'étanchéité et de la résistance mécanique des soudures de géomembrane ;
- La vérification de l'intégrité des géomembranes hors soudures ;
- La vérification des ancrages quels qu'ils soient (tranchées, fixations mécaniques,...) ;
- La vérification de tous les points singuliers.

Ces vérifications sont réparties entre les intervenants du contrôle (**interne, externe, extérieur**).

Contrôle des moyens de l'entreprise

les moyens humains

il s'agira

- de vérifier les cartes de certifications des soudeurs et responsables de chantier (cartes de certification ou équivalentes),
- de vérifier que le nombre de soudeurs certifiés est en rapport avec la dimension du chantier
- ensuite que ce sont bien ces personnes certifiées qui exécutent les opérations de soudage.

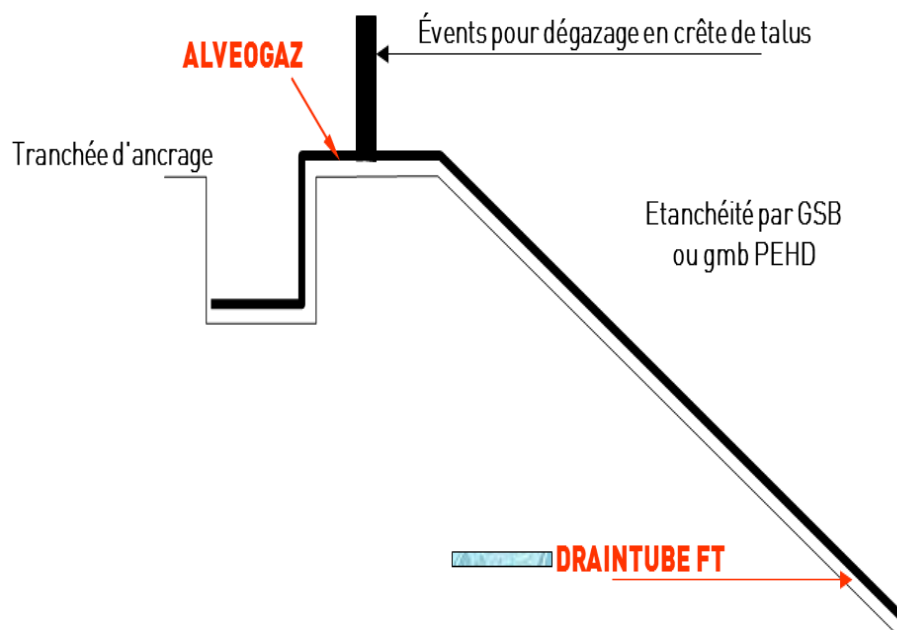
Les moyens matériels

- Les machines à souder sont-elles adaptées au site (pentes,...) et aux matériaux à mettre en œuvre (épaisseur, nature du polymère,...) ? Enfin le matériel de contrôle est vérifié comme : Tensiomètre, Cloche à vide, Aiguilles de pression, Manomètres...
- On trouve encore des manomètres non étalonnés, brisés, pour les essais de pression des doubles soudures, des cloches à vide absentes, inadaptées, non fonctionnelles car la vitre est devenue opaque, et des tensiomètres de chantier non étalonnés.

Contrôle des dispositions constructives

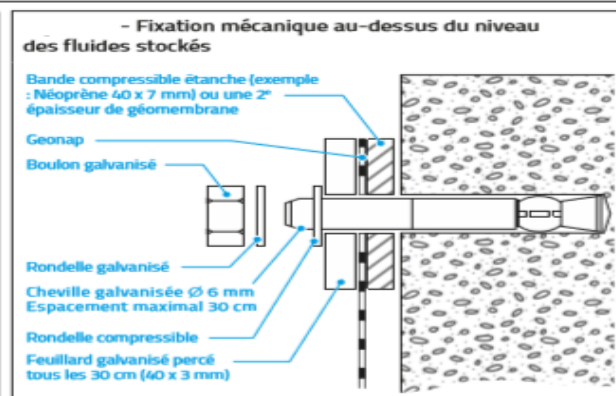
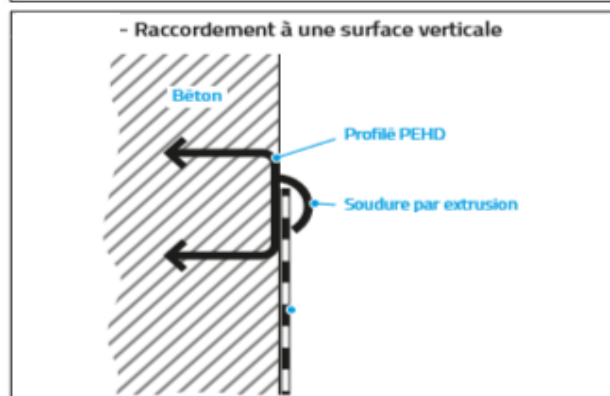
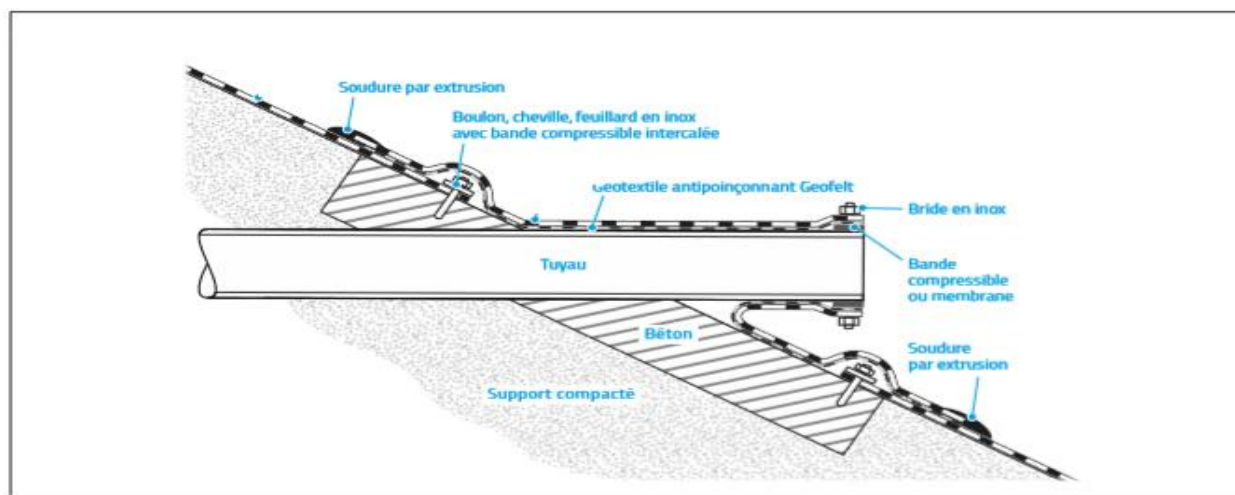
❖ Ce contrôle visuel et dimensionnel permet de vérifier les points particuliers tels que :

■ les tranchées d'ancrages



Contrôle des dispositions constructives

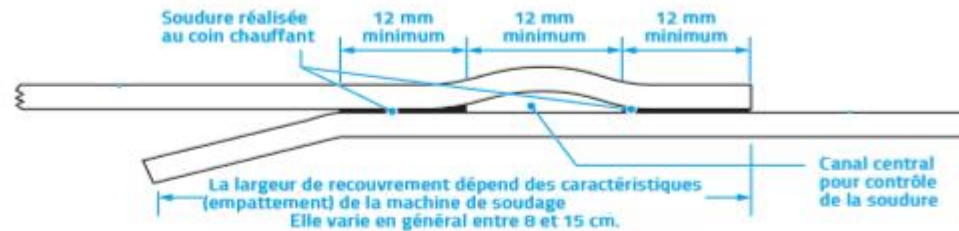
- Les raccords sur tuyauteries ou murs en béton



Contrôle des dispositions constructives

- **La conformité de l'application des géomembranes** (sens de recouvrement, positionnement des lés, absence de plis ou de tensions, perforations, usures, défauts de fabrication,...)

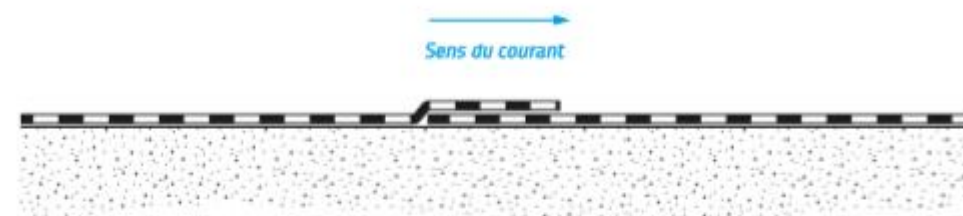
Largeur de recouvrement



Position de recouvrement

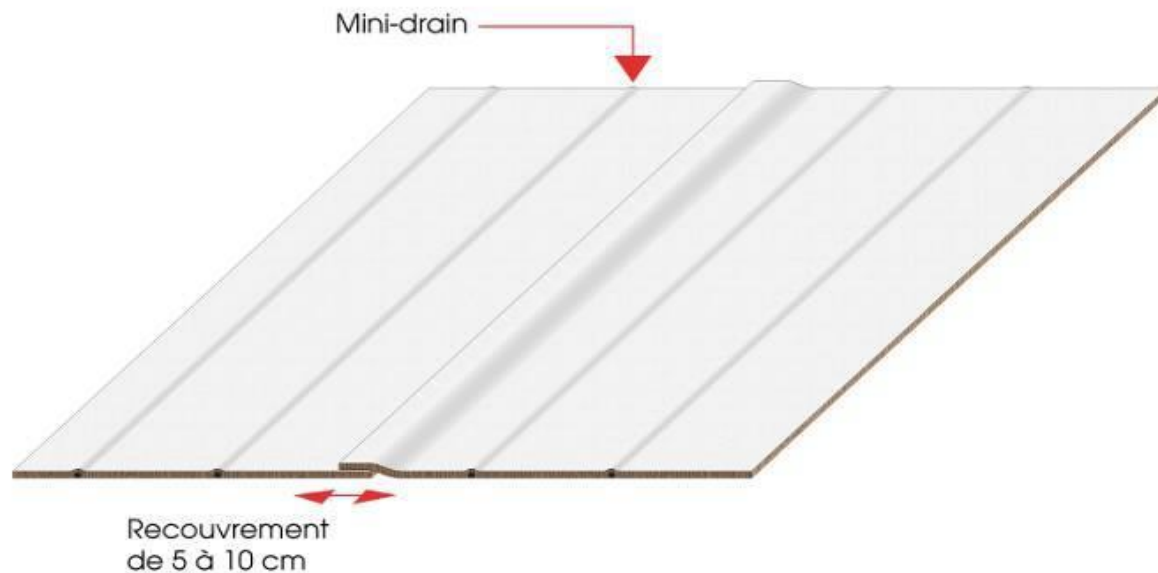


Sens de recouvrement



Contrôle des dispositions constructives

- **La conformité de l'application des géocomposite** : Ils sont réalisés par simple recouvrement sur une largeur de 10 cm minimum. Pour éviter tous déplacements (*vent, remblais, etc.*), le recouvrement est fixé par points à chaud (*air chaud ou flamme*). L'espacement entre ces points et de 2 mètres au maximum.



Recouvrement longitudinal (côte à côte)

Contrôle des soudures de géomembranes

Rappelons qu'il existe **différents types de soudure selon la famille de géomembranes** mise en œuvre et que les méthodes de contrôle sont à adapter à chacune de ces soudures.

- Le tableau suivant résume les types de soudure rencontrés pour chaque famille de matériau.

Matériaux et de types soudures	Double soudure automatique	Monosoudure automatique	Soudure manuelle à air chaud ou à la flamme	Extrusion	Collage
PVC-P	X	X	X		
PP flexible	X	X	X	X	
PE hd	X	X		X	
Gmb bitumineuse			X		
Gmb EPDM					X

PVC-P : Polychlorure de Vinyle Plastifié

PP : Polypropylène

PEhd : Polyéthylène Haute Densité

EPDM : Ethylène Propylène Diène Monomère

Tableau 1 : Familles de géomembrane et procédés de soudage

Contrôle des soudures de géomembranes

- Le tableau suivant résume les types de soudure et procédés de contrôle dur site

Types de soudure et de contrôle d'étanchéité	Double soudure automatique	Monosoudure automatique	Soudure manuelle à air chaud ou à la flamme	Extrusion	Collage
Mise en pression	X				
Cloche à vide		X	X	X	X
Pointe sèche	X	X	X	X	X
Essai diélectrique			X	X	

Tableau II : Types de soudure et procédés de contrôle sur site

Contrôle des soudures de géomembranes

L'examen visuel

- Cet examen permet la mise en évidence de défauts de soudage tels que des **plis dans les soudures**, des **bulles ou cloques**, des **soudures partielles** (par exemple lorsque la machine à souder est a dévié et qu'il reste un seul cordon de soudage sur la double soudure), **des brûlures** dans le cas des soudures manuelles sur PVC et PP, des meulages excessifs dans le cas des extrusions de PEhd, des largeurs de soudures insuffisantes,...



Contrôle des soudures de géomembranes

Le contrôle à la pointe sèche

- Cet essai très qualitatif a pour but la **détection** de zones **mal** ou **insuffisamment soudées**.
- Le passage d'une pointe émoussée le long du bord de la soudure conduit ainsi à détecter ces zones, parfois de surface importante, qui doivent être réparées.
- Il ne faut pas oublier qu'**un contrôle** satisfaisant à la pointe sèche n'est pas suffisant pour garantir l'étanchéité de la rustine ou de l'extrusion. **Il s'agit seulement d'un test d'arrachement**.



Contrôle des soudures de géomembranes

Contrôles à la cloche à vide

- Le principe consiste à mouiller à l'eau savonneuse la surface des soudures manuelles ou des extrusions et de placer la cloche à vide sur l'ensemble.
- Avec une dépression de **0,5 bar** pour les **matériaux rigides (PEhd...)** et de **0,3 bar** pour les **matériaux souples (PVC-, PP...)**, toute fuite ou micro-fuite se manifeste par **l'apparition de bulles** sous la cloche.
- Une durée minimale de 30 secondes est requise afin qu'un équilibre s'opère.



Contrôle des soudures de géomembranes

Contrôle par mise en pression des doubles soudures

- Cet essai concerne uniquement **les géomembranes** polymères pouvant être assemblées **par fusion avec des machines à double soudure**.
- L'essai consiste à mettre le canal de contrôle situé entre les deux soudures en pression, le plus souvent pneumatique, et à **vérifier l'absence de baisse de pression qui signifierait la présence d'une fuite**.
- Les pressions sont de l'ordre de **3 bars** pour les matériaux **rigides comme le PEhd** et d'environ **1 bar** pour les **matériaux plus flexibles comme le PVC ou le PP**.



Contrôle des soudures de géomembranes

Essai diélectrique

- L'essai diélectrique consiste à vérifier l'absence de passage de courant entre les faces inférieure et supérieure d'une rustine ou d'une extrusion.
- La mise en œuvre de ce test passe par la mise en place d'un fil conducteur sous la rustine ou l'extrusion préalablement au soudage. Le passage d'un peigne électrique en surface permet la détection de fuite.

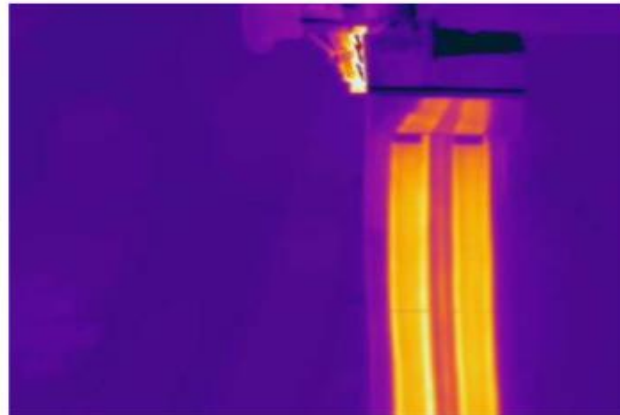
Contrôle des soudures de géomembranes

Contrôle par thermographie Infrarouge

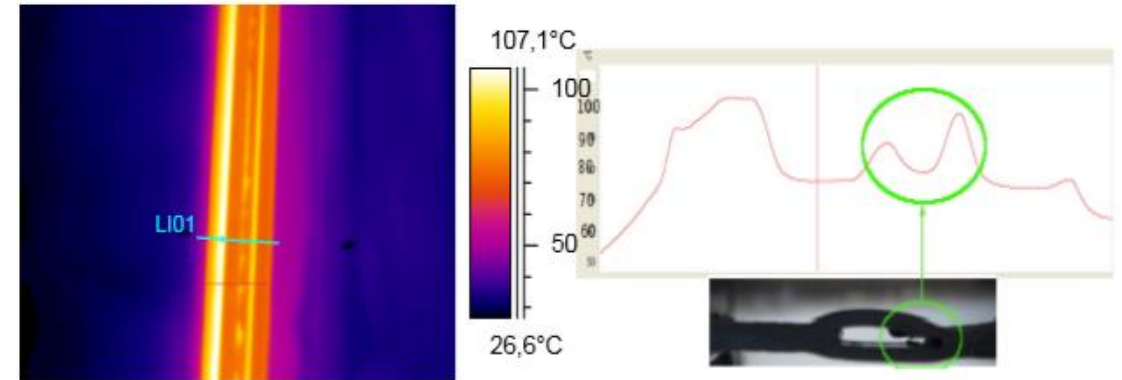
- Cette technologie, basée sur la mise en évidence des flux thermiques, permet d'obtenir une image donnant des informations pertinentes sur l'homogénéité et la morphologie de la soudure examinée.
- La différence de flux doit être généralement provoquée par un apport de chaleur sur la soudure (par exemple par le passage d'une résistance chaude au-dessus des soudures) ou, suivant la saison, par l'injection d'eau froide ou chaude dans le canal central.



Vue de la machine en cours de soudage et de l'acquisition des images thermographiques



Vue Infrarouge de la machine en cours de soudage d'une nappe de PEHD.



Vue IR d'une soudure défectueuse

Vue du profil de température LI01 obtenu et de la découpe de la soudure à ce niveau.

Contrôle des soudures de géomembranes

Contrôle de la résistance mécanique des soudures

Comme nous l'avons mentionné en introduction, **65%** des **17 défauts** observés à l'hectare se situeraient dans **les soudures**. Les défauts de soudures peuvent être de **deux types** :

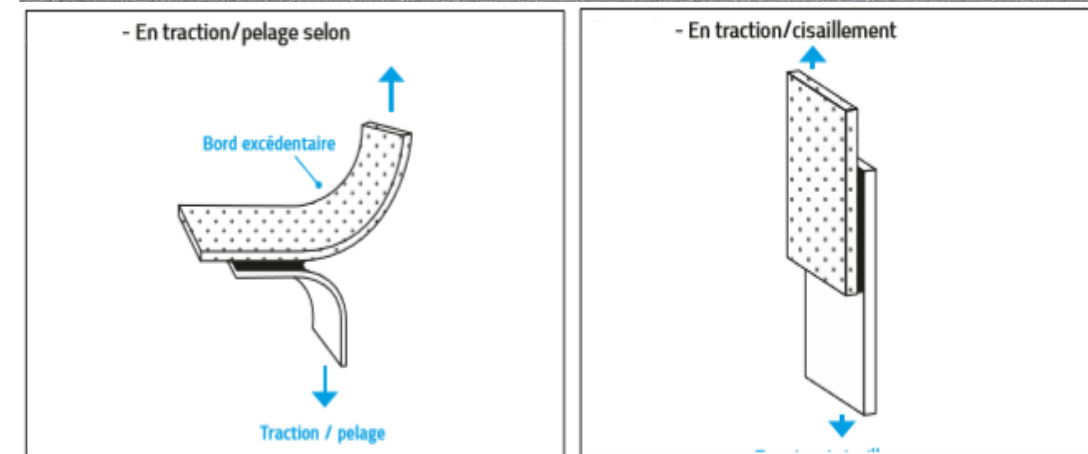
- 1- les défauts **d'étanchéité** directement mis en évidence par les méthodes de détection de fuites ;
- 2- les défauts « **mécaniques** » qui se traduisent par des **non-conformités des soudures** vis à vis des critères d'acceptation de la profession, tels que les **facteurs de soudage** ou les **résistances minimales** et qui ne créent pas immédiatement une fuite.

➤ **Le contrôle** de la résistance **mécanique** des soudures de géomembrane est indispensable pour garantir la durabilité des soudures et donc l'étanchéité à long terme

Contrôle des soudures de géomembranes

Contrôle de la résistance mécanique des soudures : Ces contrôles se pratiquent

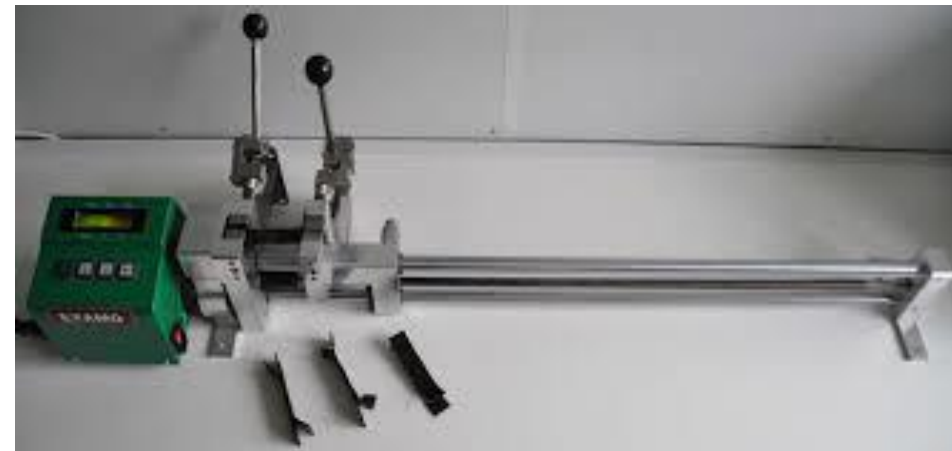
- ❖ Dans le cadre du contrôle interne : La plupart des entreprises d'étanchéité disposent aujourd'hui de **tensiomètres** de chantier permettant la lecture de la résistance en **traction-cisaillement** ou en **traction-pelage** des soudures
- Les matériaux polymères sont très **sensibles à la température** et à la vitesse de sollicitation. Les variations de températures entre le matin et l'après-midi peuvent être de l'ordre de plusieurs dizaines de degrés ce qui entraîne des variations importantes de leurs **caractéristiques mécaniques**.
- Ce paramètre est particulièrement important quand il s'agit de calculer **un facteur de soudage** (cas des géomembranes bitumineuses et PEhd).



Contrôle des soudures de géomembranes

Contrôle de la résistance mécanique des soudures :

- **Le facteur de soudage** : rapport entre **la résistance de la soudure** et **une caractéristique mécanique du matériau** doit être calculé à partir de données mesurées à **la même température**.
- **Le nombre d'éprouvettes** testées influe également sur le résultat, et il importe de tester plusieurs éprouvettes pour obtenir une moyenne.
- **Les essais mécaniques** sur chantiers restent un moyen de **contrôle pseudo-quantitatif**. Les écarts fréquemment observés entre les résultats de chantier et les résultats de laboratoire en sont la **preuve**.



Contrôle des soudures de géomembranes

Contrôle de la résistance mécanique des soudures :

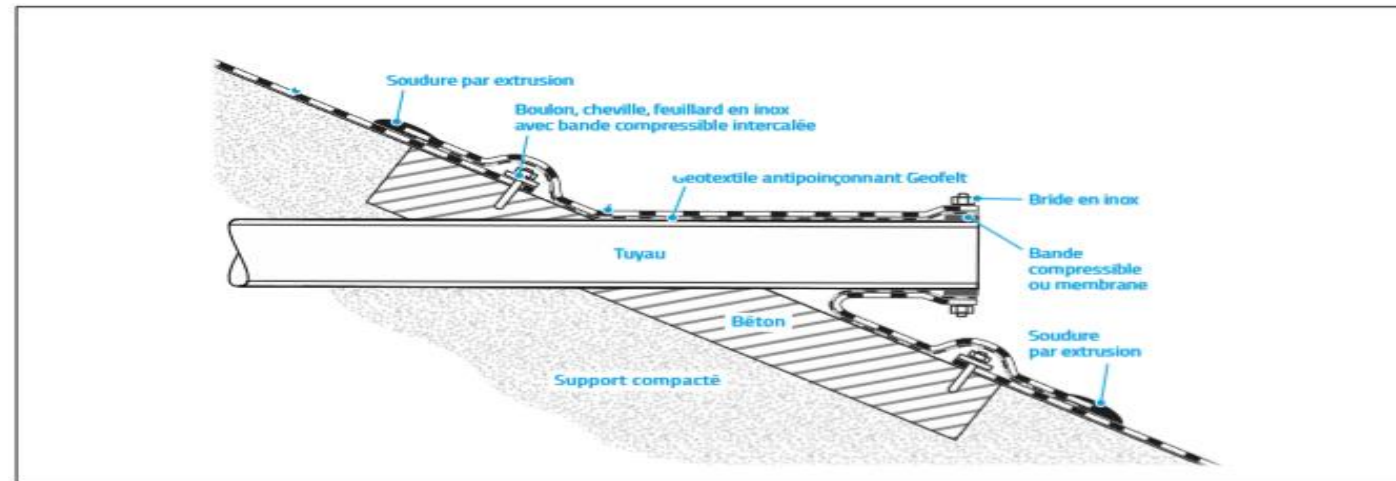
- ❖ *Dans le cadre du contrôle externe ou extérieur en laboratoire :*
 - Prélèvements, conditionnement des éprouvettes et essais sont réalisés en conformité avec les normes d'essais (NFP 84-501 et NFP 84-502) par les **laboratoires accrédités** pour le programme « Essais des géomembranes ».
 - **Ces laboratoires** travaillent depuis plusieurs années sur la validation de nouveaux critères d'acceptation des soudures afin de tenir compte de l'évolution des matériaux, et de la prise en compte des données de chantier et de certification qui constituent une banque de données intéressante.



Prélèvement d'un échantillon de soudure pour essais en laboratoire

Contrôles des raccords aux ouvrages

- Les raccords aux ouvrages et aux traversées d'étanchéité présentent une **double difficulté**, (1)**d'une part leur réalisation est complexe** (mise en place mal-aisée des géosynthétiques, raccords difficiles à souder, hétérogénéité du support) et (2)**d'autre part il existe très peu de méthodes de contrôle** adaptées en dehors de **l'examen visuel** et des tests **qualitatifs** tel que **la pointe sèche**.
- Nous estimons que **le contrôle** doit être réalisé **en amont**, au stade de la conception, afin **de favoriser** les dispositifs présentant les meilleures garanties d'étanchéité. L'exemple le plus fréquemment rencontré est le raccord de la géomembrane sur des tuyauteries (vidange, arrivée des effluents,...) dont la nature du matériau n'est pas toujours la même que celle de la géomembrane.



Contrôles avant réception

Méthodes de contrôle global du DEG

- C'est la phase finale du **contrôle** qui a pour objectif l'ultime vérification de l'intégrité du **DEG (Dispositif d'Étanchéité par Géosynthétiques)** avant la mise en service de l'ouvrage.
- La vérification de l'intégrité du DEG repose sur la mise en œuvre de méthodes globales telles que **la mise en eau** ou le **contrôle géo-électrique**.
- **La mise en eau** des ouvrages pendant une durée de **quelques jours** avec contrôle du taux d'évaporation permet de mesurer un débit de fuite mais ne permet pas la localisation du ou des défauts.
- En cas de **baisse anormale** du niveau d'eau, il convient de rechercher la ou **les fuites**

Contrôles avant réception

Vérification du dossier de récolement

- **Ultime contrôle** avant réception de l'ouvrage, la vérification du dossier de récolement est nécessaire pour **assurer** toute la **traçabilité** des travaux.
- Le dossier de récolement correspond à l'ensemble des données de l'ouvrage construit, qui peuvent s'avérer nécessaires **en cas de dysfonctionnements futurs**.
- On citera un exemple où un écoulement de lixiviat avait été observé dans le drain de contrôle situé entre deux étanchéités par géomembrane. **L'examen du plan de récolement** des **lés** et des **soudures** a permis de **privilégier une zone d'intervention**, et après avoir dégagé 4 ou 5 m de déchets, une des extrusions situées dans la zone supposée de la fuite s'est révélée défectueuse.



MERCI POUR VOTRE AIMABLE ATTENTION



www.cmg-asso.org



www.facebook.com/cmg.asso