

MESURES DE SECURITE OPTIMISEES POUR LA CONSTRUCTION DE ROUTE

T. Marks, B. Kocher, M. Bürger
Institut fédéral des recherches routières, Allemagne, marks@bast.de

RESUME

L'utilisation de „matériaux alternatifs“ tels que les sous-produits industriels, les cendres provenant de l'incinération de déchets domestiques ou de matériaux de construction recyclés signifie toujours la prise en compte d'aspects environnementaux. Les matériaux peuvent contenir des polluants qui pourraient être lixiviés par de l'eau d'infiltration. Afin d'éviter une contamination du sol et des eaux souterraines, ils doivent être testés. Les résultats des tests permettent de différencier l'utilisation des matériaux alternatifs de construction de route dans des applications avec ou sans mesures de sécurité (TSM). Les TSM ont pour objectif d'empêcher la lixiviation des polluants. Les isolations des décharges sont par ex. largement répandues. En raison d'exigences différentes, les TSM doivent être adaptées à la construction routière.

Pour atteindre cet objectif et pour déterminer des TSM économiquement et écologiquement optimisées pour les constructions routières, l'institut fédéral des recherches routières (BASt) a lancé une étude. Pendant les expériences avec le lysimètre en intérieur et en extérieur, des parties de remblai seront construites. Différentes sortes de TSM seront réalisées et testées concernant le montant de l'eau d'infiltration et les polluants lixiviés. Jusqu'à aujourd'hui, un premier prototype de cette sorte de lysimètre a été construit et les premiers tests ont été effectués. Lorsque le prototype réussira tous nos tests, le test des différentes TSM aura lieu en intérieur et en extérieur.

1. FONDEMENTS

Basées sur la „Loi sur les routes fédérales à grande circulation“ (Bundesfernstraßengesetz) [1], les exigences des lois environnementales [2-4] ainsi que les state-of-the-art technology doivent être respectées par l'administration routière. La mise en application de toutes les exigences pour les routes fédérales est indiquée dans le détail par les réglementations spéciales de la construction routière.

Les „matériaux alternatifs“ tels que les sous-produits industriels, les cendres provenant de l'incinération de déchets domestiques ou des matériaux de construction recyclés sont de bons et économiques matériaux de construction populaires.

Les aspects environnementaux concernant leur utilisation dans la construction routière doivent être pris en considération au regard des réglementations sur la construction routière. En général, en Allemagne les matériaux alternatifs doivent être testés avant de pouvoir être utilisés. Les concentrations contaminantes dans le contenu de l'éluat et des solides doivent être mesurées. Les concentrations doivent correspondre aux valeurs de référence, sinon, l'utilisation des matériaux ne sera pas régulièrement autorisée.

Pour certains matériaux alternatifs, il y a différentes catégories de valeurs de limitation. En ce qui concerne la construction routière, trois catégories de matériaux recyclés sont indiqués dans les „Clauses techniques de délivrance des agrégats pour la construction routière“ (TL Gestein-StB), référencées RC-1, RC-2 et RC-3. Ces catégories sont soumises à des exigences spéciales pour l'utilisation des matériaux. Dans la catégorie des valeurs limites inférieures (RC-1), l'utilisation du matériau est autorisée pour la construction de voies rapides sans exigences supplémentaires. L'utilisation du matériau référencé RC-2 est soumise aux exigences spéciales concernant la situation de la voie

rapide. L'utilisation du matériau référencé RC-3 nécessite des mesures de sécurité (TSM). Ces mesures sont établies afin d'éviter ou pour minimiser la lixiviation des polluants à partir des matériaux de construction et la pollution du sol et de la nappe phréatique.

Les mesures de sécurité les plus répandues sont les isolations. Le savoir-faire technique concernant les isolations est apparue pendant construction des décharges. Il y a des différences considérables entre une décharge et la construction d'une route parce que les deux doivent répondre à des exigences différentes. La chose la plus importante concerne les aspects techniques. Le remblai de la construction routière est beaucoup plus raide que les remblais des décharges publiques, ce qui signifie qu'il y a plus de ruissellement sur les remblais des routes. Pour des raisons de stabilité statique et dynamique, les matériaux ont besoin d'être très bien compactés. Cela entraîne souvent une perméabilité à l'égard des basses eaux. En définitive, les matériaux autorisés pour la construction n'ont qu'un très faible contenu contaminant. Par conséquent, les TSM doivent être adaptées à la construction routière.

Pour atteindre cet objectif et pour déterminer des TSM économiquement et écologiquement optimisées pour les constructions de route, l'institut fédéral des recherches routières (BASt) a lancé une étude. Pendant les expériences avec le lysimètre en intérieur et en extérieur, des parties de remblai seront construites. Différentes sortes de TSM seront réalisées et testées concernant l'importance du ruissellement et de l'eau d'infiltration ainsi que des polluants lixiviés.

2. REALISATION

2.1. Le prototype du lysimètre

A l'origine, les lysimètres étaient construits pour répondre à des questions d'optimisation de l'agriculture et pour des études menées sur le bilan hydrologique. Le lysimètre général est un récipient qui contient de la terre. Il est ouvert au sommet et à la base si bien qu'il est possible de collecter l'eau d'infiltration à la base du lysimètre. Certains instruments peuvent être intégrés dans le lysimètre, par exemple pour mesurer la température ou la teneur en eau du sol. Les lysimètres sont utilisés par les chercheurs en environnement parce qu'ils offrent la possibilité de recevoir des informations sur les propriétés du sol, comme par exemple la rétention des polluants.

Pour respecter les TSM relatives à la construction routière, le lysimètre doit satisfaire de nouvelles exigences. Il n'est pas seulement nécessaire de tester les matériaux de construction alternatifs, mais aussi de mettre en application la forme typique des remblais. Le lysimètre doit avoir une taille qui corresponde aux conditions réelles pour obtenir des résultats représentatifs. D'un autre côté, il n'est pas facile de réaliser des équipements de test à taille réelle à cause des difficultés qui résultent de la préparation. Ainsi, après avoir analysé la documentation [5-16], le lysimètre indiqué sur le schéma 1 a pu être réalisé.

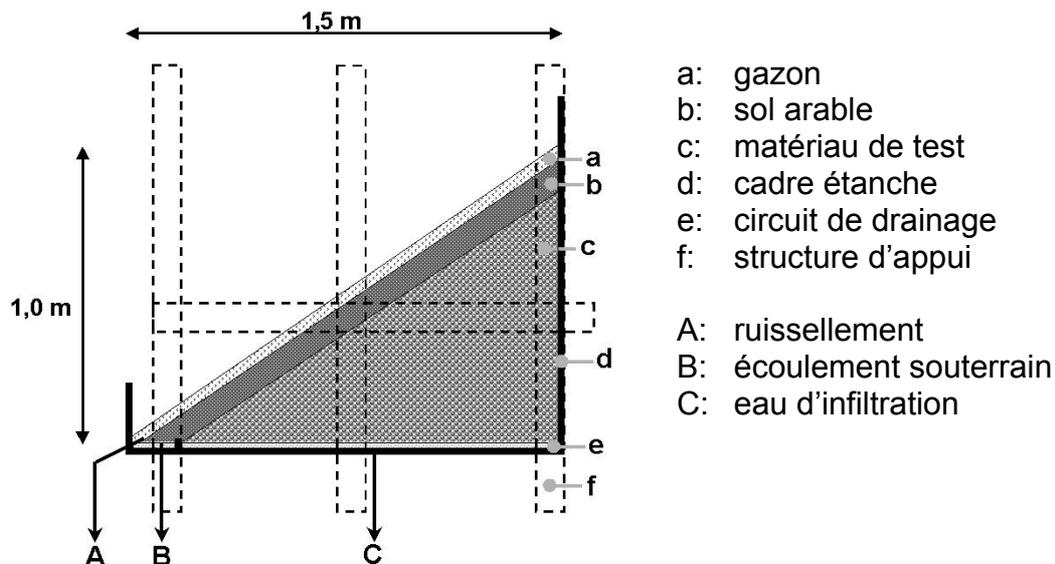


Schéma 1- Prototype du lysimètre, principes de construction

2.2. L'installation d'arrosage et d'irrigation

Dans le champ, il peut y avoir différents types de précipitation. La quantité d'eau d'infiltration ne dépend pas seulement de l'importance des précipitations, mais aussi de leur intensité. Les précipitations ayant un faible taux de pluviométrie se caractérisent normalement par une plus grande infiltration que les précipitations ayant une pluviométrie plus importante. L'installation d'arrosage et d'irrigation doit donner la possibilité de simuler différents types de précipitations. L'autre condition de test consistait à soumettre l'installation à une importante pluviométrie sur toute la surface du lysimètre.

Par conséquent, une installation composée d'une structure d'appui et d'une tête arrosage remplissant les conditions susmentionnées, a été réalisée.

La tête d'arrosage sert de réservoir d'alimentation en eau qui a la même taille que le lysimètre. L'eau sort par des petites canules, normalement utilisées en médecine pour les seringues. On peut choisir différents taux de pluviométrie en utilisant deux sortes de systèmes de pompage, l'un pour les faibles taux et l'autre pour les taux plus élevés. Grâce à cette installation on peut atteindre des taux oscillant entre 7 l/s*ha (litre par seconde et hectare) et presque 900 l/s*ha, ce qui offre une large gamme de possibilités.

2.3. Circuit de drainage

Dans ce champ, les remblais sont beaucoup plus élevés que le petit échantillon testé par le lysimètre. Le sol du lysimètre n'a qu'une hauteur relativement petite. Dans des conditions réelles – spécialement avec des sols composés de matériaux fins – il existe un filet d'eau oblique qui atteint la nappe phréatique. Afin de simuler les trajets de l'eau dans le lysimètre dans des conditions presque réelles, il est nécessaire d'avoir la possibilité de remplacer le raccordement vers la nappe phréatique et/ou le raccordement au filet d'eau oblique. Le dispositif nécessaire pour atteindre cet objectif est décrit sur le schéma 2.

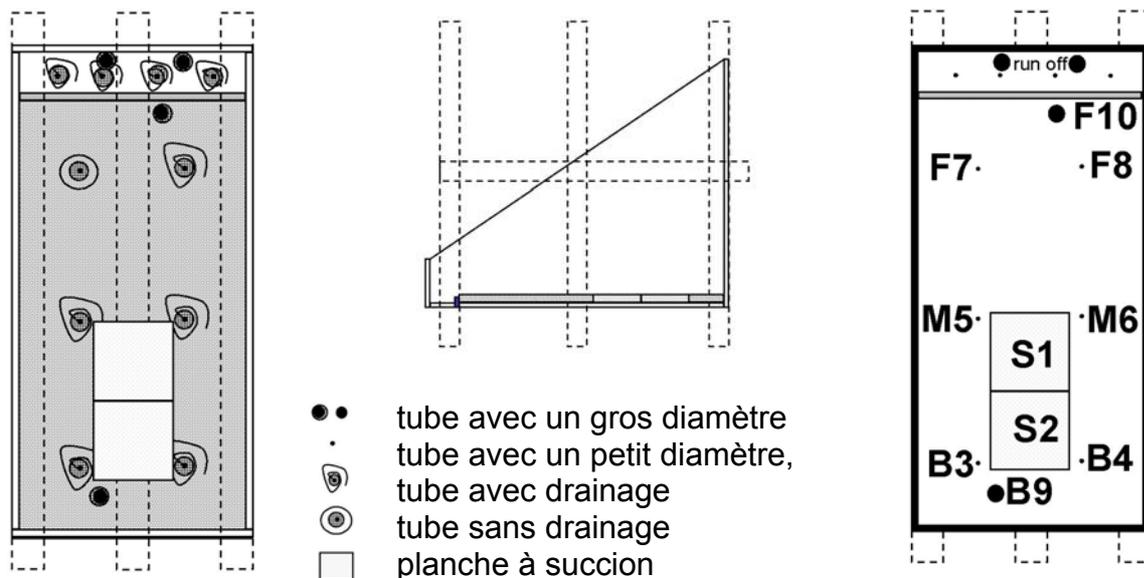


Schéma 2 – Dispositif de drainage avec des tubes et des planches à succion à la base du lysimètre

Deux alternatives ont été testées avec le prototype du lysimètre. Une méthode consistait à réaliser un lit de drainage de sable sous le sol. L'eau d'infiltration sort de ce lit à travers des tubes. Avant que le sol soit rempli et compacté, le lit et les tubes sont remplis avec de l'eau. Les tubes s'arrêtent un demi mètre en dessous du lysimètre. Après l'installation du sol, les tubes sont ouverts. Le but est d'orienter le filet d'eau oblique vers le filet d'eau des tubes.

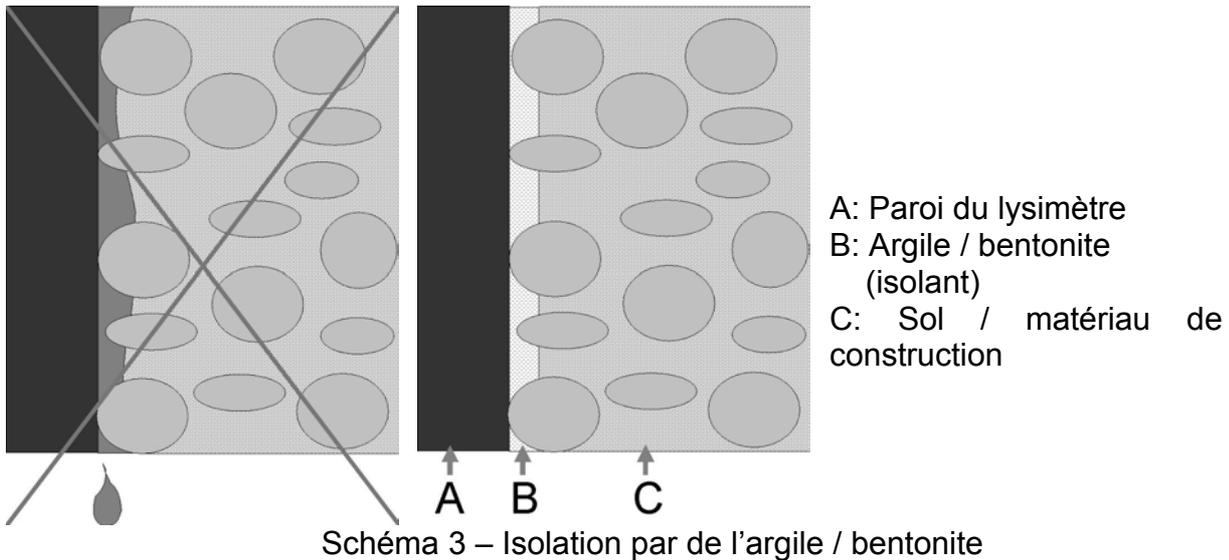
14 tubes ont été raccordés à la base du lysimètre. Les six tubes situés sur le devant du lysimètre ont pour mission de passer à travers le ruissellement. Les autres tubes doivent capter l'eau d'infiltration.

Quatre tubes ont un diamètre plus grand afin d'être sûr que les grandes quantités d'eau puissent s'écouler et d'éviter des rétentions d'eau au niveau de la base du lysimètre (comme F10 et B9). Tous les petits tubes à l'exception d'un seul (F7) ont une mèche de drainage afin d'éviter que le filet d'eau oblique ne soit rompu.

La seconde alternative pour capter l'eau d'infiltration consiste à utiliser des planches de succion. Au début de l'étude, il n'était pas certain que les planches de succion puissent résister à la pression pour le compactage du sol. Les premiers tests ont été réussis.

2.4. Trajets de l'eau – problèmes d'infiltration a niveau des bords

La taille des particules du sol utilisé est de 0/45. Cela pourrait poser problème dans le sens où l'eau d'infiltration prend des trajets atypiques le long des parois de l'installation. Afin d'éviter cela, l'écart étroit situé le long du bord du lysimètre a été rempli avec de l'argile et/ou de la bentonite comme isolant. Le principe est décrit sur le schéma 3.



2.5. Description du sol

Le sol utilisé pour tester le lysimètre est composé de gravier, de sable et d'argile. La courbe granulométrique est indiquée sur le schéma 4.

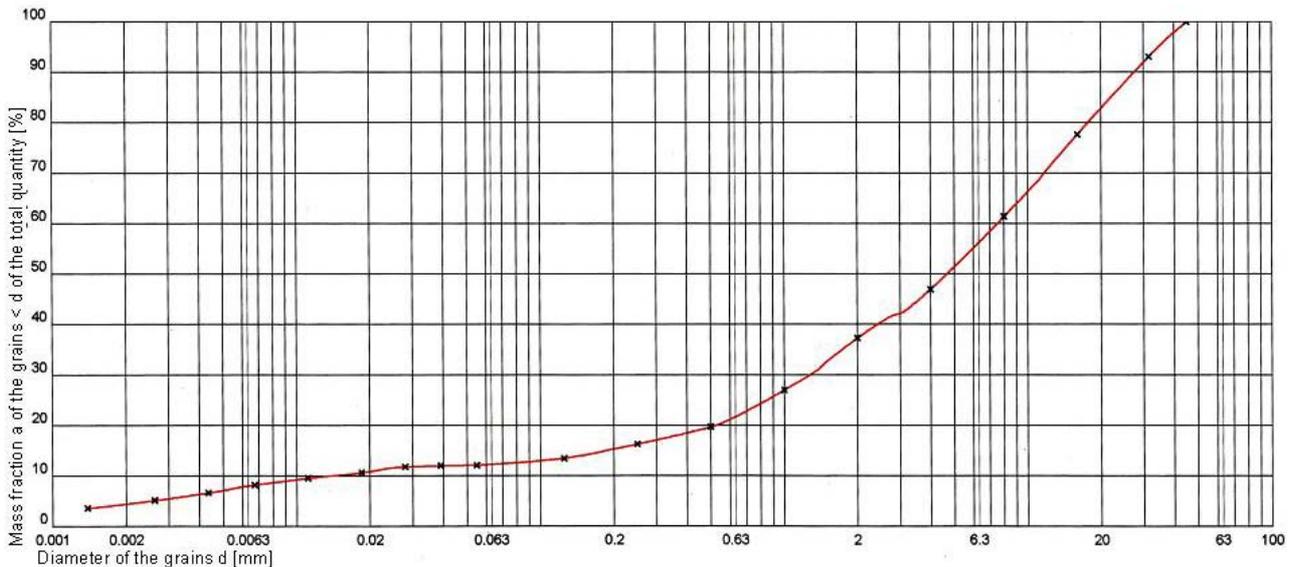


Schéma 4 – Courbe granulométrique du sol testé

La perméabilité du sol par rapport à la densité Proctor est de $3,7 \bullet 10^{-7}$ m/s. L'objectif était d'aboutir à un compactage ayant une densité Proctor de 100% dans le lysimètre. Cela a été fait à la main en utilisant une sorte de broyeur comme instrument de compactage. L'épaisseur des simples couches était limitée tout au plus à 12 cm afin d'obtenir un bon compactage. Le compactage a été mesuré deux fois avec un densitomètre et a révélé des densités Proctor de 98% et de 102%, ce qui a correspondu à la condition susmentionnée.

Le lysimètre a été recouvert de couches gazonnées cultivées après l'installation du sol.

3. PREMIERS RESULTATS

Les premiers tests devaient répondre à deux questions. Le premier objectif était de tester le fonctionnement du lysimètre de telle manière que les résultats des mesurages puissent

être plausibles. Le second objectif était de découvrir le meilleur moyen pour collecter l'eau d'infiltration. Pour cela, il a fallu analyser le rendement des différentes possibilités d'écoulement.

Deux premiers tests ont été effectués pour tester le lysimètre et l'installation d'arrosage et d'irrigation. Un test a été effectué avec un fort taux de pluviométrie mais seulement selon de courts intervalles, le second test a été effectué avec un faible taux de pluviométrie mais selon un intervalle plus long. Les taux de pluviométrie, la durée des précipitations et la quantité d'eau tombée qui a été collectée au niveau de la base du lysimètre, sont répertoriés dans le tableau 1.

Tableau 1 – Données opérationnelles des premiers tests

Test 1			
Taux de pluviométrie (l/s*ha)	Durée des précipitations (min.)	Quantité d'eau tombée (l)	
887	2	10	(= 100%)
500	20	67	
115	30	23	
Déploiement de la tête d'arrosage	après un jour	13	
Test 2			
Taux de pluviométrie (l/s*ha)	Durée des précipitations (min.)	Quantité d'eau tombée (l)	
34	480	102 (= 100%)	

Les eaux de ruissellement et d'infiltration ont été collectées et observées dans des conditions régulières. Les résultats sont indiqués dans le tableau 2.

Tableau 2 – Premiers résultats

	Eaux de ruissellement	Quantité d'eau d'infiltration	Quantité d'eau tombée	Reste
Test 1	51,5 %	29,0 %	100 %	19,5 %
Test 2	14,0 %	49,7 %	100 %	36,3 %

Les eaux de ruissellement du premier test sont plus importantes que celles du second test. La différence entre la quantité de l'eau collectée (eaux de ruissellement et eaux d'infiltration) et la quantité d'eau tombée augmente probablement en raison de l'évaporation de l'eau. Cela avait probablement une plus grande importance dans le second test.

Les trajets des flux d'eau d'infiltration et la réalisation des deux différents types d'isolation vont bientôt être testés dans une expérience avec un marqueur.

La différence d'eaux de ruissellement dans les deux tests n'est pas très surprenante. On sait que généralement les précipitations de longue durée ayant un faible taux de pluviométrie entraînent la création de plus d'eaux d'infiltration et de moins d'eaux de ruissellement. La plus grande durée de précipitation du second test a conduit à une plus grande évaporation qui devrait être réduite à l'avenir.

Le second résultat des tests est plus important: le principe de construction en soi semble être adéquat pour répondre aux questions. Le lysimètre s'est avéré être un moyen efficace pour tester différents TSM.

Concernant la seconde question, les différentes possibilités de collecte de l'eau d'infiltration ont été testées. D'abord, il y avait différentes tailles et positions de tubes. Les tubes et leur position dans le lysimètre sont indiqués sur le schéma 2. Le tableau 3 indique les résultats des tests. Dans le premier test, les eaux captées par les petits tubes (B3, B4, M5, M6, F7, F8) sont collectées ensemble de la même manière que pour les planches de succion et les plus gros tubes (B9, F10). Ainsi, l'écoulement des petits et des gros tubes, ainsi que les planches de succion pourraient être observés séparément. La chose que l'on peut observer est que les planches de succion collectées ont presque la même quantité d'eau (environ 80%) que tous les tubes réunis (B3, B4, M5, M6, F7, F8, B9, F10) malgré le fait de n'avoir comparé que les petites tailles à la taille globale de la base du lysimètre.

Tableau 3 - Résultats des eaux d'infiltration collectées

	S1/S2	B3/B4	M5/M6	F7 (sans mèche de drainage)	F8	B9/F10
Test 1	12,9 %	13,2 %				3,2 %
Test 2	20,6 %	1,0 %	0,2 %	27,0 %	0,1 %	0,7 %
		28,3 %				

Dans le second test, chaque écoulement de petit tube a été collecté séparément. Les résultats indiquent que la plupart de l'eau est collectée à partir du tube numéro 7. Ce tube est celui sans mèche de drainage. La position de ce tube dans le lysimètre est comparable au numéro 8. Ainsi, il semble que les mèches de drainage des tubes évitent la collecte d'eau. Les tubes des numéros 9 et 10, qui ont un diamètre plus gros que les autres, ne collectent pas beaucoup d'eau. Ainsi, une petite taille semble être utile. On peut également observer, en particulier dans le second test, la bonne performance des planches de succion. Apparemment, aucune d'elles n'avait été endommagée pendant le compactage du sol.

En regardant la distribution temporelle de l'eau collectée pendant la période de test, on peut découvrir plus de détails. Le schéma met en évidence l'arrêt de l'eau lorsque les précipitations s'arrêtent. Les gros tubes ne collectent que l'eau que pendant la période de précipitations et un peu après, mais pas pendant une plus longue période. C'est ainsi que font les petits tubes. Il n'y a que les planches de succion qui collectent l'eau pendant toute la période du test 1. Ainsi, les planches de succion semblent fonctionner correctement même si la quantité d'eau disponible diminue.

Le bon fonctionnement des planches de succion est confirmé dans le second test. Les planches de succion sont les seuls collecteurs d'eau après le premier jour. La collecte séparée de l'écoulement des tubes clarifie les résultats du premier test. Les plus gros tubes n'ont collecté que de l'eau pendant une courte période, probablement au moment où la plupart de l'eau s'est infiltré dans le sol du lysimètre si bien qu'il y a une plus faible force de rétention du sol. Cet effet est presque le même pour tous les autres tubes. Même le tube F7, qui a collecté la plus grande quantité d'eau, s'est arrêté après le premier jour. Ainsi, concernant le drainage du lysimètre, il semble utile d'installer des planches de succion à travers toute la base du lysimètre.

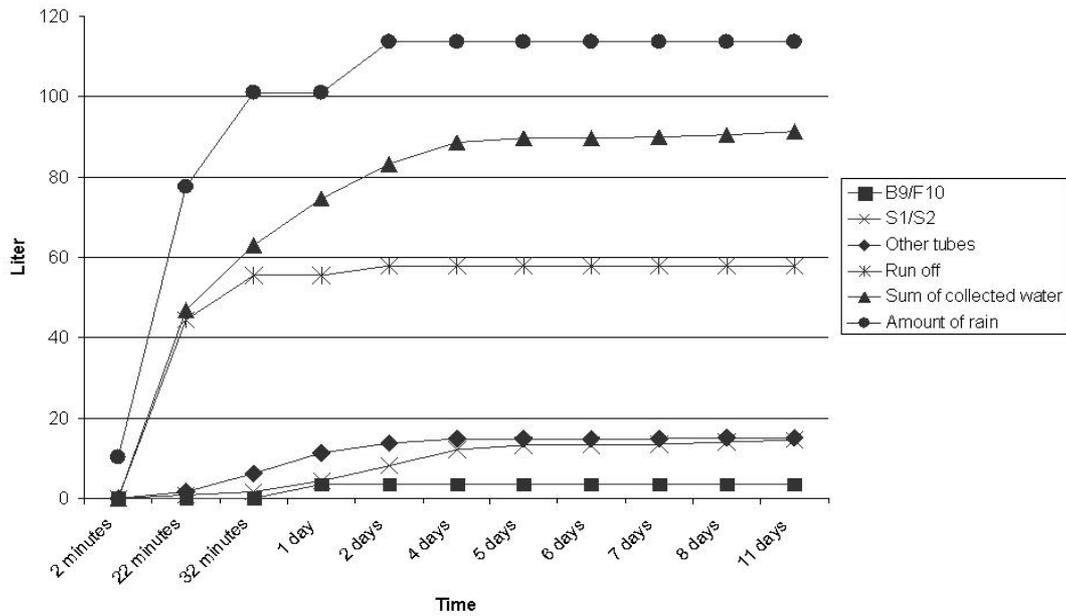


Schéma 6 - Distribution temporelle des eaux collectées - test 1

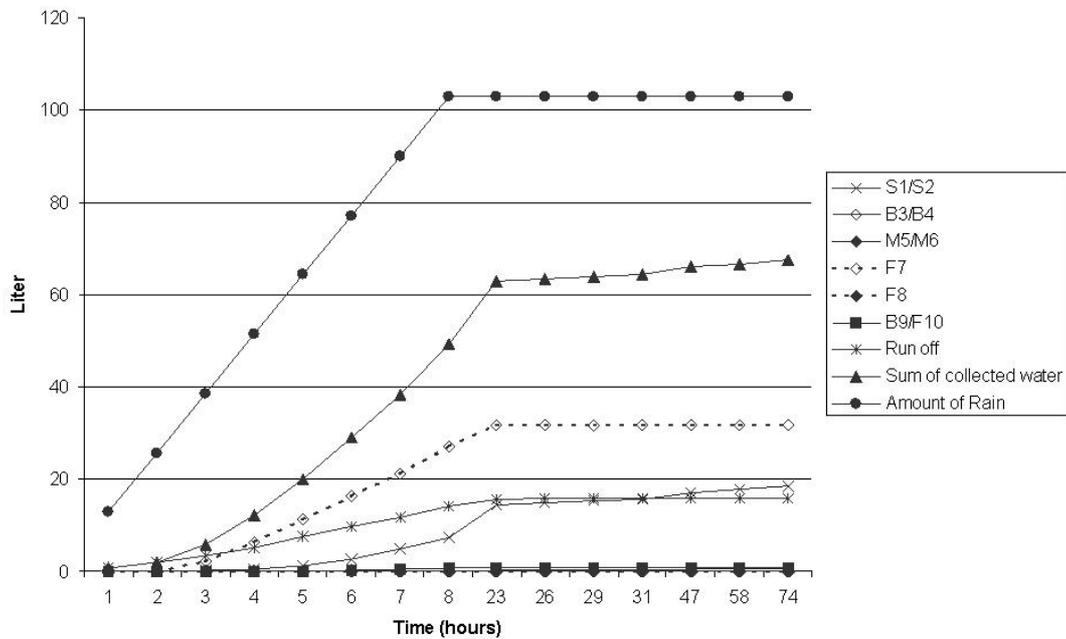


Schéma 7 - Distribution temporelle des eaux collectées - test 2

3. CONCLUSIONS

L'utilisation de matériaux alternatifs pour les remblais de voies rapides pourrait nécessiter la mise en application de mesures de sécurité (TSM). Une méthode de comparaison des différentes TSM et leur coordination optimale selon les exigences spéciales de la construction autoroutière va être développée. A l'institut fédéral des recherches routières d'Allemagne, une étude a été lancée pour enquêter sur ce problème. Un lysimètre a été conçu pour reproduire une section d'un remblai autoroutier. Lors des premiers tests qui ont été effectués, il fut possible de montrer la performance d'un nouveau type de lysimètre. Les résultats des tests donnent des idées sur la manière d'optimiser le lysimètre. En particulier, la protection contre l'évaporation pendant les expériences de calcul de la pluviométrie et la collecte d'eau d'infiltration avec les planches de succion doivent être

mentionnées ici. Les expériences avec lysimètre en intérieur et extérieur suivront pour tester différentes TSM.

REFERENCES

1. Bundesfernstraßengesetz (FStrG), Datum: 6. August 1953, Neugefasst durch Bek. v. 20.2.2003 I 286; geändert durch Art. 3 G v. 22. 4.2005
2. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG)), Datum: 17. März 1998, Zuletzt geändert durch Art. 3 G v. 9.12.2004
3. Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), Datum: 12. Juli 1999, Geändert durch Art. 2 V v. 23.12.2004
4. Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG)), Datum: 27. September 1994, Zuletzt geändert durch Art. 2 G v. 21. 6.2005
5. Cepuder, P. (1993). Versuchsergebnisse von Kleinlysimetern an unterschiedlichen Standorten. Bericht über die 3. Lysimetertagung, 20.-21.04.1993, BAL Gumpenstein, pp 35-48
6. Durner, W., Buczko, U. (2003). Numerische Simulationen zur Sickerwassererfassung durch Lysimeter unterschiedlicher Bauart. Bericht über die 10. Lysimetertagung, 29.-30.4.2003, BAL Gumpenstein, pp 163-166
7. DVWK/Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. (ed.) (1980). Empfehlungen zum Bau und Betrieb von Lysimetern. DVWK-Regeln zur Wasserwirtschaft, Book 114
8. Feichtinger, F. (1993). Das Lysimeter: Lern-, Beurteilungs- und Entscheidungshilfe in Umweltfragen. Bericht über die 3. Lysimetertagung, 20.-21.04.1993, BAL Gumpenstein, pp 15-20
9. Gerlinger, K. (1997). Erosionsprozesse auf Lößböden: Experimente und Modellierung. Dissertation, Mitteilungen des Institutes für Wasserbau und Kulturtechnik, book 194
10. Germer, K. (2004). Bodenwassererfassung in der ungesättigten Zone - Vergleich verschiedener Probennahmeverfahren. Diploma thesis, Braunschweig 2004
11. Klaghofer, E. (1993). Welche Lysimeter für welchen Zweck?. Bericht über die 3. Lysimetertagung, 20.-21.04.1993, BAL Gumpenstein, pp 13-14
12. Krenn, A., Klaghofer, E., Gerzabek, M.H. (2003). Diskussion seitlicher Randeefekte bei Lysimeterexperimenten am Beispiel der Lysimeteranlage Seibersdorf. Bericht über die 10. Lysimetertagung, 29.-30.4.2003, BAL Gumpenstein, pp 33-36
13. Lanthaler, C. (2004). Lysimeter Stations and Soil Hydrology Measuring Sites in Europe-Purpose, Equipment, Research Results, Future Developments. Diploma thesis, Graz 2004
14. Leis, A., Theuretzbacher-Fritz, H., Von Unold, G. (2001). Zusammenfassung des Workshops „Lysimeter - Anforderungen, Erfahrungen, Technische Konzepte“. Bericht über die 9. Lysimetertagung, 24.-25.04.2001, BAL Gumpenstein, pp 7-10
15. Peters, A.; Germer, K.; Durner, W. (2005). Sickerwassererfassung - Ein Vergleich von Geräten unterschiedlicher Bauart. Bericht über die 11. Lysimetertagung, 05.-06.04.2005, BAL Gumpenstein, pp 61-66
16. Schramm, M., Münchow, B. (1996). Beregnungsversuche zur Ermittlung der Infiltrations- und Abflußcharakteristik neuer und gealterter Flächenbefestigungen. in: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. Troisdorf 1996: Entsiegelung und Oberflächenwasserversickerung mit durchlässigen Platten und Pflasterbelägen, pp 79 - 96