

ANALYSE DE L'EFFET DES TASSEMENTS SUR LE COMPORTEMENT D'UNE GEOMEMBRANE EN PEHD

ANALYSIS OF THE EFFECT OF SETTLEMENTS ON THE DEFORMATIONS OF A HDPE GEOMEMBRANE

L. COURARD

UNIVERSITE DE LIEGE, BELGIQUE

L. DAUGE

CETEM, BELGIQUE

► Résumé

L'analyse du caractère évolutif des tassements des déchets et de leur impact sur le comportement du système d'étanchéité-drainage est réalisée dans le cadre de la zone I du Centre d'Enfouissement Technique de Mont-Saint-Guibert en Belgique : il s'agit de déterminer et d'estimer les courbes de tassement résiduel des déchets et d'en déduire les conséquences pour l'étanchéité. Une attention particulière est apportée à l'évolution des déformations dans la géomembrane à échéance de 20 et 30 ans correspondant à une diminution prévisible des phénomènes de tassements.

Mots clés : enfouissement, déchets, géomembrane, déformation, tassements

► Abstract

The analysis of the evolution of waste settlements and their impact on the behaviour of a water-proofing-drainage system is realised for the Centre d'Enfouissement Technique de Mont-Saint-Guibert in Belgium : it is consisting in the determination and evolution of the residual settlement curves in relation with the deformation of the geomembrane. A particular attention is paid to the evolution of deformations after 20 and 30 years when a decrease of waste settlement is expected.

Keywords: landfills, wastes, geomembrane, deformation, settlements



Vue générale de la zone I / General view of Zone I

1 INTRODUCTION

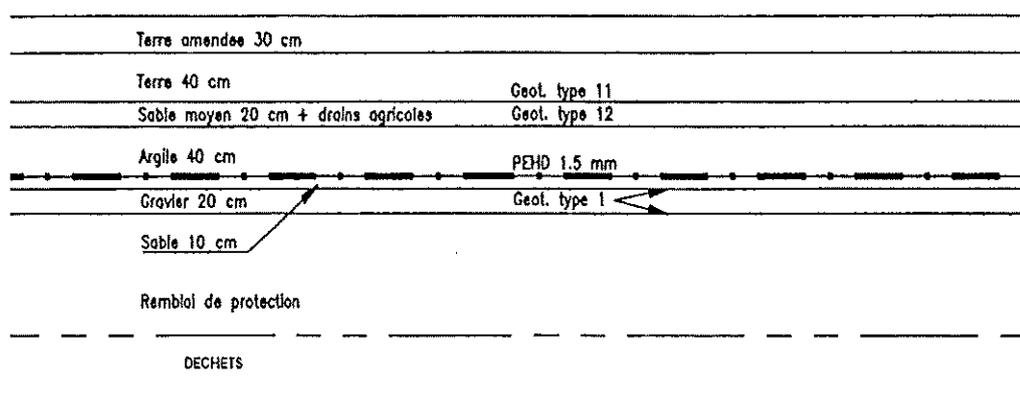
Le phénomène de tassement observé dans la Zone I du Centre d'Enfouissement Technique de Mont-Saint-Guilbert constitue une sollicitation qui peut éventuellement perturber le fonctionnement du système d'étanchéité-drainage de la couverture (Photo 1).

La caractérisation de l'état et des performances résiduelles du système d'étanchéité-drainage et de ses composants (couche drainante pour l'eau, couche drainante pour les gaz, étanchéité naturelle et synthétique) constitue une étape fondamentale dans la compréhension des problèmes éventuels. Une attention particulière est apportée au comportement de la couche d'argile (étanchéité naturelle), au problème des pentes inversées et des risques de bouchons de condensation dans les tuyaux, à l'état de sollicitation de la géomembrane (déchirure, poinçonnement), à la liaison de celle-ci avec les géomembranes périphériques. Un calcul théorique basé sur les mesures de tassement établit l'état de contrainte dans la géomembrane et permet d'évaluer le risque de déchirure ou de dépassement du seuil d'écoulement (contraintes et déformations).

L'objet de la présentation est l'évaluation de l'impact des tassements des déchets sur les déformations de la géomembrane à plus ou moins long terme.

2 DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME D'ETANCHEITE DE COUVERTURE

Le système d'étanchéité supérieur est habituellement constitué, quand les pentes le permettent (inférieures à 10 – 15°), d'une géomembrane flexible et d'une couche d'argile compactée de 60 cm d'épaisseur, suivant le schéma général ci-après.



Par rapport à une utilisation en talus ou en fond de décharge, le système d'étanchéité se trouvera dans des conditions de travail quelque peu différentes :

- en couverture, la géomembrane ne sera soumise qu'à l'action d'eau de précipitation ; dès lors, les problèmes de résistance chimique seront moins importants, sauf s'il y a émission de gaz sous la géomembrane ; la membrane pourra se trouver dans les zones soumises au gel en hiver et à de plus hautes températures en été ;
- le tassement des déchets peut engendrer des déformations biaxiales importantes dans tout le système d'étanchéité ;
- le système d'étanchéité subira ses contraintes les plus importantes en service (période de post-fermeture de la décharge) et non pendant la construction comme pour l'étanchéité de fond et de talus ;
- l'étanchéité supérieure est aisément visitable donc éventuellement réparable en cas d'avarie ; le seul problème réside dans la mise en évidence et la localisation de l'avarie ;
- compte tenu de leur grande proximité de la surface, les étanchéités supérieures sont plus susceptibles d'être agressées par les rongeurs ou les racines.

Le problème le plus important est sans conteste le comportement du système d'étanchéité, et en particulier celui de la géomembrane, vis-à-vis du tassement des déchets.

Les elongations de la géomembrane qui peuvent être engendrées par les tassements sont fonction de la largeur et de la profondeur de la dépression, de même que de sa forme (circulaire ou triangulaire). Si la zone influencée par le tassement est suffisamment importante dans le plan, les contraintes et les déformations engendrées dans la géomembrane restent faibles.

Le modèle présenté en Figure 1 est relatif à un mouvement bidimensionnel. Si le tassement s'opère de manière tridimensionnelle, des déformations biaxiales seront engendrées dans la géomembrane. La déformation, calculée à partir du modèle, est donc à comparer avec la déformation biaxiale des géomembranes (< 20 %) et non avec les valeurs de capacité de déformation fournies par les essais de traction simple (> 600 %), ce que montre la Figure 2.

Des essais réalisés dans plusieurs laboratoires (GRI, STUVA, Steffen)[2] sur des échantillons de tailles, d'épaisseurs et de provenances différentes montrent qu'il n'y a pas de réduction des valeurs de la déformation à l'écoulement par suite de l'augmentation du diamètre de l'échantillon testé. Les observations réalisées dans le cadre de ces essais montrent également que, lorsque l'échantillon est de grande dimension, seule une petite partie centrale de celui-ci est réellement mise en tension au moment du tassement simulé (Figure 3) et donc que la géomembrane en contact avec les bords de la zone de tassement participe peu ou pas à la reprise de l'effort éventuel. Ces considérations sont bien entendu valables pour une membrane non renforcée comme le PEHD [2].

3 SITUATION INITIALE DE LA ZONE I (LAC AUX CYGNES)

La cellule définie par la Zone I fait partie du Centre d'Enfouissement Technique de Mont-Saint-Guibert ; il s'agit d'une cellule relativement ancienne, ayant bénéficié de moins bonnes techniques de mise en place des déchets que celles utilisées à l'heure actuelle (Figure 4).

Le remplissage de la cellule a commencé dans les années 85-86 pour se terminer au début des années 90, avec des déchets ménagers n'ayant subi aucun traitement. Les déchets ont été disposés directement sur le terrain, sur une hauteur de l'ordre de 30 mètres.

Les travaux de couverture ont été réalisés rapidement après la fin du remplissage, probablement dans le but de limiter l'infiltration des eaux pluviales dans les déchets et ainsi de réduire les risques de pollution dans la mesure où il n'y avait pas d'étanchéité de fond et de talus. Les travaux semblent avoir été terminés fin 92. La superficie totale avoisine les 3 hectares.

4 MODELISATION DES TASSEMENTS

La modélisation des tassements au moyen de lois de comportement (Sowers, Gibson and Lo) nécessite le calcul de paramètres déterminés à partir des mesures sur site : plus le nombre de mesures sera important, meilleure sera la corrélation entre théories et réalité.

L'établissement des paramètres est réalisé à partir de l'analyse des tassements observés sur un quadrillage 10 x 20 m [10].

Nous avons effectué le relevé des tassements en 80 points de référence (tableau 1) pour des périodes de temps correspondant à 120, 415, 850, 1176, 1499 et 1918 jours (lorsque les données étaient disponibles). Ce référentiel temps est le relevé M02, qui semble être celui au-delà duquel l'exploitant et l'entrepreneur sont sûrs qu'il n'y ait plus eu de rechargement. Il est donc clair que le tassement primaire a eu tout le temps de se produire puisqu'il s'est écoulé au minimum 1 mois entre ces relevés et la fin des travaux. Il y a donc une première partie du phénomène qui nous échappe et pour laquelle il sera nécessaire d'effectuer un certain nombre d'hypothèses à partir des données de la littérature.

Tableau 1 : évolution des tassements Zone I – référence D1

Temps (jours)	Tassements (m)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0.7	0.8	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3
415	-	2.3	2.1	1.9	1.9	1.9	1.7	1.7	1.5	1.4
850	-	3.1	2.9	2.7	2.6	2.5	2.3	2.2	2.1	1.9
1176	-	3.7	3.4	3.2	3.2	3	2.9	-	-	-
1499	-	4.2	4.1	3.8	-	-	-	-	-	-
1918	-	4.3	4.1	3.9	3.8	3.7	3.4	2.9	2.5	2.1

5 EVOLUTION DES TASSEMENTS DANS LE TEMPS ET LEUR EFFET SUR LE SYSTEME D'ETANCHEITE-DRAINAGE

L'intérêt essentiel de la modélisation des tassements suivant SOWERS ou GIBSON et LO (Figure 5) est de pouvoir estimer l'évolution des tassements dans le temps. On estime en général que le tassement secondaire peut se produire sur une période de 20 à 30 ans [9], en fonction des caractéristiques des déchets et du confinement. L'estimation des tassements à 20 et 30 ans devrait donc permettre de se faire une idée de la topographie finale du site (tableau 2).

Tableau 2 : évaluation des tassements après 20 et 30 ans suivant les lois de SOWERS et GIBSON et LO.

Références*	Tassements à 20 ans (%)		Tassements à 30 ans (%)	
	SOWERS	GIBSON et LO	SOWERS	GIBSON et LO
D1	18,4	31,1	19,8	35,2
E1	16,5	33,5	17,8	37,1
F1	18,7	40,9	20,1	47,1
G1	18,8	32,8	20,1	35,6

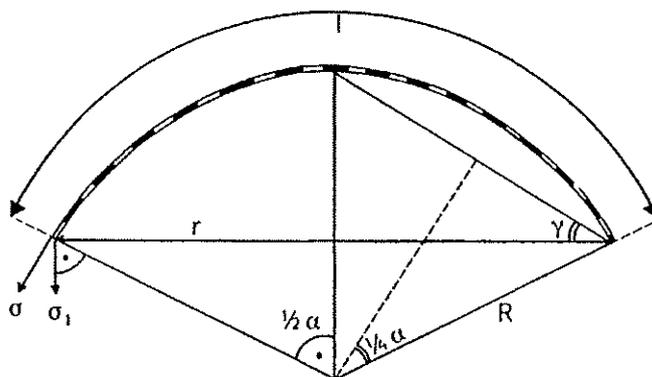
* les références correspondent à des points représentatifs du profil général de la surface sollicitée.

Si on y ajoute les 5 % correspondant à la phase primaire de tassement des déchets, on arrive en moyenne, à un tassement total de :

- après 20 ans, SOWERS	:	23,1 %
GIBSON	:	39,6 %
- après 30 ans, SOWERS	:	24,5 %
GIBSON	:	43,8 %

Suivant la théorie de SOWERS, le tassement à 30 ans atteint donc une valeur approximative de 25 % tandis que GIBSON l'estime à 45 %.

Les effets du tassement sur la membrane peuvent alors être estimés à partir des considérations géométriques. Si nous supposons une déformation sphérique de la géomembrane, sans glissement sur les bords, la déformation ε (%) et la contrainte σ (kN/m) peuvent être estimées de la façon suivante :



$$l = 2 \pi \cdot R \cdot \alpha / 360 = 0,01745 R \cdot \alpha$$

Connaissant H = hauteur maximum du tassement ;
 r = rayon de la zone de tassement ;
 l_0 = diamètre de la zone de tassement, correspondant au diamètre de la géomembrane affectée par le tassement ;
 d = épaisseur de la géomembrane ;

il est possible de calculer

R = rayon de la sphère ;
 l = longueur du segment de sphère ;
 ε = déformation ;
 σ = contrainte ;

à partir d'une série de développements géométriques. En particulier, on peut calculer $\varepsilon = \left(\frac{\lambda}{\lambda_0} - 1 \right) \cdot 100$.

Le calcul a été réalisé à échéance de 30 ans pour une valeur du tassement de 25 % (H = 7,5 m) et 45 % (H = 13,5 m).

Tableau 3 : paramètres de calcul et déformation de la géomembrane

H (m)	2r (m)	ϵ (%)	Coefficient de sécurité
7,5	120	1,01	12
7,5	80	2,30	5,2
13,5	120	3,32	3,6
13,5	80	7,4	1,6

Le coefficient de sécurité est établi à partir du rapport entre la déformation calculée et la déformation à l'écoulement (12 %). Les calculs montrent que, si les coefficients de sécurité sont réduits, la déformation correspondant à l'écoulement dans la membrane ne devrait pas être atteinte après 30 ans, même dans les cas de tassements les plus critiques (GIBSON).

6 CONCLUSIONS

Les estimations que nous avons faites ici vont toutes dans le même sens : même avec des coefficients de sécurité pouvant aller jusqu'à 10 [1, pp 5.66], la géomembrane qui a été employée en couverture semble pouvoir supporter les déformations imposées par le tassement des déchets.

Nous avons analysé ici le comportement global de la géomembrane. Tout comportement particulier engendrant des tassements importants sur des surfaces réduites (augmentation du coefficient tassement) peut amener des déformations plus importantes dans la géomembrane, éventuellement au-delà du seuil d'écoulement.

De même, des sollicitations localisées importantes peuvent engendrer une mise en tension de la géomembrane : c'est le cas en particulier dans les zones d'ancrage de la géomembrane. Dans le cas présent, le risque n'est pas à négliger dans la mesure où l'argile est placée en contact direct avec la géomembrane, sans géotextile de glissement. Sous l'effet du tassement, et dans la mesure où l'angle de frottement argile / géomembrane est plus élevé que l'angle de frottement géomembrane / géotextile inférieur, l'effort peut être transmis à la géomembrane.

La géomembrane ne semble donc pas devoir subir des dommages importants à la suite du tassement d'ensemble des déchets puisque les déformations induites restent en-deçà des valeurs à l'écoulement. Il est toutefois impossible de garantir avec certitude l'étanchéité de la géomembrane sur le site dans la mesure où, comme nous venons de le signaler, des "accidents locaux" peuvent survenir.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] MONJOIE, A., RIGO, J.-M., POLO-CHIAPOLINI, Cl., *Vade-mecum pour la réalisation des systèmes d'étanchéité-drainage artificiels pour les sites d'enfouissement technique en Wallonie*, Faculté des Sciences Appliquées, Université de Liège, 1992.
- [2] ROLLIN, A. and RIGO, J.-M., *Geomembranes: Identification and Performance testing*, RILEM REPORT 4, Chapman and Hall Ed., 1991.
- [3] ABDOULAYE, A.A., *Evaluation des paramètres géomécaniques des déchets pour le calcul de stabilité de talus et de fondation*, Travail de fin d'études, FUSAGx, 1996.
- [4] SOWERS, G.F., *Settlement of waste disposal fills*, 8^e Conférence sur la Mécanique des Sols et l'Ingénierie des Fondations, Moscou, 1973, pp 207-10.
- [5] DELGRECO, O. et OGGERI, C., *Geotechnical parameters of sanitary wastes*, Sardinia 93, Vol II, pp 1421-31.
- [6] MORRIS and WOOD, *Settlement and engineering considerations in landfill and final cover design*, Geotechnics of waste fills, pp 9-21.
- [7] KOERNER R.M., Three-dimensional, axi-symmetric geomembrane tension test, Geosynthetic Testing for Waste Containment Application, ASTM STP 1081, Ed.R.M. KOERNER, 1990, pp 170-84.
- [8] KOERNER G.R., Assessment of HDPE Geomembrane performance in a Municipal waste Landfill Double Liner System after Eight years Service, *Geotextiles and Geomembranes* 15, 1997, pp 277-87.
- [9] Convention I.R.S.I.A. C.I. 1/4 9015/182, *L'influence du stockage des déchets sur la durabilité des protections étanches artificielles*, 1993-1995.
- [10] COURARD L., *Situation de la zone I du Centre d'Enfouissement Technique de Mont-Saint-Guibert*. Rapport final, Université de Liège, 1998.



Photo 1 Vue du "Lac des Cygnes", Zone I, Mont-Saint-Guibert / View of "Lac des Cygnes", Zone I, Mont-Saint-Guibert

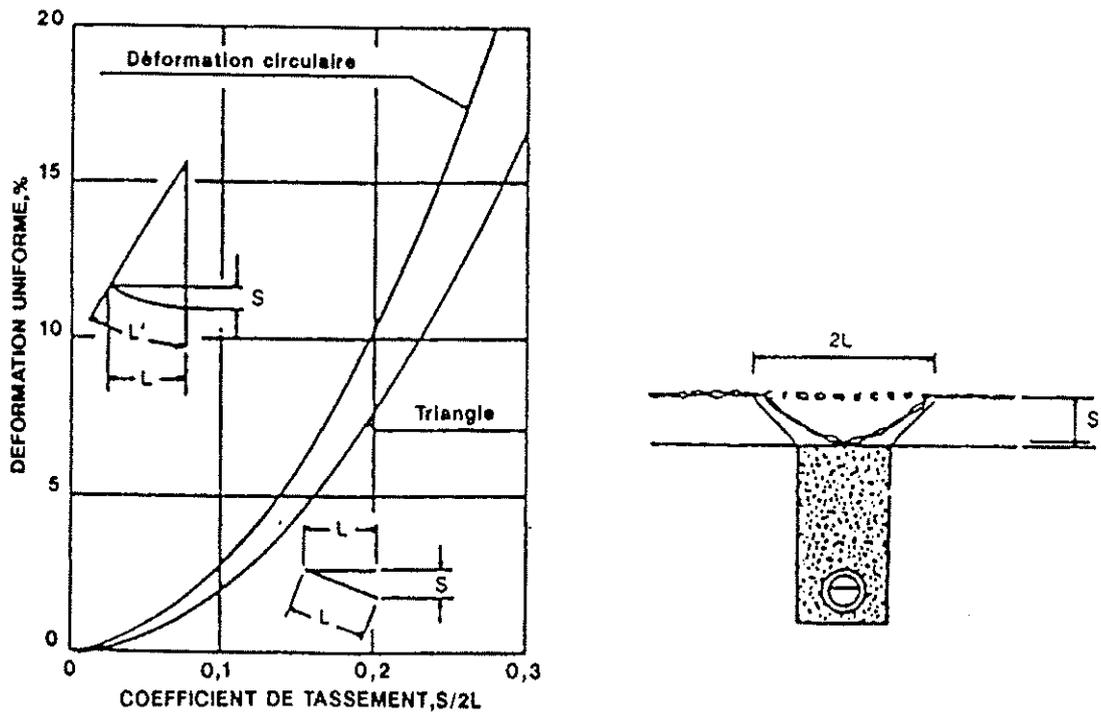


Figure 1 Valeurs de déformation uniforme en fonction des dimensions de la zone de tassement [1] / Deformation of the geomembrane versus settlements amplitude [1]

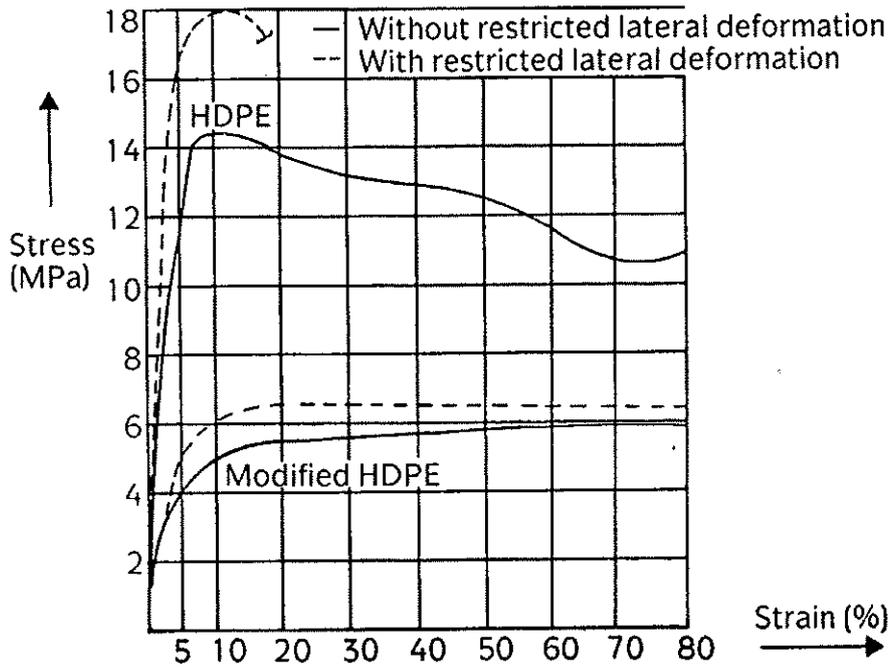


Figure 2 Courbes contraintes-déformations avec ou sans restriction latérale des déformations [2] / Stress-strain curves with or without lateral deformations [2]

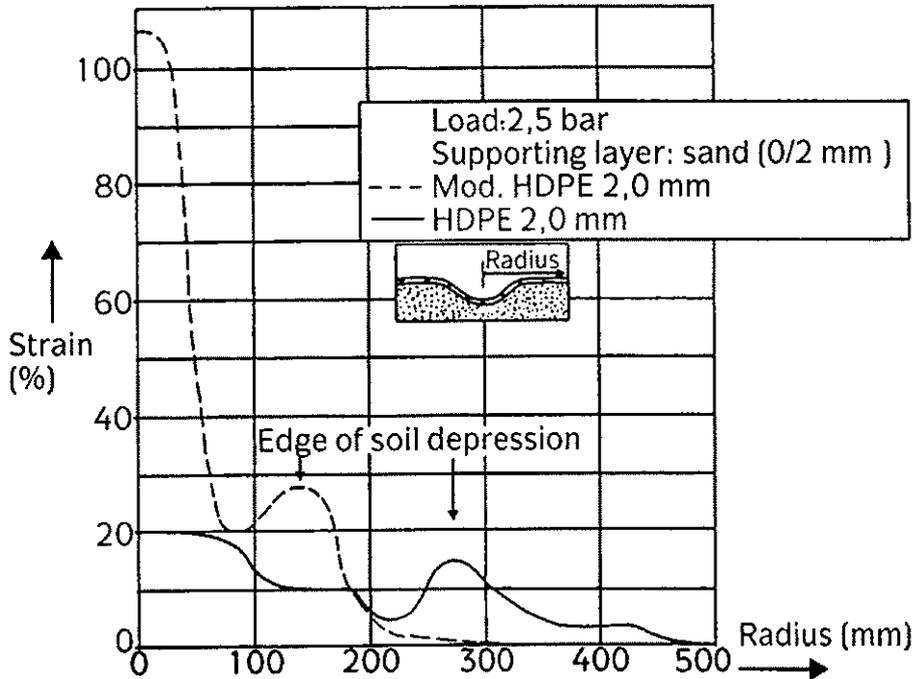


Figure 3 Distribution des déformations dans la géomembrane dans un essai de tassement [2] / Deformations in the geomembrane during settlement test [2]

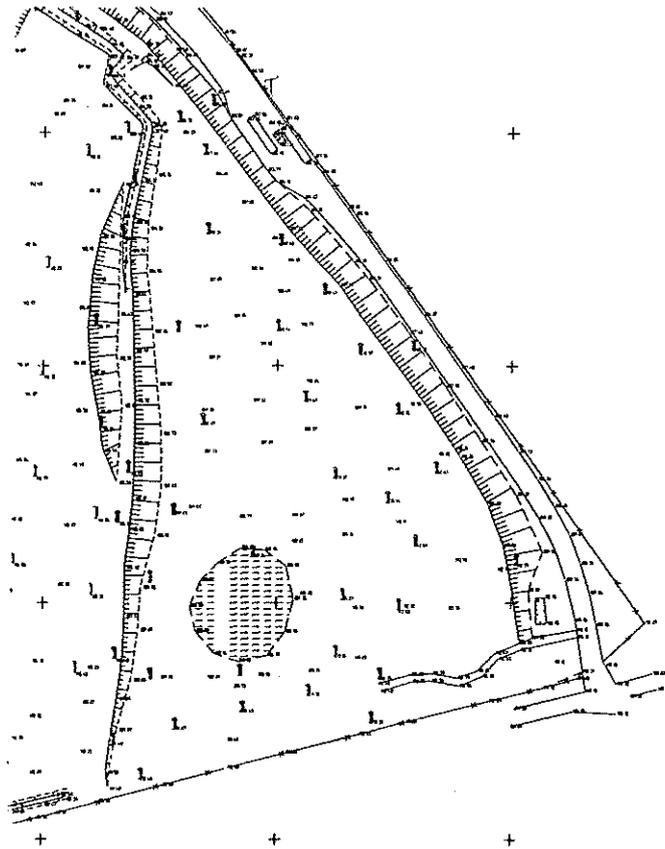


Figure 4 Situation générale de la Zone I / *Situation of Zone I*

Figure 5 Comparaison des lois de SOWERS et GIBSON / LO avec les mesures sur site (réf. D1) / *Comparison between the theoretical laws of SOWERS and GIBSON / LO with on site measurements (ref. D1)*

