

Université du Québec
INRS-Eau, Terre et Environnement

**Étude du comportement des matériaux énergétiques dans la zone
non saturée du champ de tirs anti-chars Arnhem, Valcartier**

Par

Nathalie Arel

Mémoire présenté pour l'obtention
du grade de Maître ès sciences (M.Sc.)

Jury d'évaluation

Examineur interne

René Therrien, ing., Ph.D.
Université Laval

Examineur externe

Sonia Thiboutot, Ph.D.
RDDC-Valcartier

Directeur de recherche

Richard Martel, ing., Ph.D.
INRS-Eau, Terre et Environnement

Codirecteur de recherche

René Lefebvre, ing., jr., Ph.D.
INRS-Eau, Terre et Environnement

Janvier 2004



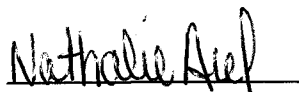
RÉSUMÉ

Le champ de tirs anti-chars Arnhem est utilisé, depuis les années 1970, pour les entraînements à feu réel sur la base militaire de Valcartier. Les munitions utilisées lors des pratiques sont des roquettes M72 dont la charge explosive est faite de 300 g d'Octol (70% HMX et 30% TNT). Les roquettes M72 ont un haut taux de ratés (jusqu'à 40%) et lorsqu'elles n'explosent pas, la charge explosive qu'elles contiennent se répand à la surface du sol. Lors des événements de précipitation comme la fonte des neiges et la pluie, les matériaux énergétiques (ME) contenus dans la charge sont dissous et s'infiltrent dans le sol au travers de la zone non saturée et atteignent l'eau souterraine de l'aquifère sous-jacent.

Les travaux de cette étude ont porté sur la caractérisation de la zone non saturée. Cinq casiers lysimétriques ont été installés à des profondeurs de 0,5 et 1 m à trois endroits. Des morceaux d'Octol et un traceur conservatif (NaCl) ont été épandus à la surface de chaque casier pour suivre l'infiltration de l'eau de fonte des neiges et de la pluie et observer le transport et la transformation des ME sous les conditions du site. Les résultats démontrent que le TNT et le HMX n'ont pas le même comportement. Le TNT semble se transformer et n'est que ponctuellement détecté dans l'eau d'infiltration. Le HMX est régulièrement détecté dans l'eau d'infiltration mais à concentrations variables. Il ne semble pas se transformer ni s'adsorber au sol. Sa mise en solution à partir de l'Octol semble être reliée aux événements de précipitations qui contrôlent aussi son transport dans le sol.

D'autres expériences ont aussi été faites en laboratoire afin de reproduire le comportement des ME sous des conditions non saturées en eau du sol. Il y a d'abord eu des essais dans 4 colonnes de larges dimensions (diamètre de 0,21 m). De l'Octol et un traceur (NaCl) ont été épandus à la surface de chaque colonne. Des essais en microcosmes ont aussi évalué la transformation et la minéralisation des ME sous des conditions non saturées et aérobies. L'ensemble de ces essais ont démontré que le TNT se transforme sans toutefois se minéraliser tandis que le HMX ne se transforme pas et ne minéralise pas non plus.

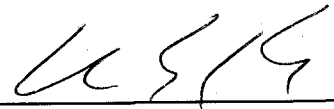
Le modèle numérique VS2D a été utilisé pour mieux comprendre l'écoulement de l'eau et le transport du HMX dans la zone non saturée. Les paramètres de l'écoulement, comme les paramètres de van Genuchten, ont pu être définis en faisant la modélisation de l'essai de traceur. La modélisation du HMX a permis de déduire les concentrations de HMX émises lors des différents événements d'infiltration mais surtout de mieux comprendre la dissolution du HMX en plus d'observer l'effet de la diffusion sur le transport du HMX. Ainsi, la quantité de HMX mise en solution dans l'eau ne dépend pas seulement des quantités de précipitation mettant de l'eau en contact avec l'Octol, mais aussi de la durée des précipitations et de leur fréquence.



Nathalie Arel
Étudiante



Richard Martel
Directeur de recherche



René Lefebvre
Codirecteur de recherche

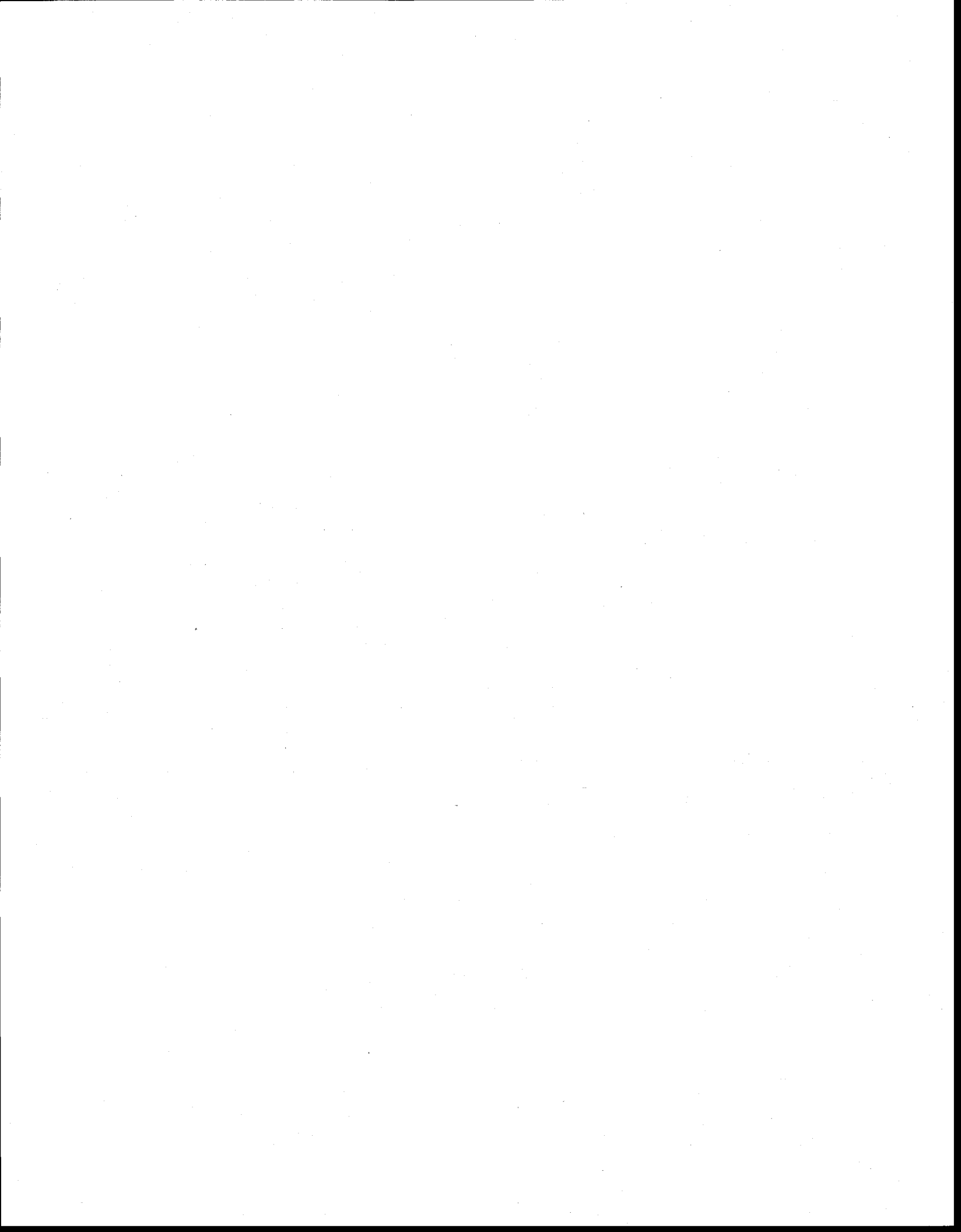
ABSTRACT

The Arnhem anti-tank range, located at the Valcartier military base, has been used since the 70's for livefire military training. The rockets used for training, the M72, had an explosive charge made from Octol (70% HMX and 30% TNT). M72 had a high misfire rate, up to 40%, and unexploded charges remained on the soil surface. HMX and TNT were dissolved during infiltration events following rain and snowmelt and reached the underlying groundwater.

This study focused mainly on the characterisation of the vadose zone. Five lysimeter boxes were installed at 0.5 and 1 m depth. Octol pieces and sodium chloride were spread at the soil surface to follow water infiltration and EM transport and transformation in the vadose zone. Results showed that TNT and HMX did not have the same behaviour. TNT seems to transform and was almost undetected in water. HMX did not seem to be transformed or adsorbed in the soil. HMX was detected in water in variable concentrations. Its dissolution from Octol flakes seems to depend on precipitation events that also control its transport into the soil.

Tests were also performed in the laboratory to simulate the unsaturated zone. Four large column tests were performed to follow the transport of a tracer (NaCl) and Octol flakes spread at the soil surface. Microcosms tests evaluated the degradation and the mineralisation of EM under unsaturated and aerobic conditions. These tests showed TNT transformation but no TNT mineralisation. HMX did not transform or mineralise.

A numerical model, VS2D, was used to better understand water flow and HMX transport in the vadose zone. Flow parameters were evaluated from the modeling of the tracer test. HMX transport modeling allowed to infer HMX concentrations related to water infiltration and provided an explanation of HMX dissolution in Octol flakes. Modeling also showed that diffusion affects HMX transport. Thus, the amount of HMX in solution in water infiltration did not only depend on the amount of precipitation in contact with Octol, but also depended on the duration and the frequency of the precipitation.



REMERCIEMENTS

Je tiens d'abord à remercier Richard Martel, mon directeur de recherche à l'INRS-ETE, pour m'avoir permis de travailler sur ce projet de recherche, pour le temps qu'il m'a consacré et pour son aide sur le terrain. Je tiens aussi à remercier René Lefebvre, mon codirecteur à l'INRS-ETE, pour tout le temps qu'il m'a consacré pendant l'année sabbatique de Richard malgré son horaire très chargé.

Je veux aussi remercier Sonia Thiboutot et Guy Ampleman de RDDC-Valcartier pour le soutien financier apporté au projet ainsi que pour le temps qu'ils m'ont accordé pour répondre mes questions. Je tiens à souligner l'importance du travail d'analyses effectué par les membres de leur équipe, particulièrement Annie Gagnon et Mélanie Bouchard. Je dois aussi remercier Jalal Hawari de l'Institut de Recherche en Biotechnologie qui m'a permis d'aller effectuer des essais dans son laboratoire et aussi tout le personnel qui s'est si bien occupé de moi lors de mon passage là-bas, particulièrement Claude Masson.

Je ne peux passer sous silence l'aide de Luc Trépanier lors de mes travaux de terrain, mais aussi lors de la planification de mes essais en colonne. Je veux aussi remercier les étudiants (Michel Mailloux, Thomas Robert, Alexandre Boutin et Andréanne Hamel) et aussi Uta Gabriel et Jean-Marc Ballard pour être venus m'aider sur le terrain.

Enfin, je voudrais remercier François, pour m'avoir encouragé et soutenu pendant les moments de découragement et pour avoir partagé avec moi les moments plus joyeux.

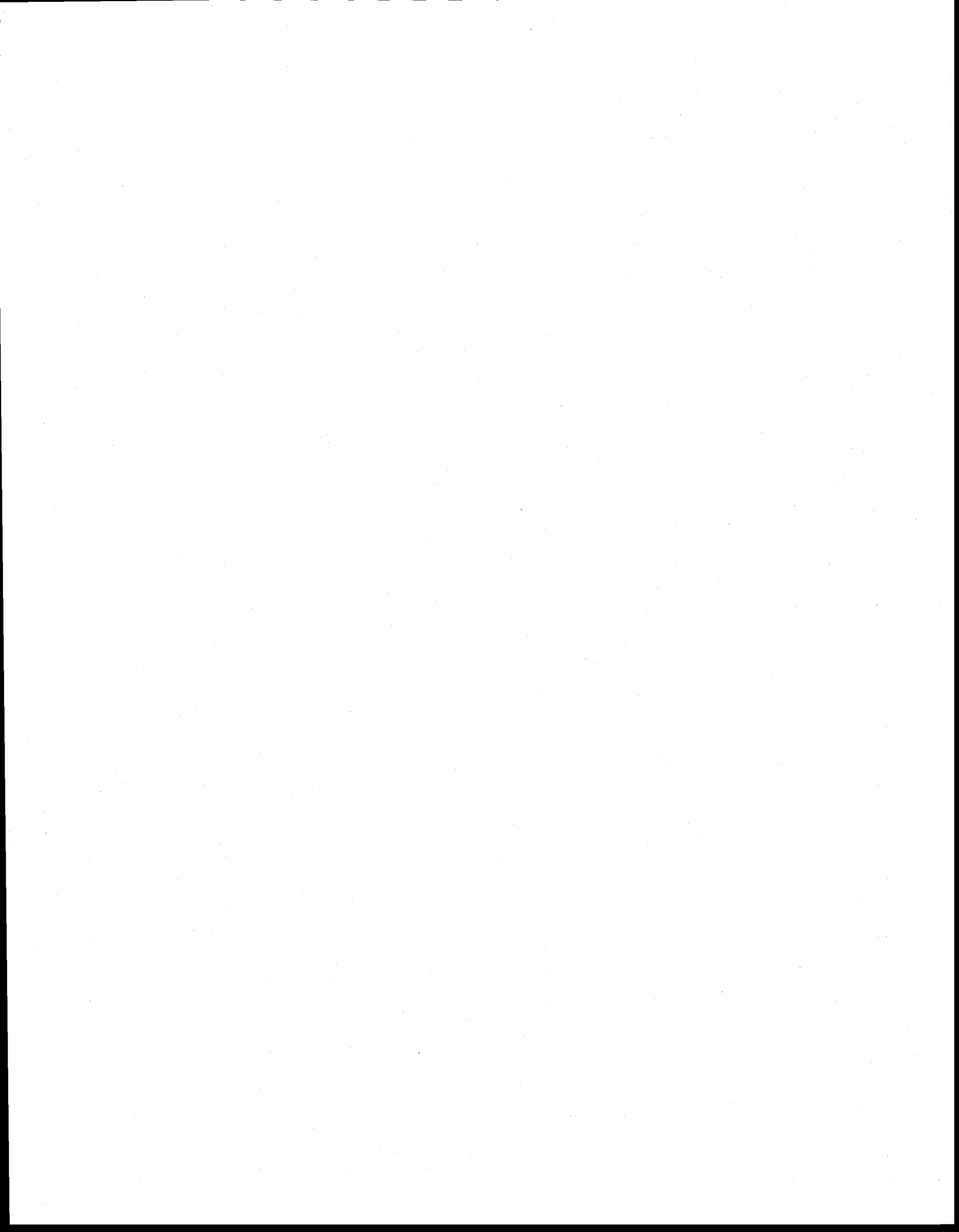


TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	iii
ABSTRACT.....	v
REMERCIEMENTS.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	xiii
LISTE DES TABLEAUX.....	xv
Chapitre 1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Contexte du projet.....	1
1.2 Problématique	2
1.3 Objectifs.....	3
1.4 Méthodologie	3
1.4.1 Travaux de terrain.....	4
1.4.2 Travaux de laboratoire	4
1.4.3 Modélisation numérique	5
1.5 Structure du mémoire.....	5
Chapitre 2 PROCESSUS AFFECTANT LE COMPORTEMENT DES MATÉRIAUX ÉNERGÉTIQUES DANS LA ZONE NON SATURÉE DU SOL.....	9
2.1 Caractéristiques générales.....	9
2.2 Comportement des matériaux énergétiques	10
2.2.1 État solide (forme cristalline).....	11
2.2.2 Dissolution et précipitation	11
2.2.3 Transport.....	13
2.2.4 Adsorption et désorption.....	15
2.2.4.1 TNT et produits de transformation	16
2.2.4.2 RDX et HMX.....	18
2.2.5 Transformation.....	19
2.2.5.1 TNT.....	19

2.2.5.2 RDX et HMX.....	22
2.2.6 Minéralisation.....	24
2.2.6.1 TNT.....	24
2.2.6.2 RDX et HMX.....	24
2.3 Processus abiotiques.....	25
2.3.1 Photolyse ou photodégradation.....	25
2.3.1.1 TNT.....	25
2.3.1.2 RDX et HMX.....	25
2.3.2 Volatilisation.....	26
Chapitre 3 ENERGETIC MATERIAL TRANSPORT IN THE VADOSE ZONE AT AN ANTI-TANK TRAINING RANGE.....	29
3.1 Introduction.....	31
3.2 Methodology.....	34
3.2.1 Field investigations.....	34
3.2.1.1 Lysimeter Boxes.....	35
3.2.1.2 Octol and Chloride Tracer Test.....	37
3.2.2 Laboratory Investigations.....	39
3.2.2.1 Soil Column Tests.....	39
3.2.2.2 Microcosm Tests.....	42
3.2.3 Analytic methods.....	43
3.3 Results.....	44
3.3.1 Field Investigations.....	44
3.3.1.1 Infiltration.....	44
3.3.1.2 Tracer Test and EM Analyses.....	46
3.3.1.3 Emissions of EM on the Arnhem range.....	53
3.3.2 Laboratory Investigations.....	54
3.3.2.1 Soil Column Tests.....	54
3.3.2.2 Microcosms Tests.....	59
3.4 Discussion and conclusion.....	62
3.4.1 EM fate and behaviour in the vadose zone on Arnhem range.....	62

3.4.1.1 TNT and HMX dissolution in Octol.....	62
3.4.1.2 TNT transport and transformation.....	63
3.4.1.3 HMX and RDX.....	64
3.4.1.4 Conceptual model.....	65
3.5 Main conclusions.....	66
Chapitre 4 MODÉLISATION NUMÉRIQUE.....	69
4.1 Choix et description des paramètres du modèle.....	69
4.2 Modélisation des essais de terrain.....	70
4.2.1 Paramètres du modèle des casiers L2-100 et L2-50.....	71
4.2.1.1 Propriétés du domaine du modèle des casiers L2-100 et L2-50.....	71
4.2.1.2 Paramètres de l'écoulement du modèle des casiers L2-100 et L2-50.....	72
4.2.1.3 Paramètres de transport du modèle des casiers L2-100 et L2-50.....	73
4.2.1.4 Périodes de recharge du modèle des casiers L2-100 et L2-50.....	74
4.2.1.5 Application du traceur et du HMX dans le modèle des casiers L2-100 et L2-50.....	77
4.2.2 Résultats de la modélisation des essais dans les casiers L2-100 et L2-50.....	78
4.2.2.1 Modélisation de l'écoulement dans le modèle des casiers L2-100 et L2-50.....	78
4.2.2.2 Modélisation du transport du traceur et du HMX dans les casiers L2-100 et L2-50.....	80
4.2.2.3 Erreurs sur les bilans de masse dans le modèle des casiers L2-100 et L2-50.....	85
4.3 Modélisation des essais de laboratoire.....	86
4.3.1 Paramètres du modèle de la Colonne 4.....	86
4.3.1.1 Propriétés du domaine du modèle de la Colonne 4.....	86
4.3.1.2 Paramètres de l'écoulement du modèle de la Colonne 4.....	87
4.3.1.3 Paramètres de transport du modèle de la Colonne 4.....	87
4.3.1.4 Périodes de recharge du modèle de la Colonne 4.....	88
4.3.1.5 Application du traceur et du HMX dans le modèle de la Colonne 4.....	88
4.3.2 Résultats de la modélisation de l'essai de la Colonne 4.....	89
4.3.2.1 Modélisation de l'écoulement de la Colonne 4.....	89

4.3.2.2	Modélisation du transport du traceur et du HMX dans la Colonne 4	90
4.3.2.3	Erreurs sur les bilans de masse dans le modèle de la Colonne 4	93
4.4	Discussion sur les résultats de la modélisation	93
4.4.1	Paramètres de l'écoulement	93
4.4.2	Transport des chlorures	95
4.4.3	Transport du HMX	96
4.4.4	Erreurs sur le bilan de masse	98
4.5	Conclusion.....	98
Chapitre 5 CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET RECOMMANDATIONS.....		103
5.1	Conclusions	103
5.2	Recommandations	107
RÉRÉRENCES		109
ANNEXES		119

LISTE DES ANNEXES

- ANNEXE A Article présenté dans un compte-rendu de conférence de l'AIH :
«Dissolved energetic materials transport under unsaturated conditions at an
anti-tank training range»
- ANNEXE B Résultats détaillés d'échantillonnage et d'analyse des essais effectués sur
chaque casier lysimétrique
- ANNEXE C Protocole des essais en colonne
- ANNEXE D Résultats détaillés de l'échantillonnage et de l'analyse des essais en
colonne
- ANNEXE E Protocole des essais en microcosme
- ANNEXE F Dates d'échantillonnage et résultats détaillés des essais en microcosme
- ANNEXE G Exemple d'un fichier produit par le modèle VS2D

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1. Structure moléculaire du TNT, HMX et RDX	10
Figure 2.2. Phases du TNT, du RDX et du HMX.....	11
Figure 3.1. Arnhem anti-tank range	32
Figure 3.2. Groundwater flow directions	32
Figure 3.3. Surficial geology and cross section of the Arnhem range	33
Figure 3.4. Location of the instrumentation for vadose zone monitoring at the Arnhem range	35
Figure 3.5. Lysimeter boxes set up	36
Figure 3.6. Column tests set up.....	40
Figure 3.7. Cumulative infiltration in each lysimeter box.	46
Figure 3.8. Breakthrough curves for lysimeter boxes experiment.....	47
Figure 3.9. Chloride recovery for lysimeter boxes experiment	48
Figure 3.10. HMX trends associated to the HMX dissolution in water recovered in lysimeter boxes	49
Figure 3.11. Cumulative mass of HMX recovered in infiltrated water in lysimeter boxes	50
Figure 3.12. EM concentration at the end of the experiment in the first 15 cm soil samples	52
Figure 3.13. HMX emission in lysimeter boxes	54
Figure 3.14. Chloride breakthrough curves for soil column tests.....	56
Figure 3.15. Recovery of chloride in soil column tests.....	57
Figure 3.16. HMX breakthrough curves in soil column tests	57
Figure 3.17. HMX cumulative mass in soil column tests	58
Figure 3.18. Microcosm results.....	60
Figure 3.19. Transformation kinetics for TNT.....	61
Figure 3.20. Mineralisation of TNT and HMX.....	61

Figure 4.1.	Caractéristiques du domaine associées au casier lysimétrique L2-50	72
Figure 4.2.	Conditions imposées aux limites du modèle des casiers.....	75
Figure 4.3.	Taux d'infiltration d'eau au haut du casier L2-100	79
Figure 4.4.	Hauteur d'eau récupérée au bas des casiers L2-100 et L2-50.....	80
Figure 4.5.	Concentration de chlorure dans l'eau d'infiltration au haut du casier L2-100	81
Figure 4.6.	Concentration et masse de chlorure dans l'eau récupérée au bas du casier L2-100.....	82
Figure 4.7.	Concentration et masse de chlorure dans l'eau récupérée au bas du casier L2-50.....	83
Figure 4.8.	Concentration de HMX dans l'eau d'infiltration au haut du casier L2-100	84
Figure 4.9.	Concentration et masse de HMX dans l'eau récupérée au bas du casier lysimétrique L2-100.....	85
Figure 4.10.	Taux d'infiltration d'eau au haut de la Colonne 4	89
Figure 4.11.	Hauteur d'eau cumulée au haut de la Colonne 4 et hauteur d'eau cumulée récupérée au bas de la Colonne 4.....	90
Figure 4.12.	Concentration et masse de chlorure dans l'eau récupérée au bas de la Colonne 4	91
Figure 4.13.	Concentration de chlorure dans l'eau d'infiltration au haut de la Colonne 4	91
Figure 4.14.	Résultats de modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4	92
Figure 4.15.	Concentration de HMX dans l'eau d'infiltration au haut de la Colonne 4 ..	93
Figure 4.16.	Courbes capillaires associées aux paramètres de van Genuchten.....	94
Figure 5.1.	Modèle conceptuel de la zone non saturée du champ de tirs Arnhem.....	106

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1. Coefficient de diffusion moléculaire dans l'air et dans l'eau	12
Tableau 2.2. Solubilité aqueuse des explosifs	12
Tableau 2.3. Coefficient de partition des explosifs	13
Tableau 2.4. Pression de vapeur et constante de Henry des explosifs.....	26
Table 3.1. Soil block description for all lysimeter boxes	37
Table 3.2. Soil properties for lysimeter boxes	37
Table 3.3. Soil characteristics for the column tests	41
Table 3.4. Column characteristics.....	41
Table 3.5. Irrigation conditions.....	42
Table 3.6. Water infiltration in lysimeter boxes for a 330 days period	45
Table 3.7. Octol mass recovery at the soil surface at the end of the lysimeter tests.....	51
Table 3.8. EM concentration at the end of the experiment in the first 15 cm soil samples	51
Table 3.9. EM mass balance in field investigation.....	52
Table 3.10. HMX release in water infiltrated in the lysimeter boxes.....	54
Table 3.11. Irrigation and recovered water in soil column tests.....	55
Table 3.12. EM content in Octol flakes at the end of the column test.....	59
Table 3.13. Conceptual model of EM behaviour at the Arnhem Range.....	66
Tableau 4.1. Paramètres utilisés dans le modèle	71
Tableau 4.2. Propriétés du domaine du modèle des casiers L2-100 et L2-50	72
Tableau 4.3. Paramètres de l'écoulement dans le modèle des casiers L2-100 et L2-50 ...	73
Tableau 4.4. Paramètres de transport du chlorure dans le modèle des casiers L2-100 et L2-50.....	74
Tableau 4.5. Paramètres de transport du HMX dans le modèle du casier L2-100	74
Tableau 4.6. Erreurs sur les bilans de masse dans le casier L2-100	86
Tableau 4.7. Paramètre de l'écoulement dans le modèle de la Colonne 4	87

Tableau 4.8. Paramètre de transport du traceur et du HMX dans le modèle de la Colonne 4.....	88
Tableau 4.9. Erreurs sur les bilans de masse dans le modèle de la Colonne 4	93





CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1.1 Contexte du projet

La gestion des sites d'entraînement militaires a été, pendant un grand nombre d'années, limitée aux pratiques militaires, laissant de côté les impacts possibles de leur utilisation sur l'environnement. Cette vision a cependant changé suite à la fermeture d'une réserve militaire du Massachusetts, aux États-Unis, où une problématique de contamination de l'eau souterraine par du RDX a été observée. Au Canada, de nombreuses études et travaux de recherche sont en cours, depuis plusieurs années, dans le but d'évaluer l'impact des activités d'entraînement des bases militaires sur l'environnement.

Ainsi, Recherche et Développement de Défense Canada-Valcartier (RDDC-Valcartier), anciennement le Centre de Recherche pour la Défense Valcartier (CRDV) en collaboration avec l'INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE), ont développé une expertise visant à caractériser et mieux comprendre la problématique reliée à la contamination des sols et de l'eau de surface et souterraine par des matériaux énergétiques et des métaux lourds rencontrés sur les sites d'entraînement militaires dans les différentes bases de l'armée canadienne. Ensemble, ils ont participé à la caractérisation du site d'OB/OD de Dundurn et des Bases des Forces Canadiennes (BFC) de Shilo et Gagetown et à des études hydrogéologiques du champ de tirs anti-chars Arnhem, du champ de tirs à la grenade Vaucelles, de la zone d'impact Leary et de la butte de tirs de RDDC-Valcartier situés sur la base militaire de Valcartier.

Depuis 1995, une caractérisation hydrogéologique est menée sur le champ de tirs anti-chars Arnhem à Valcartier. Les roquettes utilisées lors des entraînements, les M72, ont un taux assez élevé de ratés, jusqu'à 40%. Lorsque les roquettes n'explorent pas, les fissures sur les roquettes laissent échapper de l'Octol (70% HMX avec 1 à 10% de RDX et 30% TNT) sur la surface du sol. Les précipitations comme la neige et la pluie dissolvent les matériaux énergétiques qui forment l'Octol, permettant ainsi leur infiltration dans le sol.

Les travaux effectués jusqu'à 2000 ont principalement porté sur l'étude de la zone saturée et les données obtenues ont servi à l'élaboration d'un modèle numérique 3-D simulant le transport des matériaux énergétiques sous les conditions du champ de tirs Arnhem (Mailloux 2002). Dans ce modèle, des suppositions ont été faites sur le comportement des matériaux énergétiques dans la zone non saturée parce que cette zone n'a pas été directement instrumentée et que peu de données sont disponibles dans la littérature sur le sujet.

1.2 Problématique

Les caractérisations antérieures ont démontré que la zone non saturée occupe une place importante sous la zone d'entraînement du champ de tirs Arnhem. L'épaisseur saturée des sédiments de surface n'atteint pas 1 mètre dans ce secteur (Mailloux et al. 2000). Les conditions aérobies retrouvées dans la zone non saturée ont donc une influence non négligeable sur le comportement des matériaux énergétiques lorsqu'ils s'écoulent vers l'eau souterraine.

Jusqu'à maintenant, le comportement (transport et transformation) des matériaux énergétiques en conditions non saturées ou aérobies a été étudié principalement en laboratoire (TNT : Boopathy et al. 1994, Bradley et Chapelle 1995, Brannon et al. 1997, Comfort et al. 1995, Gilcrease et Murphy 1995, Haïdour et Ramos 1996, McCormick et al. 1976, Myers et al. 1998, Shackmann et Müller 1991, Vorbeck et al. 1998, Webb et al. 1999; HMX et RDX : Binks et al. 1995, Coleman et al. 1998, McCormick et al. 1981, Myers et al. 1998, Speitel et al. 2001) mais peu d'études rapportent des observations prises directement sur le terrain sauf celle de Hains (2002).

1.3 Objectifs

Ce projet de maîtrise a été réalisé dans le cadre d'un partenariat entre RDDC-Valcartier et l'INRS-Eau, Terre et Environnement et fait suite à l'étude de Mailloux et al. (2000 et 2001) et Mailloux (2002). Les objectifs de ce mémoire sont principalement les suivants :

- Évaluer le comportement des matériaux énergétiques dans la zone non saturée du champ de tirs Arnhem;
- Évaluer la transformation des matériaux énergétiques en conditions aérobies représentatives de la zone non saturée;
- Évaluer le flux de HMX dans le sol en conditions de terrain;
- Élaborer un modèle conceptuel expliquant le comportement des matériaux énergétiques dans la zone non saturée du champ de tirs Arnhem;
- Intégrer les données obtenues dans un modèle numérique simulant le transport en une dimension.

1.4 Méthodologie

La méthodologie employée pour réaliser ce projet de maîtrise est divisée en trois grandes phases, soient les travaux de terrains, les travaux de laboratoire et la modélisation numérique.

1.4.1 Travaux de terrain

La zone non saturée du champ de tirs Arnhem a été instrumentée à l'aide de deux types d'installation, des casiers lysimétriques et des lysimètres à succion. Cinq casiers lysimétriques ont été installés en périphérie du champ de tirs à des profondeurs de 0,5 et 1 m. Un essai de traceur à l'aide de morceaux d'Octol et de chlorure de sodium (NaCl) a été réalisé sur chacun des casiers. Des échantillons d'eau provenant des casiers ont été prélevés après chaque événement de précipitation-infiltration de décembre 2000 à octobre 2001. Les échantillons d'eau récupérés ont été analysés pour leur contenu en chlorure (traceur), en matériaux énergétiques et leurs produits de transformation. Les analyses des échantillons d'eau pour la teneur en matériaux énergétiques ont été effectuées par le personnel de RDDC-Valcartier. Ces essais ont permis d'avoir des données sur le transport et le comportement des matériaux énergétiques sous des conditions de terrain.

Quatre lysimètres à succion ont été installés, aussi en périphérie du champ de tirs. Un essai de traceur avec seulement du NaCl a été fait sur la surface au-dessus des lysimètres. Peu de données ont été obtenues à partir de ces essais, elles n'ont donc pas été considérées lors de l'interprétation des résultats. Par contre, la méthodologie employée pour l'installation et pour l'épandage du traceur est présentée en annexe dans un article publié dans un compte-rendu de conférence de l'AIH (Arel et al. 2002).

1.4.2 Travaux de laboratoire

À la suite des essais de terrain, des essais de laboratoire ont été réalisés. Des essais en colonne en conditions non saturées ont été réalisés au laboratoire FCI (Fondation Canadienne pour l'Innovation) de l'INRS-RDDC à Valcartier. Quatre colonnes de dimensions allant de 0,5 m à 3,3 m de hauteur et de 0,21 m de diamètre ont été montées. Un essai de traceur à l'aide de chlorure et d'Octol en morceaux a été réalisé sur la surface de chaque colonne. Un système automatisé permettait l'irrigation des colonnes en surface en reproduisant les conditions de précipitation retrouvées sur le champ de tirs Arnhem pendant l'automne, l'hiver et au printemps. La simulation a été faite sur une période de 5

mois, de février 2002 à juin 2002. Des échantillons d'eau ont été prélevés régulièrement à la base des colonnes et ont été analysés pour leur contenu en chlorure (traceur), en matériaux énergétiques et leurs produits de transformation. Ces essais se voulaient une reproduction des essais de terrain mais sous des conditions contrôlées qui nous permettait de mieux définir les paramètres de transport et le comportement des matériaux énergétiques sous des conditions non saturées.

Des essais en microcosme froids et radioactifs ont aussi été réalisés en laboratoire entre les mois de juin 2002 et décembre 2002. Les microcosmes froids ont permis d'avoir des données sur la transformation des matériaux énergétiques sous des conditions aérobies tandis que les microcosmes radioactifs portaient sur la minéralisation des matériaux énergétiques. Ces essais ont été réalisés dans les laboratoires de l'Institut de Recherche en Biotechnologie (IRB) à Montréal et les analyses pour les matériaux énergétiques ont été effectuées par le personnel de l'IRB.

1.4.3 Modélisation numérique

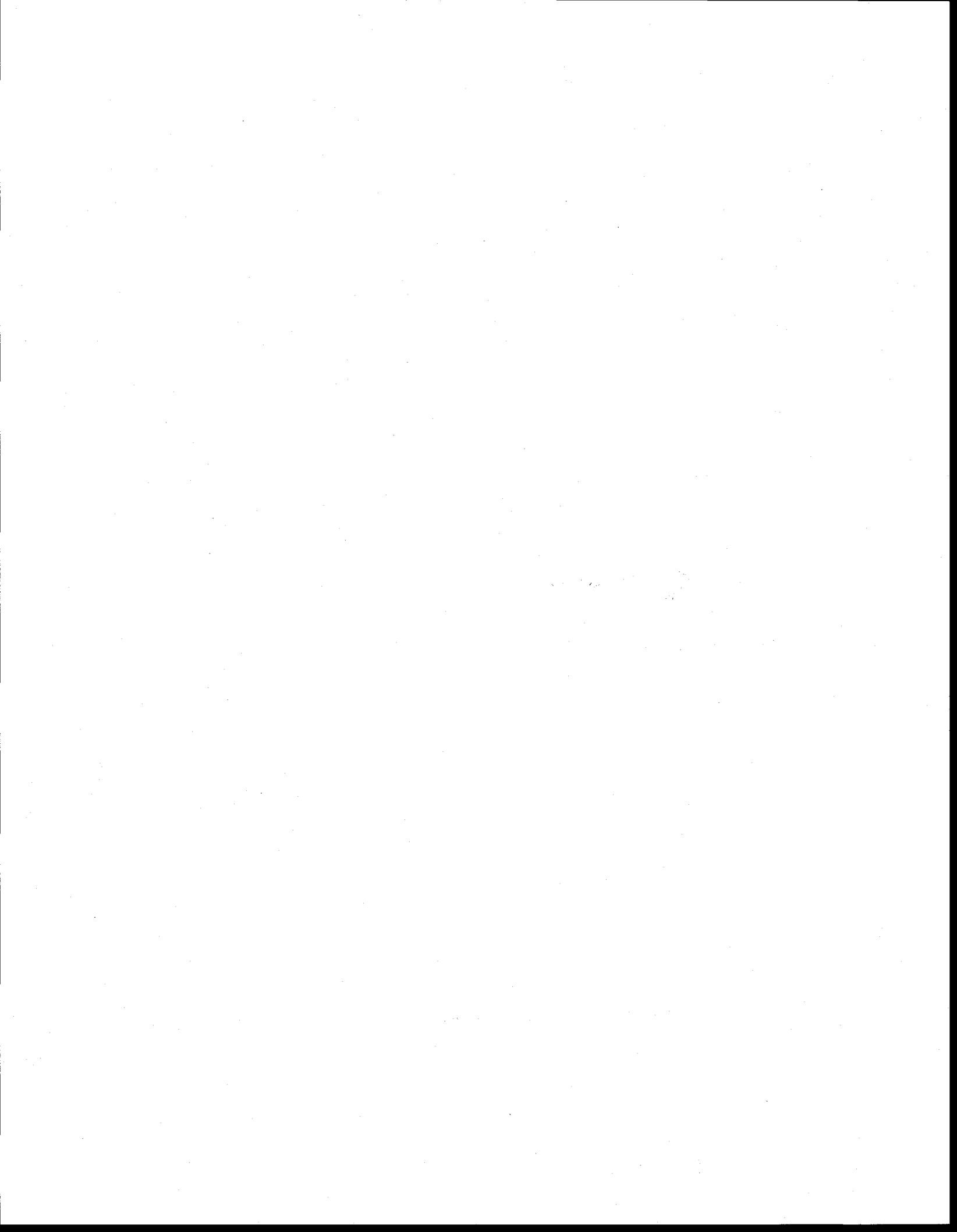
Certains des essais de terrain et de laboratoire ont été modélisés à l'aide d'un modèle d'écoulement et de transport à saturation variable, le VS2D (Lappala et al. 1993 et Healy 1990). Cette modélisation a permis d'obtenir les paramètres d'écoulement de l'eau et de transport pour les chlorures et le HMX.

1.5 Structure du mémoire

Le mémoire, outre l'introduction se divise en 4 chapitres. Le CHAPITRE 2 présente une revue des phénomènes pouvant affecter le comportement (transport et transformation) des matériaux énergétiques sous des conditions aérobies, présentes dans la zone non saturée. Le CHAPITRE 3 contient le manuscrit d'un article qui sera soumis pour publication dans le futur. Ce chapitre donne d'abord de façon détaillée la méthodologie employée lors de la caractérisation de la zone non saturée sur le terrain et en laboratoire. Ce chapitre présente aussi, à l'aide de plusieurs tableaux et graphiques, l'analyse des résultats obtenus

et le modèle conceptuel expliquant le comportement des matériaux énergétiques dans la zone non saturée. Le CHAPITRE 4 présente les résultats de la modélisation numérique de certains essais de terrain et de laboratoire et de nouvelles explications sur le comportement du HMX dans la zone non saturée déduites de la modélisation. Le CHAPITRE 5 présente les conclusions et les recommandations qui aideront à la poursuite de la recherche dans ce domaine.

Une série d'annexes est présentée à la fin du mémoire. L'annexe A contient un article publié dans un compte-rendu de conférences (Arel et al. 2002), les résultats des essais de terrain sont présentés à l'annexe B. Les protocoles et les résultats des essais de laboratoire se retrouvent aux annexes C à F. L'annexe G présente un exemple des fichiers produits par le modèle numérique VS2D pour la modélisation du transport du chlorure et du HMX dans la Colonne 4.





CHAPITRE 2

PROCESSUS AFFECTANT LE COMPORTEMENT DES MATÉRIAUX ÉNERGÉTIQUES DANS LA ZONE NON SATURÉE DU SOL

L'Octol est composé d'un mélange de deux matériaux énergétiques (ME), le HMX (70%) et le TNT (30%). Du RDX peut être retrouvé dans l'Octol parce qu'il constitue une impureté de fabrication du HMX (Yinon 1990 dans Card et Autenrieth 1998). Dans l'Octol, la proportion de RDX dans le HMX peut atteindre 10% du contenu en HMX. Ces trois composés ont des caractéristiques et des propriétés différentes. Les matériaux énergétiques sont des contaminants organiques composés principalement de carbone, d'azote et d'hydrogène. Le TNT est un nitroaromatique tandis que le HMX et le RDX sont des nitroamines (McGrath 1995).

2.1 Caractéristiques générales

Le TNT est un explosif que l'on retrouve sous forme solide de couleur jaune et qui n'a pas d'odeur (ATSDR 1996a). La molécule de TNT a une structure qui comporte un cycle aromatique autour duquel se retrouvent des groupements nitro (NO_2^-), des groupements méthyles et des groupements amines (figure 2.1). La présence des groupements nitro crée un déséquilibre électrique à l'intérieur de la molécule ce qui rend la molécule plus sensible aux transformations (Hains 2002). Les groupements méthyles agissent comme donneurs d'électrons et sont aussi sensibles à l'attaque de certaines bactéries. Les groupements amines ont un rôle important au niveau de l'adsorption (Hains 2002).

Le RDX est une poudre blanche très explosive (ATSDR 1996b). Le RDX a été développé pendant la 2^e Guerre mondiale. RDX est l'abréviation de «Research Department eXplosive» ou «Royal Demolition eXplosive». Le RDX est connu sous plusieurs appellations comme le cyclonite, l'hexogène ou l'hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine (Card et Autenrieth 1998). La molécule du RDX consiste en un anneau de six atomes de carbone et d'azote alternés avec un groupement nitro (NO_2^-) sur l'anneau d'azote et un

atome d'hydrogène lié à chaque anneau de carbone (Speitel et al. 2001) et dont le groupement nitro est lié à un anneau central par des liens simples azote-azote. (Coleman et al. 1998) (figure 2.1).

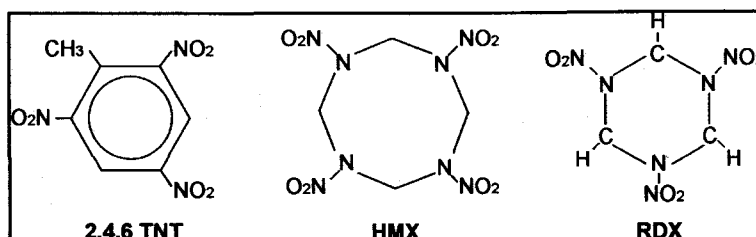


Figure 2.1. Structure moléculaire du TNT, HMX et RDX

Le HMX est similaire au RDX. Le HMX a un point de fusion supérieur à celui du RDX et il est nommé ainsi à cause de l'abréviation «High Melting eXplosive». Il est aussi appelé octogène ou octahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocine (Card et Autenrieth 1998). Le HMX existe sous quatre formes polymorphiques α , β , γ et δ . Les formes α , β et γ sont toutes stables à la température de la pièce tandis que la forme δ se transforme plus facilement. La forme β du HMX est la plus désirée pour les applications militaires parce qu'elle est la moins sensible et la plus stable à l'impact (Yinon et Zitrin 1993 dans Card et Autenrieth 1998).

2.2 Comportement des matériaux énergétiques

Les ME se retrouvent sur la surface du sol du champ de tirs sous forme solide dans la poudre de l'Octol. Les précipitations (pluie et fonte des neiges) contribuent à les faire passer en solution. C'est sous cette phase que les ME peuvent migrer dans le sol, être transformés ou être adsorbés aux particules de sol. Tous ces processus sont reliés, car les ME adsorbés ne peuvent migrer et sont moins disponibles pour les transformations. Par contre, les ME transformés peuvent être adsorbés par les particules de sol (figure 2.2).

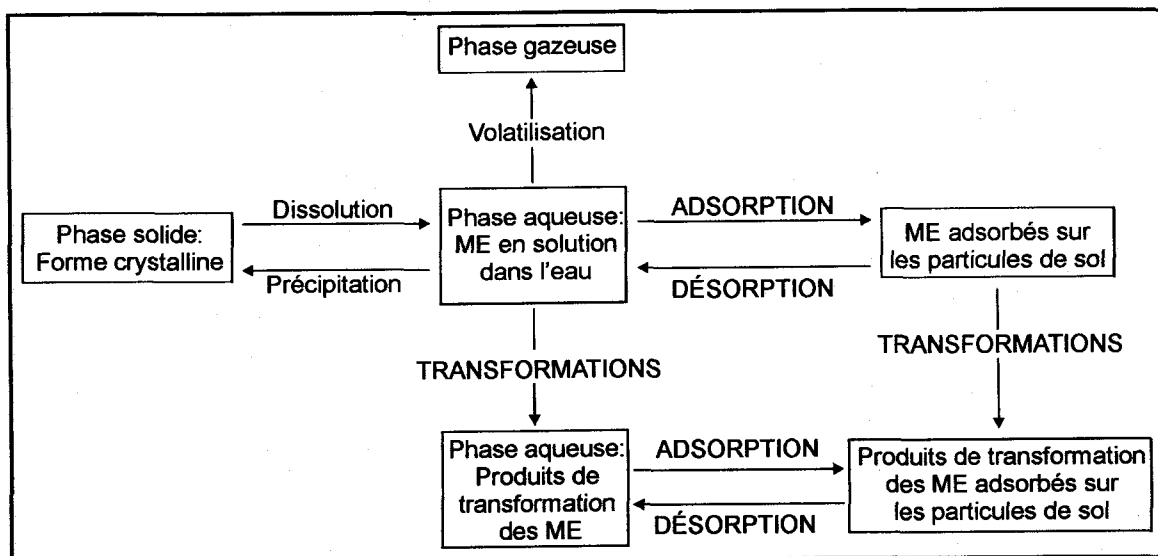


Figure 2.2. Phases du TNT, du RDX et du HMX (d'après Townsend et Myers 1996)

2.2.1 État solide (forme cristalline)

Les ME sont relativement stables à la surface du sol à cause de la présence du produit sous forme cristalline dans le sol (Brannon et Myers 1997).

2.2.2 Dissolution et précipitation

Le taux de dissolution des explosifs est un des principaux processus affectant le comportement et le transport des explosifs provenant des roquettes qui n'ont pas explosé. La dissolution dépend du temps de contact avec l'eau qui peut varier selon la durée de l'événement de précipitation (Brannon et al. 1999). La mobilité des ME provenant d'explosifs sous forme cristalline est contrôlée principalement par la solubilité aqueuse des explosifs (Townsend et Myers 1996).

Lorsque les explosifs sont dissous, ils migrent en solution par advection et par diffusion (tableau 2.1) mais aussi par dispersion (Townsend et Myers 1996). Le passage en solution du TNT, HMX et RDX dans les sols contenant des concentrations élevées de ces composants incluant une proportion de produit pur, est contrôlé par la solubilité aqueuse de chaque explosif (tableau 2.2). Dans les sols où les concentrations sont moins élevées,

le passage en solution est contrôlé par la partition des ME dissous avec le sol ou avec le carbone organique contenu dans le sol (Brannon et Myers 1997). La partition avec le sol est définie par le K_d qui est une mesure du potentiel de sorption/désorption et exprime la tendance d'un composé organique à être adsorbé (Hains 2002). Le K_d est souvent spécifique à un site et dépend de sa méthode de détermination, des conditions environnementales et de la géochimie des phases solides et liquides (tableau 2.3) (Domenico et Schwartz 1990 dans McGrath 1995). Le coefficient de partition peut aussi être défini par rapport au contenu en carbone organique, il est alors défini comme étant le K_{oc} (tableau 2.3) (McGrath 1995).

Le passage de la phase solide à la phase liquide est beaucoup plus rapide pour le TNT que ce qui été observé pour le HMX et le RDX (Brannon et al. 1999).

Tableau 2.1. Coefficient de diffusion moléculaire dans l'air et dans l'eau (McGrath 1995)

Explosifs	Coefficient de diffusion dans l'air	Coefficient de diffusion dans l'eau
	(cm ² /sec)	(cm ² /sec)
TNT	0,064	6,71 x 10 ⁻⁶
HMX	0,063	6,02 x 10 ⁻⁶
RDX	0,074	7,15 x 10 ⁻⁶

Tableau 2.2. Solubilité aqueuse des explosifs (McGrath 1995)

Explosifs	Solubilité aqueuse (mg/L)		
	0°C	10°C	20°C
TNT	100	110,0	130,0
HMX	n.d.	1,21	2,6
RDX	n.d.	28,9	42,3

Tableau 2.3. Coefficient de partition des explosifs

Explosifs	Coefficients de partition		Référence
	log K_{oc}	K_d	
	---	(L/kg)	
TNT	2,72	2 à 56	McGrath (1995)
	---	0,04 à 11	Brannon et al. (1999)
	---	53 ± 20	Spanggard et al. (1980)
	---	> 1,26	Pennington et Patrick (1990)
Produits de transformation du TNT	---	0 à 6	Brannon et Pennington (2002)
HMX	0,54 ou 2,83	n.d.	McGrath (1995)
	---	0,089 à 17,7	Brannon et al. (1999)
RDX	0,89 à 2,43	0,2 à 7,8	McGrath (1995)
	---	0,12 à 3,5	Brannon et al. (1999)
	---	0 à 7,8	Townsend et Myers (1996)
	---	1,4 et 4,2	Sikka et al. (1980)
	---	1,6	Tsai et al. (1985)

Les explosifs en solution dans la zone non saturée peuvent précipiter si une quantité suffisante d'eau est enlevée, soit par évapotranspiration ou lorsque l'eau du sol gèle. Dans un sol, où la distribution des contaminants n'est pas uniforme, où il existe une variété de substrats et où il y a une activité microbienne relativement importante, la probabilité que l'eau du sol approche la limite de solubilité est petite (McGrath 1995).

2.2.3 Transport

Le transport des explosifs dans le milieu non saturé est compliqué, comparativement à leur transport en conditions saturées, parce que plus de processus peuvent l'influencer. La saturation en eau du sol a une influence sur la dispersion, tandis que l'advection est influencée à la fois par la saturation et par la structure du sol. L'activité microbienne, la biomasse et les cycles de mouillage (infiltration, dissolution et ruissellement) et de séchage (évapotranspiration et précipitation) du sol sont d'autres facteurs qui ont un effet non négligeable sur le transport. Un écoulement préférentiel peut se produire le long des fractures de dessiccation ou des racines. Le transport dans les macropores peut accélérer

le transport du contaminant et passer à côté d'une zone active du sol au niveau biologique et chimique (McGrath 1995).

L'advection et la dispersion sont les plus importants processus de transport (Townsend et Myers 1996). L'advection consiste au transport du contaminant en solution dans l'eau. Le transport par advection domine dans les zones du sol où l'eau est mobile, soit dans les macropores et dans les fractures entre les agrégats. La vitesse d'écoulement de l'eau en conditions saturées est donnée par une relation issue de la loi de Darcy (Fetter 1993),

$$v = -\frac{K}{n_e} \frac{dh}{dl}$$

où

v est la vitesse d'écoulement de l'eau ($L \cdot T^{-1}$);

K est la conductivité hydraulique saturée ($L \cdot T^{-1}$);

n_e est la porosité effective;

dh/dl est le gradient hydraulique.

Cette relation peut s'appliquer à la zone non saturée en remplaçant la conductivité hydraulique saturée par une conductivité hydraulique effective (K_{eff}) qui dépend de la teneur en eau du sol.

La dispersion est un terme général qui s'applique au mouvement d'un contaminant en solution, elle est généralement attribuable à la dispersion hydrodynamique et à la diffusion moléculaire. La dispersion hydrodynamique est un processus physique par lequel le mouvement du contaminant en solution résulte des multiples changements de la vitesse d'écoulement et de la tortuosité. La diffusion moléculaire est un processus physico-chimique qui résulte du mouvement Brownien des molécules, ce qui entraîne une migration selon un gradient chimique. Le transport par diffusion domine dans la zone où l'eau est immobile, c'est-à-dire dans la matrice d'un agrégat (micropores) (McGrath 1995).

La relation suivante montre les deux composantes de la dispersion, le premier terme exprime la dispersion hydrodynamique et le deuxième terme la diffusion moléculaire (Fetter 1993),

$$D = \alpha v + D_{eff}$$

où

D est le coefficient de dispersion ($L^2 \cdot T^{-1}$);

α est la dispersivité (L);

v est la vitesse d'écoulement de l'eau ($L \cdot T^{-1}$);

D_{eff} est le coefficient de diffusion effectif ($L^2 \cdot T^{-1}$).

Plusieurs études suggèrent qu'un grand nombre de composés explosifs dont le TNT, le RDX et le HMX sont fortement mobiles dans les sols et qu'ils sont susceptibles au lessivage (Selim et al. 1995). Le RDX serait plus mobile dans le sol que le TNT (Brannon et al. 1992 dans Brannon et Myers 1997).

2.2.4 Adsorption et désorption

L'adsorption est un processus dynamique par lequel des composés chimiques dissous s'accumulent sur une interface. Les interfaces peuvent être une particule solide immobile autre qu'une particule solide d'explosifs (grain de sol), une particule solide mobile (colloïdes autre que des explosifs), l'air de la zone non saturée ou une très petite accumulation de contaminant (explosifs sous forme solide). Le processus d'adsorption est généralement réversible et le procédé inverse est la désorption (McGrath 1995). L'adsorption est un processus qui retarde le mouvement du contaminant (Townsend et Myers 1996). De plus, les contaminants fortement sorbés à l'intérieur des micropores du sol peuvent être chimiquement ou physiquement non disponibles pour les transformations subséquentes (McGrath 1995). Les facteurs qui influencent l'adsorption sont les caractéristiques chimiques des fractions inorganiques et organiques du milieu poreux, les

caractéristiques chimiques du contaminant en solution, la température et le pH (Tchobanoglous et Schroeder 1985 dans Townsend et al. 1995).

L'adsorption des explosifs par le sol ralentit le transport de ceux-ci. En général, le RDX est moins sorbé que le TNT (Haderlain et al. 1996; Townsend et Myers 1996) et plus mobile que le TNT (Brannon et al. 1992 dans Brannon et Myers 1997). Le HMX serait aussi moins sorbé et plus mobile que le TNT (Townsend et Myers 1996; Price et al. 1998). Le TNT est plus réactif que le RDX dans le sol et est moins sujet à la sorption (Spaulding et Fulton 1988 dans Brannon et Myers 1997). Une compétition pour les sites d'adsorption entre le TNT, ses produits de transformation et d'autres explosifs peut affecter la sorption et le transport des explosifs (Loehr 1989; Ainsworth et al. 1993 dans Brannon et Pennington 2002). Lorsque le seuil d'adsorption est dépassé sur les argiles, les explosifs ayant un coefficient de partition (K_d) plus élevé déplacent les composés ayant un coefficient plus bas (Haderlain et al. 1996).

Le coefficient de partition (K_d) permet de calculer le retard d'un contaminant dû à l'adsorption. Il peut être déterminé à l'aide des caractéristiques du sol. Leggett (1985) rapporte des valeurs de K_d plus grandes pour le TNT comparativement au HMX et RDX (Selim et al. 1995).

2.2.4.1 TNT et produits de transformation

Le TNT peut être sorbé d'une manière réversible (Haderlein et al. 1996; Pennington et Patrick 1990). L'adsorption se produit à la même vitesse que la désorption. Ce phénomène ne retarderait pas significativement le transport du TNT vers les horizons plus bas (Pennington et Patrick 1990). La séquestration du TNT et de ses produits de transformation est plus prononcée dans les sols contenant beaucoup de carbone organique (Price et al. 1997; Pennington et al. 1995a dans Brannon et al. 1999). Pennington et Patrick (1990) ont montré une bonne corrélation entre l'adsorption du TNT et le fer extractible, la capacité d'échange cationique (CEC) et le pourcentage d'argile dans le sol, tandis que le carbone organique total, le calcium, l'aluminium et le manganèse extractibles, le pH et la conductivité électrique montraient une corrélation beaucoup plus

faible avec l'adsorption du TNT. Dans une autre étude réalisée par Ainsworth et al. (1993), l'adsorption du TNT montrait une bonne corrélation avec le pH, la CEC et le carbone organique total (Townsend et Myers 1996). Sous des conditions aérobies, l'adsorption du TNT est rapide (Myers et al. 1998). Des conditions oxydantes amènent une diminution de l'adsorption du TNT comparativement à des conditions réductrices (Pennington et Patrick, 1990).

Différentes valeurs de K_d peuvent être associées au TNT, il peut varier entre 0,04 et 11 L/kg (Brannon et al. 1999). Il peut être estimé à partir de certains paramètres du sol à l'aide de la corrélation suivante (Brannon et al. 1999) :

$$TNT K_d = 0,055 CEC + 1,26$$

Cette équation est utile dans le cas des sols de surface où le K_d du TNT est généralement plus élevé que 1,26 L/kg (Pennington et Patrick 1990). Spangford et al. (1980) ont trouvé une valeur de K_d égale à 53 ± 20 L/kg pour un aquifère sableux (McGrath 1995).

Haderlein et al. (1996) ont montré que la mobilité des produits de transformation du TNT est significativement plus basse que celle du TNT dans un environnement où l'adsorption sur des minéraux argileux domine. Dépendant des caractéristiques du sol, les produits de transformation du TNT peuvent être plus mobiles que le TNT ou montrer une mobilité semblable (Brannon et Pennington 2002). Des valeurs de coefficient de partition ont été mesurées pour certains produits de transformation du TNT (2A-DNT; 4A-DNT; 2,4-DANT; 2,6-DANT; 1,3,5-TNB et 1,3-DNB). Pour l'ensemble des produits, les valeurs sont moins de 1 L/kg dans les sols aquifère et de 2 à 6 L/kg dans les sols de surface (Brannon et Pennington 2002). Les différentes valeurs de K_d pour le TNT et ses produits de transformation sont résumées au tableau 2.3.

2.2.4.2 RDX et HMX

Une étude de Selim et al. (1995) montre que le RDX n'est pas fortement retenu dans le sol et qu'il est par conséquent très mobile (Townsend et al. 1996). Haderlein et al. (1996) ont noté qu'il n'y avait pas de tendance particulière à l'adsorption du RDX sur des minéraux argileux. Par contre, d'autres études montrent que la séquestration du RDX dans les sols est apparemment contrôlée par la matière organique et possiblement par la nature des argiles (Xue et al. 1995) et par la teneur en argile (Leggett 1985 dans Townsend et al. 1996). La sorption et la désorption du RDX et du HMX sont largement dépendantes du contenu en carbone organique (f_{oc}) du sol (Card et Autenrieth 1998). Selon Card et Autenrieth (1998), approximativement 2% du RDX et 0,5% du HMX dans un environnement sol-eau seraient sorbés au sol pour chaque 1% du contenu en carbone organique. Selon Sikka et al. (1980), comme dans le cas du TNT, la teneur en argile joue un rôle plus important que la teneur en carbone organique dans la sorption du RDX (Pennington et al. 1995b). La sorption a donc un effet de retard minimal sur le transport du RDX et du HMX (Card et Autenrieth 1998).

Dans le cas du RDX, le coefficient de partition est estimé entre 0,12 et 3,5 L/kg par Brannon et al. (1999) tandis que Townsend et Myers (1996) rapportent des valeurs allant de zéro jusqu'à 7,8 L/kg.

L'évaluation du K_d du RDX à partir de la CEC montre une bonne corrélation. Par contre, la teneur en carbone organique et le pourcentage d'argile n'ont pas montré de corrélation particulière (Brannon et al. 1999). La corrélation suivante permet d'évaluer le K_d (Brannon et al. 1999) :

$$RDX K_d = 0,056 CEC + 0,15$$

La sorption du RDX sur le matériel d'un aquifère sableux est faible. Tsai et al. (1985) ont trouvé une valeur de 1,6 L/kg pour ce type d'aquifère (McGrath 1995).

Selon Townsend et al. (1996), le HMX tend à être sorbé plus fortement que le RDX. Contrairement au TNT et au RDX, les caractéristiques du sol ne peuvent être utilisés pour évaluer le K_d du HMX. Cependant, il peut varier entre 0,089 et 17,7 L/kg (Brannon et al. 1999). Pour les sols de surface, une valeur moyenne de 5,76 L/kg constitue une bonne approximation. Les différentes valeurs de coefficient de partition (K_d) associées au RDX et au HMX sont résumées au tableau 2.3.

2.2.5 Transformation

La transformation d'un composé présent dans un environnement consiste en sa modification par des mécanismes biologiques ou abiotiques (Brannon et Pennington 2002). Plusieurs processus de transformation affectant les explosifs sont actifs essentiellement lorsque les ME se retrouvent dans la phase aqueuse et, par conséquent, sont limités par les cinétiques de dissolution (McGrath 1995). Les transformations réductrices sont établies comme étant les processus clé affectant le transport du TNT, RDX et HMX sous la surface du sol (Myers et al. 1998). Le RDX est plus persistant dans les sols que le TNT (Spaulding et Fulton (1988) dans Brannon et Myers 1997).

Les cinétiques de biotransformation sont fortement dépendantes de la biomasse bactérienne du sol et de sa viabilité (McGrath 1995). Les contaminants organiques ne se trouvant pas en phase aqueuse sont considérés comme n'étant pas disponibles pour les réactions de biotransformation. La phase non aqueuse peut être un contaminant fortement adsorbé ou un contaminant encore sous forme cristalline. Dans ce cas, toute réaction de biotransformation est limitée respectivement par la désorption ou la cinétique de dissolution du contaminant (McGrath 1995).

2.2.5.1 TNT

Les caractéristiques du sol ainsi que les conditions environnementales ont une influence marquée sur le devenir et la transformation du TNT, tant sous des conditions aérobies qu'anaérobies (Brannon et al. 1997). Ainsworth et al. (1993) suggèrent que le processus

de transformation du TNT soit un processus de diffusion parce que les transformations du TNT sont plus significatives à de faibles vitesses de circulation de l'eau. Ils indiquent aussi que l'adsorption est requise avant la transformation et que seulement une partie du TNT adsorbé est impliquée dans un processus de transformation (Townsend et Myers 1996). Le TNT peut être transformé autant par une oxydation du groupement méthyle que par une réduction du groupement nitro (Major 1999).

Le TNT qui se trouve en conditions aérobies à la surface du sol est souvent dégradé par une oxydation du carbone méthylé. Cette oxydation est probablement un processus en plusieurs étapes dans lequel le groupement méthyle est initialement oxydé en un alcool, puis en un aldéhyde et finalement en un acide carboxylique (Major 1999). La décarboxylation du produit résultant mène au trinitrobenzène (TNB) (Major 1999). Cette oxydation du groupement méthyle est provoquée par une catalyse en surface des minéraux du sol (Checkai et al. 1993), par l'ozonisation (Spanggord et al. 1980) et probablement par l'action du soleil (photodégradation) (Spanggord et al. 1980) (Major 1999). Dans les sites où une contamination en TNT est localisée en surface du sol, la concentration en trinitrobenzène est souvent plus élevée que celle du TNT (Major 1999).

La transformation du TNT par réduction peut se produire sous des conditions aérobies ou anaérobies (Brannon et Myers 1997) de même que sous des conditions oxydantes ou réductrices (McCormick et al. 1976; Pennington et Patrick 1990). Il se produit alors une réduction séquentielle du groupement nitro en groupement amino (Brannon et Myers 1997). Tout dépendant du potentiel de réduction du milieu, un, deux ou trois groupements nitro peuvent être réduits en un groupement amino (McCormick et al. 1976). La réduction du troisième groupement nitro se produit seulement sous des conditions strictement anaérobies (Roberts et al. (1992) dans Funk et al. 1993).

Il est rapporté que le produit de réduction 4-amino-dinitrotoluène (4A-DNT) est la forme réduite prédominante du TNT dans un environnement aérobie (Major 1999). Des tests effectués sous des conditions aérobies et biotiques (conditions oxydantes) ont cependant montré que l'accumulation de ces produits de transformation (4-amino-dinitrotoluène (4A-DNT), 2-amino-dinitrotoluène (2A-DNT) et des produits intermédiaires) est minime

puisque ce sont des produits issus de transformations réductrices et non oxydantes (Myers et al. 1998). Le 2,4-diamino-6-nitrotoluène (2,4-DANT) peut être généré sous des conditions aérobies par des réactions avec certains minéraux associés aux argiles et il est stable en surface du sol (Ainsworth et al. (1993) dans Major 1999). La réduction des groupements nitro du TNT a un impact environnemental prononcé parce que ce processus altère la solubilité aqueuse de la molécule et affecte le taux de lessivage vers l'eau souterraine (Major 1999). La réduction d'un groupement nitro du TNT est très rapide sous une grande variété de conditions. Par contre, la réduction du 2-amino-dinitrotoluène (2A-DNT) requiert des conditions de potentiel d'oxydoréduction (redox) plus bas tandis que la réduction du 2,4-diamino-6-nitrotoluène (2,4-DANT) requiert un potentiel redox sous -200 mV (Funk et al. (1993) dans Spain 1995).

Plusieurs microorganismes ont été identifiés comme étant capables de dégrader des composés nitroaromatiques. Ces organismes peuvent provoquer deux réactions différentes au sein du groupement nitro, soit que le groupement nitro est éliminé du système aromatique (réduction séquentielle de nitro à amino) et que des nitrites sont libérés ou soit que le groupement nitro est réduit au groupement amino. Dans ce cas, le groupement nitro est utilisé comme accepteur d'électron ou comme co-métabolites (Schackmann et Müller 1991; McGrath 1995). La première réaction est principalement détectée dans les microorganismes qui utilisent les composés comme seule source de carbone ou d'énergie. Cette réaction mène normalement à la minéralisation complète du composé. La deuxième réaction amène la formation d'amines aromatiques. Les amines aromatiques formées par cette réaction sont hautement réactives et en présence d'oxygène, d'autres produits sont formés. Dans le sol, ces amines réagissent avec les acides humiques causant l'immobilisation des produits et rendant la dégradation future extrêmement difficile. Cette dernière réaction est facilitée en conditions anaérobies (Schackmann et Müller 1991; McGrath 1995).

Les organismes aérobies peuvent accélérer la réduction du groupement nitro, mais l'intermédiaire nitroso est susceptible à la condensation et à la formation de composés azoxy (Haïdour et Ramos (1996); McCormick et al. (1976) dans Lotrario et al. 1997).

Boopathy et al. (1994) ont utilisé des bactéries en conditions aérobies pour procéder à la dégradation du TNT. Un groupe de bactéries du type *Pseudomonas* sp. a été utilisé et les résultats démontrent que ces bactéries ne peuvent croître avec le TNT comme seule source de carbone et d'énergie, mais peuvent transformer le TNT par co-métabolisme avec un substrat principal. Une incubation prolongée, plus de 70 jours, de ce groupe de bactéries a mis en évidence le clivage de l'anneau et de la minéralisation du [¹⁴C] TNT. Cette recherche indique que la biotransformation du TNT est un procédé co-métabolique. Les réactions co-métaboliques sont provoquées par des microorganismes mais, de ces réactions, il n'y a aucun gain de carbone ou d'énergie. Le co-métabolisme requiert la présence d'un substrat principal qui supporte l'activité métabolique. Fernando et al. (1990), ont montré qu'un champignon (pourriture blanche) *P. chrysosporium* est capable de dégrader le [¹⁴C]TNT sur une courte période de temps. La dégradation a été démontrée par la minéralisation du [¹⁴C]TNT, la formation de métabolites et une analyse du bilan de masse.

2.2.5.2 RDX et HMX

La biodégradation du RDX et du HMX dans l'environnement peut se produire autant en conditions aérobies qu'en conditions anaérobies. Le taux de dégradation anaérobie est typiquement plus élevé que celui en conditions aérobies (Card et Autenrieth 1998). Les produits de dégradation possibles du RDX et du HMX incluent les nitrates, les nitrites, le diméthylhydrazine, l'hydrazine et le formaldéhyde (Hallgrath et al. 1997).

La biodégradation du RDX est complexe, est grandement influencée par la présence d'oxygène et amène la production de plusieurs produits intermédiaires (Speitel et al. 2001). Dans un schéma proposé par McCormick et al. (1981), la biodégradation du RDX consiste en une réduction du groupement nitro jusqu'à la déstabilisation et au clivage de l'anneau. Les auteurs suggèrent aussi que la dégradation du RDX se produit seulement sous des conditions anaérobies et que les produits de dégradation formés sont susceptibles à une minéralisation aérobie. Selon Speitel et al. (2001), peu ou pas de biodégradation du RDX ne se produit sous des

conditions aérobies et sa demi-vie sous de telles conditions est de l'ordre de 1000 jours. Seulement deux études ont rapporté la biodégradation du RDX sous des conditions aérobies, celle de Binks et al. (1995) et celle de Knezovich et Daniels (1991) (Card et Autenrieth 1998). Selon Coleman et al. (1998) une bactérie, le *Rhodococcus* sp. DN22, utilise le RDX sous des conditions aérobies comme source d'azote via la libération de nitrite et dégrade le RDX. Aucun autre produit de dégradation du RDX n'a pu être identifié pendant cette biodégradation. Fournier et al. (2002) affirment que pendant la dégradation aérobie du RDX avec cette même bactérie, il y a une étape de dénitrification avant le clivage de l'anneau. Sheremata et Hawari (2000) ont employé la souche *Phanerochaete chrysosporium* pour dégrader le RDX en utilisant du glycérol comme source de carbone. Pendant l'expérience, du MNX a été détecté comme produit intermédiaire, mais aucune accumulation n'a été observée. Par contre, à la fin de l'expérience, de hauts taux d'oxyde d'azote et de dioxyde de carbone ont été obtenus (Hawari et al. 2000).

Il existe autour des particules de sol de très petites régions en condition anaérobie à cause de la demande biologique et chimique en oxygène. Ces régions peuvent fournir les conditions de réduction nécessaire à la biodégradation du RDX. Le méthanol produit par cette dégradation est converti en dioxyde de carbone et est perdu dans le système (Myers et al. 1998).

Les études sur la dégradation du HMX sont limitées. Comme le HMX est similaire au RDX, la biodégradation anaérobie du HMX est supposée être importante (Myers et al. 1998). Card et Autenrieth (1998) rapportent que la biodégradation du HMX n'a été observée que sous des conditions anaérobies. Cependant, quelques évidences de dégradation du HMX en conditions aérobies ont été rapportées à partir d'essais en colonne (Greene et al. (1985) dans Price et al. 1998) La bactérie utilisée par Binks et al. (1995) pour dégrader le RDX en conditions aérobies s'est révélée infructueuse dans la dégradation du HMX sous les mêmes conditions (Hallgrath et al. 1997).

Il existe des microbes qui peuvent s'acclimater et dégrader des composés comme le RDX et le HMX en conditions aérobies, s'ils sont suffisamment approvisionnés en nutriments et en carbone (Hallgrath et al. 1997).

2.2.6 Minéralisation

La minéralisation est la dégradation complète d'un composé organique qui provoque la formation de produits inoffensifs comme certains gaz (CO_2 ou N_2), comme l'eau ou certains sels inorganiques (Cl^- ou NO_3^-). Sous des conditions de terrain, la minéralisation se produit rarement parce que des difficultés sont rencontrées, comme le manque de nutriments ou de microbes dans les zones contaminées (McGrath 1995).

2.2.6.1 TNT

La minéralisation du TNT est favorisée par des conditions hétérogènes où des métabolismes aérobies et anaérobies sont possibles (Bradley et Chapelle 1995). Le TNT est susceptible à une minéralisation partielle autant sous des conditions aérobies que sous des conditions anaérobies (McGrath 1995). La minéralisation du TNT est difficile à cause de la nature électrophilique et de l'orientation de ces groupements nitro (Major 1999).

2.2.6.2 RDX et HMX

La minéralisation du RDX jusqu'au CO_2 peut se produire autant sous des conditions anaérobies que sous des conditions aérobies, mais elle est beaucoup plus importante sous des conditions anaérobies (Price et al. en préparation dans Brannon et Myers 1997). Le N_2O a été rapporté comme étant un produit de minéralisation significatif qui devrait être suivi lorsque la biodégradation par une certaine pourriture (*white rot fungus*) est suspectée (Sheramata et Hawari (2000) dans Brannon et Pennington 2002). Les résultats de quelques observations suggèrent que le HMX soit récalcitrant à la minéralisation (McCormick et al. (1985); Spanggord et al. (1982) dans Brannon et Pennington 2002).

2.3 Processus abiotiques

2.3.1 Photolyse ou photodégradation

La photodégradation se produit dans les eaux de surface et dans les sols de surface où le contaminant est exposé au soleil (Brannon et al. 1999). La photolyse peut être un processus significatif seulement dans les premiers centimètres du sol (McGrath 1995).

2.3.1.1 TNT

La phototransformation du TNT et des nitroaromatiques associés implique l'oxydation du groupement méthyle (formation de TNB et d'autres composés intermédiaires d'oxydation), la réduction du groupement nitro (formation du 4A-DNT, 2A-DNT et des produits intermédiaires attribuables à une réduction (2,6-DANT, 2,4-DANT)) et la formation de dimères (McGrath 1995; Brannon et al. 1999). Le TNT est affecté par la photodécomposition et son principal produit de dégradation dans l'eau naturelle suite à cette transformation est le 1,3,5-trinitrobenzène (TNB) (Burlinson (1980) dans Selim et al. 1995).

2.3.1.2 RDX et HMX

Le RDX et le HMX sont susceptibles à la photolyse et une variété de composés azoxy peuvent être formés (McGrath 1995). L'exposition aux rayons UV du RDX en solution aqueuse peut résulter en la formation de nitrate, nitrite, ammoniacque, formaldéhyde, oxyde nitreux, formamide et N-nitroso-méthylènediamine (McCormick et al. 1981).

2.3.2 Volatilisation

La volatilisation est considérée comme un cheminement environnemental négligeable pour le TNT, le RDX et le HMX à cause de leur faible pression de vapeur et de leur faible constante de Henry (tableau 2.4) (McGrath 1995; Townsend et Myers 1996).

Tableau 2.4. Pression de vapeur et constante de Henry des explosifs (McGrath 1995)

Explosifs	Pression de vapeur (25°C)	Constante de Henry (25°C)
	(torr)	(atm/m ³ ·mol)
TNT	$5,51 \times 10^{-6}$	$1,1 \times 10^{-8}$
HMX	$3,33 \times 10^{-14}$	$2,6 \times 10^{-15}$
RDX	$4,03 \times 10^{-9}$	$1,96 \times 10^{-11}$





CHAPITRE 3

ENERGETIC MATERIAL TRANSPORT IN THE VADOSE ZONE AT AN ANTI-TANK TRAINING RANGE

RÉSUMÉ

Le champ de tirs anti-chars Arnhem est utilisé depuis les années 1970 sur la base militaire de Valcartier. Les ratés d'explosion des roquettes M72 laissent sur la surface du sol une charge explosive contenant de l'Octol (mélange de HMX et de TNT). La pluie et l'eau d'infiltration solubilisent et transportent ces matériaux énergétiques (ME) jusqu'à l'eau souterraine. En 2000, une étude a été réalisée pour mieux comprendre le comportement des ME dans la zone non saturée à Arnhem. Ainsi, en périphérie du champ de tirs, la zone non saturée a été instrumentée à l'aide de casiers lysimétriques à 0,5 et 1 m de profondeur. Des morceaux d'Octol et un traceur ont été épandus à la surface de chaque casier pour évaluer l'infiltration d'eau et le transport des ME. En laboratoire, des essais en colonne de larges dimensions ont reproduit le comportement des ME dans la zone non saturée. Des essais en microcosmes ont aussi permis d'évaluer la transformation et la minéralisation des ME sous des conditions non saturées et aérobies.

Les résultats des essais de terrain montrent que le TNT et le RDX sont détectés dans seulement quelques échantillons d'eau tandis que le HMX est détecté régulièrement mais à concentrations variables. Les résultats des analyses de sol et des morceaux d'Octol récupérés à la surface du sol montrent la présence de HMX et de TNT mais pas de RDX. La présence de HMX dans le sol et dans l'eau dépend de son taux de dissolution à l'intérieur de l'Octol et des précipitations qui semblent contrôler sa mise en solution et son transport. Les résultats de laboratoire indiquent que le TNT se transforme mais qu'il ne se minéralise pas et que le HMX ne se dégrade pas. Ces résultats ont été intégrés dans un modèle conceptuel expliquant le comportement des ME dans la zone non saturée. Le HMX ne se dégrade pas sous les conditions environnementales du champ de tirs Arnhem. Il passe lentement dans la zone non saturée jusqu'à atteindre l'eau souterraine. Le TNT se dégrade, mais ne se minéralise pas. Le TNT et ses produits de transformation ne sont pas détectés dans l'eau, ils semblent plutôt rester liés au sol.

ABSTRACT

The Arnhem anti-tank training range has been used at the Canadian Force Base in Valcartier since the 1970's. The misfires of M72 rockets leave unexploded ordnance containing Octol (mixture of HMX and TNT) at the soil surface. The rain and infiltrating water dissolve and transport these energetic materials (EM) into the groundwater. In 2000, a study was initiated to better understand the behaviour of EM in the vadose zone in the Arnhem range. The vadose zone was instrumented with lysimeter boxes at of 0.5 and 1 m depth around the range. Flakes of Octol and a brine tracer (NaCl) were spread at the soil surface of each lysimeter to monitor water infiltration and EM transport. In the laboratory, large sand column experiments reproduced the EM behaviour in the vadose zone. Microcosm experiments were also carried out to evaluate EM transformation and mineralisation under unsaturated and aerobic conditions.

Results from the field investigation showed that TNT and RDX are detected in only a few water samples whereas HMX is regularly detected in various concentrations. Analyses of soil samples and Octol flakes at the soil surface showed the presence of HMX and TNT, but not RDX. Results showed that HMX presence in soil and water is dictated by its dissolution kinetics in Octol flakes and precipitation events seem to control HMX dissolution and transport in soil. Laboratory results showed that TNT was transformed but not mineralised and that HMX did not degrade. Results were integrated in a conceptual model explaining EM behaviour in the vadose zone. HMX was not degraded in the Arnhem range environment, HMX slowly passes through the vadose zone to the groundwater. TNT degraded but not mineralised. TNT and its transformation products were almost not detected in water. They supposed to be bound to the soil of the vadose zone.

3.1 Introduction

The Arnhem anti-tank training range has been used at CFB Valcartier since the 1970's. The ammunition used for training is the M72 rocket that has an explosive charge made of 300 g of Octol. The Octol is a mixture of 70% by mass HMX and 30% by mass TNT. RDX can be found in the Octol because it is a manufacturing by-product of HMX (Yinon (1990) in Card and Autenrieth 1998). In Octol, the proportion of RDX in HMX can reach 10% of the HMX content. M72 rockets had a high misfire rate (up to 40%) that left unexploded charges at the soil surface. Rain and water from snow melt dissolve and transport energetic materials (EM) such as HMX, RDX and TNT into the groundwater through the vadose zone.

Few studies have focussed on the impact of EM emissions from unexploded ordnance on groundwater. An experimental program on EM characterisation in military live fire training ranges aims to understand the EM behaviour under different environmental contexts. The program supports risk analysis and the prioritisation of environmental actions related to training grounds. It also provides a basis for environmental management allowing sustainable training.

Since 1995, studies have been made on the Arnhem anti-tank range to characterise EM behaviour in soil and groundwater. A preliminary study (Thiboutot et al. 1998a) showed that soil near targets was contaminated with HMX, RDX and TNT. This study also showed that HMX and RDX were detected in groundwater in a well located close to a target. In 1998, an extensive study was undertaken to characterise the groundwater and the soil (Mailloux et al. 2000). This study included the installation of a groundwater monitoring network and many laboratory tests for the evaluation of physical and chemical properties of surface soil and groundwater. The study showed that groundwater was only contaminated by HMX. RDX was detected in a single groundwater sample whereas TNT was never detected above quantification limits. A mass balance of TNT and HMX was also made in surface soil. Data obtained from these studies were integrated in a 3-D numerical model representing groundwater flow and EM transport (Mailloux et al. 2001). These studies focused mainly on the conditions in the saturated zone. More information

was needed on the processes taking place between the soil surface and the water table to better understand the behaviour and fate of EM at this particular site.

The Arnhem anti-tank range is located on a sand terrace to the North of Triquet Mount. Two targets are located on bedrock and two others are placed on a sand terrace. No vegetation covers the training area, except a small cover uphill and some vegetated area outside the target area (figure 3.1). The bedrock forms a valley, which influences groundwater flow. This flow is from north to south on Triquet Mount and from south-west to north-east on Casa-Berardi Mount. Groundwater flows from these two mountains and converges at the center of the valley, then turns in an eastward direction (Mailloux 2002) (figure 3.2).

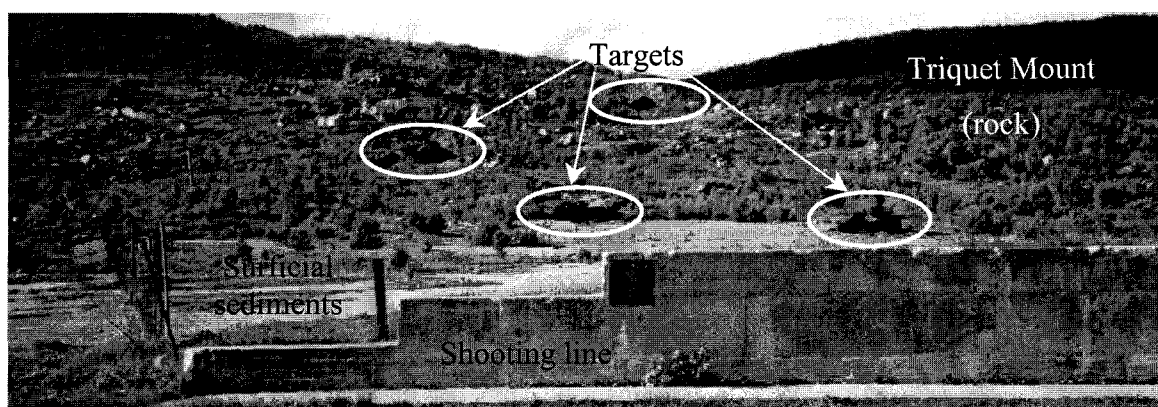


Figure 3.1. Arnhem anti-tank range

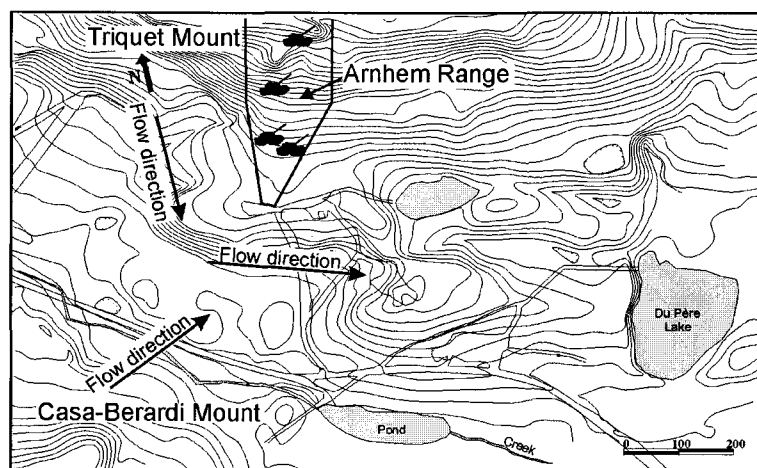


Figure 3.2. Groundwater flow directions (Modified from Mailloux 2002)

The infiltration of water from precipitation and snow melt is favoured through sand which has a hydraulic conductivity between 1.3×10^{-5} and 2×10^{-4} m/s. Locally, the sediment of this regional aquifer is affected by EM coming from the Arnhem range (Mailloux et al. 2000). Close to the training area, the saturated thickness of the surficial sediment is less than 1 meter (figure 3.3).

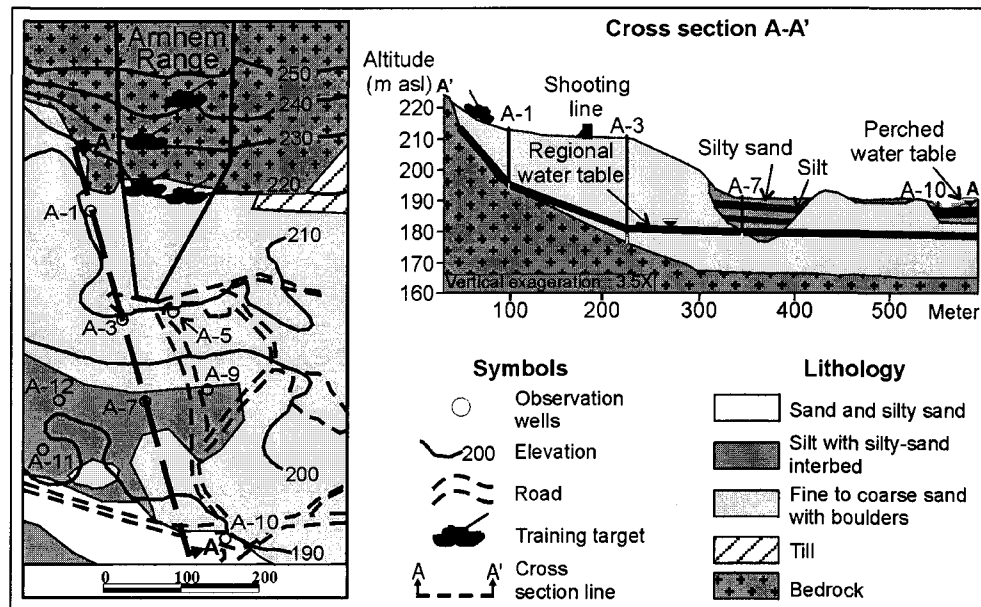


Figure 3.3. Surficial geology and cross section of the Arnhem range (Modified from Mailloux et al. 2000)

The groundwater velocities observed close to the training area fluctuate seasonally. The sand is saturated during spring recharge and unsaturated at the low-water period (rest of the year). This phenomenon has a direct effect on the dissolved EM plume in groundwater. The plume quickly flows away from the source area during the recharge events but does not entirely reach the valley because the water table is not connected to the contaminants stored in the vadose zone below the source area (Mailloux et al. 2001).

In 2000, a complementary field and experimental program was undertaken. This program aimed at getting the data required to investigate the processes in the vadose zone. The vadose zone characterisation was made with the help of field lysimeter boxes. Tracer tests

were made with chloride and Octol spread at the soil surface above the lysimeter boxes. In laboratory, column tests with more controlled conditions reproducing the field conditions also aimed at better understanding EM transport from Octol spread at soil surface. Also, microcosm tests were made to determine TNT and HMX transformation and mineralisation processes.

The objective of this study is to investigate the fate and the behaviour of EM in the vadose zone of an anti-tank range. This paper presents the field and laboratory results of this on-going investigation.

3.2 Methodology

The experimental study consisted of a field study to characterise snow melt and rain infiltration and the initial dissolution and release of EM from the surface and a laboratory study to investigate flow, transport and transformation of EM released from Octol in column and microcosm experiments.

3.2.1 Field investigations

Five lysimeter boxes were installed outside the impact area of the range at 0.5 m and 1 m depths (figure 3.4) in order to characterise the quality and quantity of the infiltrated water from rain and snow melt in soil contaminated by Octol. In these lysimeter boxes, tracer tests where chloride and Octol were spread at the soil surface. The lysimeter data also provide a measure of soil-water flux and an estimation of groundwater recharge. One advantage of the lysimeter box concept is that the volume of soil sampled is larger than porous cup samplers (Stephens 1996). Lysimeter tests provide representative data sets for the study of migration processes (Luckner and Schestakow 1991). For chemical transport, lysimeters do not distort natural flow patterns as do suction samplers and larger samples are collected (Wilson and Dorrance 1995). A rain gauge (RGEL Cat. No RA8500-000) was also put in place on site to evaluate the amount of precipitation (rain and snow) at the site (figure 3.4).

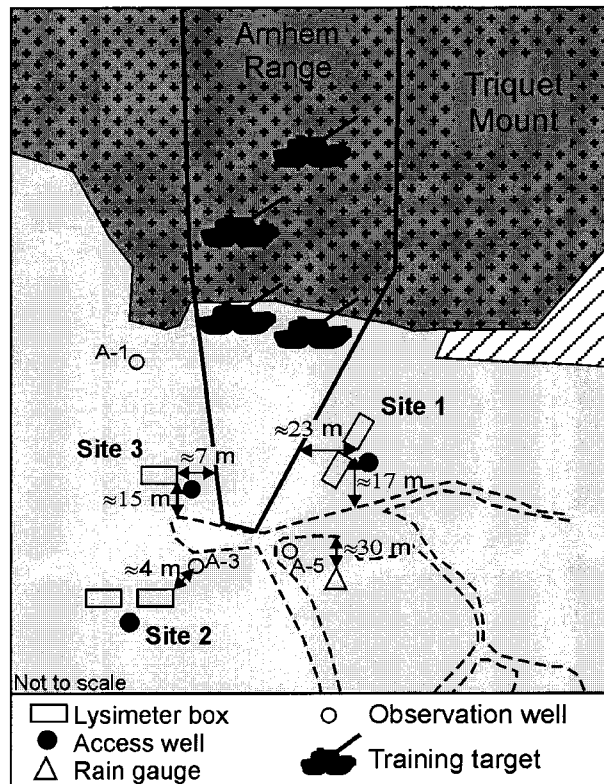


Figure 3.4. Location of the instrumentation for vadose zone monitoring at the Arnhem range (Modified from Mailloux et al. 2000)

3.2.1.1 Lysimeter Boxes

The lysimeter boxes used are made of a stainless steel pan 1 m long by 0.5 m wide (figure 3.5). The pan is used to intercept the water infiltrating into the vadose zone. Flexible tubing is connected to the pan and water is recovered in a stainless steel bucket. Five lysimeter boxes were installed between June and September 2000. A small 2 m long trench, which is 1 or 0.5 m deep, was made to have access to the soil profile. Two hydraulic jacks were placed horizontally in the trench to push the pan into the soil profile at the desired depth. The pan was inserted under an undisturbed soil block with a slope of 5%. To completely isolate the box and avoid infiltration of water from adjacent soil, the sides of the soil block were covered with bentonite powder and wrapped with a polyethylene sheet (0.076 mm thick). The polyethylene sheet was tied to the pan with silicone sealant. The bentonite powder was supposed to prevent preferential flow of infiltrated water along the polyethylene sheet. The trenches were made and embanked one

after the other when the installation of bentonite and the sheet was completed. At the soil surface, the polyethylene sheet is fixed to a wood frame to avoid the surface runoff of precipitation (rain and water from snowmelt).

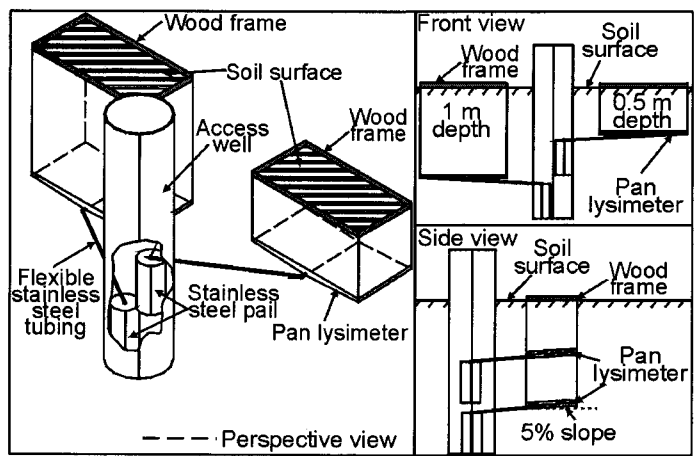


Figure 3.5. Lysimeter boxes set up

The lysimeter boxes were located in vegetated and non-vegetated areas in the southern part of the range. During the installation of the boxes, soil samples were collected along the profile, described and analysed for cationic exchange capacity (CEC), total organic carbon (TOC) and iron content. The saturated hydraulic conductivity (K) was evaluated by different methods based on grain size curve (Vukovic and Soro 1992). Tables 3.1 and 3.2 summarise the soil characteristics for all lysimeter boxes.

Table 3.1. Soil block description for all lysimeter boxes

Site #	Lysimeter boxes name	Surface condition	Volume of soil block	Depth interval	Sample name	Soil description
			(m ³)	(m)		
1	L1-50	Without vegetation	0.32	0 to 0.15	S1-1	Medium grained sand
				0.15 to 0.25	S1-2	Sandy loam
				0.25 to 0.50	S1-3	Medium grained sand
	L1-100	Without vegetation	0.64	0 to 0.15	S1-1	Medium grained sand
			0.15 to 0.20	S1-2	Sandy loam	
			0.20 to 0.70	S1-3	Medium grained sand	
			0.70 to 1.00	S1-4	Medium and coarse grained sand, some gravel	
2	L2-50	With vegetation	0.23	0 to 0.50	S2-1	Medium and coarse grained sand
	L2-100	With vegetation	0.47	0 to 1.00	S2-2	Medium and coarse grained sand
3	L3-100	Without vegetation	0.43	0 to 0.80	S3-1	Medium grained sand, some gravel
				0.80 to 1.00	S3-2	Silt and fine grained sand

Table 3.2. Soil properties for lysimeter boxes

Sample name	Clay content	¹ CEC	² K	³ TOC	Iron content
	(%)	(meq/100 g)	(m/s)	(%)	(mg/kg)
S1-1	0.6	0.000	2.6×10^{-5} to 9.2×10^{-5}	0.04	2 071
S1-2	3.7	5.237	2.4×10^{-7}	0.17	4 500
S1-3	2.0	2.848	3.8×10^{-6} to 4.6×10^{-6}	0.06	2 816
S1-4	0.8	0.235	1.1×10^{-4} to 3.0×10^{-4}	0.03	2 034
S2-1	0.4	4.901	1.8×10^{-4} to 5.1×10^{-4}	0.10	4 298
S2-2	0.4	4.901	1.6×10^{-4} to 5.4×10^{-4}	< 0.05	2 086
S3-1	1.2	0.558	3.6×10^{-5} to 9.5×10^{-5}	0.07	2 002
S3-2	7.5	1.651	2.4×10^{-7}	0.04	2 182

¹CEC: Cation exchange capacity

²K: Estimated hydraulic conductivity

³TOC: Total organic carbon

3.2.1.2 Octol and Chloride Tracer Test

During December 2000, the soil surface of each lysimeter box was sprayed with a chloride brine and crushed Octol. The brine was used as a conservative tracer and is made with 37.5 g of NaCl in 1 litre of distilled water. The possible density effect associated to the salt water concentration (1% of the sea water) was supposed to be negligible because the brine was sprayed and because of the unsaturated conditions. A mass of 22 g of Octol

was put over each lysimeter box, which was considered to be an initial concentration of 172.5 mg/kg of Octol in the first 15 cm of the soil. The Octol used for the test had a composition of 70% by mass HMX with 1 to 10% RDX and 30% by mass TNT. The Octol flakes of 0.5 to 1 cm² were applied manually. Each flake was randomly put in place to uniformly distribute Octol at the soil surface. A thin layer of snow (3-4 cm) was put over the Octol after the spreading to maintain it in place. Water sampling began in December for lysimeter boxes L1-100, L2-100 and L3-100, and stopped for three months during the winter season (between January and April) when the soil was frozen. Sampling started again for all sites in April 2001 and ended in October 2001.

Each water sample collected from the lysimeter boxes was weighted and analysed for pH, salinity, temperature, conductivity, dissolved oxygen, oxydo-reduction potential (ORP), chloride and EM (HMX, RDX, TNT, 1,3,5-TNB, DNB, Tetryl, NB, 2,4-DNT, 2,6-DNT, 2-ADNT, 4-ADNT and Mono-Nitro) (EPA 1994). The water sample were also analysed for some by-products of TNT (nitrate, nitrite and ammonium) (Spain 1995). Samples for chloride, nitrate, nitrite and ammonium were not preserved but samples for EM were preserved with sodium bisulphite (Thiboutot et al. 1997; Thiboutot et al. 2002).

At the end of the tracer test, the undissolved flakes of Octol readily visible and still present at the soil surface over each lysimeter box were recovered. The flakes were dried, dissolved in acetone and filtered. The acetone was evaporated and the solid leftover was weighted and analysed for EM content. Soils of the first 15 cm of each lysimeter box were also collected. The first 15 cm were taken because the sampling of October 1995 revealed that the total mass of EM was mostly present in the first 15 cm of soil (Martel et al. 1999). The soil recovered from each lysimeter box was mixed uniformly for 30 minutes and four subsamples were taken. Also, two soil samples were recovered from the soil under 15 cm in each lysimeter box to confirm the assumption cited above. All these soil samples were analysed for EM content.

3.2.2 Laboratory Investigations

The first laboratory experiments consisted of sand column tests run under strictly controlled conditions, which were unsaturated flow, controlled temperature (7-8°C) and lighting (darkness or UV lamp). A series of microcosm tests were made to evaluate EM transformation rates under unsaturated and aerobic conditions. One series of microcosm tests evaluated the degradation of EM whereas the other ones evaluated its mineralisation.

3.2.2.1 Soil Column Tests

A soil column consisted in a stainless steel cylinder with a diameter of 21.2 cm and a height between 60 cm (short section) and 1.22 m (tall section) (figure 3.6). The bottom of the column was closed with a perforated stainless steel plate covered with a stainless steel screen (53 microns mesh) between the soil and the plate. Another stainless steel plate, with a hole in the middle that guided the effluent toward an amber glass bottle, was located under the perforated plate. At the top of each column an irrigation system was made of a perforated Tygon® tubing placed in spiral over a pack of glass wool (Fisherbrand Glass Wool, cat. no. 11-390) that was retained by a stainless steel screen. The glass wool allowed a better spreading of water over the top soil in the column. The soil Column 1 (C-1UV-50) was placed under a different lighting condition than the other columns that were kept in the dark. The irrigation system was adapted to let the UV rays reach the soil surface.

Each column had a tank of distilled water, which was made of a PVC tubing (5.08 cm diameter). The tank was connected to a peristaltic pump, which supplied the water to the soil. The peristaltic pumps started each day to bring the water to the top of each column via Tygon® tubing. A CR10x (Campbell Scientific, Alberta) controlled the pumps. Each water tank had a pressure transducer at its base connected to the CR10x. The volume of water pumped to the column was determined by measuring water pressure in the tank before and after the irrigation. The CR10x also measured temperature every hour.

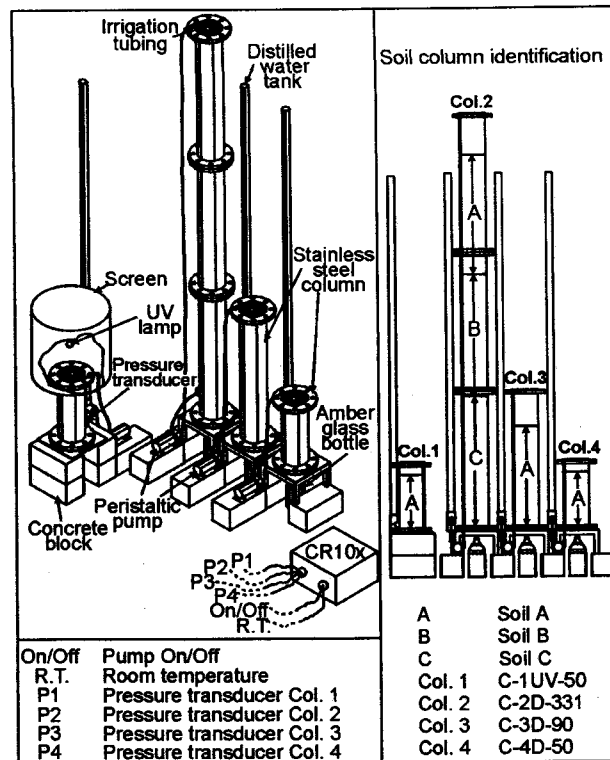


Figure 3.6. Column tests set up

To ensure no contamination, each column was filled with soil collected from a sandpit close to the Arnhem range that was similar to the site soil. This soil and the one at the site are part of the same stratigraphic unit, however their properties may be little different because of local heterogeneity. The collected soil samples were described and analysed for CEC, TOC and iron content (table 3.3). The hydraulic conductivity of each sample was evaluated using methods based on grain size analysis (Vukovic and Soro 1992). The soil (not previously dry) was placed in the column in thin layers of 1 cm (≈ 615 g). This operation prevented radial segregation of sand particles. The link between each layer was obtained by the scarification of the upper 0.5 cm of each layer before the addition of a new one. Each layer was compacted by dropping a weight (1000 g) 12 times from a height of 0.5 m. This method yielded a density of 1.75 g/cm^3 , sufficient to prevent preferential liquid channelling (1.7 g/cm^3) (Ripple et al. 1973). The short columns (C-1UV-50 and C-4D-50 of 0.6 m long) had 0.5 m of soil, one other column (C-3D-90 of 1.22 m long) had 0.9 m of soil and the last one (C-2D-331) had 3.3 m of soil in 3 sections

connected together via two flanges (figure 3.6). Soil type A was placed in three columns (C-1UV-50, C-3D-90 and C-4D-50) whereas the tallest one has the three types of soil in approximately 1 m layers to reproduce the field soil profile (figure 3.6 and table 3.4).

Table 3.3. Soil characteristics for the column tests

Soil	Description	Clay content	Water content	Particulate density	¹ CEC	² K	³ TOC	Iron content
		(%)	(g/g)	(g/cm ³)	(meq/100 g)	(m/s)	(%)	(mg/kg)
A	Coarse grained sand	0.6	0.004	2.90	0.754	5.6×10^{-4} to 1.7×10^{-3}	0.02	2 020
B	Medium grained sand	0.4	0.003	2.71	0.261	7.9×10^{-5} to 2.9×10^{-4}	0.02	1 539
C	Medium grained sand	0.0	0.003	2.75	0.000	6.1×10^{-5} to 1.9×10^{-4}	0.02	1 776

¹CEC: Cation exchange capacity

²K: Estimated hydraulic conductivity

³TOC: Total organic carbon

Table 3.4. Column characteristics

Column #	Column name	Depth	Soil used	Bulk density	Porosity	Pore volume	Lighting condition
		(m)		(g/cm ³)	(%)	(cm ³)	
1	C-1UV-50	0 to 0.5	Soil A	1.75	40	6 970	UV lamp
2	C-2D-331	0 to 1.06	Soil A	1.76	39	14 601	None
		1.06 to 2.13	Soil B	1.59	41	15 604	
		2.13 to 3.31	Soil C	1.56	43	17 791	
3	C-3D-90	0 to 0.9	Soil A	1.68	42	13 359	None
4	C-4D-50	0 to 0.5	Soil A	1.75	40	6 971	None

In February 2002, brine made of 3.4 g of sodium chloride diluted in 30 ml of water and 3.0 g of small pieces (0.5 to 1 cm²) of Octol flakes (70% by mass HMX with 1 to 10% RDX and 30% by mass TNT) were uniformly spread at the top of each soil column. The possible density effect associated to the salt water concentration (1% of the sea water) was supposed to be negligible because the brine was equivalent to 1 mm of water and each irrigation event was not supposed to create enough dilution.

The irrigation of each column was a reproduction of the field conditions at three different infiltration periods of the year; the water infiltration in fall (1 month), the dry winter

season (2 months) and the spring snow melt (1 month) (table 3.5). The water volumes were calculated based on the average of precipitation records of Environment Canada on the Valcartier military Base.

Table 3.5. Irrigation conditions

Column #	Irrigation events			Water infiltration		
	Fall	Winter	Spring	Fall	Winter	Spring
	(mm)	(mm)	(mm)	(ml/day)	(ml/day)	(ml/day)
1	108	0	279	190	0	327
2	108	0	279	190	0	327
3	108	0	279	190	0	327
4	108	0	279	190	0	327

The recovered water samples from soil column effluent were analysed for pH, oxidation-reduction potential (ORP), temperature, conductivity, dissolved oxygen, chlorides, EM (HMX, RDX, TNT and many metabolites), and other by-products of EM (nitrate, nitrite and ammonium). Samples for chloride, nitrate, nitrite and ammonium were not preserved but samples for EM were preserved with sodium bisulphite (Thiboutot et al. 1997; Thiboutot et al. 2002).

3.2.2.2 Microcosm Tests

The microcosm tests were made with a series of small bottles (120 ml serologic bottles) containing the same quantity of a split sample of soil (20 g) contaminated with EM. All experiment bottles were performed in triplicate and were filled the same day thus indicating the beginning of the test (t_0). The first series of bottles was put in a controlled environment (10°C) with needles on the cap of the bottles to keep aerobic conditions throughout the test. This series was analysed for EM content in soil at different times to follow the degradation of EM. Eight sampling periods (t_1 to t_8) were planned according to the degradation rates, and at each selected period a set of three bottles was removed from the series and placed in a freezer at -20°C to stop the degradation. The second series of bottles were spiked with ring labelled [^{14}C]TNT and [^{14}C]HMX and were followed to

evaluate the mineralisation that is a complete degradation of TNT and HMX into CO₂. A KOH trap (0.5 ml KOH 1N) was added to all bottles for CO₂ collection. Abiotic soil controls were prepared for both series by autoclaving selected soil samples twice for 30 minutes, with 24 hours intervals between autoclaving.

The soil used for the microcosm tests comes from the top of lysimeter boxes (first 15 cm). Two different soils were used, the first one (Soil 1) came from lysimeter box L2-50 that had a vegetation cover and the other soil sample (Soil 2) was from lysimeter box L3-100 that had a non vegetated soil surface. These soils were already contaminated with EM but not in sufficient concentration for the microcosm tests. Fresh soil from the same site and under the same condition of vegetation were taken and contaminated with Octol (70% by mass HMX with 1 to 10% RDX and 30% by mass TNT) in powder. Each soil was mixed with the Octol to have a concentration of 500 mg/kg or 350 mg/kg of HMX and 150 mg/kg of TNT in soil 1 and 2.

3.2.3 Analytic methods

For the water samples collected in the field (lysimeters), the measurement of parameters such as pH, temperature, conductivity, salinity, dissolved oxygen and oxydo-reduction potential (ORP) was made with specific probes (YSI 63: pH, conductivity, temperature; YSI 55: dissolved oxygen and Hanna Instrument HI 98201: ORP). For the water samples collected in the laboratory (soil columns), the measurement of dissolved oxygen, pH, conductivity, temperature and ORP was made with the YSI 556 multiprobe system.

Analyses of EM for field investigation and column tests were made at the Defence R&D Canada laboratory in Valcartier with EPA method 8330 by high performance liquid chromatography (HPLC) with a detection limit of 2 µg/L in water and 0.5 mg/kg in soil. The precision of the method was 7.3% in water and 13% in soil for HMX and 10.4% in water and 9% in soil for 2,4,6-TNT (EPA 1994). Analyses of EM for microcosm tests were made at the Biotechnology Research Institute laboratory in Montreal with the same method with a modification; each soil sample was freeze-dried instead of dried in air. Chloride analyses were made with an ion-selective electrode (Cole-Parmer cat.

no. U27504-08). Each measurement had a precision of $\pm 2\%$. Nitrate and nitrite were analysed by hydrazine reduction flow injection analysis colorimetry (QuickChem Method 10-107-04-2-A) on Lachat Instrument with modification to the method to an applicable range of 0 to 20 mg NO_3/L . The detection limit was 0.05 mg/L and the precision was $\pm 6\%$. The same instrument was used to analyse ammonium (QuickChem Method 10-107-06-2-B). The applicable range was 1 to 300 $\mu\text{g N/L}$, the detection limit was 3 $\mu\text{g/L}$ and the precision was $\pm 15\%$.

The grain size curve was made with a laser granulometer. The cation exchange capacity (CEC) was determined by the method of Chapman (1965). The hydraulic conductivity was determined from the grain size curve. Five different empirical formulas (Hazen, Slichter, Terzaghi, Beyer and USBR) were used according to their domain of applicability (Vukovic and Soro 1992). The total organic carbon (TOC) was determined according to the method of Environment Canada (1992). The iron content was determined by an extraction procedure according to the method of Tessier et al. (1979). The porosity of the soil in the column was calculated with bulk density and particle density. The particle density was measured using the pycnometer technique (Carter and Ball 1993).

3.3 Results

3.3.1 Field Investigations

3.3.1.1 Infiltration

The lysimeter boxes gave data on the quantity of water infiltrated in the soil. The precision of these data was dependent of the recovery of each sample. During the experiment, the volume of a few water samples was estimated because of occasional overflowing or loss in transport.

Water infiltration was not the same at 0.5 m depth as at 1 m depth (table 3.6). Also, water infiltration in site 3 was different from the other sites. The recovered water for the month of April represented 331 mm of water, more than all the precipitation since December.

This was probably attributable to a deficient installation or a leak in the installation. The data from this lysimeter box are not considered in the following discussion.

Table 3.6. Water infiltration in lysimeter boxes for a 327 days period

Site #	Lysimeter box	Water volume	Water column	Precipitation
		(ml)	(mm)	(mm)
1	L1-50	146 159	286.6	874
	L1-100	392 895	569.4	874
2	L2-50	171 682	381.5	874
	L2-100	281 749	541.8	874
3	L3-100	347 480	789.7	874

The infiltration curves showed a relatively constant difference between the infiltration at 0.5 m and 1 m depth (figure 3.7). The difference in infiltration was especially marked at the beginning of the infiltration period, in April 2001. This difference was attributable to the difference of water content in shallow (0.5 m depth) and deep (1 m depth) lysimeter boxes at the beginning of the test. In shallow lysimeters, water was drained before the soil had frozen. In deeper lysimeters (L1-100 and L2-100), a part of the water contained in soil was drained slowly until January and then, the outlet tubing froze. The other part of the water was drained rapidly when the tubing thawed, at the spring snowmelt, explaining the rapid infiltration in April (figure 3.7). The infiltration curve of the lysimeter box L1-50 suddenly stops to go up probably in September. The explanation could be related to a leak in the box or an obstruction in the outlet tubing but these hypotheses have not been verified at the end of the experiment.

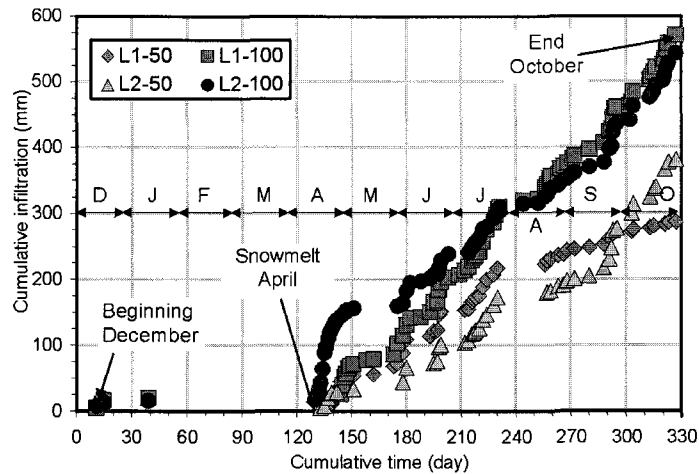


Figure 3.7. Cumulative infiltration in each lysimeter box.

These data gave an average infiltration of 445 mm of water over 327 days. The rain gauge installed at the Arnhem range recorded data of precipitation between December 2000 and April 2001. The data logger became unusable after April. Additional precipitation data was from the weather station of Environment Canada located at the military base. These showed a total precipitation of 874 mm of water (snow and rain) over the 10 months study. For the duration of the experiment, an average of 50% of precipitation infiltrated the soil at a depth between 0.5 and 1 m. This large fraction is due to the blocking of runoff above the lysimeter boxes by the wooden frame. The wooden frame was fixed to the plastic sheet, at the soil surface, to limit the runoff outside the lysimeter box. There is also low evapotranspiration on barren or low vegetation soil above the lysimeters. Infiltration rates above lysimeters are representative of normal rates found at the site.

3.3.1.2 Tracer Test and EM Analyses

Recovered water samples showed chloride concentration between 0 and 600 mg/L (figure 3.8). These concentrations, mostly under 350 mg/L (1% of seawater concentration), showed that density did not seem to have significant effect on chloride transport but this effect was not more deeply investigated. The breakthrough curves for chlorides had an initial increase in April followed by a prolonged tail (figure 3.8).

Considering the error associated with the concentration measurement, chloride recovery for site 1 was $78.1 \pm 1.5\%$ and $56.2 \pm 1.4\%$ for lysimeter boxes L1-50 and L1-100. Recovery for site 2 was $83.4 \pm 1.7\%$ and $84.9 \pm 1.7\%$ for lysimeter boxes L2-50 and L2-100 (figure 3.9). Error in measurement caused a variation in the mass recovery estimated at ± 350 mg. The recovery, for each water sample, was calculated according to the following equation:

$$Recovery = \frac{Chloride\ Concentration\ (mg/L) * Total\ Volume\ Water\ Sample\ (L)}{Initial\ Chloride\ Mass\ Over\ Lysimeter\ Box\ (mg)} * 100$$

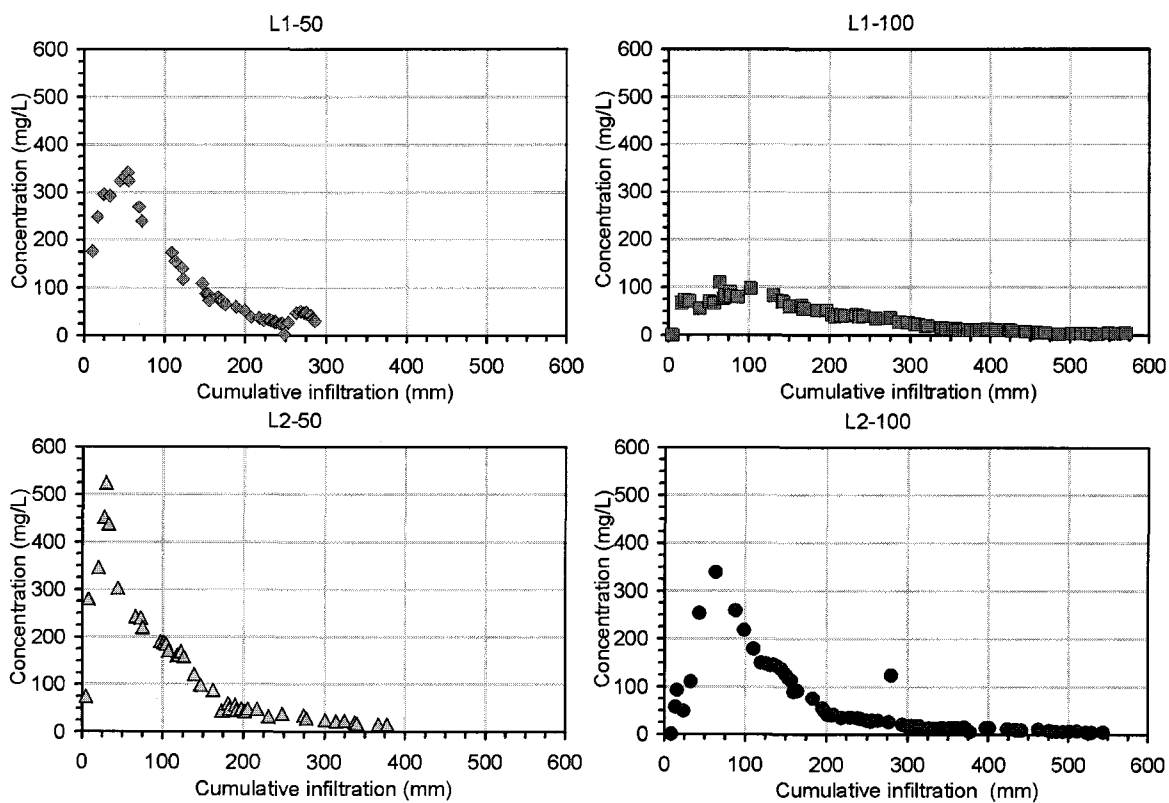


Figure 3.8. Breakthrough curves for lysimeter boxes experiment

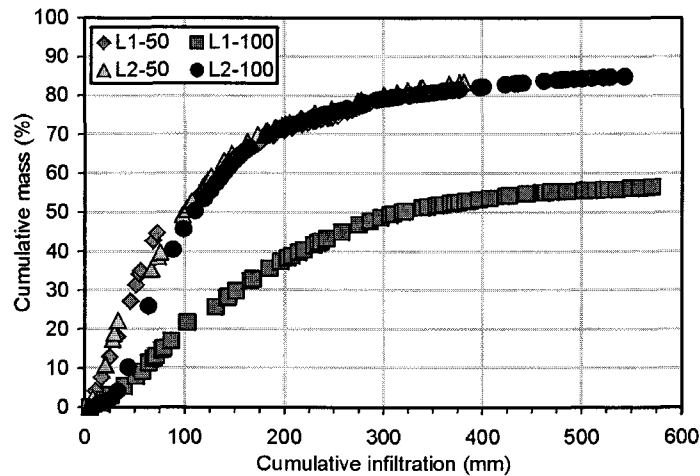


Figure 3.9. Chloride recovery for lysimeter boxes experiment

The low recovery in lysimeter box L1-100 may be due to inadvertent runoff to the outside of the box during the spring snowmelt when the soil was frozen at a moment where there was no infiltration. This explanation was not verified. The breakthrough curves (figure 3.8) confirm the deficit in chloride.

The EM analyses showed HMX in most samples with concentrations from 0 to 160 $\mu\text{g/L}$. Concentrations were below the EPA drinking concentration limit, 400 $\mu\text{g HMX/L}$ (EPA 2002). There is no water standard for HMX in drinking water in Canada. HMX concentration was not related to the water sample volume. The concentration seems to follow three general trends associated to a specific dissolution event of HMX in Octol (figure 3.10). Some concentrations observed in lysimeter boxes L1-50 and L1-100 were higher than the general curves. They may be attributable to a rapid preferential infiltration in soil or to a rapid infiltration along the plastic sheet. Dissolution kinetics of HMX in the Octol could not be calculated because water content around the Octol flakes temporally changed. Dissolution kinetics also depends on grain size or surface area of HMX in the Octol.

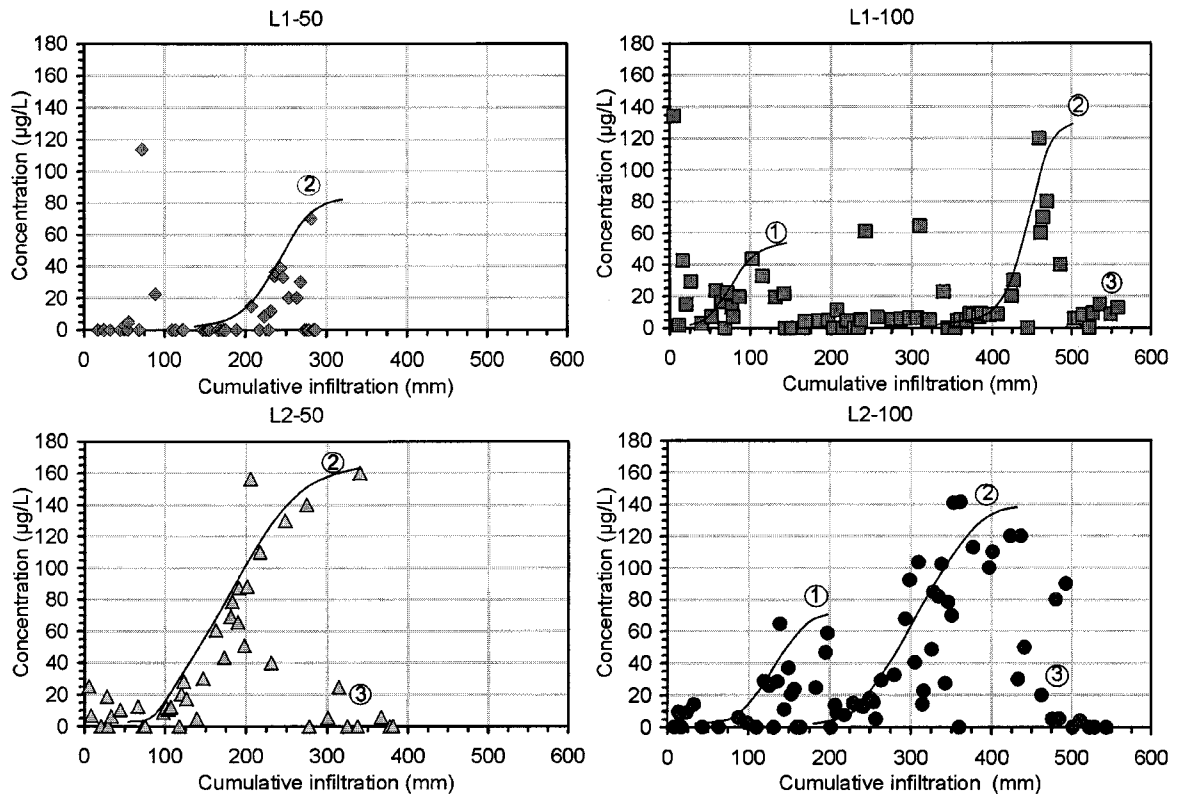


Figure 3.10. HMX trends associated to the HMX dissolution during the winter infiltration (1), the spring snow melt (2) and the summer infiltration (3) in water recovered in lysimeter boxes

Considering the error associated with the concentration measurement, the mass of HMX dissolved in the water samples represents $0.007 \pm 0.001\%$, $0.043 \pm 0.003\%$, $0.042 \pm 0.003\%$ and $0.058 \pm 0.005\%$ of the total mass of HMX spread as solid flakes of Octol (15.4 g HMX), which correspond to a mass of 1.1 ± 0.08 mg, 6.63 ± 0.49 mg, 6.42 ± 0.47 mg and 8.98 ± 0.65 mg of HMX (figure 3.11) for lysimeter box L1-50, L1-100, L2-50 and L2-100 respectively.

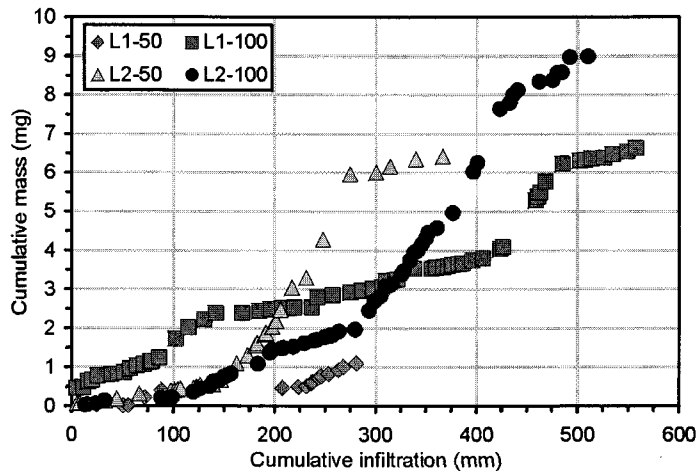


Figure 3.11. Cumulative mass of HMX recovered in infiltrated water in lysimeter boxes

RDX was detected in only three water samples. Two samples came from the lysimeter box L2-100, one in December ($2.1 \mu\text{g/L}$) and another one in August ($16.4 \mu\text{g/L}$). The third sample ($2.6 \mu\text{g/L}$) was taken in lysimeter box L1-100, also in December. TNT was detected in seven samples, among which five were taken in December and January in lysimeter boxes L1-100 (3.8 to $15.3 \mu\text{g/L}$) and L2-100 (44.3 to $73.1 \mu\text{g/L}$), one in L2-50 in April ($2.9 \mu\text{g/L}$) and the last one in August in lysimeter box L2-100 ($34.3 \mu\text{g/L}$). EM metabolites were never detected but nitrogen by-products were detected in almost all samples. The concentrations of nitrite and nitrate were between 0 and $30 \text{ mg NO}_3/\text{L}$. Results from each lysimeter box seemed to have different patterns. L1-50 and L2-50 showed an increase in nitrite and nitrate followed by a decrease to zero. L1-100 and L2-100 showed almost constant concentrations during the whole experiment. All samples from lysimeter box L2-100 had low concentrations of nitrate and nitrite (0 to $2.5 \text{ mg NO}_3/\text{L}$). Ammonium concentrations ranged between 0 and $500 \mu\text{g N/L}$, but some samples reached a concentration of $3576 \mu\text{g N/L}$. No particular pattern was distinguishable in the variation of ammonium concentration. These results showed an existing background in nitrate, nitrite and ammonium in the soils studied.

Octol flakes were recovered at the end of the experiment. The mass recovered over each lysimeter box varied from one box to another (table 3.7). Only few Octol flakes were found at the soil surface of lysimeter box L1-50 at the end of the experiment. This could

explain the low mass recovery (6.79 g) compared to those of other lysimeter boxes. Octol flakes were analysed for EM. No RDX was found in Octol flakes but HMX and TNT were found. The percentage of HMX ranged from 58.1 to 79.8. An analysis of a fresh Octol flake gave 61.3% of HMX and 38.7% of TNT. The fact that no RDX was found and that fresh flakes analysis did not present expected proportion (70% by mass HMX with 1 to 10% RDX and 30% by mass TNT) might be the result of co-elution problem.

Table 3.7. Octol mass recovery at the soil surface at the end of the lysimeter tests

Lysimeter box	Initial mass	Final mass	HMX	TNT	Ratio HMX/TNT
	(g)	(g)	(%)	(%)	
L1-50	22.0	6.79	64.2	35.8	1.8
L1-100	22.0	16.34	76.4	23.6	3.2
L2-50	22.0	12.66	58.1	41.9	1.4
L2-100	22.0	17.50	79.8	20.2	4.0
Fresh flake	---	---	61.3	38.7	1.6

Soil samples were analysed for EM content. Concentration of HMX and TNT varied in soil sample for each site (table 3.8 and figure 3.12). Two samples (one from lysimeter box L1-50 and another from lysimeter box L2-50) showed higher concentration than the others. These samples were not considered in the average. This was probably attributable to the presence of very tiny flakes of Octol in soil sample or to a poor mixing of the sample. Samples deeper than 15 cm also showed HMX at low concentration, between 0 to 1.3 mg HMX/kg. Error associated to concentration measurement was ± 2 mg/kg.

Table 3.8. EM concentration at the end of the experiment in the first 15 cm soil samples

Lysimeter box	HMX concentration (mg/kg)		TNT concentration (mg/kg)		Ratio HMX/TNT
	Average	Minimum/Maximum	Average	Minimum/Maximum	
L1-50	6.91	3.70/12.34	2.39	0.00/7.18	2.9:1
L1-100	2.63	2.23/3.63	0.00	0.00	---
L2-50	10.39	6.66/15.29	0.00	0.00	---
L2-100	10.93	5.89/18.48	0.26	0.00/1.02	42:1

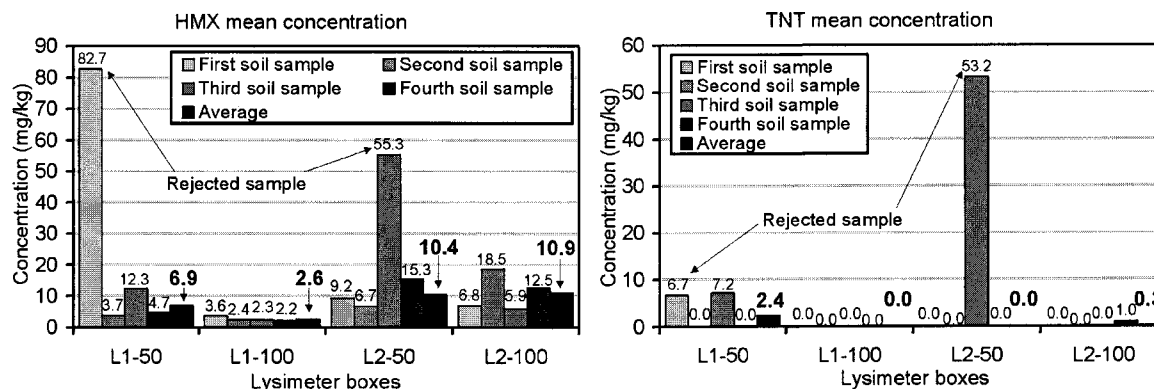


Figure 3.12. EM concentration at the end of the experiment in the first 15 cm soil samples

These results were compiled to make a mass balance of EM in the field test (table 3.9). Errors associated to concentration measurement generate a variation of $\pm 0.1\%$ on the total recovery. In average, the HMX and TNT were found in the Octol flakes in almost the same proportion (72% HMX and 28% TNT) as at the beginning of the experiment (70% by mass HMX and 30% by mass TNT). Preferential dissolution of TNT over HMX did not seem to occur even if there is a difference in solubility between TNT (110 mg/L) and HMX (1,21 mg/L) in water at 10°C (McGrath 1995). HMX and TNT were not all recovered, 69% of HMX and 59% of TNT was recovered. This means that there is adsorption or transformation of HMX and TNT. The majority of the HMX was still in the Octol flakes (9.5 g) while very few was recovered from the water (6 mg). This shows that Octol had a low dissolution rate. TNT was almost absent from soil (0.09 g) and at trace levels in water (0.09 mg), this means that TNT transforms.

Table 3.9. EM mass balance in field investigation

	L1-50		L1-100		L2-50		L2-100		Average	
	HMX	TNT	HMX	TNT	HMX	TNT	HMX	TNT	HMX	TNT
Initial mass in Octol (g)	15.4	6.6	15.4	6.6	15.4	6.6	15.4	6.6	15.4	6.6
Ratio (%)	70	30	70	30	70	30	70	30	70	30
Final mass in Octol (g)	4.36	2.43	12.5	3.86	7.35	5.31	14.0	3.53	9.54	3.78
Ratio (%)	64.2	35.8	76.4	23.6	58.1	41.9	79.8	20.2	71.6	28.4
EM mass in soil (g)	0.95	0.33	0.49	0.00	1.26	0.00	1.53	0.04	1.06	0.09
EM mass in water (mg)	1.10	0.00	6.60	0.07	6.42	0.004	8.98	0.28	5.78	0.09
Recovered mass (g)	5.31	2.76	13.0	3.86	8.62	5.31	15.5	3.57	10.6	3.87
Recovery (%)	34.5	41.8	84.3	58.5	56.0	80.5	100.7	54.0	68.9	58.7

3.3.1.3 Emissions of EM on the Arnhem range

Results allow the calculation of HMX emission into the environment. The infiltration events are represented by seven periods. The first period was the beginning of the winter time, followed by the spring snowmelt, the infiltration at the end of May to the end of June, the month of July, the mid-August to mid-September, the mid-September to the end of September and the month of October periods. An average emission of HMX was calculated for each period (figure 3.13). Results showed that the release was variable during the year and from a lysimeter box to another. Heterogeneity of results depend on the size of the Octol flakes, the distribution of flakes on the soil surface, the time of contact between water and Octol flakes and the preferential path of water in soil. Each of these points contributed to affect the HMX emission in the soil. Maximum release was reached at the beginning of fall for three of the four sites (L1-100, L2-50 and L2-100).

HMX emissions were used to calculate HMX mass fluxes in the environment. The mass flux was calculated according to the following equation:

$$\text{Mass flux} = \frac{\text{Recovered mass (mg)}}{\text{Area (m}^2\text{) * Period of time (day)}}$$

HMX mass fluxes, for an initial HMX mass of 15 400 mg over an average area of 0.5 m, were between 9.8×10^{-4} and 0.34 mg/m²·day for the time of the experiment (327 days) (table 3.10). An extrapolation for a year (365 days) gave an average HMX mass flux of 5.1 to 38.7 mg/m²·year (table 3.10). A percentage of 0.033% to 0.25% of the initial mass was released in the environment in one year. Considering these percentages, it will take more than 400 years to release all the HMX in the Octol put at the soil surface of each lysimeter box.

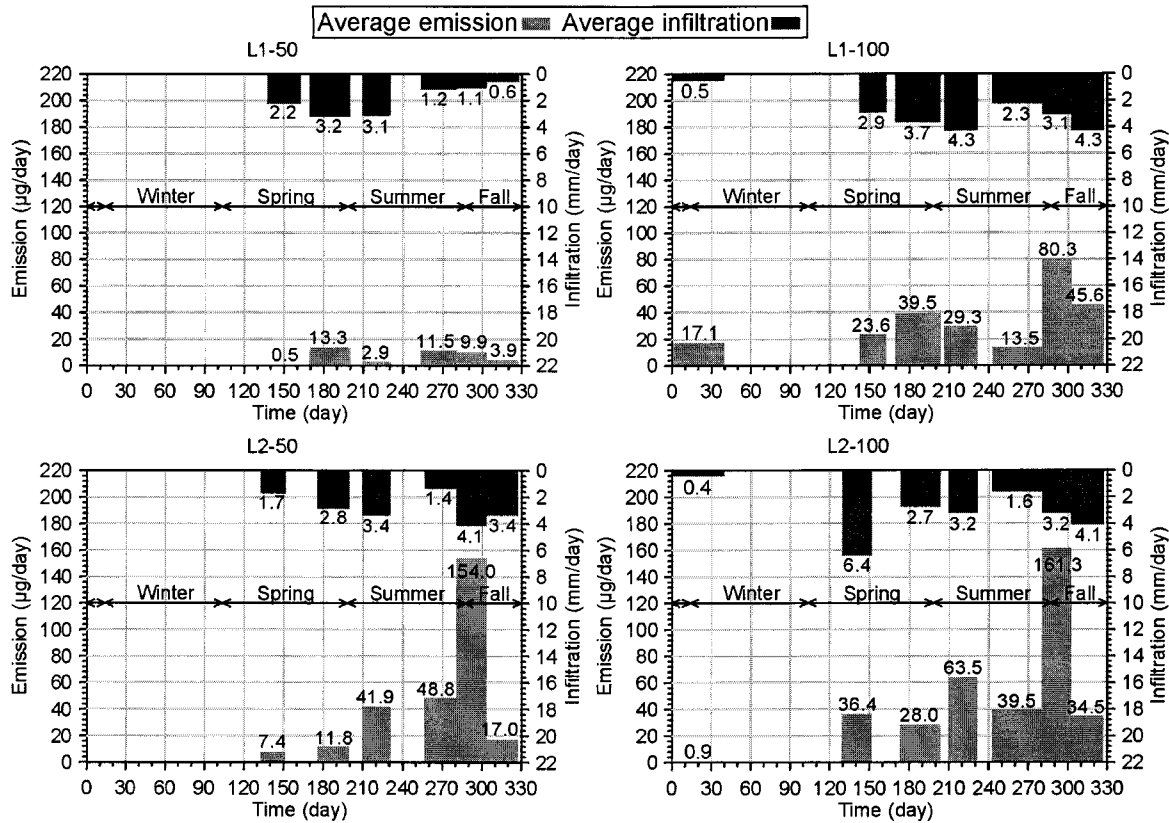


Figure 3.13. HMX emission in lysimeter boxes

Table 3.10. HMX release in water infiltrated in the lysimeter boxes

Lysimeter box	Minimum to maximum emission	Weighted average emission	Box surface	Minimum to maximum HMX mass flux	Weighted average HMX mass flux	Average HMX mass flux
	(µg/day)	(µg/day)		(m ²)	(mg/m ² -day)	
L1-50	0.5 to 13.3	7.3	0.51	9.8x10 ⁻⁴ to 0.03	0.014	5.1
L1-100	13.5 to 80.3	32.7	0.69	0.02 to 0.12	0.047	17.2
L2-50	7.4 to 154	47.6	0.45	0.02 to 0.34	0.106	38.7
L2-100	0.9 to 161.3	45.4	0.52	0.002 to 0.31	0.087	31.8

3.3.2 Laboratory Investigations

3.3.2.1 Soil Column Tests

The water balance showed that water spread on the top of the columns was almost entirely recovered at the bottom of the column. In the case of the Column 1 (C-1UV-50), the UV lamp placed over it caused significant evaporation because only 81% of the water

applied at its surface was recovered (table 3.11). The recovery of the water at the bottom of the column stopped between the two irrigation events for Columns 1 (C-1UV-50), 3 (C-3D-90) and 4 (C-4D-50). However, the water did not stop flowing between the two irrigation events in Column 2 (C-2D-331) but rather slowed down.

Table 3.11. Irrigation and recovered water in soil column tests

Column	Fall event		Spring event		Total	
	Irrigation	Recovery	Irrigation	Recovery	Irrigation	Recovery
	(mm H ₂ O)	(mm H ₂ O / %)	(mm H ₂ O)	(mm H ₂ O / %)	(mm H ₂ O)	(mm H ₂ O / %)
C-1UV-50	108	69 / 64	283	247 / 87	391	316 / 81
C-2D-331	116	---	280	---	396	380 / 96
C-3D-90	107	110 / 103	283	275 / 97	390	386 / 99
C-4D-50	109	101 / 93	284	284 / 100	393	386 / 98

In column tests, water samples from all column and undissolved flakes of Octol from columns C-1UV-50 and C-4D-50 were analysed. No soil samples were recovered for analyses. Water samples were analysed for chloride and EM content and flakes of Octol, only for EM content. Analyses of chloride content in each water sample showed that tracer arrived at the bottom of each column. Breakthrough curves of columns C-1UV-50, C-3D-90 and C-4D-50 showed an initial increase followed by a prolonged tail (figure 3.14). The peak was reached in the first irrigation event for the columns C-3D-90 and C-4D-50 and in the second irrigation event for the column C-1UV-50. Results from the tallest column (C-2D-331) showed that peak concentration was not reached after the second irrigation event (figure 3.14). Concentrations reached in the initial increase of the breakthrough curves were higher than 350 mg/L (1% concentration of seawater) indicating a possible effect of density on the chloride transport but this effect was not more deeply investigated.

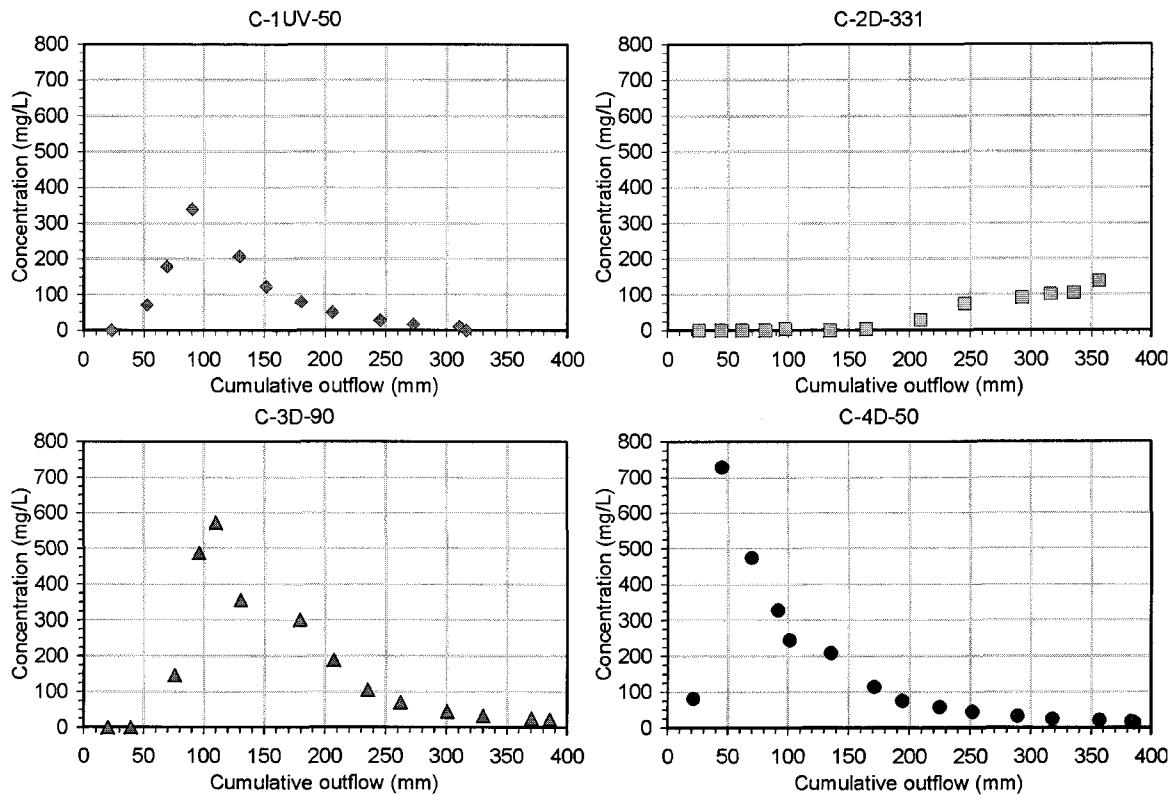


Figure 3.14. Chloride breakthrough curves for soil column tests

In two columns (C-3D-90 and C-4D-50), 100% of the chloride spread was recovered (figure 3.15). The presence of the UV lamp over the column C-1UV-50 caused the crystallisation of the tracer on the top of the column and less chloride went into solution. After the second irrigation event, only 45.1% of the tracer was recovered. In the tallest column (C-2D-331), only 26.8% of chloride were recovered (figure 3.15). Chloride took more time to reach the bottom of the column because this column was longer than the others.

HMX was present in samples in columns C-1UV-50 and C-4D-50 from the second irrigation event (figure 3.16). HMX was also detected in four water samples from column C-3D-90, in trace concentrations. No HMX was detected in water samples from column C-2D-331. In this latter case, chloride just started to be detected because the column was longer. This characteristic also influenced the detection of HMX in water samples. The decrease of the concentration of HMX was not due to a diminution of the irrigation rate.

The cumulative mass of HMX continuously increase during the second irrigation event (figure 3.17).

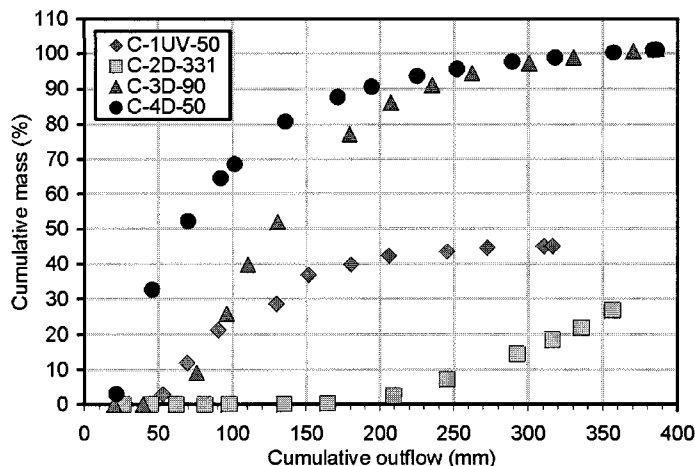


Figure 3.15. Recovery of chloride in soil column tests

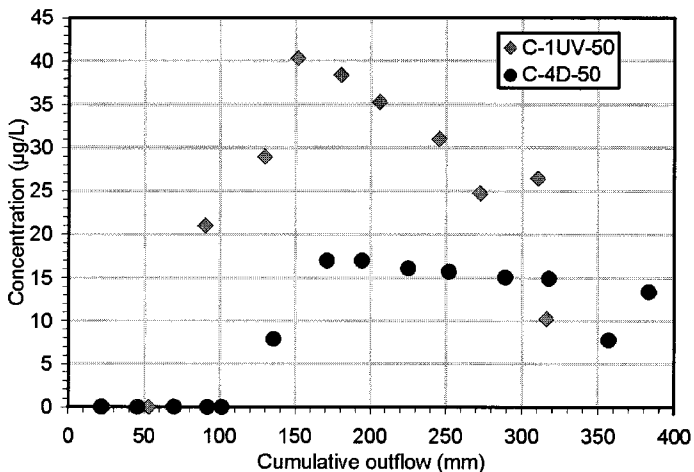


Figure 3.16. HMX breakthrough curves in soil column tests

Recovered mass in columns C-1UV-50 and C-4D-50 were 0.261 and 0.135 mg respectively. Considering the column surface (0.0353 m^2) and the duration of the experiment (125 and 133 days respectively), an average mass flux of 0.059 and $0.029 \text{ mg/m}^2\cdot\text{day}$ was evaluated for columns C-1UV-50 and C-4D-50 respectively. These mass fluxes were in the same range as those observed in lysimeter boxes.

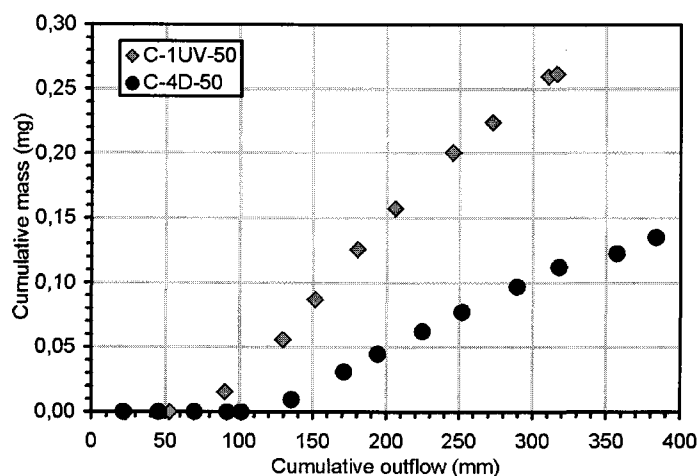


Figure 3.17. HMX cumulative mass in soil column tests

Two transformation products of TNT (2A-DNT and 4A-DNT) were detected in water samples (from the second irrigation event) but not in sufficient concentration to characterise them. These transformation products were detected in samples from columns C-1UV-50 and C-4D-50. No TNT and RDX were detected in water samples from the column tests.

Water samples were also analysed for nitrate, nitrite and ammonium. Nitrate and nitrite were only detected in the first water samples in columns C-1UV-50 and C-4D-50 (0.05 to 0.55 mg NO₃/L). Ammonium was also detected in the first water samples (3 to 32 µg N/L) for these two columns. In column C-3D-90, nitrate and nitrite were detected in almost all samples (0.08 to 1.93 mg NO₃/L), ammonium was detected in half of the water samples (6 to 42 µg N/L). Nitrate and nitrite were detected in all samples from column C-2D-331 (0.35 to 3 mg NO₃/L) and ammonium was detected in the first five samples (3 to 17 µg N/L). Nitrate, nitrite and ammonium were already present in the soil prior to the experiments. These compounds were thus detected before the chloride peak in the column effluent.

Octol flakes from the two small columns were analysed for EM content. Results show that Octol flakes lost 0.18 g and 0.15 g of their initial mass in the columns C-1UV-50 and C-4D-50 respectively (table 3.12). Percentage of HMX in Octol flakes was higher than at the beginning of the experiment but the percentage of TNT decreased by almost half its

original value. Results also showed that no RDX was detected in Octol flakes, which might be co-elution problem an absence of RDX in this particular Octol lot.

Table 3.12. EM content in Octol flakes at the end of the column test

Column	Mass (g)		Percentage		Ratio HMX/TNT
	Initial	Final	HMX	TNT	
C-1UV-50	3.0	2.82	81.6	18.4	4.43:1
C-4D-50	3.0	2.85	80.1	19.9	4.03:1

3.3.2.2 Microcosms Tests

The microcosm tests were started in June 2002. Two different soils were used, one with vegetation and an organic content from topsoil of lysimeter L2-50 (Soil 1) and the second one from topsoil of lysimeter L3-100 with no vegetation and low organic matter (Soil 2). In the degradation experiment, the eight times of sampling were passed and soil were analysed for EM content. 80.1% of TNT degraded in Soil 1 after 167 days. The results were not the same in Soil 2 because the concentration in TNT increases in the last two sampling times. If all the sampling time were considered, 32.7% of the TNT degraded in Soil 2, if only the first six sampling time were considered, there was a degradation of 50.6% (figure 3.18).

The results for HMX did not allow to conclude on the degradation of HMX in the two soils. The concentration was almost always in the same range, except for Soil 2 that presents a higher concentration at the initial time zero (figure 3.18). This higher concentration may be the result of heterogeneity between the different split samples. Transformation products of TNT (2A-DNT and 4A-DNT) were found in all samples but their concentrations were higher in samples from Soil 1 (figure 3.18). In Soil 1, there was an increase of 7.6 mg/kg for the 2A-DNT in the first 70 days of the experiment and of 6.6 mg/kg for the 4A-DNT in the first 47 days. The production of transformation products decreased after. In Soil 2, the increase was smaller, 1.0 and 1.2 mg/kg for the 2A-DNT and 4A-DNT respectively, but continue to increase.

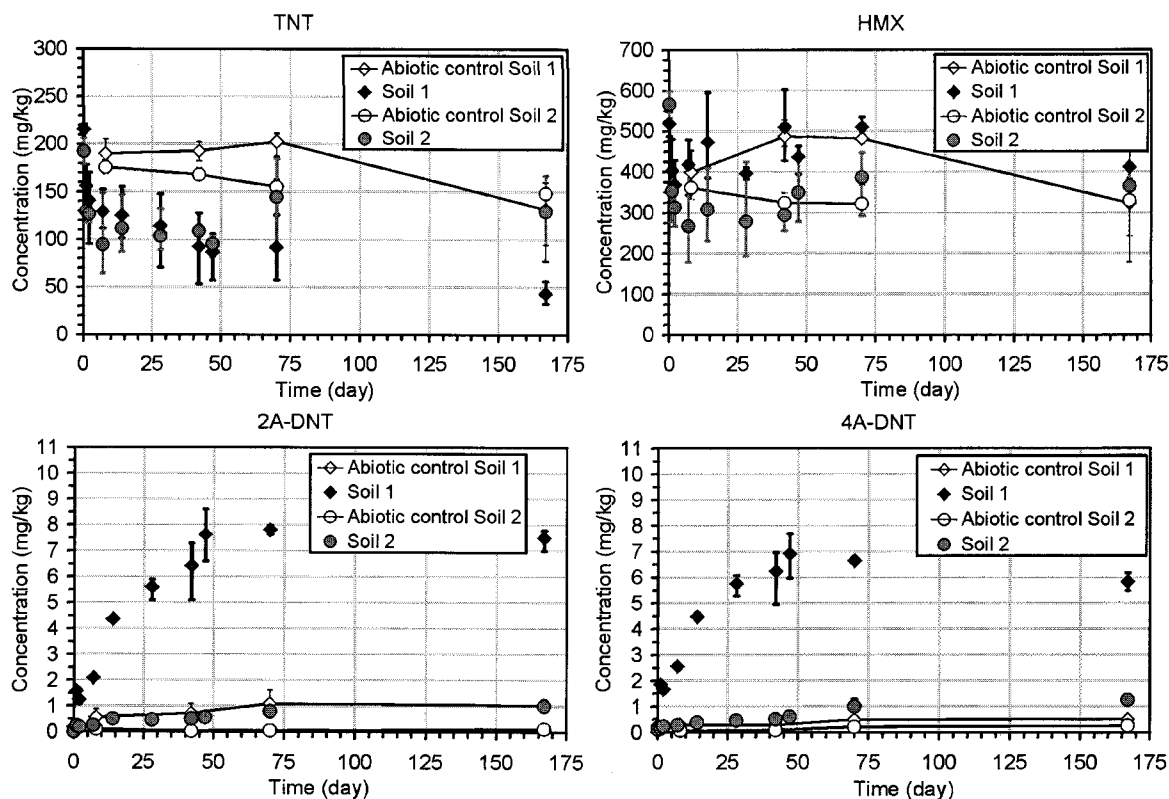


Figure 3.18. Microcosm results (Black and gray lines represented maximum and minimum values for Soil 1 and 2 respectively)

Transformation kinetics may be estimated with these results for TNT. Soil 1 showed a value of 0.0078 day^{-1} . This value was in agreement with the data obtained by Hains (2002) for a similar test (0.005 day^{-1} and 0.017 day^{-1}). Results for Soil 2 did not present a tendency to transformation (figure 3.19).

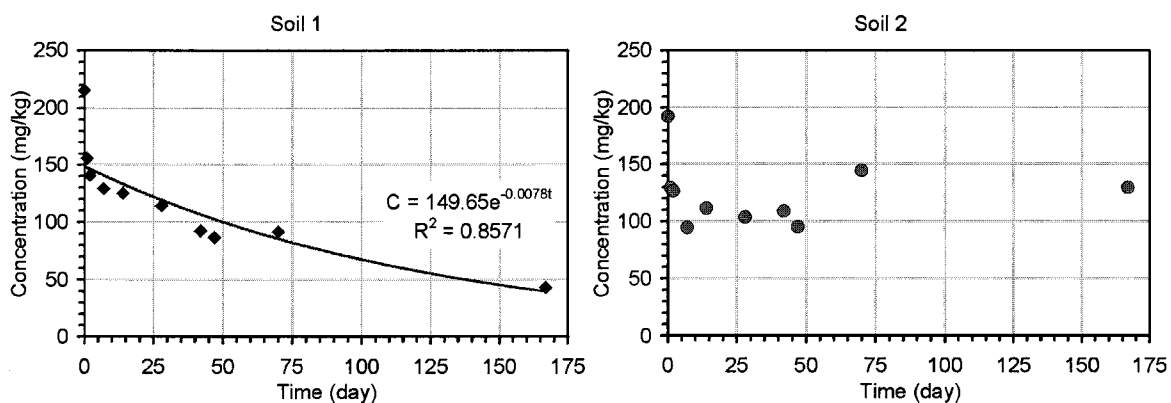


Figure 3.19. Transformation kinetics for TNT

Another series of microcosms was used to determine the mineralisation of EM. After 247 days, the mineralisation was weak for TNT and HMX. In Soil 1, 2.1% of TNT mineralised. In Soil 2, results showed 2.1% of mineralisation with a high percent error for the last point (figure 3.20). Results for TNT were in agreement with results of Hains (2002) who made the same experiment, microcosm tests with TNT under aerobic conditions in a till. For HMX, there was no significant difference between the two soils, 0.3% and 0.2% of mineralisation in Soil 1 and in Soil 2 (figure 3.20). Results for RDX (not showed here) showed 1.5% of mineralisation in Soil 1 and 0.1% in Soil 2.

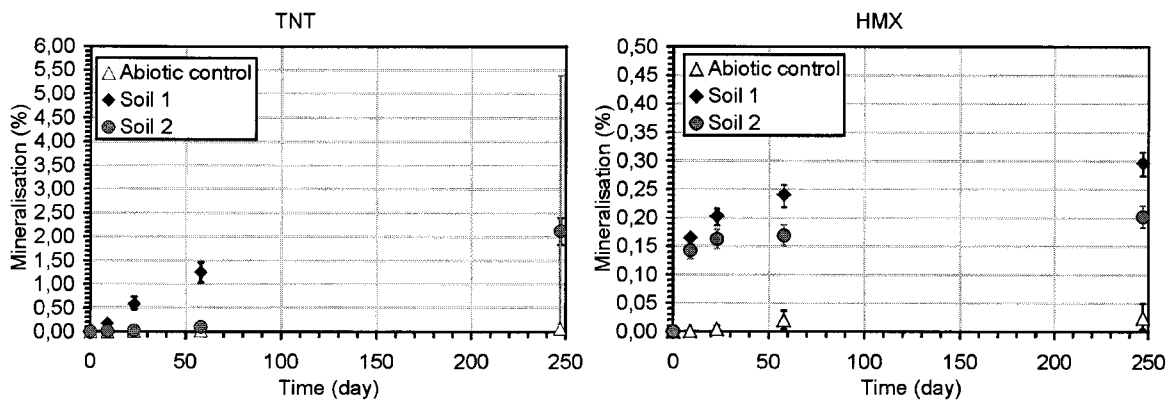


Figure 3.20. Mineralisation of TNT and HMX (Solid lines represented maximum and minimum values)

3.4 Discussion and conclusion

3.4.1 EM fate and behaviour in the vadose zone on Arnhem range

Explosives are relatively stable in surface soils because they are present as solid crystalline organic compounds (Pennington et al. 1995b in Brannon and Myers 1997). The processes affecting explosives (adsorption, transformation, degradation or mineralisation) are active primarily in the aqueous phase and therefore may be limited by dissolution kinetics (McGrath 1995). Volatilisation is an insignificant environmental pathway for TNT, HMX and RDX due to their low vapour pressures and Henry's constant (McGrath 1995).

3.4.1.1 TNT and HMX dissolution in Octol

Analysis of Octol flakes from field investigations showed that the average proportion of HMX and TNT was almost the same that at the beginning of the test. Results from laboratory test showed that HMX had a higher proportion, 80%, than at the beginning. In the production of Octol, solid HMX crystals are mixed into liquid TNT and the mixture subsequently is allowed to harden (Lynch 2002). TNT is interconnected and continuous and even though representing less mass, it has a greater exposed area than the encapsulated HMX (Lynch 2002). This description allowed concluding that TNT should dissolve more rapidly than HMX when water is continually in contact with Octol.

Results from laboratory tests clearly showed the preferential dissolution process. Results from field experiment were not as clear. The average data showed no preferential dissolution, but results varied from one lysimeter box to another. Results taken separately indicated preferential dissolution of TNT in two cases and preferential dissolution of HMX in the two others (table 3.7). However, the two cases indicating preferential dissolution of TNT, were the ones where there was a better mass recovery (table 3.7). Octol flakes in the field were placed under varying temperature conditions that affect the dissolution kinetics, they were also submitted to moistening-drying cycle. All these

conditions affected the dissolution rates of component of Octol and maybe reduced the preferential dissolution.

3.4.1.2 TNT transport and transformation

TNT was almost undetected in water samples from both the field experiment and the column test. TNT was found in low concentration in the surface soil of the field experiment. These observations suggest that TNT transformed within the soil. However, they did not provide information on the transport of TNT in the vadose zone. Sorption is possible because it is required before transformation and only a portion of TNT sorption sites is involved in TNT transformation (Townsend and Myers 1996) but TNT sorption was not measured. TNT adsorption coefficient (K_d) was estimated with measured soil properties (cationic exchange capacity, total organic carbon and percentage of clay) (tables 3.2 and 3.3). Correlation exists between these properties and the K_d (Pennington and Patrick 1990; Harderlein et al. 1996). Soils from this study were compared to soils already studied for adsorption (Brannon et al. 1999). These studied soils present K_d values generally low (< 1 L/kg), indicating low sorption.

TNT transforms in two ways in an aerobic environment: degradation by oxidation of the methyl group (Major 1999) or a reduction of the nitro group (McGrath 1995). The oxidation is possibly mediated by the action of sunlight (Major 1999). In our laboratory study, one of the small columns (C-1UV-50) was placed under an UV light in order to assess the action of light (UV) on TNT transformation. The oxidation of the methyl group can produce trinitrobenzene (TNB) (Major 1999). However, the results from column C-1UV-50 like those from the lysimeter boxes did not show the presence of TNB in water or soil samples. Consequently, degradation by oxidation does not seem to be the main transformation pathway for TNT under the conditions prevailing in the field and laboratory experiments. However, the beige-coloured Octol pieces subjected to UV rays (Column C-1UV-50 and field investigations) turned red during the experiment indicating a possible oxidation of TNT.

TNT reduction may occur in soil column and microcosm tests because of the presence of two transformation products of TNT (2A-DNT and 4A-DNT). TNT reduction was not observed in field investigations. Concentrations associated with the transformation products may have been too low in water samples and, therefore, undetected during the analyses. This does not mean that no reduction occurred. Reduction, like oxidation, may be a result of TNT phototransformation (McGrath 1995 and Brannon et al. 1999) but the TNT reduction may also be due to the action of micro-organisms (Schackmann and Müller 1991; McGrath 1995). TNT transformation products were detected in water from the column tests under UV light (C-1UV-50) and the other kept in the dark (C-4D-50), so the observed TNT reduction is probably caused by micro-organisms. TNT degradation observed in microcosm tests may also be associated with micro-organisms. Also, TNT degradation decreased in the last microcosms sampled. A reduction of the viable micro-organisms population with time may be responsible for that situation but was not measured. The detection of nitrate, nitrite and ammonium in water samples from each field and laboratory investigation cannot be directly related to TNT transformation. These components were already present in soil before the experiment was undertaken.

TNT degraded under aerobic conditions, but did not have a significant mineralisation. In microcosm tests, only 2.1% of the TNT mineralised in soil with organic matter. Transformation products of TNT are possibly stabilised into the soil, either binded to biomass humic acid or polymerised (Hawari et al. 2000). Major (1999) showed that biological mineralisation of TNT is difficult and Townsend and Myers (1996) suspicion that it is not significant.

3.4.1.3 HMX and RDX

In the field study, HMX was detected in water and soil samples. In laboratory experiment, HMX was detected in water samples. These data show that HMX was dissolved and that its dissolution may be controlled by specific irrigation events like winter snowmelt. HMX arrived at the sampling point with a time lag compared to the irrigation event but retardation factor can not be evaluated due to unsaturated conditions and variation in

water infiltration. This delay may be attributable to the slow dissolution kinetics of HMX in Octol flakes and to some sorption even if sorption was supposed to have a minimal effect on the HMX transport in the soil (Card and Autenrieth 1998). The adsorption and desorption of HMX are dependant on the organic carbon present in the soil (Card and Autenrieth 1998). They note that 0.5% of the HMX present in a soil-water environment is sorbed to soil for each 1% of organic carbon. Thus, a small quantity of HMX could be sorbed in soil from lysimeter boxes because the value of TOC never reaches 1%.

The collected data from microcosm tests showed that HMX probably did not transform or degrade under aerobic conditions. These tests also showed that minimal mineralisation occurred. HMX is supposed to be similar to RDX, both of them being nitroamines. RDX biodegradation is believed to be important only under anaerobic conditions (McCormick et al. 1981; Myers et al. 1998). However, HMX degradation under aerobic conditions was reported in column tests (Greene et al. (1985) in Price et al. 1998). There are microbes that are able to degrade RDX and HMX under aerobic conditions if they have sufficient nutrients and carbon (Hallgrath et al. 1997).

3.4.1.4 Conceptual model

The field and laboratory data lead to a conceptual model (table 3.13) for the fate and the behaviour of EM in the vadose zone at the Arnhem range. The preferential dissolution of TNT over HMX in Octol flakes should be add to the processes taking place at the soil surface, like the oxidation of TNT by the sun (photodegradation).

Table 3.13. Conceptual model of EM behaviour at the Arnhem Range

Processes	Vadose zone			
	TNT		HMX	
	Observations	Interpretations	Observations	Interpretations
Transformation	Presence of transformation products (2A-DNT and 4A-DNT) in water samples from column test. Low mineralisation in microcosm tests	Biodegradation of TNT but no mineralisation	No degradation and low mineralisation in microcosm tests	No transformation under aerobic condition
Adsorption	Low concentration in soil samples	Little or no adsorption	Presence of HMX in soil samples	HMX adsorbed in the first soil centimetres
Transport	Few groundwater samples containing TNT	TNT present in water due to a little mass of TNT not degraded	Low concentration in water samples Delay in the arrival of HMX	Low concentration of HMX in water related to the low dissolution kinetic and HMX delay related to specific dissolution events

3.5 Main conclusions

The slow and irregular releases of EM from Octol flakes in the vadose zone were due to the low dissolution kinetics and the intermittent presence of water at the soil surface. In the Octol, TNT was supposed to dissolve faster than the HMX, because of its higher solubility and its larger surface of contact with water.

TNT in solution disappears in the studied environment, it was almost absent in water samples. TNT may be mainly transformed into 2A-DNT and 4A-DNT but is not mineralised. The transformation products may be bounded to the soil component without any further mineralisation.

HMX is detected in water samples but the concentration found was always under the standard limit for drinking water, 400 µg/L (EPA 2002). Results suggest that, under the Arnhem range conditions, HMX is not degraded or mineralised. HMX was slowly released from the Octol flakes and delayed in the vadose zone. The most important HMX emission was observed during the beginning of the fall period and resulting from the

spring snowmelt dissolution event. Delay between the dissolution and the recovery is due to intermittent flushing related to specific dissolution event more than to its adsorption by the soil.

The average HMX mass flux in the environment has been calculated in between 5.1 and 38.7 mg/m²-year for an initial mass of 15 400 mg of HMX at the soil surface (\approx 120 mg/kg of HMX in the first 15 cm of the soil).

The majority of the EM in solution was found in the first 15 cm of the soil. Groundwater contamination can thus be minimised by yearly surface soil cleanup around the targets at the training range. Also, more experiments should be conducted to study the behaviour and the toxicity of the TNT metabolites and about the dissolution of HMX in Octol under field conditions in order to better understand the processes affecting EM behaviour.



CHAPITRE 4

MODÉLISATION NUMÉRIQUE

Un modèle numérique a été utilisé afin de mieux comprendre les résultats obtenus des essais de terrain et du laboratoire. L'écoulement et le transport de contaminants en conditions non saturées représentés par les équations de Richards ou l'équation advection-dispersion (basée sur la loi de conservation de la masse et la loi de Fick) sont utiles pour donner un aperçu du comportement de l'eau et des contaminants dans les sols même s'ils ne prennent pas en compte l'influence de certains phénomènes comme l'écoulement préférentiel dans les macropores, la variation spatio-temporelle du flux et les processus comme l'effet d'hystérèse ou les processus irréversibles (van Genuchten et Jury (1987) dans McGrath 1995).

Les résultats obtenus à partir des essais dans les casiers lysimétriques L2-100 et L2-50 de même que ceux obtenus de l'essai dans la colonne 4 (C-4D-50) ont été simulés. Cette modélisation a pour but de déterminer les paramètres d'écoulement et de transport des chlorures et du HMX sous forme dissoute associés à la zone non saturée présente sur le champ de tirs Arnhem. La modélisation devrait aussi permettre de mieux comprendre le comportement du HMX au niveau de sa solubilisation à la surface du sol et de son transport dans la zone non saturée.

4.1 Choix et description des paramètres du modèle

La modélisation a été faite avec le modèle numérique VS2D (Lappala et al. 1993; Healy 1990), un modèle pouvant simuler l'écoulement et le transport dans des conditions partiellement saturées représentatives de la zone vadose. Dans ce modèle, l'écoulement a été développé en combinant la loi de conservation de la masse avec une forme non linéaire de la loi de Darcy (Lappala et al. 1993). La partie transport est assumée par une équation d'advection-dispersion basée sur la loi de conservation de la masse et sur la loi

de Fick (Healy 1990). Ce modèle est disponible gratuitement sur le site Internet du United State Geological Survey (USGS) (<http://water.usgs.gov/software/vs2di.html>).

Le modèle VS2D permet de simuler l'écoulement et le transport en deux dimensions en considérant une épaisseur unitaire. Certains paramètres du modèle comme les unités, le type de modèle capillaire (van Genuchten, Brooks-Corey ou Haverkamp), les schémas d'interpolation des opérateurs de dérivées du modèle de transport : «centré dans l'espace» (*centered in space*) ou «vers l'arrière dans l'espace» (*backward in space*) et «centré dans le temps» (*centered in time* (méthode de Crank-Nicholson)) ou «vers l'arrière dans le temps» (*backward in time (fully implicit scheme)*), le type de conditions hydrauliques initiales (profil à l'équilibre, pression ou teneur en eau imposée), les options de résolution des itérations et le type de données de sortie doivent être déterminés avant de dessiner le domaine.

Le domaine possède des dimensions définies (largeur et hauteur). D'autres paramètres comme les types de sol, les conditions hydrauliques, les conditions initiales de concentration, les périodes de recharge, le maillage et les points d'observation, s'il y a lieu, doivent également être attribués au domaine. C'est à l'intérieur d'une période de recharge que les conditions d'écoulement (taux d'infiltration nul, taux d'infiltration constant entrant ou sortant, pression constante) et de transport (concentration de la solution ou de la limite à l'entrée et à la sortie) sont définies aux limites du domaine.

4.2 Modélisation des essais de terrain

Seuls les essais réalisés sur les casiers lysimétriques du Site 2 (L2-100 et L2-50) ont été modélisés. Les données d'infiltration et de transport provenant de ces deux casiers présentent des ressemblances qui permettent des comparaisons. Ce n'est pas le cas des casiers lysimétriques du Site 1. Comme il a été mentionné lors de l'analyse des résultats au Chapitre 3, les données d'infiltration du casier L1-50 ne semblent pas complètes à la fin de l'essai et les données de transport du traceur du casier L1-100 montrent qu'il y aurait probablement eu des pertes.

4.2.1 Paramètres du modèle des casiers L2-100 et L2-50

Les paramètres de base utilisés dans le modèle sont résumés dans le tableau 4.1. Le modèle est conçu selon un profil de saturation initiale à l'équilibre ou en régime permanent comme si la nappe d'eau se situait à la base du casier lysimétrique. Le modèle capillaire choisi correspond à la fonction de van Genuchten (1980). Pour le transport, les options «centré dans l'espace et vers l'arrière dans le temps» ont été choisies. L'option «vers l'arrière dans le temps» est un peu moins précise que celle «centré dans le temps», mais elle permet de réduire considérablement l'oscillation reliée à la convergence de la solution.

Tableau 4.1. Paramètres utilisés dans le modèle

Paramètres	Choix
Unités de longueur	Centimètres
Unités de temps	Jours
Unités de masse	Milligrammes
Profil de saturation initial	À l'équilibre
Modèle capillaire	van Genuchten
Schémas d'interpolation des opérateurs de dérivées dans l'espace	Centré
Schémas d'interpolation des opérateurs de dérivées dans le temps	Vers l'arrière

4.2.1.1 Propriétés du domaine du modèle des casiers L2-100 et L2-50

Deux dimensions du domaine peuvent être spécifiées (largeur et hauteur), l'épaisseur étant unitaire. Ainsi, pour représenter la surface réelle du casier lysimétrique, il a fallu considérer une largeur beaucoup plus grande que la réalité. En fait, elle correspond à la surface réelle divisée par l'épaisseur unitaire. Par contre, comme la simulation est en 1-D, il n'aurait pas été obligatoire de représenter la surface réelle du casier lysimétrique. La hauteur du domaine correspond à la profondeur moyenne du casier lysimétrique. Dans les deux essais, le maillage du domaine correspond à des bandes horizontales de 0,5 cm. Il n'y a qu'un seul type de sol à l'intérieur du domaine, un sable, et la concentration initiale en contaminant est nulle (tableau 4.2 et figure 4.1). Un point d'observation a été placé dans la première couche du domaine, dans les premiers 0,5 cm du sol, afin de pouvoir observer ce qui est simulé par le modèle en surface du sol.

Tableau 4.2. Propriétés du domaine du modèle des casiers L2-100 et L2-50

Paramètres	L2-100	L2-50
Largeur du domaine (cm)	5 200	4 500
Hauteur du domaine (cm)	91,8	48,5
Épaisseur des éléments du maillage (cm)	0,5	0,5
Nombre de textures de sol	1	1
Concentration initiale du domaine (mg/cm ³)	0	0

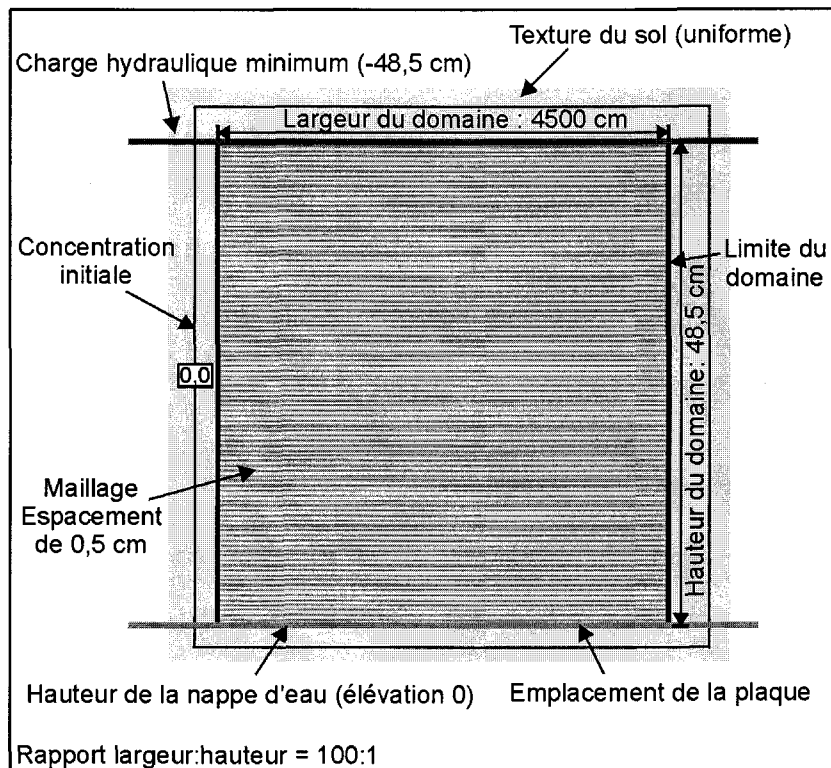


Figure 4.1. Caractéristiques du domaine associées au casier lysimétrique L2-50

4.2.1.2 Paramètres de l'écoulement du modèle des casiers L2-100 et L2-50

Les propriétés du sol ont été évaluées à partir de données théoriques ou empiriques ou dérivées à partir de données de laboratoire. Ces valeurs ont servi de base pour la modélisation. La porosité d'un sable moyen a été évaluée à 39% (Todd 1980). La conductivité hydraulique saturée a été évaluée à partir des courbes granulométriques, ce qui donne un intervalle entre 1 400 cm/jour et 4 700 cm/jour ($1,6 \times 10^{-4}$ et $5,4 \times 10^{-4}$ m/s). La teneur en eau résiduelle a été établie à 0,025. Cette valeur se rapproche de celle de Panian (1987) et se situe dans l'intervalle des valeurs mesurées par Rawls et al. (1992)

cité dans le rapport de l'EPA (1998). Les paramètres de van Genuchten utilisés initialement sont ceux dérivés par Mailloux et al. (2001) dans son modèle numérique du champ de tirs Arnhem. Toutes les valeurs initiales (données initialement utilisées dans le modèle) et finales (données du modèle calé) des paramètres du modèle sont présentées au tableau 4.3.

Tableau 4.3. Paramètres de l'écoulement dans le modèle des casiers L2-100 et L2-50

Paramètres de l'écoulement	L2-100		L2-50	
	Initial	Final	Initial	Final
Porosité (-)	0,39	0,39	0,39	0,39
Conductivité hydraulique saturée (cm/jour)	1400	1800	1400	1800
Conductivité hydraulique saturée (m/s)	$1,6 \times 10^{-4}$	$2,1 \times 10^{-4}$	$1,6 \times 10^{-4}$	$2,1 \times 10^{-4}$
Anisotropie (-)	1	1	1	1
Emmagasinement spécifique (-)	0	0	0	0
Teneur en eau résiduelle (-)	0,025	0,025	0,025	0,025
<i>Paramètres de van Genuchten</i>				
α (cm^{-1})	0,185	0,243	0,185	0,243
β (-)	3,7	1,86	3,7	1,86

4.2.1.3 Paramètres de transport du modèle des casiers L2-100 et L2-50

Les paramètres de transport du traceur (Cl^-) utilisés dans le modèle des casiers L2-100 et L2-50 sont présentés au tableau 4.4 et ceux du HMX pour le casier L2-100 au tableau 4.5. Le transport du HMX dans le casier L2-50 n'a pas été modélisé. Selon Fetter (1999), la dispersivité longitudinale correspond typiquement à un dixième de la distance à parcourir. Les valeurs initiales de dispersivité sont donc de 10 cm pour l'essai sur le casier L2-100 et de 5 cm pour l'essai sur le casier L2-50. Lors de la modélisation du transport en une dimension, comme pour le cas d'essai en colonne, seule la dispersivité longitudinale est importante (McGrath 1995) et la dispersivité transversale est considérée négligeable. La diffusion moléculaire dépend, entre autre, du type de composé et de la température du milieu. Pour les deux composés étudiés, Cl^- et HMX, la valeur initiale choisie est nulle parce que l'influence de la diffusion sur le transport n'était pas connue et que dans le cas de l'essai de traceur, il était plus facile d'ajuster la dispersion avec une valeur de diffusion nulle. Comme le traceur (Cl^-) est conservatif et qu'il ne semble pas y avoir d'évidences de dégradation dans le cas du HMX, la constante de dégradation est aussi considérée nulle.

L'adsorption est un phénomène simulé pour le HMX, par contre, la valeur du coefficient de partition n'est pas connue, donc la valeur initiale a été posée à zéro.

Tableau 4.4. Paramètres de transport du chlorure dans le modèle des casiers L2-100 et L2-50

Paramètres de transport	L2-100		L2-50	
	Initial	Final	Initial	Final
Dispersivité longitudinale (cm)	10	7	5	5
Dispersivité transversale (cm)	0	0	0	0
Diffusion moléculaire (cm ² /jour)	0	0,06	0	0,06
Constante de dégradation (jour ⁻¹)	0	0	0	0

Tableau 4.5. Paramètres de transport du HMX dans le modèle du casier L2-100

Paramètres de transport	L2-100	
	Initial	Final
Dispersivité longitudinale (cm)	7	7
Dispersivité transversale (cm)	0	0
Diffusion moléculaire (cm ² /jour)	0	5
Constante de dégradation (jour ⁻¹)	0	0
Masse volumique (g/cm ³)	1 800	1 800
Coefficient de partition (K_d) (cm ³ /g)	0	3×10^{-6}

4.2.1.4 Périodes de recharge du modèle des casiers L2-100 et L2-50

L'essai sur le terrain s'est étalé sur une période de 327 jours, du mois de décembre au mois d'octobre de l'année suivante. Dans le modèle numérique, l'essai a été séparé en 121 périodes de recharge dans le cas du casier L2-100 et en 103 périodes dans le cas de L2-50. Le nombre de périodes attribuées à chacun des casiers est différent dû au fait que certaines d'entre elles ont été regroupées dans le cas du casier L2-50. Chaque période a une durée différente à l'intérieur de laquelle chaque journée est séparée en intervalle de temps de 0,2 jour.

Les périodes de recharge correspondent aux conditions de recharge observées sur le terrain. Ainsi, la première période correspond à l'épandage du traceur, viennent ensuite les mois de décembre à avril et enfin le reste des périodes correspond aux précipitations

estivales et automnales où chaque événement de précipitations est une période de recharge. Pour chaque période de recharge, un taux d'infiltration entrant différent avec une concentration nulle a été imposé à la limite supérieure du domaine, sauf lors de l'épandage du traceur et lorsque du HMX est mis en solution, c'est-à-dire lorsque les précipitations sont assez importantes pour solubiliser le HMX dans l'Octol (figure 4.2). Un écoulement nul a été imposé sur les limites de chaque côté du domaine (figure 4.2). Le même type de condition a été imposé à la limite inférieure du domaine pendant la période hivernale. À partir du printemps, une pression égale à zéro a été imposée à la limite inférieure (figure 4.2). Avec ce type de conditions, une concentration doit être imposée à la limite. Cette concentration est imposée égale à zéro. Par contre, cette valeur n'affecte en rien le bilan de masse, puisque le modèle ne considère pas cette concentration, mais celle de l'eau au dernier nœud du domaine, soit celle de la cellule précédente à la limite, située à 0,5 cm de celle-ci (Healy 1990).

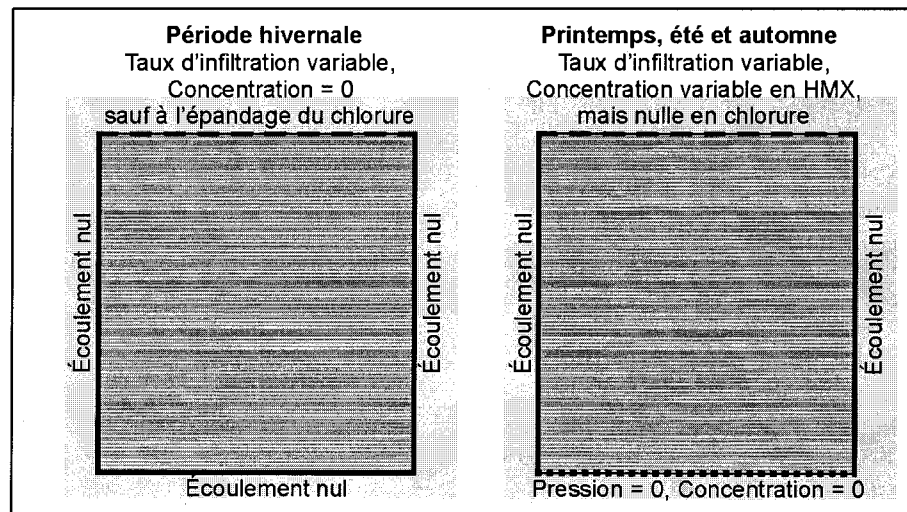


Figure 4.2. Conditions imposées aux limites du modèle des casiers

Les taux d'infiltration imposés aux périodes de recharge correspondant à l'hiver et à la fonte des neiges ont été assez difficiles à évaluer. Il est difficile d'expliquer ce qui s'est passé au niveau de l'infiltration pendant la période hivernale. Des études révèlent que les sols gelés non saturés ont la capacité de conduire l'eau (Stähli et al. 1999). Cependant, il

n'existe pas de taux d'infiltration théoriques dans les sols gelés. Ces phénomènes d'infiltration sont plutôt complexes. L'infiltration résulte de l'interaction entre les flux d'eau et de chaleur à l'interface neige-atmosphère, à l'intérieur de l'épaisseur de neige, dans la couche de sol gelé et dans le sol non gelé sous la limite gelée (Stähli et al. 1999). Les facteurs importants qui déterminent la vitesse d'infiltration sont la teneur en eau gelée dans le sol, la structure du sol et de la glace, la vitesse de la fonte des neiges, les propriétés hydrophysiques et thermiques du sol et l'énergie contenue dans l'eau d'infiltration (Stähli et al. 1999; Granger et al. 1984). Cependant, un taux d'infiltration plus élevé est observé lorsque les sols sont secs et un taux plus petit lorsque les sols ayant une teneur en eau élevée sont gelés (Kane et Stein 1983). L'infiltration possible peut aussi être évaluée à partir de méthodes numériques comme le «bilan d'énergie» (*Energy budget solutions*) ou l'«indice de température» (*Temperature index solutions*) (U.S. Army Corps of Engineers 1999). Ces méthodes exigent cependant un grand nombre de données (radiations, albédo, qualité thermique de la neige, température, pression, vitesse du vent, pression de vapeur, etc. pour la première méthode et coefficient de fonte et température pour la deuxième méthode) qui n'ont pas été mesurées pendant le déroulement de l'essai. Une série d'algorithmes a aussi été élaborée pour évaluer la fonte des neiges, certains sont basés sur les méthodes mentionnées plus haut auxquelles des modifications ont été apportées (Melloh 1999). Ces algorithmes demandent aussi un grand nombre de valeurs qui n'ont pas été mesurées. Zhao et Gray (1997) présentent aussi une méthode permettant d'évaluer l'infiltration due à la fonte des neiges. L'infiltration est fonction du degré de saturation des pores et de l'équivalent en eau du couvert de neige. Cette méthode exige d'avoir des données sur l'épaisseur du couvert de neige et sa densité.

Suite à la considération des études sur l'infiltration hivernale, le taux d'infiltration hivernal n'a pas été posé nul, mais très faible (0,001 cm/jour) et uniforme pendant tout l'hiver. Au printemps, les taux d'infiltration de la limite supérieure du domaine ont été ajustés manuellement dans le modèle pour donner la quantité d'eau récupérée à la base des casiers.

Les périodes de recharge de l'été et de l'automne correspondent aux précipitations observées. Comme cela a été mentionné au Chapitre 3, le pluviomètre installé sur le site a

cessé de fonctionner au mois de mai. Les précipitations qui sont réellement tombées sur le site pendant l'été et l'automne n'ont ainsi pas pu être mesurées directement. Les données de précipitation de la station météo de la base militaire de Valcartier ont été utilisées pour compléter l'information. Les données recueillies sur Arnhem pendant l'hiver indiquent qu'il existe une différence dans la quantité de précipitation mesurée sur la base militaire et sur le champ de tirs Arnhem. Ainsi, il tombe, en moyenne, environ 30% plus de précipitation sur la base militaire. Malgré cela, les données de précipitation de la base ont été utilisées pour les périodes de recharge. Les données ont été ajustées manuellement pour certaines périodes (17 au 27 juin et 20 août au 25 septembre), car il y avait visiblement trop d'eau qui entrerait dans le modèle. Une valeur égale à 70% des précipitations enregistrées sur la base militaire a été imposée comme recharge pendant ces périodes. Il est à noter que les périodes pendant lesquelles aucun échantillon d'eau n'a été prélevé à la base des casiers ont été considérées comme n'ayant pas de recharge, donc ont un taux d'infiltration nul et que le phénomène d'évapotranspiration n'a pas été pris en compte dans le modèle.

4.2.1.5 Application du traceur et du HMX dans le modèle des casiers L2-100 et L2-50

La première journée de simulation du modèle correspond à l'épandage du traceur sous forme dissoute. La concentration en chlorure a été fixée à 22 760 mg/L. Cette valeur permet de faire entrer dans le domaine une masse de 22 720 mg de chlorure comparativement à 22 760 mg lors de l'épandage sur le terrain.

Le cas du HMX est un peu plus complexe. Sur le terrain, l'épandage des morceaux d'Octol s'est fait en même temps que le traceur. Cependant, la présence de HMX sous forme dissoute dans le sol n'est pas aussi rapide que pour le traceur. La quantité de HMX dissous est fonction de la solubilité du HMX à l'intérieur des morceaux d'Octol et du temps de contact entre l'eau des précipitations et les morceaux d'Octol à la surface du sol. Le HMX se solubilise très lentement et le contact de l'eau est intermittent, rendant difficile l'évaluation de la masse mise en solution à chaque événement de précipitation. Dans le cas du casier L2-100, la valeur initiale de concentration en HMX de l'eau

d'infiltration équivaut à la concentration moyenne calculée à partir de la masse de HMX récupérée dans l'eau à la fin de l'essai et de la quantité d'eau infiltrée au total pendant cette période, soit 0,034 mg/L. En considérant une concentration moyenne, cela veut dire que le HMX est solubilisé de façon constante peu importe la quantité de précipitation en contact avec l'Octol. Cette concentration est appliquée dans le modèle lorsque la précipitation de la journée est plus élevée que 0,3 cm d'eau. Pour les journées sans précipitation significative (<0,3 cm d'eau), la concentration en HMX de l'eau d'infiltration est nulle. L'utilisation de cette valeur moyenne n'a pas permis d'obtenir les résultats observés sur le terrain. La concentration en HMX dans l'eau d'infiltration a plutôt été ajustée manuellement en tenant compte de la concentration en HMX mesurée dans l'eau récupérée à la base du casier lysimétrique. Cette méthode permet de mieux visualiser l'effet des précipitations (quantité et fréquence) sur la mise en solution du HMX à partir de l'Octol.

4.2.2 Résultats de la modélisation des essais dans les casiers L2-100 et L2-50

4.2.2.1 Modélisation de l'écoulement dans le modèle des casiers L2-100 et L2-50

La modélisation a permis de déterminer des paramètres d'écoulement pour les casiers lysimétriques L2-100 et L2-50 (tableau 4.3). Les paramètres ont d'abord été validés pour le casier L2-100, ils ont permis d'ajuster les précipitations selon l'infiltration observée, en particulier lors de la fonte du printemps. La figure 4.3 présente, pour le casier L2-100, les taux d'infiltration imposés au modèle à chaque période de recharge et les taux d'infiltration observés dans le modèle. Ces taux sont ceux qui sont observés dans la première couche du domaine, soit dans les premiers 0,5 cm du sol. La partie droite de la figure présente les taux d'infiltration en fonction de l'infiltration qui peut être observée dans la première couche du modèle, soit dans les premiers 0,5 cm du sol.

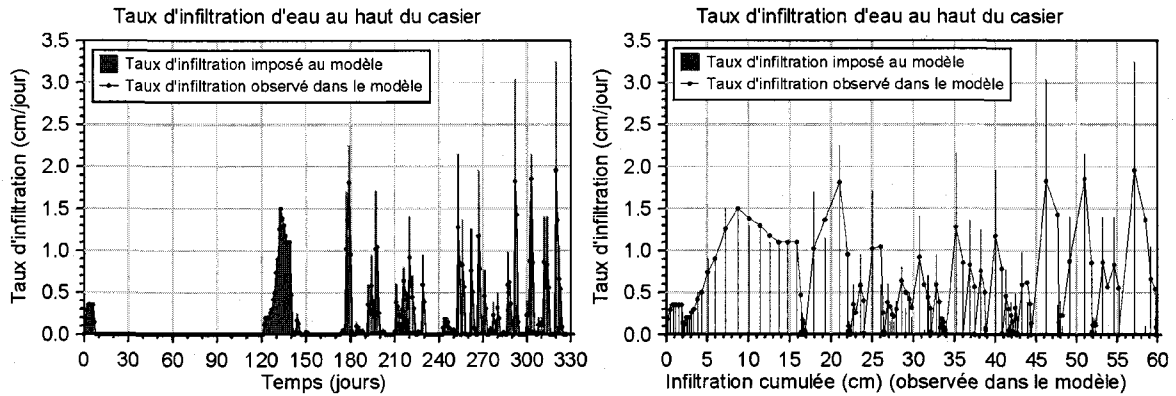


Figure 4.3. Taux d'infiltration d'eau au haut du casier L2-100 en fonction du temps et de l'infiltration cumulée au haut du casier observée dans le modèle

Dans le cas du casier L2-100, les paramètres permettent d'obtenir une infiltration assez représentative de ce qui a été observé sur le terrain (figure 4.4). L'infiltration mesurée sur le terrain correspond à 54,3 cm d'eau, tandis que le modèle donne une infiltration de 54,1 cm d'eau. La hauteur d'eau a été déterminée selon le calcul suivant :

$$\text{Hauteur d'eau} = \frac{\text{Volume d'eau récupéré (cm}^3\text{)}}{\text{Surface du casier (cm}^2\text{)}}$$

L'expérience est un peu différente dans le cas du casier L2-50. Les quantités d'eau d'infiltration dans le modèle sont plus élevées (42,3 cm) que ce qui a été observé sur le terrain (38,2 cm) (figure 4.4). Par contre, ces différences peuvent être expliquées par le fait que de l'eau a été perdue dans deux échantillons à 180 jours et à 268 jours. Les résultats du modèle ont permis de faire une approximation de ce qui a été perdu (2,7 cm d'eau ou 12,15 L) et une nouvelle courbe a été tracée (figure 4.4).

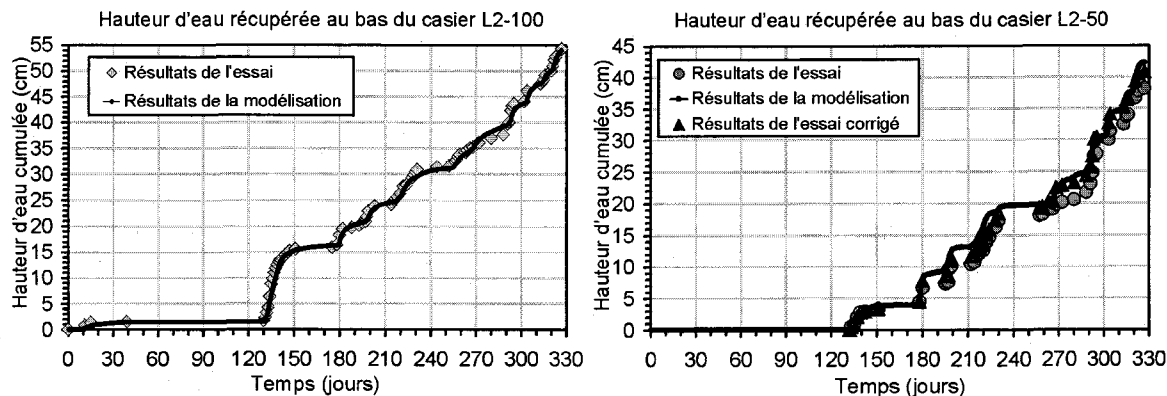


Figure 4.4. Hauteur d'eau récupérée au bas des casiers L2-100 et L2-50

4.2.2.2 Modélisation du transport du traceur et du HMX dans les casiers L2-100 et L2-50

Dans le cas de la modélisation du transport du traceur, les valeurs de dispersivité longitudinale calées sont semblables à celles du départ, tandis que les valeurs de dispersivité transversale et de diffusion sont restées nulles (tableau 4.4).

Les résultats obtenus pour le transport du traceur (chlorure) diffèrent dans les deux casiers. Dans les deux cas, le traceur a été appliqué à la première journée de simulation du modèle. La figure 4.5 présente la concentration imposée lors de cette période de recharge ainsi que la concentration observée dans le modèle. Cette concentration est celle qui est observée dans la première couche du domaine, soit dans les premiers 0,5 cm du sol. La partie droite de la figure présente la concentration en fonction de l'infiltration qui peut être observée dans la première couche du modèle, soit dans les premiers 0,5 cm du sol.

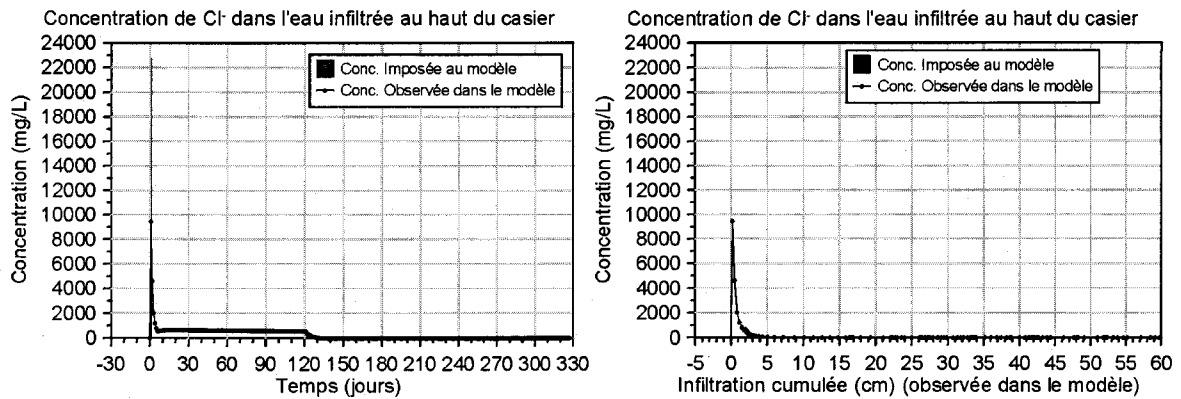


Figure 4.5. Concentration de chlorure dans l'eau d'infiltration au haut du casier L2-100 en fonction du temps et de l'infiltration d'eau cumulée au haut du casier observée dans le modèle

Les résultats obtenus pour le casier lysimétrique L2-100 suivent assez fidèlement les valeurs mesurées pendant l'essai (figure 4.6). Les concentrations observées dans le modèle s'ajustent bien aux concentrations mesurées dans les échantillons d'eau bien que le pic de concentration soit supérieur dans le modèle. La masse de chlorures récupérée dans le modèle est de 19 110 mg tandis que 19 316 mg ont été récupérés dans l'essai de terrain. Le taux de récupération est aussi comparable, soit 84,1% dans le modèle et 84,9% dans l'essai de terrain.

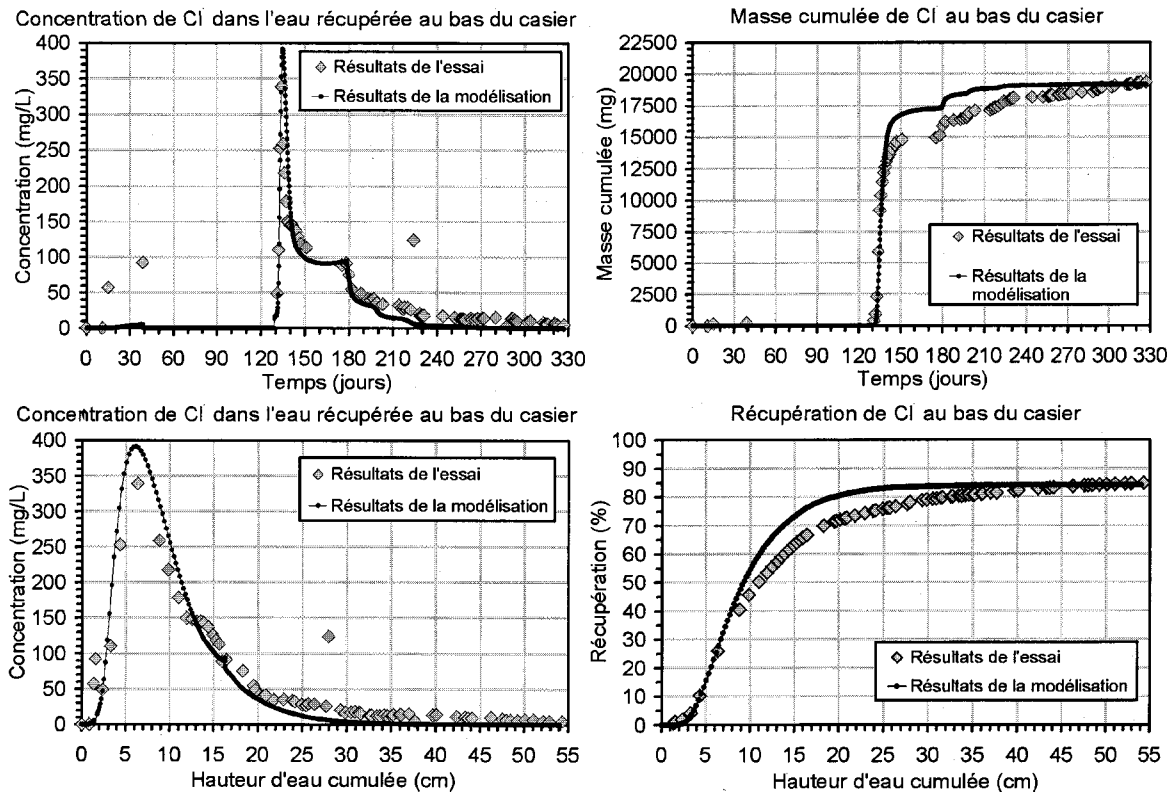


Figure 4.6. Concentration et masse de chlorure dans l'eau récupérée au bas du casier L2-100 en fonction du temps (haut) et de la hauteur d'eau cumulée au bas du casier (bas)

Par contre, les résultats de la modélisation du transport du traceur dans le casier lysimétrique L2-50 montrent des différences importantes (figure 4.7). La différence importante entre les résultats de l'essai sur le terrain et la modélisation est la concentration initiale de traceur appliqué à la surface. Pour obtenir les résultats précédents, il a fallu diminuer la concentration à 19 960 mg/L comparativement à 22 760 mg/L épandu lors de l'essai de terrain. Autres différences, les concentrations en chlorure sont beaucoup plus élevées dans le modèle et il y a une soudaine augmentation de la masse récupérée après la première longue période sèche (entre les jours 151 et 180). Enfin, le pourcentage de récupération avoisine le 100% dans le modèle comparativement à l'essai de terrain qui montrait seulement 83% de récupération.

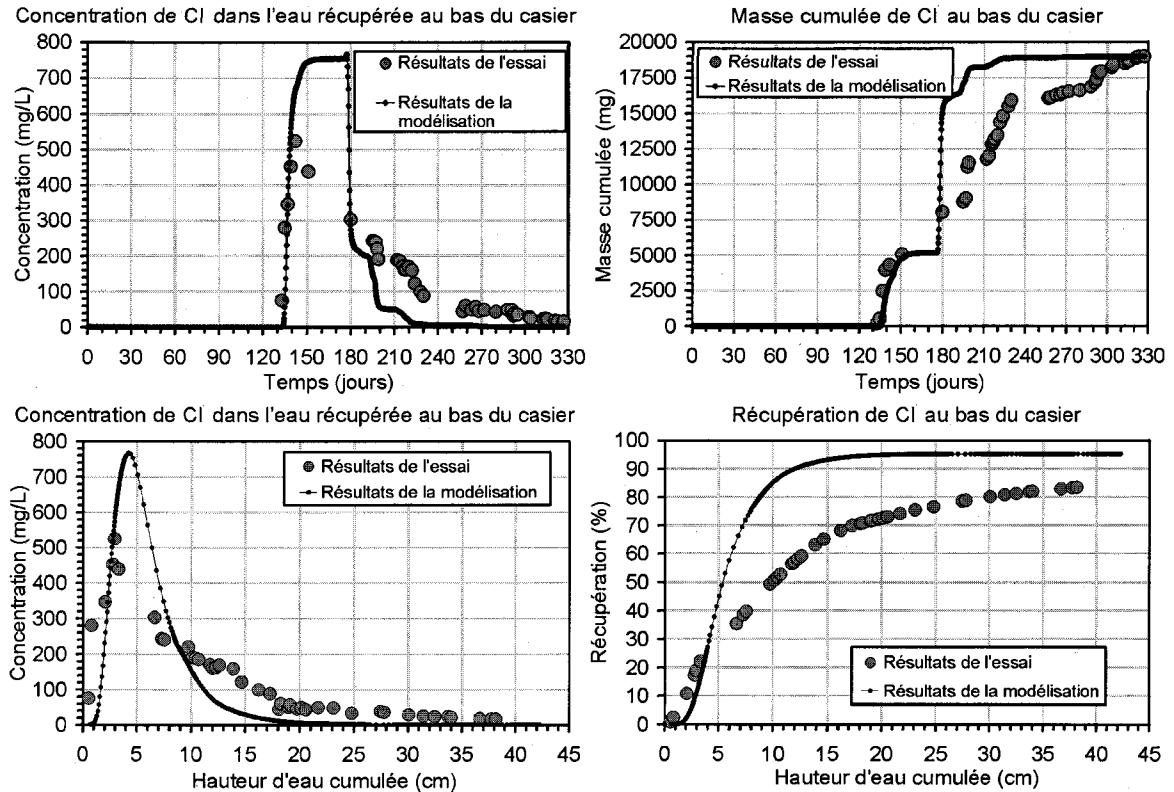


Figure 4.7. Concentration et masse de chlorure dans l'eau récupérée au bas du casier L2-50 en fonction du temps (haut) et de la hauteur d'eau cumulée au bas du casier (bas)

À ce stade-ci, il existe des hypothèses pour expliquer les différences observées dans les graphiques précédents (figure 4.7). D'abord, la perte d'une quantité assez importante d'eau à 180 jours. Cet échantillon devait avoir une concentration en chlorure considérable mais il n'est pas possible d'évaluer la quantité de chlorure perdue. Cette perte peut expliquer la différence observée dans les courbes de récupération. Ensuite, les hypothèses de base sur l'uniformité du sol et de la porosité et les propriétés du traceur (diffusion) ne sont peut être pas représentatives de la réalité. Il se peut aussi qu'il y ait eu des chemins préférentiels ou tout simplement une perte de chlorures à la surface du casier, faussant ainsi les résultats de l'essai de terrain.

En raison des résultats obtenus avec la modélisation de l'essai de traceur sur le casier L2-50, le transport du HMX dissous a été modélisé seulement pour l'essai sur le casier lysimétrique L2-100. La modélisation du transport du HMX dissous n'a pas été aussi

simple que celle du traceur. Plusieurs inconnues demeurent dans le cas du HMX, d'abord la quantité réelle de HMX mise en solution et le temps exact pour la solubilisation et ensuite les paramètres de transport comme la diffusion et le coefficient de partition. Les simulations initiales réalisées à l'aide de la concentration moyenne imposée à la surface ne sont pas parvenues à représenter ce qui s'est passé sur le terrain. Les concentrations ont plutôt été ajustées manuellement, tel que présenté à la figure 4.8. Cette figure montre les concentrations imposées lors des différentes périodes de recharge ainsi que les concentrations observées dans le modèle. Ces concentrations sont celles qui sont observées dans la première couche du domaine, soit dans les premiers 0,5 cm du sol. La partie droite de la figure présente les concentrations en fonction de l'infiltration qui peut être observée dans la première couche du modèle, soit dans les premiers 0,5 cm du sol.

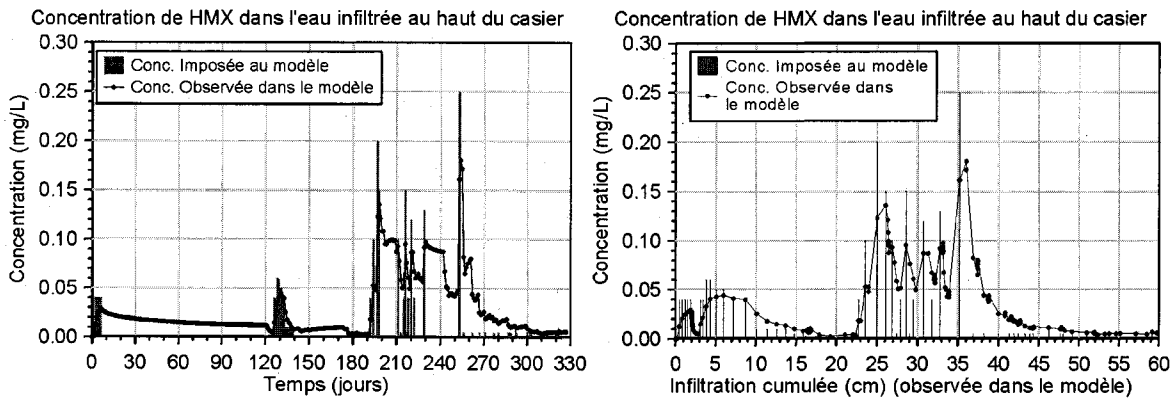


Figure 4.8. Concentration de HMX dans l'eau d'infiltration au haut du casier L2-100 en fonction du temps (gauche) et de l'infiltration d'eau cumulée au haut du casier observée dans le modèle (droite)

La comparaison de ce qui a été observé sur le terrain et ce qui a été simulé par le modèle est présenté à la figure 4.9. Dans cette simulation, 11,40 mg de HMX entrent dans le domaine et 9,44 mg sont récupérés à la sortie. L'essai sur le terrain a permis de récupérer 8,99 mg de HMX dissous dans l'eau. La modélisation a aussi démontré que le HMX était un peu retardé dans son transport, un coefficient de partition effectif ($K_{d\text{eff}}$) de $3 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$ a été déterminé. La diffusion n'est pas à négliger dans le transport du HMX, elle a été évaluée à $5 \text{ cm}^2/\text{jour}$ tel que suggéré dans McGrath (1995) (tableau 4.5). Il est

aussi bon de noter que la diffusion s'est révélée être assez importante lors des événements où aucune infiltration n'a été simulée, comme entre les jours 151 et 178 de même que pendant la période entre 230 et 252 jours.

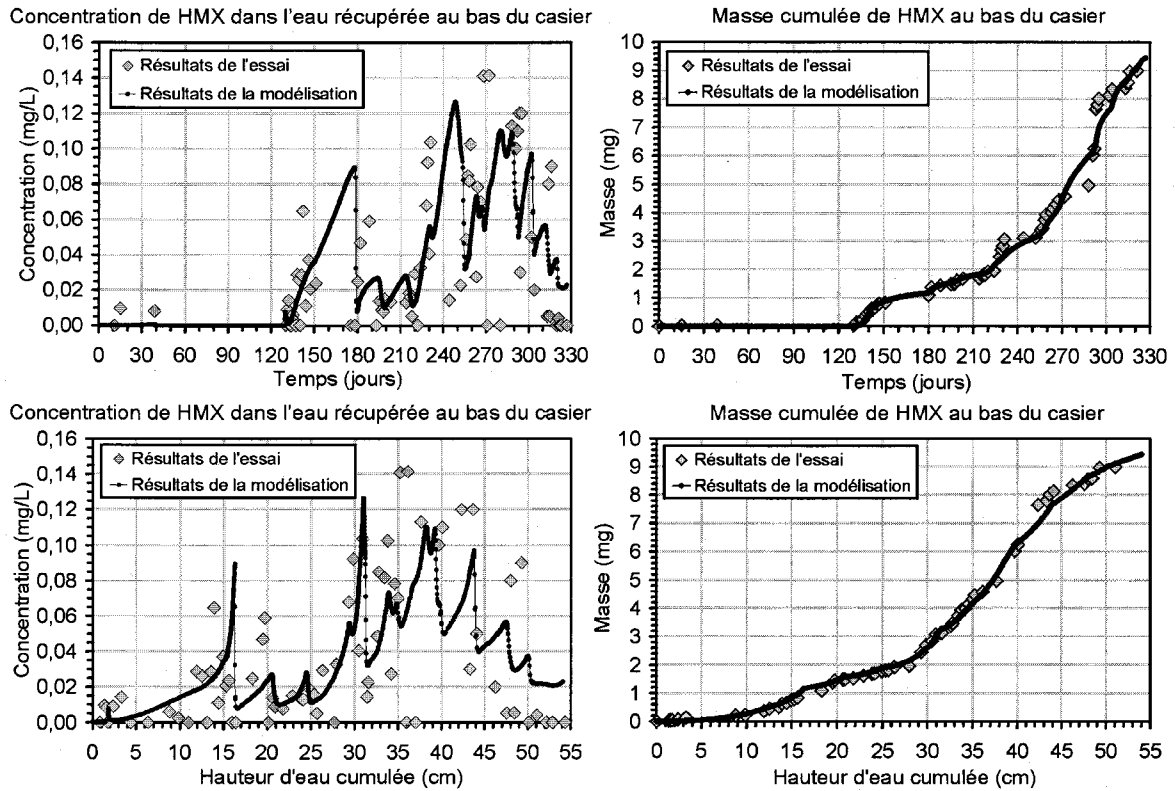


Figure 4.9. Concentration et masse de HMX dans l'eau récupérée au bas du casier lysimétrique L2-100 en fonction du temps (haut) et de la hauteur d'eau cumulée au bas du casier (bas)

4.2.2.3 Erreurs sur les bilans de masse dans le modèle des casiers L2-100 et L2-50

Le modèle numérique fournit à chaque modélisation l'erreur sur le bilan de masse. Il y a une erreur pour le bilan de l'écoulement d'eau et une erreur pour le bilan du transport de masse. Pour la modélisation des essais de terrain, le modèle a donné des erreurs acceptables dans le cas de l'écoulement d'eau et plus considérables dans le cas du transport (tableau 4.6).

Tableau 4.6. Erreurs sur les bilans de masse dans le casier L2-100

Casier lysimétrique		Erreur sur le bilan d'écoulement	Erreur sur le bilan de transport
		(%)	(%)
L2-100	Chlorure	-0,09	-1,92
	HMX	-0,09	5,47
L2-50	Chlorure	-0,46	-5,20

4.3 Modélisation des essais de laboratoire

Seulement un des essais de laboratoire a été modélisé, celui effectué sur la colonne 4 (C-4D-50). Les essais effectués sur les colonnes 2 et 3 présentent moins d'intérêts. Dans le cas de la colonne 2, les chlorures commençaient tout juste à être détectés à la base de la colonne tandis que pour la colonne 3, bien que la courbe des chlorures à la sortie de la colonne soit bien définie, le HMX n'a été que détecté et non quantifié. La colonne 1 aurait pu représenter un essai intéressant, mais la présence de la lampe UV amène aussi le facteur d'évaporation de l'eau bien difficile à quantifier lors de l'essai.

4.3.1 Paramètres du modèle de la Colonne 4

Les paramètres de base du modèle (unités, équation d'écoulement, paramètres de transport et profil de pression à l'équilibre) définis précédemment ont été conservés pour la modélisation de l'essai en colonne.

4.3.1.1 Propriétés du domaine du modèle de la Colonne 4

Le domaine a une hauteur de 50 cm et une largeur de 351,65 cm. Le maillage du domaine est divisé en bandes égales de 0,5 cm. Il n'y a qu'un seul type de sol à l'intérieur du domaine, un sable, et la concentration initiale est de zéro pour le traceur et le HMX. Un point d'observation a été placé dans la première couche du domaine, dans les premiers 0,5 cm du sol, afin de pouvoir observer ce qui est simulé par le modèle en surface du sol.

4.3.1.2 Paramètres de l'écoulement du modèle de la Colonne 4

La porosité du sol de la colonne a été déterminée lors de son remplissage et est égale à 40%. Les valeurs de conductivité hydraulique sont les mêmes que pour l'essai de terrain, soit entre 1 400 cm/jour et 4 700 cm/jour ($1,6 \times 10^{-4}$ et $5,4 \times 10^{-4}$ m/s). La teneur en eau résiduelle a aussi été fixée à 0,025. Les paramètres de van Genuchten utilisés pour débiter la modélisation sont ceux Carsel et Parrish (1988) inscrits dans les données génériques du modèle (tableau 4.7).

Tableau 4.7. Paramètre de l'écoulement dans le modèle de la Colonne 4

Paramètres de l'écoulement	Colonne 4	
	Initial	Final
Porosité (-)	0,4	0,4
Conductivité hydraulique saturée (cm/jour)	864	1 400
Conductivité hydraulique saturée (m/s)	1×10^{-4}	$1,6 \times 10^{-4}$
Anisotropie (-)	1	1
Emmagasinement spécifique (-)	0	0
Teneur en eau résiduelle (-)	0,025	0,028
<i>Paramètres de van Genuchten</i>		
α (cm^{-1})	0,143	0,42
β (-)	2,68	1,56

4.3.1.3 Paramètres de transport du modèle de la Colonne 4

Les paramètres de transport ont été posés comme pour la modélisation des essais de terrain, soit une dispersivité longitudinale de 5 cm, transversale de 0 cm, une diffusion moléculaire nulle et une constante de dégradation nulle (tableau 4.8).

Tableau 4.8. Paramètre de transport du traceur et du HMX dans le modèle de la Colonne 4

Cl ⁻	Initial	Final
Dispersivité longitudinale (cm)	5	6
Dispersivité transversale (cm)	0	0
Diffusion moléculaire (cm ² /jour)	0	0
Constante de dégradation (jour ⁻¹)	0	0
HMX	Initial	Final
Dispersivité longitudinale (cm)	6	6
Dispersivité transversale (cm)	0	0
Diffusion moléculaire (cm ² /jour)	0	0
Constante de dégradation (jour ⁻¹)	0	0
Masse volumique (g/cm ³)	1 750	1 750
Coefficient de partition effectif ($K_{d\text{eff}}$) (cm ³ /g)	0	1x10 ⁻⁶

4.3.1.4 Périodes de recharge du modèle de la Colonne 4

Les périodes de recharge correspondent aux périodes d'arrosage appliquées au laboratoire. Il y a en tout, 56 périodes de recharge dans le modèle où chaque journée est séparée en intervalle de 0,2 jour.

4.3.1.5 Application du traceur et du HMX dans le modèle de la Colonne 4

Comme pour l'essai de terrain, le traceur et le HMX ont été appliqués à la première journée de la simulation. La masse de chlorure appliquée est de 2 063,8 mg de Cl⁻, soit une concentration de 41 900 mg/L. La masse de HMX appliquée est plus difficile à définir compte tenu de la difficulté à évaluer la quantité de HMX dissous à chaque événement d'irrigation. Les premières simulations ont été faites en considérant une valeur moyenne de concentration ($\approx 0,01$ mg/L) calculée à l'aide de la masse de HMX retrouvée dans les échantillons d'eau et de l'eau infiltrée. Cette valeur de concentration a ensuite été ajustée manuellement en fonction des concentrations retrouvées dans les échantillons d'eau à la sortie. Cela a aussi permis de considérer l'effet de l'infiltration sur la mise en solution du HMX à partir de l'Octol.

4.3.2 Résultats de la modélisation de l'essai de la Colonne 4

4.3.2.1 Modélisation de l'écoulement de la Colonne 4

Les résultats de la modélisation de l'écoulement sont en général assez représentatifs de ce qui a été mesuré en laboratoire. Les taux d'infiltration d'eau mesurés en laboratoire ont été imposés au haut de la colonne. La figure 4.10 présente ces taux, de même que ceux qui sont observés dans la première couche du domaine, soit dans les premiers 0,5 cm du sol. La partie droite de cette figure montre les taux d'infiltration en fonction de l'infiltration qui peut être observée dans la première couche du modèle, soit dans les premiers 0,5 cm du sol. Ainsi, la quantité d'eau entrant dans le système est de 39,3 cm d'eau au laboratoire tandis que le modèle donne 39,47 cm d'eau (figure 4.11). À la sortie, les valeurs sont aussi comparables, soit 38,6 cm d'eau au laboratoire et 38,42 cm d'eau dans le modèle (figure 4.11). La modélisation a permis de déterminer des paramètres de van Genuchten pour le sable utilisé dans les colonnes (tableau 4.7).

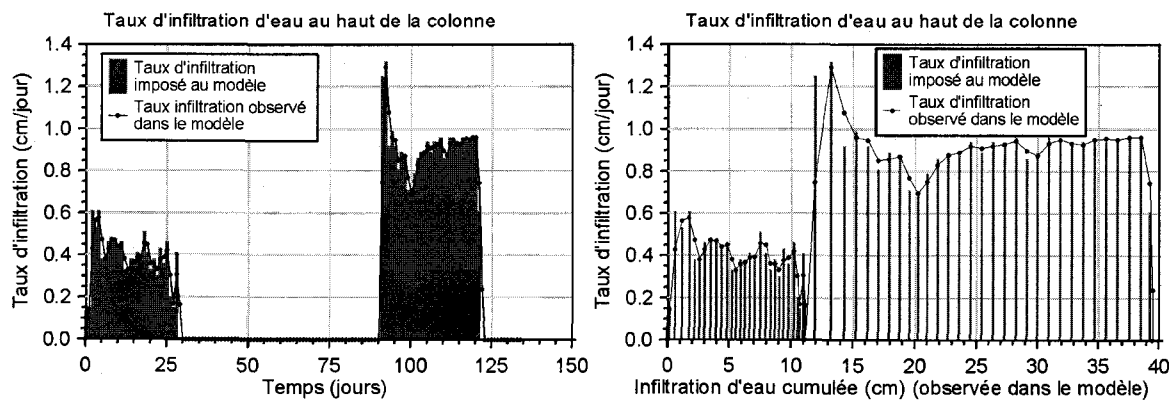


Figure 4.10. Taux d'infiltration d'eau au haut de la Colonne 4 en fonction du temps (gauche) et du taux d'infiltration d'eau cumulé au haut de la colonne observé dans le modèle (droite)

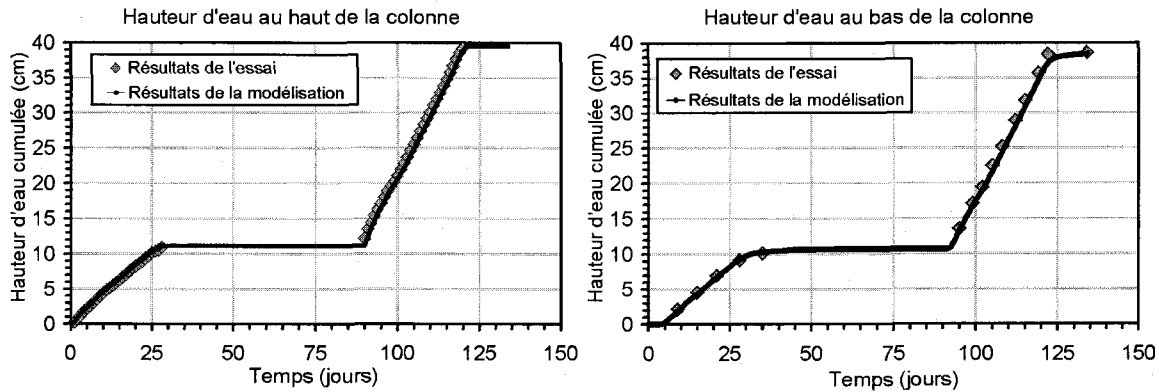


Figure 4.11. Hauteur d'eau cumulée au haut de la Colonne 4 et hauteur d'eau cumulée récupérée au bas de la Colonne 4 en fonction du temps

4.3.2.2 Modélisation du transport du traceur et du HMX dans la Colonne 4

La modélisation du transport du traceur montre aussi une allure très semblable à ce qui a été observé en laboratoire (figure 4.12). La masse totale de traceur a été introduit dans le modèle à la première journée de la simulation. La figure 4.13 présente la concentration de chlorure imposée et observée dans le modèle. La concentration simulée est celle qui est observée dans la première couche du domaine, soit dans les premiers 0,5 cm du sol. La partie droite de la figure présente la concentration en fonction de l'infiltration qui peut être observée dans la première couche du modèle, soit dans les premiers 0,5 cm du sol. Les paramètres de transport inscrits initialement sont restés identiques sauf dans le cas de la dispersivité longitudinale qui est maintenant de 6 cm (tableau 4.8). Par contre, aucune valeur de diffusion n'a pu être évaluée. Cet essai en colonne présente la particularité d'avoir une longue période sans infiltration d'eau. Pendant cette période, le transport de chlorure peut seulement être attribué à la diffusion moléculaire puisque la vitesse d'écoulement est nulle, rendant la dispersion nulle. Lorsqu'un coefficient de diffusion est attribué au chlorure dans le modèle, la diffusion moléculaire devient très importante et fait en sorte que les concentrations en chlorure deviennent élevées à la base du domaine. Ce qui ne semble pas être très représentatif de la réalité. C'est pourquoi une valeur de diffusion nulle a été conservée.

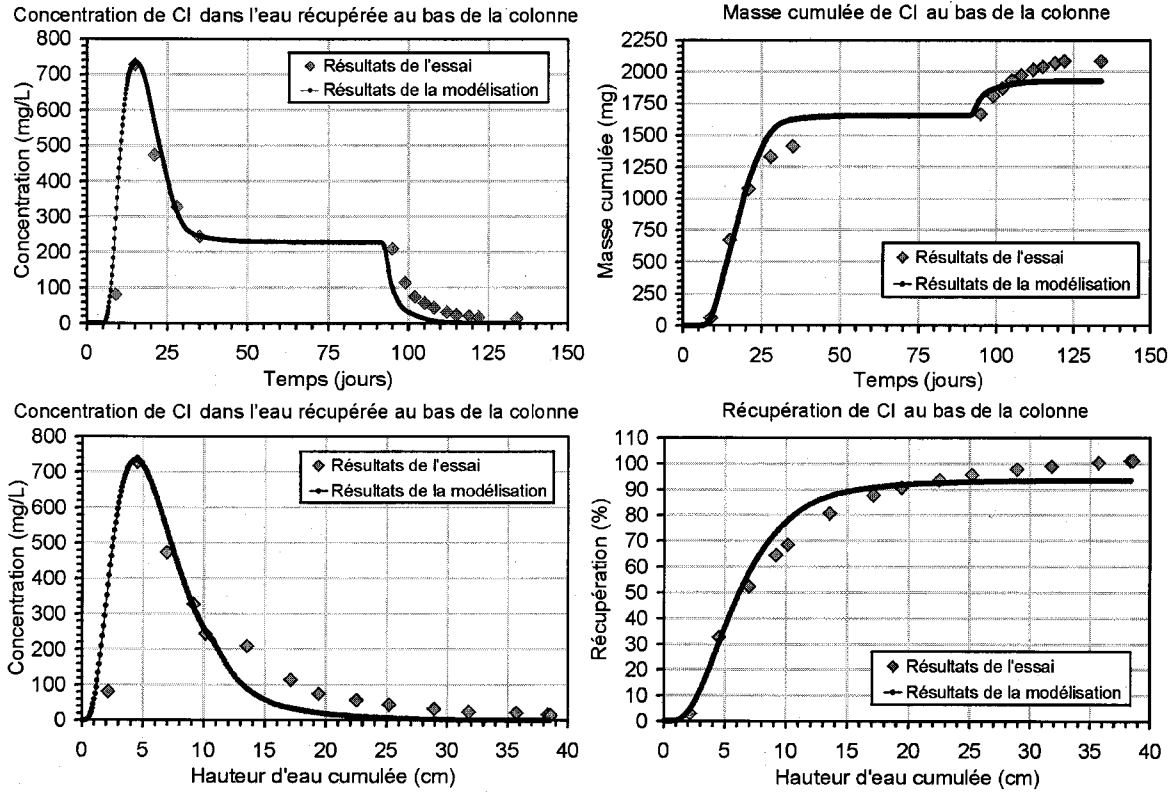


Figure 4.12. Concentration et masse de chlorure dans l'eau récupérée au bas de la Colonne 4 en fonction du temps (haut) et de la hauteur d'eau cumulée au bas de la colonne (bas)

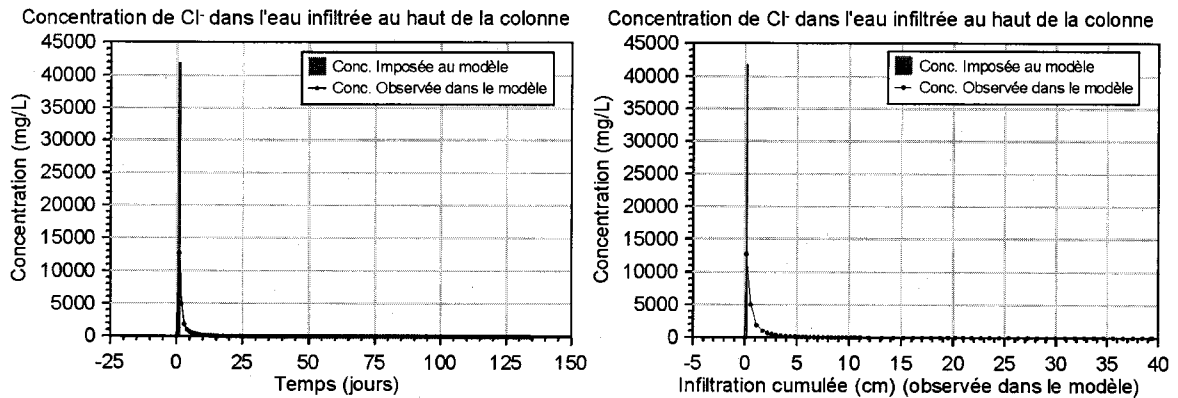


Figure 4.13. Concentration de chlorure dans l'eau d'infiltration au haut de la Colonne 4 en fonction du temps et de l'infiltration d'eau cumulée au haut de la colonne observé dans le modèle

La modélisation du transport du HMX a donné des résultats satisfaisants (figure 4.14). La masse de HMX dissoute qui entre dans le système est de 0,186 mg et celle qui en sort est

de 0,139 mg. La modélisation a aussi permis d'évaluer un coefficient de partition effectif ($K_{d\text{eff}}$) de $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$. Elle a permis d'évaluer les concentrations en HMX dissous dans l'eau d'infiltration, entre 0 et 0,015 mg/L, sauf au début de la deuxième période d'irrigation où une forte concentration (0,14 mg/L) doit être imposée pour représenter les résultats de l'essai (figure 4.15). La différence de concentration en HMX entre les deux périodes d'irrigation peut être expliquée par le fait que plus d'eau était en contact avec l'Octol pendant la deuxième période d'irrigation. De même, le sol étant resté humide entre les deux périodes d'irrigation, cela a pu augmenter la solubilisation du HMX dans l'Octol. La figure 4.15 présente aussi des concentrations observées. Ces concentrations sont celles qui sont observées dans la première couche du domaine, soit dans les premiers 0,5 cm du sol. La partie droite de la figure présente les concentrations en fonction de l'infiltration qui peut être observée dans la première couche du modèle, soit dans les premiers 0,5 cm du sol.

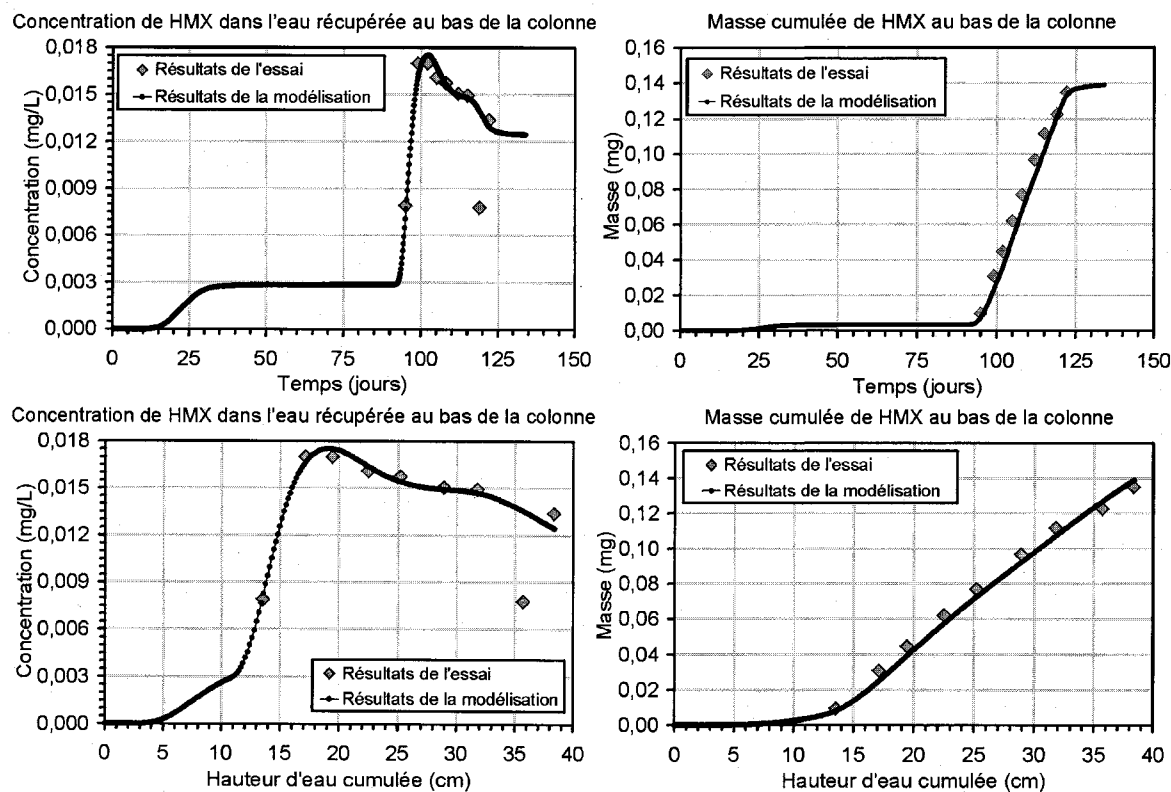


Figure 4.14. Résultats de modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4 en fonction du temps (haut) et de la hauteur d'eau cumulée au bas de la colonne (bas)

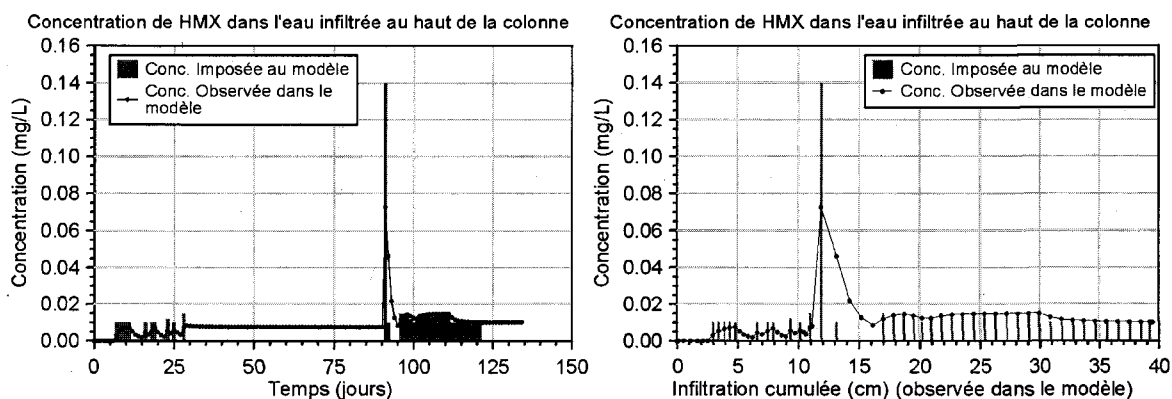


Figure 4.15. Concentration de HMX dans l'eau d'infiltration au haut de la Colonne 4 en fonction du temps (gauche) et de l'infiltration d'eau cumulée au haut de la colonne observée dans le modèle (droite)

4.3.2.3 Erreurs sur les bilans de masse dans le modèle de la Colonne 4

Le modèle numérique VS2D donne pour chaque simulation une erreur sur le bilan de masse pour l'écoulement d'eau et le transport de masse. Les erreurs obtenues pour la modélisation de l'essai de la Colonne 4 sont présentées au tableau 4.9.

Tableau 4.9. Erreurs sur les bilans de masse dans le modèle de la Colonne 4

	Erreur sur le bilan d'écoulement	Erreur sur le bilan de transport
	(%)	(%)
Chlorure	-0,01	-5,43
HMX	-0,01	7,90

4.4 Discussion sur les résultats de la modélisation

4.4.1 Paramètres de l'écoulement

La combinaison de la modélisation de l'écoulement et du transport du traceur a permis d'estimer les paramètres qui n'avaient pas été mesurés, comme la conductivité hydraulique, les paramètres d'écoulement et la saturation résiduelle. Cette combinaison a aussi permis de valider les quantités de précipitation à imposer au modèle du casier lysimétrique L2-100. Cette validation n'a pas été nécessaire pour le modèle de la colonne 4, puisque les quantités d'eau entrant dans le modèle étaient déjà connues.

Des courbes capillaires ont été tracées à partir des paramètres d'écoulement, α et β , qui ont été déterminés par la modélisation. Les courbes associées au casier lysimétrique L2-100 (Sable Arnhem) et à la colonne 4 (Sable Col. 4) sont très compatibles avec celle du sable fin (Sable fin (C&P)) présentée par Carsel et Parrish (1988) (figure 4.16). Cela porte à conclure que les paramètres définis par la modélisation sont représentatifs et valables.

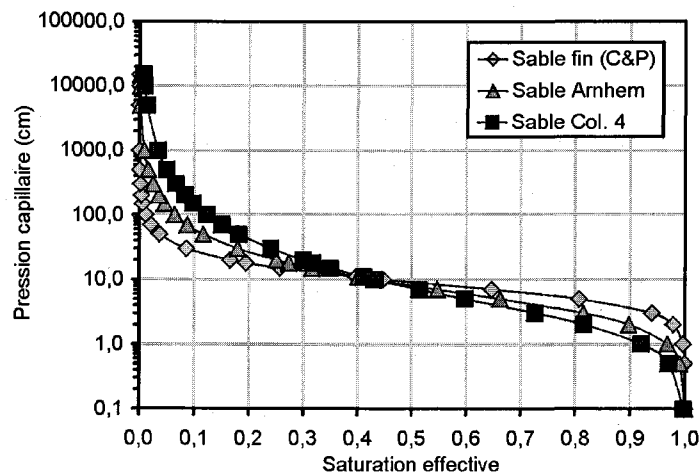


Figure 4.16. Courbes capillaires associées aux paramètres de van Genuchten

Les propriétés capillaires utilisées pour le sable Arnhem indiquent une pression de déplacement moindre que celle du sable fin de Carsel et Parrish (1988). Cela indiquerait un sable plus grossier. La pente plus forte indiquerait un plus grand étalement granulométrique.

La différence dans les paramètres de van Genuchten entre les essais de terrain et l'essai de laboratoire peut être expliquée par les différences locales de granulométrie mais aussi par la procédure de remplissage de la colonne par couches successives compactées qui peut changer considérablement les propriétés du sol, tels la porosité et la saturation résiduelle.

4.4.2 Transport des chlorures

Un modèle numérique ne peut pas représenter parfaitement ce qui se produit sur le terrain ou en laboratoire et cela pour différentes raisons. D'abord, plusieurs valeurs ont été estimées et non mesurées, cela a été le cas avec la porosité, la conductivité hydraulique ou la saturation résiduelle qui ont un effet sur le transport. Cela peut expliquer à la base les différences observées entre les résultats des essais et ceux du modèle (Résultats de la modélisation). Les résultats de la modélisation présentent des courbes de concentration avec un début très prononcé et celles de masse cumulée, un plafonnement à la fin.

Ensuite, le transport a été modélisé en considérant plus la dispersion des chlorures que sa diffusion moléculaire. Dans la simulation du casier comme celle de la colonne, il y a certaines périodes qui ne présente pas d'infiltration. Lorsqu'une valeur de diffusion moléculaire est donnée au chlorure, le modèle a tendance à simuler une diffusion assez importante lors de ces périodes où la vitesse d'écoulement est très réduite, donc lorsque la dispersion est faible. Cela crée un mouvement de masse important à la base du domaine, faisant augmenter les concentrations en chlorure. Ce qui ne semble pas représentatif de la réalité. La modélisation montre que la diffusion moléculaire est un phénomène à considérer dans le transport des chlorures mais qu'il est beaucoup moins important que la dispersion.

Enfin, le modèle numérique impose un sol de composition uniforme (granulométrie, porosité, saturation résiduelle), tandis que le sol utilisé pour les essais présente un étalement granulométrique qui amène une certaine hétérogénéité, surtout au niveau de sa porosité. Cette hétérogénéité amène la formation de pores de grosseurs variables qui viennent influencer le transport des solutés. La formation du sol, la présence de cailloux ou de racines comme c'était le cas pour l'essai sur les casiers peuvent conduire à la formation de chemins préférentiels qui ne peuvent être pris en compte par le modèle numérique.

4.4.3 Transport du HMX

La modélisation du transport du HMX représente une image de la réalité. D'abord, le modèle présente le transport du HMX sous sa forme dissoute, il ne présente pas le processus de dissolution du HMX dans l'Octol. Cependant, les résultats permettent de donner une explication sur ce processus.

Les quantités réelles de HMX mises en solution sont inconnues et ont été estimées pour l'essai de terrain et de laboratoire. Le HMX qui entre dans le modèle est imposé sur toute la surface du domaine, contrairement aux essais où la source de HMX, les morceaux d'Octol, était ponctuelle. Les concentrations de HMX estimées représentent donc une moyenne de toutes les sources présentes sur la surface du casier ou de la colonne.

Les résultats de l'essai en colonne montrent qu'une infiltration constante permet de dissoudre de façon assez constante le HMX. De même, de l'Octol en contact avec un sol humide semble pouvoir permettre la dissolution du HMX dans l'Octol, ce qui expliquerait la forte concentration que l'on doit imposer au début du deuxième mouillage de l'essai en colonne pour obtenir la courbe d'émergence. Les résultats de l'essai sur le casier L2-100 montrent que les fortes concentrations en HMX font souvent suite à plusieurs événements d'infiltration (entre les jours 130 et 140) et que des précipitations régulières (entre les jours 205 et 215) permettent aussi de dissoudre le HMX de façon constante. Les résultats montrent aussi que des événements d'infiltration importants mais séparés par des périodes avec peu d'infiltration, n'amènent pas de fortes concentrations de HMX dans l'eau (entre les jours 300 et 350).

L'exercice permet de démontrer que la diffusion moléculaire est une composante importante dans le transport du HMX. La diffusion moléculaire semble d'autant plus importante lorsque les conditions de saturation dans le sol varient. Les concentrations mesurées lors de l'essai sur le casier lysimétrique L2-100 montrent des variations importantes. Même si les résultats obtenus de la modélisation ne représentent pas exactement les concentrations mesurées, ils montrent bien que les variations observées sur le terrain ne peuvent être reproduites sans la diffusion, d'où son influence sur le transport du HMX lorsque la teneur en eau du sol varie. Il en va autrement des résultats

obtenus de la modélisation faite à partir de l'essai en colonne. Pendant cet essai, la saturation est demeurée plus constante parce que l'infiltration était aussi constante. Les résultats de la modélisation montrent que les concentrations ont pu être reproduites sans la diffusion.

Les essais ont permis, dans les deux cas, de déterminer un coefficient de partition effectif ($3 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$ pour l'essai de terrain et $1 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$ pour l'essai de laboratoire). Le coefficient est trois fois plus grand pour l'essai de terrain que pour l'essai en laboratoire mais ces coefficients demeurent très faibles. Ce qui indiquerait que le HMX est très peu adsorbé et par conséquent très peu retardé. Ces faibles valeurs tendent à démontrer que l'adsorption n'affecte pas de façon considérable le transport du HMX.

Suite à ces explications, des changements s'imposent dans l'explication des courbes d'émergence du HMX. Contrairement à ce qui a été présumé au Chapitre 3, les résultats de l'essai de terrain devraient plutôt être expliqués de la façon suivante. L'événement 1 serait plutôt associé à l'infiltration printanière, l'événement 2 à l'infiltration de l'été et l'événement 3 à l'infiltration de la fin de l'été et au début de l'automne. Pour ce qui est de l'essai en colonne, la quantité de HMX récupérée serait surtout celle qui a été mise en solution lors du deuxième mouillage. La quantité de HMX mise en solution lors du premier mouillage serait en fait très minime, due à la faible quantité d'eau en contact avec l'Octol, et n'aurait pas été détectée lors des analyses. Les résultats obtenus précédemment ont aussi des implications sur le modèle conceptuel associé au HMX présenté au Chapitre 3. D'abord, la faible valeur du coefficient de partition suggère qu'il n'y ait peu ou pas d'adsorption. L'émission de HMX sous forme dissoute dans le sol est reliée à sa dissolution à l'intérieur de l'Octol et à l'uniformité des événements de précipitation-infiltration plus qu'à un seul événement important. Enfin, le transport du HMX dans le sol est principalement contrôlé par sa diffusion lorsqu'il y a présence de conditions non saturées.

4.4.4 Erreurs sur le bilan de masse

L'erreur sur le bilan de masse fourni par le modèle donne une indication sur la précision avec laquelle les équations de différence finies ont été résolues. Cette erreur prise toute seule n'est pas un indicateur valide de la précision de la simulation. Une petite erreur n'indique pas un haut degré de précision, mais une grande erreur est habituellement indicative d'une mauvaise précision.

Une erreur de 0% indiquerait que la masse est parfaitement conservée. Règle générale, il est désirable d'avoir une erreur de moins de 1% pour la simulation complète. Une erreur plus grande peut indiquer que la méthode de résolution matricielle, qui résout les équations par itération, ne résout pas les équations avec la précision désirée. L'erreur sur le bilan de masse peut être réduite en diminuant le critère de convergence.

Il y a des situations où une grande erreur sur le bilan de masse n'est pas une indication d'une erreur de solution. Cela se produit lorsqu'il y a des changements dans la charge imposée à la limite pour une période de recharge. Par exemple, si la charge passe d'une condition où il n'y a pas de d'écoulement à une charge imposée, ce changement provoque un changement instantané de l'eau emmagasinée dans la cellule. Comme cette augmentation ou diminution n'a pas été considérée dans l'intervalle ou la condition précédente, le modèle traite l'événement comme une divergence ou une erreur élevée, pour cet intervalle de temps, dans le bilan total.

Dans les deux cas de modélisation, le casier L2-100 et la colonne 4, l'erreur sur le bilan d'écoulement est très acceptable étant de moins de 0,1%, pour un critère de convergence de 0,001 pour la charge d'eau. Par contre, les erreurs sur le transport sont plus considérables, mais peuvent être expliquées par la précision demandée par le modèle, soit 0,001.

4.5 Conclusion

Les résultats de modélisation obtenus avec le modèle numérique VS2D sont dans l'ensemble très satisfaisants. Le modèle est parvenu à bien représenter l'écoulement et le

transport des chlorures autant dans les essais sur le casier lysimétrique L2-100 que dans l'essai de la colonne 4. La modélisation du transport des chlorures pour l'essai sur le casier lysimétrique L2-50 s'est avérée moins concluante. Les données provenant d'essais faits sur le terrain, comme des casiers lysimétriques, sont parfois difficiles à utiliser dans un modèle d'écoulement et de transport (Wilson et Dorrance 1995). Malgré tout, le modèle a permis de déterminer les paramètres d'écoulement (paramètres de van Genuchten) pour le type de sable rencontré sur Arnhem. Par contre, il n'a pas permis d'évaluer très précisément les paramètres de transport du chlorure comme la diffusion moléculaire compte tenu des conditions d'équilibre imposées au modèle.

Le modèle a aussi permis de donner une explication initiale du comportement du HMX au niveau de sa dissolution dans l'Octol. Le modèle a été utilisé pour évaluer les concentrations de HMX émises dans le sol et la période d'émissions du HMX afin de faire une relation entre l'infiltration et la dissolution du HMX dans l'Octol. Les résultats n'ont pas permis de quantifier précisément la dissolution et l'émission du HMX, mais ils en donnent une meilleure compréhension quantitative. La modélisation a toutefois permis de conclure que le HMX est très peu retardé par l'adsorption dans le sol.

Les résultats démontrent que le HMX est émis dans le sol à de très faibles concentrations. L'émission de HMX est épisodique et dépend de la quantité d'eau en contact avec l'Octol et du temps de contact entre les deux. Ainsi, un gros événement de précipitation mettra sûrement une quantité de HMX en solution, mais ce HMX ne se rendra pas tout de suite à la nappe d'eau souterraine si l'événement est suivi d'une période sèche. Le HMX aurait plutôt tendance à rester sur place et à être émis plus tard lors d'un autre événement d'infiltration et cela à des concentrations variables selon le HMX déjà présent dans le sol. Ce phénomène aurait tendance à se produire à la surface du sol puisque lorsque le HMX est en solution dans le sol, il migre assez rapidement vers l'eau souterraine, le modèle montrant une très faible valeur de coefficient de partition. Une explication à ce phénomène pourrait être le processus de recristallisation ou de précipitation du HMX dans les premiers centimètres du sol. McGrath (1995) mentionne que le contaminant peut précipiter si suffisamment d'eau est enlevée. Ainsi, lorsqu'il y aurait assez d'eau en surface du sol, une très petite quantité de HMX serait émise. Si l'infiltration est

maintenue, le HMX se rend vers l'eau souterraine. Par contre, si l'infiltration diminue ou qu'il n'y a plus d'infiltration, le HMX reste en place et peut, dans certains cas, redevenir à l'état solide. Ce processus se répète jusqu'à ce que le HMX en solution soit assez profond pour ne plus être affecté par l'humidité du sol en surface, alors il reste à l'état soluble. Il faudrait aussi tenir compte du fait que l'eau qui s'infiltré ne s'infiltré pas toujours à la même place. Des chemins préférentiels peuvent se créer dans le sol lors de certains événements de précipitation. Ainsi, du HMX mis en solution lors d'un événement d'infiltration ne sera peut-être pas atteint par l'eau lors d'un autre événement.





CHAPITRE 5

CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET RECOMMANDATIONS

5.1 Conclusions

Ce projet fait suite aux travaux de caractérisation hydrogéologique entamés sur le champ de tirs Arnhem en 1998. Cette étude avait principalement pour but de mieux définir le comportement des matériaux énergétiques (ME) dans la zone non saturée du champ de tirs. Pour ce faire des travaux de terrains (casiers lysimétriques) et de laboratoire (essais en colonne et en microcosmes) ont été réalisés.

Les travaux de terrain ont permis d'observer le comportement des ME sous des conditions environnementales naturelles. Le bilan de ces essais indique que la plus grande proportion de HMX et de TNT a été observée dans les morceaux d'Octol récupérés à la surface des casiers. Du HMX a aussi été détecté dans les échantillons de sols de surface et dans les échantillons d'eau. Le HMX sous forme dissoute est émis régulièrement mais à des concentrations très variables. Par contre, le TNT n'a été que peu ou pas détecté dans le sol et dans l'eau.

Ces travaux ont aussi permis d'évaluer les flux possibles de HMX dissous dans l'environnement pendant la durée de l'expérience, soit 327 jours. Ces flux représentent des valeurs entre $9,8 \times 10^{-4}$ et $0,34 \text{ mg/m}^2\text{-jour}$ à des profondeurs de 0,5 à 1 m pour une masse initiale d'Octol de 22 000 mg (15 400 mg HMX). Les résultats indiquent que l'émission de HMX varie selon les saisons et que l'émission la plus élevée se produirait au début de l'automne. Une extrapolation sur un an montre que les flux moyens de HMX seraient de l'ordre de 5,1 à $38,7 \text{ mg/m}^2\text{-an}$ et cela pour la concentration initiale et les profondeurs mentionnées plus haut.

Les travaux de laboratoire ont permis d'observer le comportement des ME sous des conditions contrôlées. Ainsi, les essais dans les deux petites colonnes ont aussi permis d'observer une émission régulière du HMX dans l'eau. Le TNT n'est toujours pas détecté dans les échantillons d'eau, mais certains de ces produits de transformation (2A-DNT et

4A-DNT) ont été détectés. Les essais en microcosme ont, quant à eux, démontré que dans les sols présents sur Arnhem, la transformation du TNT est possible sous des conditions aérobies mais qu'il n'y a pas de minéralisation. Le HMX, dans les mêmes sols et sous les mêmes conditions, ne s'est pas transformé, ni minéralisé.

La combinaison des résultats des essais de terrain et des essais en colonne permet d'observer la dissolution préférentielle du TNT par rapport au HMX dans l'Octol.

La modélisation numérique des résultats des essais de traceur a permis d'évaluer certains paramètres de l'écoulement comme les paramètres de van Genuchten pour le sol présent sur Arnhem. La modélisation a aussi servi à évaluer les concentrations possibles de HMX dissous dans l'eau d'infiltration. Ces concentrations sont variables pour l'essai de terrain, tandis qu'elles sont plus constantes pour l'essai en colonne. Elles seraient de l'ordre de 0 à 0,25 mg/L sur le terrain et varieraient entre 0 et 0,015 mg/L dans l'essai en colonne. Les concentrations émises sont étroitement liées à la quantité d'eau et à la fréquence de l'infiltration. Le modèle a aussi permis de démontrer que le HMX dissous semble très peu adsorbé dans les sols présents sur Arnhem ($K_{d\text{eff}}$ de l'ordre de 1×10^{-6} à 3×10^{-6} cm³/g) et que la diffusion semble être importante dans le transport du HMX dissous dans le sol.

Les résultats de cette étude répondent en partie aux interrogations posées par le comportement du HMX, mais ne permettent pas de donner un chiffre précis sur les flux de HMX ou sa vitesse de transport. Les résultats des essais démontrent bien la relation qui existe entre les précipitations et les quantités de HMX dissous. Les flux qui ont été calculés sont spécifiques à l'année de l'étude par rapport aux quantités de précipitation enregistrées, mais aussi par rapport à la charge de contaminant à la surface du sol et aux quantités de contaminant qui pourraient être emmagasinées dans le sol. D'une année à l'autre, selon les quantités de précipitations et les quantités d'Octol à la surface du sol, plus ou moins de HMX va être dissous et émis dans les sols. De même, selon les mêmes précipitations, le HMX va migrer plus ou moins rapidement dans le sol avant d'atteindre la nappe d'eau souterraine.

Les nouvelles observations recueillies à l'aide de la modélisation ont été ajoutées au modèle conceptuel présenté au Chapitre 3. Ces nouvelles informations permettent

l'élaboration d'un nouveau modèle conceptuel. Ainsi, le TNT et le HMX sont émis de façon lente et irrégulière dans l'environnement. La quantité de ME dissous est dépendante de la fréquence et de la quantité de précipitations sur l'Octol, mais aussi de la cinétique de dissolution du HMX et du TNT dans l'Octol. De plus le TNT aurait tendance à se solubiliser plus rapidement que le HMX à l'intérieur de l'Octol. De la photodégradation du TNT peut aussi se produire à la surface des morceaux d'Octol.

Lorsque les ME sont en solution, le TNT se transforme en 2A-DNT et 4A-DNT, mais le processus de transformation ne se rend pas jusqu'à la minéralisation. Selon ce qu'indique la littérature, les produits de transformation sembleraient plutôt se lier fortement au sol et ne plus se dégrader par la suite. Le HMX a un comportement bien différent. Les conditions aérobies présentes dans la zone non saturée ne favorisent pas sa transformation. Il migre plutôt lentement vers l'eau souterraine. Il ne semble pas adsorbé par le sol et son transport est dépendant du passage de l'eau dans la zone non saturée (figure 5.1).

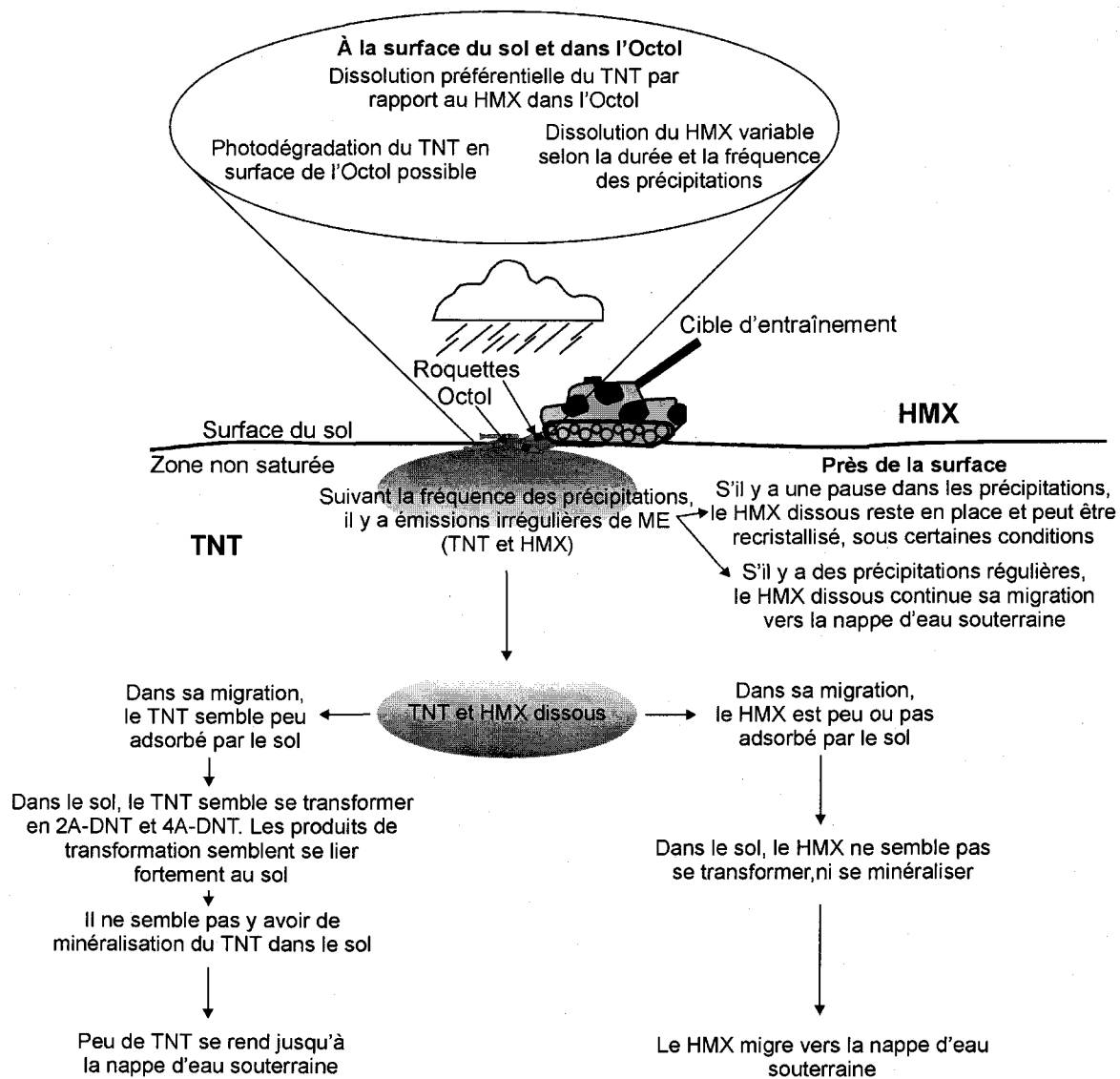


Figure 5.1. Modèle conceptuel de la zone non saturée du champ de tirs Arnhem

5.2 Recommandations

Les travaux décrits précédemment permettent de mieux comprendre le comportement des ME en conditions non-saturées. Ils ne permettent cependant pas de les quantifier. En ce sens, de nouveaux essais portant principalement sur l'étude de la dissolution des ME dans l'Octol et sur le transport et l'adsorption des ME devraient être effectués.

D'abord, en ce qui concerne les cinétiques de dissolution du HMX et du TNT dans l'Octol, d'autres essais devraient être faits en conditions semblables à celles observées sur le terrain, en faisant varier les quantités d'eau en contact avec l'Octol et la fréquence des contacts et en incluant des périodes d'assèchement. Ces essais devraient permettre de prendre des mesures plus directes et plus régulières des concentrations en HMX et TNT dans l'Octol et dans l'eau.

Des essais en colonne devraient être effectués avec du HMX dissous et un traceur. Ces essais permettraient d'évaluer le facteur de retard du HMX. Ces essais devraient comprendre une application simultanée du traceur et du HMX et, dans un deuxième temps, en appliquant les deux composés en séquence, l'un après l'autre. Ces essais permettraient de vérifier si le traceur influence le transport du HMX, ainsi que sa solubilité.

Il pourrait aussi être intéressant de refaire un suivi sur le terrain pour quantifier les flux de HMX sur une plus grande période qui engloberait deux fois la période printanière afin d'évaluer les flux printaniers résultant d'une mise en solution de HMX de l'automne précédent. Un essai semblable pourrait aussi être produit en laboratoire.



RÉFÉRENCES

AINSWORTH, C.C., Harvey, S.D., Szecsody, J.E., Simmons, M.A., Cullinan, V.I., Resch, C.T. et Mong, G.H. 1993. Relationship between the leachability characteristics of unique energetic compounds and soil properties. Final Report, Project Order No. 91PP1800, U.S. Army Biomedical Research and Development Laboratory, Fort Detrick, Frederick, MD.

AREL, N., Martel, R., Lefebvre, R., Thiboutot, S. et Ampleman, G. 2002. «Dissolved energetic materials transport under unsaturated conditions at an anti-tank training range». Proceeding of the 3rd Joint IAH-CNC and CGS Groundwater Specialty Conference (Niagara Falls 20 au 23 octobre 2002), p. 173-180.

ATSDR 1996a. ToxFAQs 2,4,6-Trinitrotoluene (TNT) Cas # 118-96-7.
<http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaq.html>

ATSDR 1996b. ToxFAQs RDX Cas # 121-82-4. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaq.html>

BINKS, P.R., Nicklin, S. et Bruce, N.C. 1995. «Degradation of hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine (RDX) by *Stenotrophomonas maltophilia* PB1» Applied and Environmental Microbiology, vol. 61, no. 4, p. 1318-1322.

BOOPATHY, R., Manning, J., Montemagno, C. et Kulpa, C. 1994. «Metabolism of 2,4,6-Trinitrotoluene by a *Pseudomonas* Consortium under Aerobic Conditions». Current Microbiology, vol. 28, p. 131-137.

BRADLEY, P.M. et Chapelle, F.H. 1995. «Factors Affecting Microbial 2,4,6-Trinitrotoluene Mineralisation in Contaminated Soil». Environmental Science and Technology, vol. 29, p. 802-806.

BRANNON, J.M., Adrian, D.D., Pennington, J.C., Myers, T.E. et Hayes, C.A. 1992. Slow release of PCB, TNT and RDX from soils and sediments. Technical Report IRRP-92-38, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Vicksburg. MS.

BRANNON, J.M., Deliman, P.N., Gerald, J.A., Ruiz, C.E., Price, C.B., Hayes, C., Yost, S. et Qasim, M. 1999. Conceptual Model and Process Descriptor Formulations for Fate and Transport of UXO. Technical Report IRRP-99-1, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Vicksburg. MS.

BRANNON, J.M. et Myers, T.E. 1997. Review of Fate and Transport Processes of Explosives. Technical Report IRRP-97-2, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Vicksburg. MS.

BRANNON, J.M. et Pennington, J.C. 2002. Environmental fate and transport process descriptors for explosives. ERDC/EL TR-02-10, U.S. Army Engineer Research and Development Center. Vicksburg. MS.

BRANNON, J.M., Price, C.B. et Hayes, C.A. 1997. Abiotic and biotic TNT Transformations. Technical Report IRRP-97-3, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Vicksburg. MS.

BURLINSON, N.E. 1980. Fate of TNT in an aquatic environment : Photodecomposition vs. Biotransformation. Tech. Report 79-445. Naval surface weapons. Center, Silver Springs, MD.

CARD, R.E. Jr et Autenrieth, R. 1998. Treatment of HMX and RDX Contamination. Report ANRCP-1998-2, Amarillo National Resource Center for Plutonium.

CARSEL, R.F. et Parrish, R.S. 1988. «Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics». Water Resources Research, vol. 24, p. 755-769.

CARTER, M.R. et Ball, B.C. 1993[1993]. «Soil Porosity». Dans Carter, M.R. (éd) Soil Sampling and Methods of Analysis. Lewis Publishers, p. 581-588

CHAPMAN, H.D. 1965. «Cation-Exchange capacity». Methods of Soil Analysis-Chemical and Microbiological properties. Agronomy monograph No. 9, p. 891-901.

CHECKAI, R.T., Major, M.A., Nwanguma, R.O., Amos, J.C., Phillips, C.T., Wentsel, R.S. et Sadusky, M.C. 1993. Transport and fate of nitroaromatic and nitramine explosives in soils from open burning open detonation operations at Anniston Army Depot. ERDEC tech. Rep. ERDEC-TR-135. Edgewood Res. and Dev. Command, Aberdeen Proving Ground, MD.

COLEMAN, N.V., Nelson, D.R. et Duxbury, T. 1998. «Aerobic biodegradation of hexahydro-1,3,5-triazine (RDX) as a nitrogen source by a *Rhodococcus* sp., strain DN22». Soil Biology and Biochemistry, vol. 30, no. 8/9, p. 1159-1167.

COMFORT, S.D., Shea, P.J., Hundal, L.S., Li, Z., Woodbury, B.L., Martin, J.L. et Powers, W.L. 1995. «TNT transport and fate in contaminated soil». Journal of Environmental Quality, vol. 24, p. 1174-1182.

DOMENICO, P.A. et Schwartz, F.W. 1990. Physical and chemical hydrogeology. John Wiley and Sons, New York.

ENVIRONNEMENT CANADA. 1992. «Carbone organique total». Guide méthodologique de caractérisation des sédiments. p. 81-86.

EPA. 1992. Batch-Type Procedures For Estimating Soil Adsorption of Chemicals. Technical Resource Document. EPA/530/SW-87/006-F.

- EPA. 1994. Nitroaromatics and Nitramines by High Performance Liquid Chromatography (HPLC). Method 8330.
- EPA. 1998. Estimation of Infiltration Rate in the Vadose Zone : Application of Selected Mathematical Models, Volume II. EPA/600/R-97/128b.
- EPA. 2002. 2002 Edition of the Drinking Water Standards of Health Advisories. EPA 822-R-02-038.
- FERNANDO, T., Bumpus, J.A. et Aust, S.D. 1990. «Biodegradation of TNT (2,4,6-Trinitrotoluene) by *Phanerochaete chrysosporium*». Applied and Environmental Microbiology, vol. 56, no. 6, p. 1666-1671.
- FETTER, C.W. 1993. Contaminant Hydrogeology. Macmillan Publishing Company. 458 p.
- FETTER, C.W. 1999. Contaminant Hydrology. Second Edition. Prentice Hall. 500 p.
- FOURNIER, D., Halasz, A, Spain, J., Fiurasek, P. et Hawari, J. 2002. «Determination of Key Metabolites during Biodegradation of Hexahydro-1,3,5-Trinitro-1,3,5-Triazine with *Rhodococcus* sp. Strain DN22». Applied and Environmental Microbiology, vol. 68, no. 1, p. 166-172.
- FUNK, S.B., Roberts, D.J., Crawford, D.L. et Crawford, R.L. 1993. «Initial-Phase for Bioremediation of Munition Compound-Contaminated Soils». Applied and Environmental Microbiology, vol. 59, no. 7, p. 2171-2177.
- GILCREASE, P.C. et Murphy, V.G. 1995. «Bioconversion of 2,4-Diamino-6-Nitrotoluene to a Novel Metabolite under Anoxic and Aerobic Conditions». Applied and Environmental Microbiology, vol. 61, no. 12, p. 4209-4214.
- GRANGER, R.J., Gray, D.M. et Dick, G.E. 1984. «Snowmelt infiltration to frozen Prairie soils». Canadian Journal of Earth Science, vol. 21, p. 669-677.
- GREENE, B., Kaplan, D.L. et Kaplan, A.M. 1985. Degradation of pink water compounds in soil - TNT, RDX, HMX. NATICK Technical Report 85-046, U.S. Army Natick Research and Development Center, Natick, MA.
- HADERLEIN, S.B., Weissmarh, K.W. et Schwarzenbach, R.P. 1996. «Specific Adsorption of Nitroaromatic Explosives and Pesticides to Clay Minerals». Environmental Science & Technology, vol. 30, no. 2, p. 612-622.
- HAÏDOUR, A. et Ramos, J.L. 1996. «Identification of products resulting from the Biological Reduction of 2,4,6-Trinitrotoluene, 2,4-Dinitrotoluene, and 2,6-Dinitrotoluene by *Pseudomonas* sp.». Environmental Science & Technology, vol. 30, p. 2365-2370.

HAINS, S. 2002. «Identification des propriétés environnementales du TNT dans les sols et les eaux souterraines en relation avec la démonstration de l'atténuation naturelle à un site de production d'explosifs». Mémoire de maîtrise, INRS-Eau, Terre et Environnement, 170 p.

HALLGARTH, M.R., Jankowsky, M.D. et Autenrieth, R.L. 1997. «Biodegradation of RDX and HMX». In situ and On-site Bioremediation : Volume 2 (4-2), p. 17-22. Battelle Press.

HAWARI, J., Beaudet, S., Halasz, A., Thiboutot, S. et Ampleman, G. 2000. «Microbial degradation of explosives: biotransformation versus mineralisation». Applied Microbiology and Biotechnology, vol. 54, p. 605-618

HEALY, R.W. 1990. Simulation of solute transport in variably saturated porous media with supplemental information on modifications to the U.S. Geological Survey's program VS2D, U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 90-4025, 125 p.

KANE, D.L. et Stein, J. 1983. «Water Movement Into Seasonally Frozen Soil». Water Resources Research, vol. 19, no.6, p. 1547-1557.

KNEZOVICH, J.P. et Daniels, J.I. 1991. «Biodegradation of HE». Water Environmental Technology, 3 (3), 34.

LAPPALA, E.G. Healy, R.W. et Weeks, E.P. 1993. Documentation of computer program VS2D to solve the equations of fluid flow in variably saturated porous media, U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations, Report 83-4099, 131 p.

LEGGETT, D.C. 1985. Sorption of military explosive contaminants on bentonite drilling mud. US Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Report 85-18.

LOEHR, R.C. 1989. Treatability potential for EPA listed hazardous waster in soils. EPA/600/2-89/011, PB89-166581, USEPA-ORD, R.S. Kerr Environmental Research Laboratory, Ada, OK.

LOTRARIO, J.B., Woods, S.L., Morrie Craig, A. et Williamson, K.J. 1997. «The anaerobic transformation of TNT and other nitroaromatic compounds». In situ and On-site Bioremediation : Volume 2 (4-2), p. 41-46. Battelle Press.

LUCKNER, L. et Schestakow, W.M. 1991. Migration Processes in the Soil and Groundwater Zone. Lewis Publishers, 485 p.

LYNCH, J.C. 2002. Dissolution Kinetics of High Explosive Compounds (TNT, RDX, HMX). ERDC/EL TR-02-23. US Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.

- MAILLOUX, M. 2002. «Caractérisation et modélisation numérique du comportement des matériaux énergétiques dans les sols et l'eau souterraine d'une site d'entraînement anti-char». Mémoire de maîtrise, INRS-Eau, Terre et Environnement, 80 p.
- MAILLOUX, M., Martel, R., Lefebvre, R., Thiboutot, S. et Ampleman, G. 2000. «Energetic materials behavior in groundwater at the Arnhem anti-tank range of CFB-Valcartier, Quebec, Canada». Proceeding of the 1st Joint IAH-CNC and CGS Groundwater Specialty Conference (Montreal 15 au 18 octobre 2000), p. 213-220.
- MAILLOUX, M., Martel, R., Therrien, R., Lefebvre, R., Thiboutot, S. et Ampleman, G. 2001. «Numerical modeling of three-dimensional variably-saturated flow and transport of dissolved energetic material at an anti-tank range». Proceeding of the 2nd Joint IAH-CNC and CGS Groundwater Conference (Calgary 16 au 19 septembre 2001), p. 832-839.
- MAJOR, M.A. 1999. «Biological Degradation of Explosives». Bioremediation of Contaminated Soils. Agronomy Monograph No. 37, p. 111-132.
- MARTEL, R., Mailloux, M., Lefebvre, R., Michaud, Y., Parent, M., Ampleman, G., Thiboutot, S., Jean, S. et Roy, N. 1999. Energetic materials behaviour in groundwater at the Arnhem Anti-Tank Range CFB-Valcartier, Quebec, Canada. Interim Report, Phase 2.
- MCCORMICK, N.G., Cornell, J.H. et Kaplan, A.M. 1981. «Biodegradation of Hexahydro-1,3,5-Trinitro-1,3,5-Triazine». Applied and Environmental Microbiology, vol. 42, no. 5, p. 817-823.
- MCCORMICK, N.G., Cornell, J.H. et Kaplan, A.M. 1985. The anaerobic transformation of RDX, HMX and their acetylated derivatives. Technical Report 85-007, U.S. Army Natick Research, Development and Engineering Center, Natick, MA.
- MCCORMICK, N.G., Feeherry, F.E. et Levinson, H.S. 1976. «Microbial Transformation of 2,4,6-Trinitrotoluene and Other Nitroaromatic Compounds». Applied and Environmental Microbiology, vol. 31, no. 6, p. 949-958.
- McGRATH, C.J. 1995. Review of Formulations for Processes Affecting the Subsurface Transport of Explosives. Technical Report IRRP-95-2, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Vicksburg. MS.
- MELLOH, R.A. 1999. A synopsis and Comparison of Selected Snowmelt Algorithms. CRREL Report 99-8, US Army Corps of Engineers.
- MYERS, T.E., Brannon, J.M., Pennington, J.C., Townsend, D.M., Davis, W.M., Ochman, M.K., Hayes, C.A et Myers, K.F. 1998. Laboratory Studies of Soil Sorption/Transformation of TNT, RDX and HMX. Technical Report IRRP-98-8, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Vicksburg. MS.
- PANIAN, T.F. 1987. Unsaturated flow properties data catalog. Volume II, Publication #45061, Water Resources Center, Desert Research Institute, DOE/NV/10384-20.

PENNINGTON, J.C., Hayes, C.A., Myers, K.F., Ochman, M., Gunnison, D., Felt, D.R. et McCormick, E.F. 1995a. «Fate of 2,4,6-Trinitrotoluene in a simulated compost system». Chemosphere, 30, p. 429-438.

PENNINGTON, J.C., Myers, T.E., Davis, W.M., Olin, T.J., McDonald, T.A., Hayes, C.A. et Townsend, D.M. 1995b. Impacts of sorption on in situ bioremediation of explosives-contaminated soils. Technical Report IRRP-95-1, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Vicksburg. MS.

PENNINGTON, J.C. et Patrick, W.H. Jr. 1990. «Adsorption and Desorption of 2,4,6-Trinitrotoluene by Soils». Journal of Environmental Quality, vol. 19, p. 559-567.

PRICE C.B., Brannon, J.M. et Hayes, C. 1997. «Effect of redox potential and pH on TNT transformation in soil-water slurries». Journal of Environmental Engineering, vol. 123, p. 988-992.

PRICE C.B., Brannon, J.M. et Yost, S.L. 1998. Transformation of RDX and HMX under controlled Eh/pH conditions. Technical Report IRRP-98-2, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Vicksburg. MS.

RAWLS, W.J., Ahuja, L.R. et Brakensiek, D.L. 1992. «Estimation of soil hydraulic properties from soils data». In van Genuchten, M.Th, Leij, F.J. et Lund, L.J. (ed.). Indirect Methods for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils. Proceedings of the International Workshop on Indirect Method for Estimating the Hydraulic Properties of Unsaturated Soils. Riverside, California, October 11-13, 1989. University of California, Riverside, CA 92521, USA.

RIPPLE, C.D., James, R.V. et Rubin, J. 1973. «Radial particle-size segregation during packing of particles into cylindrical containers». Power technology, vol. 8, p. 165-175.

ROBERTS, D.J., Funk, S.B. et Korus, R.A. 1992. «Intermediary metabolism during anaerobic degradation of TNT from munitions-contaminated soil», abstr. Q136. Abstr. 92nd General Meeting of American Society for Microbiology. New Orleans. American Society for Microbiology, Washington D.C.

SCHACKMANN, A. et Müller, R. 1991. «Reduction of nitroaromatics compounds by different *Pseudomonas* species under aerobic conditions». Applied Microbiology and Biotechnology, vol. 34, p. 809-813.

SELIM, H.M., Xue, S.K. et Iskandar, I.K. 1995. «Transport of 2,4,6-Trinitrotoluene and Hexahydro-1,3,5-Trinitro-1,3,5-Triazine in Soils». Soil Science, vol. 160, no. 5, p. 328-339.

SHERAMATA, T.W. et Hawari, J. 2000. «Mineralisation of RDX by the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium* to carbon dioxide and nitrous oxide». Environmental Science and Technology, vol. 34, p. 3384-3388.

SIKKA, H.C., Banerjee, S. Pack, E.J. et Appleton, H.T. 1980. Environmental fate of RDX and TNT. Final Report, Contact No. DAMD17-77-C-7026, Syracuse Research Corporation, Syracuse, NY, for U.S. Army Medical Research and Development Command, Fort Detrick, Frederick, MD.

SPAIN, J.C. 1995. «Biodegradation of Nitroaromatic Compounds». Annual Review of Microbiology, vol. 49, p. 523-555.

SPANGGORD, R.J., Mabey, R.W., Chou, T.W., Haynes, D.L., Alfernese, P.L. Tse, D.S. et Mill, T. 1982. Environmental fate studies of HMX, screening studies, Final report, Phase I - Laboratory study. SRI Project LSU-4421, SRI International, Menlo Park, CA, for U.S. Army Medical Research and Development Command, Fort Detrick, MD.

SPANGGORD, R.J., Mill, T., Chou, T.W., Mabey, R.W., Smith, J.H. et Lee, S. 1980. Environmental fate studies on certain munition wastewater constituents, final report, Part I - Literature review. SRI Report LSU-7934, SRI International, Menlo Park, CA.

SPAULDING, R.F. et Fulton, J.W. 1988. «Groundwater munition residues and nitrate near Grand Island, Nebraska, U.S.A». Journal of Contaminant Hydrology, vol. 2, p.139-153.

SPEITEL, G.E. Jr, Engels, T.L. et McKinney, D.C. 2001. «Biodegradation of RDX in Unsaturated Soil». In situ and On-site Bioremediation : Volume 1 (5-1), p. 1-11. Battelle Press.

STÄHLI, M., Jansson, P.-E. et Lundin, L.-C. 1999. «Soil moisture redistribution and infiltration in frozen sandy soils». Water Resources Research, vol. 35, no. 1, p. 95-103.

STEPHENS, D.B. 1996. Vadose zone hydrology. CRC Lewis Publishers, 347 p.

TCHOBANOGLIOUS, G. et Schroeder, E.D. 1985. Water Quality. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, MA.

TESSIER, A., Campbell, T.G.C. et Bisson, M. 1979. «Sequential extraction procedure for speciation of particulate trace metals». Analytical Chemistry, vol. 51, p. 851-884.

THIBOUTOT, S., Ampleman, G., Gagnon, A., Marois, A., Jenkins, T.F., Walsh, M.E., Thorne, P.G. et Ranney, T.A. 1998a. Characterisation of AntiTank firing ranges at CFB Valcartier, WATC Wainwright and CFAD Dundurn. DREV. National Defence Department.

THIBOUTOT, S., Ampleman, G., Dubé, P., Hawari, J., Spencer, B. et Paquet, L. 1997. Protocol for the Characterisation of Explosives contaminated Sites. DREV-R-9721, 80 pages.

THIBOUTOT, S., Ampleman, G., Dubé, P., Hawari, J., Spencer, B., Paquet, L., Jenkins, T.F. and Walsh, M.E. 1998b. Protocol for the Characterisation of Explosives-contaminated Sites. DREV. National Defence Department.

THIBOUTOT, S., Ampleman, G. et Hewitt, A. 2002. Guide for Characterization of Sites Contaminated with Energetic Materials. ERDC-CRREL TR-02-01.

TSAI, S.Y., Davis, M.J. et Benioff, P.A. 1985. Cornhuster Army Ammunition Plant aquifer restoration alternatives study. Report No. AMXTH-AS-CR-85013, U.S. Army Toxic and Hazardous Materials Agency (now AEC).

TOWNSEND, D.M. et Myers, T.E. 1996. Recent Developments in Formulating Model Descriptors for Subsurface Transformation and Sorption of TNT, RDX and HMX. Technical Report IRRP-96-1, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Vicksburg. MS.

TOWNSEND, D.M., Myers, T.E. et Adrian, D.D. 1995. 2,4,6-Trinitrotoluene (TNT) Transformation/Sorption in Thin Disk Soil Columns. Technical Report IRRP-95-4, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Vicksburg. MS.

TOWNSEND, D.M., Myers, T.E. et Adrian, D.D. 1996. RDX and HMX Sorption in Thin Disk Soil Columns. Technical Report IRRP-96-8, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Vicksburg. MS.

TODD, D.K. 1980. Groundwater Hydrology. John Wiley & Sons, 560 p.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. 1998. Engineering and Design Runoff from Snowmelt. EM 1110-2-1406. Washington, DC 20314-1000.

van GENUCHTEN, M. Th. 1980. «A Closed-form Equation to Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils». Soil Science of America Journal, vol. 44, p. 892-898.

van GENUCHTEN, M. T. et Jury, W.A. 1987. «Progress in unsaturated flow and transport modeling». Reviews in Geophysics, vol. 25, no.2, p. 135-140.

VORBECK, C., Lenke, H., Fischer, P., Spain, J.C. et Knackmuss, H-J. 1998. «Initial Reductive Reactions in Aerobic Microbial Metabolism of 2,4,6-Trinitrotoluene», Applied and Environmental Microbiology, vol. 64, no.1, p. 246-252.

VUKOVIC, M. et Soro, A. 1992. Determination of hydraulic conductivity of porous media from grain-size composition. Water Resources Publications, 83 p.

WEBB, S.W., Pruess, K. Phelan, J.M. et Finsterle, S.A. 1999. «Development of a Mechanistic Model for the Movement of Chemical Signatures From Buried Landmines/UXO». International Symposium on Aerospace/Defense Sensing, Simulation and Controls, Conference on Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Objects IV, Orlando, FL, SPIE, April 5-8, 1999.

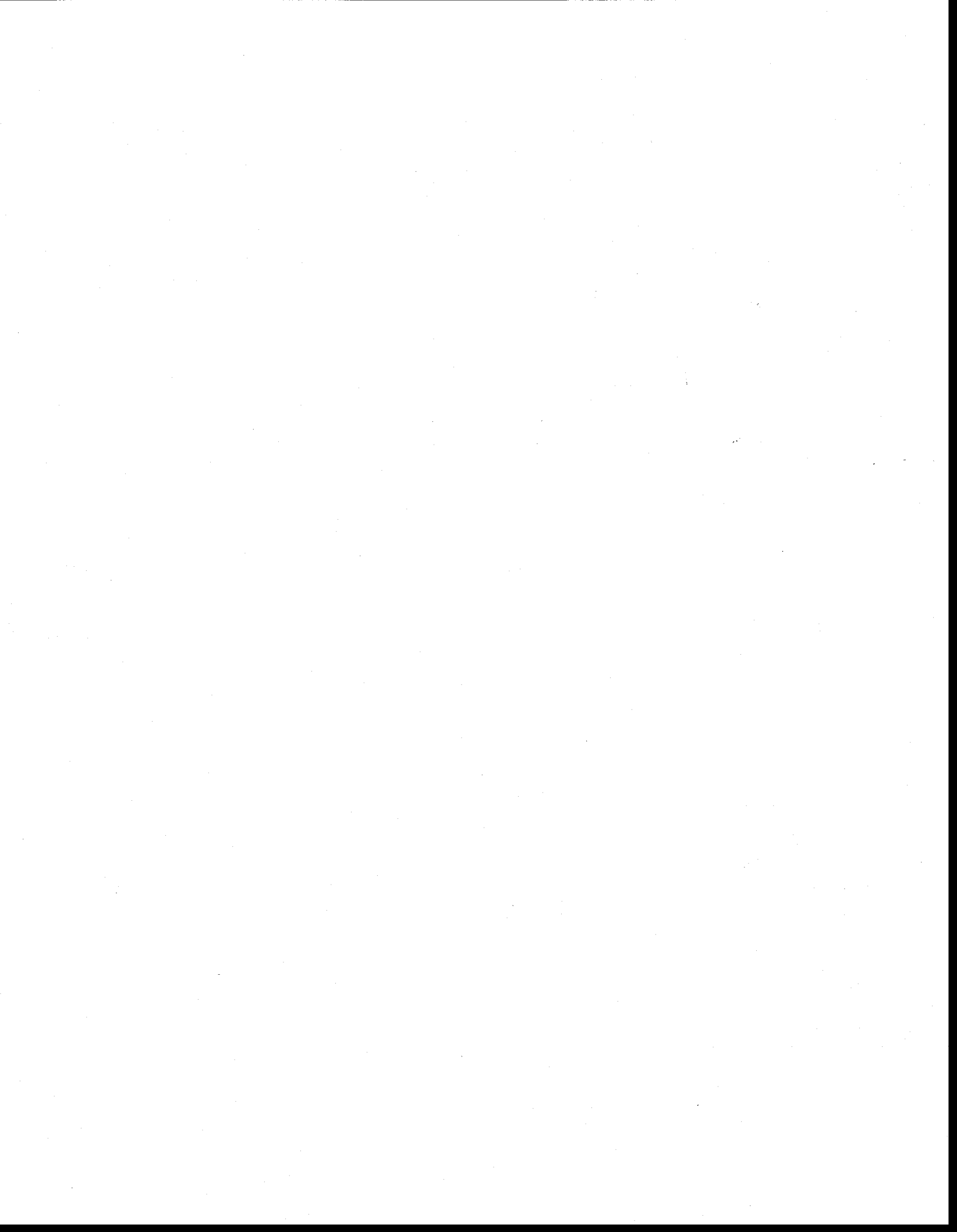
WILSON, L.G. et Dorrance, D.W. 1995[1991]. «Sampling from Macropores with Free-Drainage Samplers». Dans Wilson, L.G., Everett, L.G. et Cullen, S.J. (éd.) Handbook of Vadose zone Characterization & Monitoring. Lewis Publishers. p. 605-616.

XUE, S.K., Iskandar, I.K. et Selim, H.M. 1995. «Adsorption-Desorption of 2,4,6-Trinitrotoluene and Hexahydro-1,3,5-Trinitro-1,3,5-Triazine in Soils». Soil Science, vol. 160, no. 5, p. 317-327.

YINON, J. 1990. Toxicity and metabolism of explosives. CRC Press, Ann Arbor, MI.

YINON, J. et Zitrin, S. 1993. Modern methods and applications in analysis of explosives. Chichester, New York.

ZHAO, L. et Gray, D.M. 1997. «Estimating Snowmelt Infiltration into Medium and Fine-Textured Frozen Soils». Proceedings of the International Symposium on Physics, Chemistry and Ecology of Seasonally Frozen Soils. (Fairbanks, June 10-12, 1997), p. 287-293.



Annexe A

Article présenté dans un compte-rendu de conférence de l'AIH :

Dissolved energetic materials transport under unsaturated conditions
at an anti-tank training range



DISSOLVED ENERGETIC MATERIALS TRANSPORT UNDER UNSATURATED CONDITIONS AT AN ANTI-TANK TRAINING RANGE

Nathalie Arel, INRS-Eau, Terre et Environnement, Québec
Richard Martel, INRS-Eau, Terre et Environnement, Québec
René Lefebvre, INRS-Eau, Terre et Environnement, Québec
Sonia Thiboutot, Defence R & D Canada (DRDC), Valcartier
Guy Ampleman, Defence R & D Canada (DRDC), Valcartier

ABSTRACT

The Arnhem anti-tank training range has been used at BCF-Valcartier since the 70's. The misfires of M72 rockets leave unexploded ordnance containing Octol at the soil surface and the rain and infiltrating water dissolves and transport energetic materials (EM) into the groundwater. During the last characterisation in 2000, the unsaturated zone was instrumented with five lysimeter boxes and four suction lysimeters around the anti-tank range. Octol (mixture of HMX, TNT and RDX) and a tracer (NaCl) were placed on the top surface of each lysimeter box to monitor water infiltration and EM transport. In the laboratory, four large sand column experiments were carried out to reproduce the EM behaviour in the unsaturated zone. Microcosm experiments were also carried out to evaluate EM biodegradation under unsaturated and aerobic conditions. The preliminary results from the field showed that TNT and RDX are detected in only a few samples from water infiltration in the first metre of soil. HMX is regularly detected in various concentrations but metabolites are always under the detection limit. Laboratory studies are not completed.

RÉSUMÉ

Le champ de tirs antichars de la BFC-Valcartier est utilisé depuis les années 70. Un certain nombre des roquettes utilisées lors des pratiques de tirs (M72) ont des ratés d'explosion et laissent leurs matériaux énergétiques (Octol) sur le sol. L'eau d'infiltration dissout l'Octol et entraîne les matériaux énergétiques (ME) vers les eaux souterraines. Au cours de la dernière caractérisation en 2000, la zone non saturée a été instrumentée avec cinq casiers lysimétriques et quatre lysimètres à succion installés en périphérie du champ de tirs. De l'Octol (mélange de HMX, TNT et RDX) et un traceur (NaCl) ont été épandus sur les casiers afin de suivre l'infiltration et le transport des ME. En laboratoire, quatre colonnes ont été montées pour reproduire le comportement des ME en zone non saturée. Des essais en microcosmes ont aussi permis d'évaluer la dégradation et la minéralisation des ME en conditions non saturées et aérobies. Les résultats préliminaires provenant du terrain montrent que le TNT et le RDX ont été détectés dans quelques échantillons de l'eau s'infiltrant dans le premier mètre du sol. Le HMX est détecté régulièrement à des concentrations très variables mais les métabolites sont toujours sous le seuil de détection. Les essais en laboratoire ne sont pas encore terminés.

1 INTRODUCTION

The Arnhem anti-tank training range has been used at BCF-Valcartier since the 70's. The ammunition used for training is the M72 rocket which has an explosive charge made of 300 g of Octol (60 % HMX, 30 % TNT and 10 % RDX). The misfires of M72 rockets leave unexploded charges at the soil surface and the rain and water from snow melt dissolve and transport energetic materials (EM) into the groundwater through the vadose zone.

Since 1995, studies have been made on the Arnhem anti-tank range to characterise EM behaviour in soil and groundwater. A preliminary study (Thiboutot et al. 1998) showed that the soil near targets was contaminated with HMX, RDX and TNT. This study also showed HMX and RDX was

detected in groundwater in one well located close to a target. In 1998, an extensive study was undertaken to characterise the groundwater and the soil (Mailloux et al. 2000). This study included the installation of a groundwater monitoring network and laboratory tests for the evaluation of physical and chemical properties of surface soil and groundwater. The study showed that groundwater was only contaminated with HMX. RDX was detected in a single groundwater sample whereas TNT was never detected above quantification limits. A mass balance of TNT and HMX was also made in surface soil. Data obtained from these studies were integrated in a 3-D numerical model representing groundwater flow and solute transport. The study finally showed that more information was needed on the processes taking place between the soil surface and the water table to better understand the behaviour and fate of EM at the site.

This paper presents the first results of the investigation of the unsaturated zone. It describes the field and laboratory experiments carried out to understand EM transport in the unsaturated zone and presents preliminary results from these investigations.

2 METHODOLOGY

The experimental study is divided in two parts. The first part of the investigation is made in the field to better characterise the infiltration of water from snow melt and rain and the initial dissolution and release of EM from the surface. The second part of the study is conducted in the laboratory under strictly controlled conditions to follow the flow, transport and degradation of EM from Octol to water and soil of the unsaturated zone.

2.1 Field investigations

To characterise the quality and quantity of the infiltrated water from rain and snow melt in the vadose zone, 5 lysimeter boxes were installed close to the surface at 0.5 m and 1 m depths. Four suction lysimeters were also installed at 3 and 8 m depths to evaluate the velocity of the water infiltration. These lysimeters (box and suction) were located outside the impact area of the anti-tank range. A rain gauge (RGEL Cat. No RA8500-000) was also put in place on site to evaluate the amount of precipitation (rain and snow) that falls at the site (Figure 1).

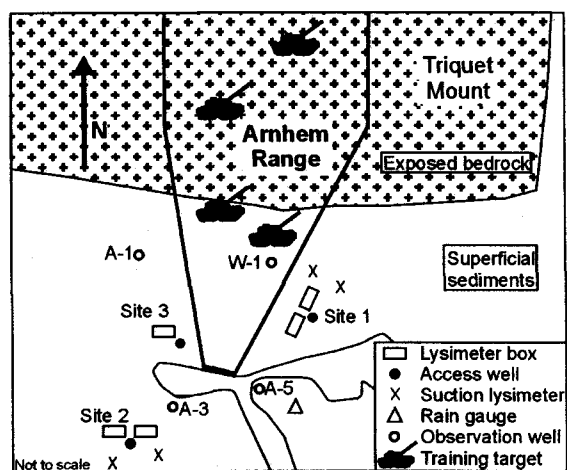


Figure 1. Location of the instrumentation for vadose zone monitoring at the Arnhem range (Modified from Mailloux et al. 2000)

2.1.1 Lysimeter boxes

The lysimeter boxes used are made of a stainless steel pan 1 m long by 0.5 m wide (Figure 2). The pan is used to intercept the infiltrated water in the vadose zone. A flexible tubing is connected to the pan and water is recovered in a stainless steel bucket to evaluate the volume of the infiltration. Five lysimeter boxes were installed between June and September 2000. A small 2 m long trench, which is 1 or 0.5 m deep, was made to have access to the soil profile. Two hydraulic jacks are placed horizontally in the trench to push the pan into the soil profile at the desired depth. The pan is inserted under an undisturbed soil block with a slope of 5%. To completely isolate the box and avoid infiltration of water from adjacent soil, the sides of the soil block is covered with bentonite powder and wrapped with a polyethylene sheet (3 mil thick). The polyethylene sheet is tied to the pan with silicone sealant. The bentonite powder also prevents preferential flow of infiltrated water along the polyethylene sheet. The trenches were made and immediately embanked one after the other when the installation of bentonite and the sheet was completed. At the soil surface, the polyethylene sheet is fixed to a wood frame to avoid the surface runoff of precipitation (rain and water from snowmelt). The water intercepted by the pan is recovered in a stainless steel pail placed in an adjacent vertical access well. A flexible stainless steel tubing fixed to the pan brings water to the access well.

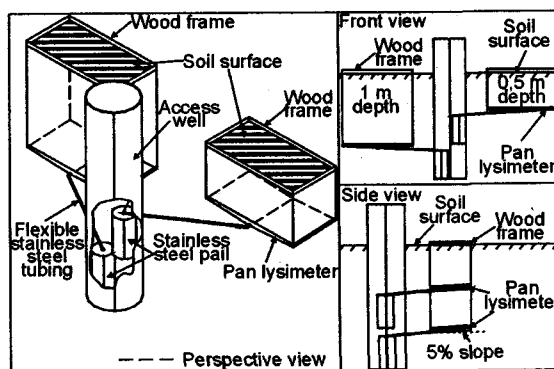


Figure 2. Lysimeter boxes set up

The lysimeter boxes are located in vegetated and non-vegetated areas in the southern part of the range. During the installation of the boxes, soil samples are collected along the profile, described and analysed for cationic exchange capacity (CEC). Analyses for total organic carbon (TOC) and iron content were also made but were not available for the paper deadline. The saturated hydraulic conductivity (k) was evaluated by different methods based on grain size curve (Vukovic and Soro, 1992). Table 1 summarises the available soil conditions for all lysimeter boxes.

Table 1. Soil block description for all lysimeter boxes

Site #	Lysimeter boxes name	Surface condition	Volume of soil block m ³	Depth interval m	Soil description	Clay content %	¹ CEC meq/100 g	² K m/s
1	L1-50	Without vegetation	0.32	0 to 0.15	Medium grained sand	0.6	0.000	4.83x10 ⁻⁵
				0.15 to 0.25	Sandy loam	3.7	5.237	2.42x10 ⁻⁷
				0.25 to 0.50	Medium grained sand	2.0	2.848	4.19x10 ⁻⁶
	L1-100	Without vegetation	0.64	0 to 0.15	Medium grained sand	0.6	0.000	4.83x10 ⁻⁵
				0.15 to 0.20	Sandy loam	3.7	5.237	2.42x10 ⁻⁷
				0.20 to 0.70	Medium grained sand	2.0	2.848	4.19x10 ⁻⁶
2	L2-100	With vegetation	0.47	0.70 to 1.00	Medium and coarse grained sand, some gravel	0.8	0.235	1.88x10 ⁻⁴
				0 to 0.50	Medium and coarse grained sand	0.4	4.901	3.16x10 ⁻⁴
				0 to 1.00	Medium and coarse grained sand	0.4	1.032	3.28x10 ⁻⁴
3	L3-100	Without vegetation	0.43	0 to 0.80	Medium grained sand, some gravel	1.2	0.558	5.65x10 ⁻⁵
				0.80 to 1.00	Silt and fine grained sand	7.5	1.651	2.35x10 ⁻⁷

¹CEC: Cation exchange capacity ²K: Estimated hydraulic conductivity

2.1.2 Octol and chloride tracer test

On December 2000, the soil surface of each lysimeter box was sprayed with a brine and crushed Octol. The brine is used as a conservative tracer and is made with 37.5 g of NaCl in 1 litre of distilled water. The Octol (22 g per lysimeter box) was applied as small flakes (0.5 to 1 cm²). Each flake was randomly put in place to uniformly distribute Octol on the soil surface. A thin layer of snow (3-4 cm) was put over the Octol after the spreading to maintain it in place. Water sampling began in December for lysimeter boxes L1-100, L2-100 and L3-100, and stopped for three months during the winter time (between January and April) when the soil was frozen. Sampling started again for all sites in April 2001 and ended in October 2001.

Each water sample collected from the lysimeter box was weighted and analysed for pH, salinity, temperature, conductivity, dissolved oxygen, oxy-reduction potential (ORP), chloride, EM (HMX, RDX, TNT and many metabolites) and other by-products of TNT (nitrate, nitrite and ammonium) (McGrath 1995). Samples for chloride, nitrate, nitrite and ammonium were not preserved but samples for EM were preserved with sodium bisulphite.

At the end of the tracer test, undissolved flakes of Octol over every lysimeter box were recovered to make a mass balance of the Octol dissolved during the field test. The flakes were dried, weighted and analysed for EM content.

2.1.3 Suction lysimeter

Four suction lysimeters were installed at sites 1 and 2 in September 2000 according to standard method (ASTM D 4696-92 1992). The suction lysimeter (model SW-070, Soil Measurement Systems) is made of a stainless steel cylinder with two outlet tubings and a porous cup. The porous cup allowed a vacuum pressure of 0.5 bar. For each outlet, a tubing is connected, one in polypropylene to make the vacuum and the other in Teflon[®] to collect the water samples. These tubing were protected by a PVC tubing that extends from the soil surface to the lysimeter. To proceed to the installation of the suction lysimeter, four boreholes were drilled with a hollow stem auger. The drilling was made at an angle of 60° from the horizontal to ensure that an undisturbed soil column is located above the suction lysimeter. In the borehole, silica flour was put under and along the porous cup to provide a good capillary contact with the soil. Above the silica flour, bentonite pellets (peltonite) was put in place on approximately 1 meter in the annular space between the borehole wall and the PVC tubing. Bentonite grout was also added to the annular space up to the surface to prevent surface water infiltration down to the sampling point.

A tracer (NaCl) was applied at the soil surface above the suction lysimeter. The granular salt was spread by hand at site 1 and a brine was manually sprayed at site 2. The application was made in nine squares of 10 m by 10 m at site 1 (500 g per square) and in nine squares of 8 m by 8.5 m at site 2 (500 g per square dilute in 1,5 litre of distilled water). The surface of application is determined

according to the depth of the lysimeter. The radius of spreading corresponded to twice the depth of the lysimeters. The quantity of sodium salt and the total surface of spreading ensure the detection of the tracer in water samples collected in the suction lysimeter. The tracer gave information on the velocities of water infiltration at large depth (3 and 8 m).

2.2 Laboratory investigations

The laboratory investigation aims to better understand the behaviour of EM in the unsaturated zone. The first laboratory tests are sand column tests in strictly control-led conditions. Four large columns were installed in a room at controlled temperature (7-8°C). The second series of tests are microcosm tests that allowed the evaluation of EM biodegradation rates under unsaturated and aerobic conditions. One series of microcosms are evaluating the transformation of EM and the other series is evaluating the mineralisation of EM.

2.2.1 Soil column tests

A soil column consisted in a stainless steel cylinder with a diameter of 21.2 cm and a height between 60 cm (short section) and 1.22 m (tall section) (Figure 3). The bottom of the column was closed with a perforated stainless steel plate covered with a stainless steel sieve (53 microns) between the soil and the plate. Another stainless steel plate, with a hole in the middle that guided the effluent toward an amber glass bottle, was located under the perforated plate. At the top of the column an irrigation system is made of a perforated Tygon® tubing placed in spiral over a pack of glass wool (Fisherbrand Glass Wool, cat. no. 11-390) that is retained by a stain-less steel screen. The glass wool allowed a better spreading of water over the top soil in the column. The soil column 1 has a particular condition of lighting (UV lamp), so the glass wool could not be used.

Each column had a water tank of distilled water, which is made of a PVC tubing (5.08 cm diameter). The tank is connected to a peristaltic pump, which supplies the water to the soil. The peristaltic pumps started each day to bring the water to the top of each column by a Tygon® tubing. A CR10x (Campbell Scientific, Alberta) controlled the starts and the stops of the pumps. Each water tank had a pressure transducer at its base connected to the CR10x. The volume of water pumped to the column is determined by measuring water pressure into the tank before and after the irrigation. The CR10x also took room temperature every hour. Each column is filled with the same soil of the site (Table 2) but coming from a sandpit very close to the Amhem

range to ensure that there is no contamination already in the soil. The collected soil samples were described and analysed for CEC. The analysis for TOC and iron content were not available for the paper deadline. The hydraulic conductivity of each sample was evaluated by different methods based on grain size (Vukovic and Soro, 1992). The soil (not previously dry) is placed in the column in thin layer of 1 cm (615.4 g). This operation prevented radial segregation of sand particles. The link between each layer is obtained by the scarification of the upper 0.5 cm of each layer before the addition of a new one. The compaction of each layer was achieved by dropping a weight (1000 g) 12 times from a height of 0.5 m. This method allowed a density of 1.75 g/cm³ which is sufficient to prevent preferential liquid channelling (1.7 g/cm³) after Ripple et al. (1973). Four columns were packed with soil. Two columns had 0.5 m of soil in short columns of 0.6 m, one had 0.9 m of soil in a tall column of 1.22 m and the last one had 3.3 m of soil in 3 sections of tall column connected together via two flanges (Table 3). The soil A was put in place in three columns whereas the tallest one has three types of soil in approximately 1 m layers to reproduce the field soil profile.

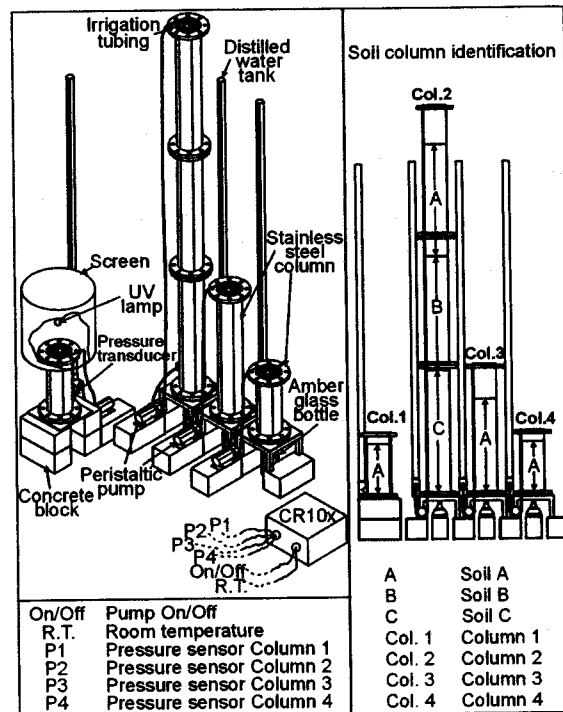


Figure 3. Column tests set up

Table 2. Soil characteristics

Soil Description	Clay content %	¹ CEC meq/100 g	² K m/s
A Coarse grained sand	0.6	0.754	1.05x10 ⁻³
B Medium grained sand	0.4	0.261	1.75x10 ⁻⁴
C Medium grained sand	0.0	0.000	1.16x10 ⁻⁴

¹CEC: Cation exchange capacity²K: Estimated hydraulic conductivity

Table 3. Column characteristics

Column #	Depth m	Soil used	Porosity %	Lighting
1	0 to 0.5	Soil A	40	UV lamp
2	0 to 0.9	Soil A	42	None
3	0 to 1.06	Soil A	39	None
	1.06 to 2.13	Soil B	41	
4	2.13 to 3.31	Soil C	43	None
	0 to 0.5	Soil A	40	

In February 2002, a brine of 3.4 g of sodium chloride were diluted in 30 ml of water and 3.0 g of small pieces of Octol flakes were uniformly spread at the top of each soil column. The irrigation of each column is a reproduction of the field conditions at three different infiltration periods of the year; the water infiltration at fall, the dry winter season and the spring snow melt (Table 4). The water volumes were calculated based on the average of precipitation records of Environment Canada (Weather Station Valcartier WQG (7018562) and Valcartier ZOY (7018564)).

The recovered water samples from effluent of the soil columns were analysed for pH, oxido-reduction potential (ORP), temperature, conductivity, dissolved oxygen, chlorides, EM (HMX, RDX, TNT and many metabolites), and other by-product of EM (nitrate, nitrite and ammonium). Samples for chloride, nitrate, nitrite and ammonium were not preserved but samples for EM were preserved with sodium bisulphite.

Table 4. Water infiltration sequence in column tests

Infiltration event	Time	Water volumes ml	Water column mm
Fall	1 month	3800	108.1
Winter	2 month	0	0
Spring	1 month	9800	279.4

2.2.2 Microcosm tests

The microcosm tests were made with a series of small bottles (120 ml serologic bottles) containing the same quantity of a split sample of soil (20 g) contaminated with EM. All experiment bottles were performed in triplicate and are filled the same day thus indicating the beginning of the test. The bottles are put in a controlled environment (temperature 7-8°C) and analysing the EM content in soil at different times follows degradation that is occurring. Eight times of sampling are planned according to the degradation rates and each time, a set of three bottles is placed in a freezer at 4°C to stop the degradation.

The soil used for the microcosm tests comes from the top of lysimeter boxes (first 15 cm). Two different soils are used, the first one comes from the lysimeter box L2-50 that has a vegetation cover and the other soil sample is from lysimeter box L3-100 that has a non vegetated soil surface. These soils were already contaminated with EM but not in sufficient concentration for the microcosm tests. Octol in powder was added and mixed with the soil to increase its concentration in Octol to 500 mg/kg.

2.2.3 Analytic methods

For the water samples collected in the field (lysimeters), the measurement of parameters such as pH, temperature, conductivity, salinity, dissolved oxygen and oxidation-reduction potential (ORP) were made with specific probes (YSI 63: pH, conductivity, temperature; YSI 55: dissolved oxygen and HI 98201(Hanna Instrument): ORP). For the water samples collected in the laboratory (soil columns), the measurement of dissolved oxygen, pH, conductivity, temperature and ORP was made with the YSI 556 multiprobe system.

Different methods were used to analyse water samples. Analyses of EM for field investigation and column tests were made at DRDC in Valcartier with EPA method 83-30 by HPLC (Detection limit of 0.05 µg/L). Analyses of EM for microcosm tests were made at BRI in Montreal with the same method. Chloride analyses were made with an ion-selective electrode (Cole-Parmer cat. no. U27504-08). Nitrate and nitrite were analysed by hydrazine reduction flow injection analysis colorimetry (QuickChem Method 10-107-04-2-A) on Lachat Instrument with modification to the method to an applicable range of 0 to 20 mg NO₃/L. The detection limit was 0.05 mg/L. The same instrument was used to analyse ammonium (QuickChem Method 10-107-06-2-B). The applicable range was 1 to 300 µg N/L and the method detection limit was 3 µg/L.

The determination of soil characteristics also required different techniques. The grain-size curve

is made by laser granulometry. The cation exchange capacity was determined by the method of Chapman (1965). The hydraulic conductivity is determined with the grain size curve. Five different empirical formulas (Hazen, Slichter, Terzaghi, Beyer and USBR) are used according to their domain of applicability (Vukovic & Soro, 1992). The total organic carbon is determined according to the method of Environment Canada and Ministry of Environment of Quebec (1992). The porosity of the soil in the column is calculated with bulk density and particle density. The particle density is measured using the pycnometer technique (Carter and Ball 1993).

3 Results

3.1 Field investigations

The vadose zone monitoring installations in the Arnhem range allowed the possibility to get information on the infiltration events during the snow melt but also during the summer. The data obtained are used to characterise the quantity of water but also the velocity of the infiltration with the tracer test. This test also gave information on the behaviour of EM under field conditions.

3.1.1 Infiltration

The lysimeter boxes gave data on the quantity of water infiltration. The water infiltration was not the same at 0.5 m depth than at 1 m depth (Table 5).

Table 5. Water infiltration in lysimeter boxes

Site #	Lysimeter box name	Water volume	Water column
		ml	mm
1	L1-50	146158,6	286.6
	L1-100	392894,6	569.4
2	L2-50	171682,2	381.5
	L2-100	281748,9	541.8
3	L3-100	347479,6	789.7

The rain gauge installed at the Arnhem range recorded data of precipitation between December 2000 and April 2001. The data logger became unusable after April. The other data on precipitation used in this study came from the weather station of Environment Canada located at the military base. These data showed a total of precipitation of 874 mm of water over 10 months. The infiltration data thus show that 33% to 66% of the precipitation infiltrated into the soil.

3.1.2 Analyses of sampling results

Water samples from lysimeter boxes were analysed for chloride. The chloride concentration lied between 0 and 600 mg/L. The breakthrough curves for chlorides had all an initial increase in April followed by a prolonged tail (Figure 4). The chloride recovery for the tracer test for site 1 is 79% and 56,9% for lysimeter boxes L1-50 and L1-100. The recovery in site 2 is 84.4% and 85.5% for lysimeter boxes L2-50 and L2-100. In site 3, 91.6% of the spread chloride was recovered.

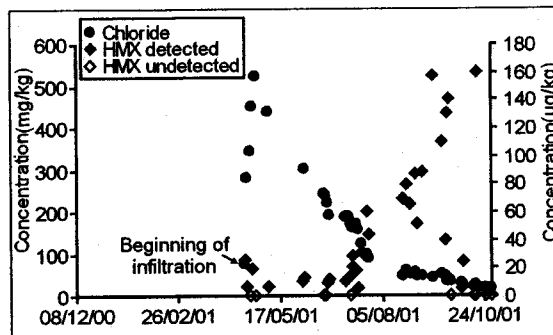


Figure 4. Chloride and HMX concentration in water samples from lysimeter box L2-50.

The result for EM analyses showed the presence of HMX in a lot of samples with concentrations from 0 to 160 µg/L. The concentration in a sample is not proportional to its volume of water. The distribution of concentration did not follow any coherent pattern. Generally, the distributions show increase in concentration in HMX when several consecutive days of precipitation occur. The concentrations came back down after a period without precipitation (Figure 4). The HMX recovery in water samples is between 0,008% and 0,068%, which correspond to a mass of 1.1 mg to 8.98 mg.

RDX was detected in only three water samples. Two samples come from the lysimeter box L2-100, one in December (2.1 µg/L) and another one in August (16.4 µg/L), the third sample (2.6 µg/L) was taken in lysimeter box L1-100, also in December. TNT was detected in seven samples, among which five were taken in December and January in lysimeter boxes L1-100 (3.8 to 15.3 µg/L) and L2-100 (44.3 to 73.1 µg/L), one in L2-50 in April (2.9 µg/L) and the last one in August in lysimeter box L2-100 (34.3 µg/L). EM metabolites were never detected but nitrogen by-products were detected in almost all samples. The concentrations of nitrite and nitrate are between 0 and 30 mg NO₃/L. Results from each lysimeter box seem to have different patterns. L1-50 and L2-50 showed an increase in nitrite and nitrate and a decrease to zero. L1-100 and L2-100 showed almost constant concentrations during whole the experiment and L3-100 showed a continuous increase in concentration. All samples from lysimeter box L2-100 presented very low

concentrations in nitrate and nitrite (0 to 2.5 mg NO₃/L). The analysis of ammonium presented concentrations generally between 0 and 500 µg N/L, but some samples reached a concentration of 3576 µg N/L. No particular pattern is distinguishable in the variation of ammonium concentration.

The recovered water samples from the lysimeter boxes had pH conditions between 4.2 and 6.5. The temperature of the samples varied between 2°C and 20°C depending on the period when the samples were taken (spring or summer). The oxydo-reduction potential was between 200 mV and 350 mV which represents oxidising condition.

The results of analyses of the undissolved Octol flakes were not available at the time of the paper deadline.

3.1.3 Transport parameters

The transport parameters are evaluated with the data from the tracer test made on lysimeter boxes and on suction lysimeters. The setup of the lysimeter boxes represented transient flow under unsaturated conditions. The data from this setup will be modelled to find the travel time of the water to 0.5 m and 1 m depths. The data collected from the suction lysimeters did not allow the calculation of any transport parameter.

3.2 Laboratory investigations

Some results from the column tests are available. At the paper deadline, the first infiltration event was already completed and the second infiltration event running. Results from microcosm tests were not available.

3.2.1 Column tests

Only the first infiltration event was completed and analysed. These results showed the arrival of chloride in columns 1, 3 and 4. Only column 4 showed clearly that the maximum concentration in chloride is reached. No chloride is detected in water samples from column 2. No EM or metabolites are detected in any samples of the first infiltration event. Nitrogen by-products are detected in water samples of all columns. The concentration of nitrate and nitrite varied between 0,05 and 2,1 mg NO₃/L. The ammonium concentration in water sample is from 3.2 µg N/L to 34.1 µg N/L.

3.2.2 Microcosm tests

A preliminary analysis of soil used for the microcosm test (from lysimeter boxes L2-50 and L3-100) showed the presence of HMX and TNT in the first 15 cm depth. These soil samples are stored in a freezer and they were not analysed at the paper deadline.

4 Discussion

The discussion focussed mainly on the results of the field investigations. The results from the laboratory study were still too incomplete to have a good discussion on it.

4.1 Water infiltration

The field installation gave the quantity of water infiltrated into the soil. The results from sites 1 and 2 seem to match if they are compared for the same depth, L1-50 with L2-50 and L1-100 with L2-100. If the results are compared for a same site, the infiltration was different only during the spring event for site 2, whereas for site 1, the infiltration was always different especially during three months (August, September and October) where there was just a little infiltration in the lysimeter box L1-50. These data represented the real infiltration. The previous work (Mailloux et al. 2000) mentioned an estimated infiltration of 435 mm per year based on an hydrograph for the observation well A-3 located near site 2 (Figure 1). Based on lysimeter, the average of infiltration for site 1 is 428 mm and for site 2 it is 462 mm for 10 months. These data are in general agreement.

The different results from site 3 are probably related to a deficient installation (perhaps a hole in the plastic sheet) of the lysimeter box that caused an infiltration of water from the outside of the box. The data from this lysimeter box will not be considered in the discussion.

4.2 EM behaviour

Explosives are relatively stable in surface soils because of the presence of solid products in the soil (Pennington et al. 1995 in Brannon & Myers 1997). The transformation processes affecting explosives are active primarily in the aqueous phase and therefore may be limited by dissolution kinetics (McGrath 1995). The aqueous solubility of TNT is 110 mg/L (10°C), for HMX it is 1.21 mg/L (10°C) and for RDX it is 28.9 mg/L (10°C) (McGrath 1995). EMs in the aqueous phase are mainly susceptible to biotransformation, degradation, adsorption,

mineralisation or photodegradation that is a potentially significant process in the uppermost centimetres of soil (McGrath 1995). All EMs tracked at the site have different behaviours. TNT is a nitroaromatic while RDX and HMX are nitroazines. Volatilisation is an insignificant environmental pathway for TNT, HMX and RDX due to their low vapour pressures and Henry's constant (McGrath 1995).

4.2.1 TNT

TNT in an aerobic environment at the surface of the soil is often degraded by oxidation of the methyl carbon (Major 1999). Although reduction of nitro groups to amino groups occurs under aerobic conditions (McGrath 1995). In aerobic tests, TNT sorption was rapid. Sorption is required before transformation and only a portion of TNT sorption sites is involved in TNT transformation (Townsend & Myers 1996). There is a good correlation between TNT K_d (partitioning coefficient) values and soil Fe, cation exchange capacity (CEC) and clay content (Pennington & Patrick 1990). Sequestration of TNT and its transformation products will be more pronounced in soils high in organic carbon (Brannon et al. 1999). Biological mineralisation of TNT is difficult (Major 1999) and has not been significant (Townsend & Myers 1996). TNT is also susceptible to phototransformation (McGrath 1995).

In lysimeter boxes at the study site, TNT is detected in only 7 water samples and a small concentration is detected in surface soil of lysimeter boxes (preliminary result). This means that TNT goes in solution in infiltrating water. A portion of TNT is probably adsorbed by soil particles. This will be checked with the analysis of iron content (not available for the paper deadline), CEC and percent clay content values. The TOC can give an idea of sorption. There is probably a part of TNT degradation to nitrate, nitrite and ammonium. The concentrations in nitrate, nitrite and ammonium change during the experiment but these components were already present in soil. The background in nitrate and nitrite was evaluated with the concentration in the first recovered water samples. The background showed small concentrations (0 to 3 $\mu\text{g NO}_3/\text{L}$) for lysimeter boxes L1-100, L2-50 and L2-100. Photodegradation may have occurred directly in surface soil when TNT goes into solution. This could explain why just a small quantity of TNT goes directly into lower soil horizons. Five of the water samples where TNT is detected are taken when snow recovered the Octol flakes, so these may have been protected from UV light and photodegradation.

4.2.2 HMX and RDX

Adsorption of explosives on soil particles can slow down the transport of explosives in solution, especially for HMX and RDX. The sorption of RDX and HMX is unaffected by the presence of each other in solution (Leggett 1985 in Townsend & Myers 1996). HMX sorption may be non-linear or nonequilibrium controlled (Townsend & Myers 1996) but adsorption of RDX is rapid under biotic conditions (Townsend & Myers 1996). For HMX, soil characteristics are not good predictors of HMX K_d (Brannon et al. 1999). Soil CEC can predict RDX K_d . HMX is relatively stable under a wide variety of environmental conditions (Brannon et al. 1999). RDX is fairly insoluble in water, relatively non-adsorbable and highly resistant to biodegradation (Speitel et al. 2001). Mineralisation of RDX to CO_2 occurs under aerobic conditions (Brannon & Myers 1997). HMX and RDX in aqueous solution exposed to UV light results in the formation of a variety of azoxy compounds (McGrath 1995).

In our lysimeter boxes, RDX is found in only 3 samples and no RDX is found in surface soil. The RDX had a low solubility in water. The part of RDX that goes in solution in water is maybe degraded due to UV light or maybe had a complete mineralisation. HMX has a very low solubility in water. A low concentration of HMX is found in surface soil of lysimeter boxes. The fact that 60% of the Octol is HMX may explain why HMX is found in water samples and RDX (10% of Octol) was almost never found.

The behaviour of EM will be easier to identify when the analytical results of the undissolved flakes of Octol will be known. This will give information on the quantities of Octol that went in solution, so the quantities of TNT, HMX and RDX that are susceptible to follow the different pathways could be better explained.

5 Conclusion

With the data obtained until now, it is possible to say that TNT is possibly partly adsorbed and partly biodegraded and photodegraded. The same is not applicable to RDX and HMX. A small quantity of HMX and RDX probably goes in solution in water. When HMX and RDX are in solution, a small part can mineralise, or degrade under UV light whereas the majority of the mass in solution goes down to groundwater. This would be coherent with the observed HMX plume at the site (Mailloux et al. 2000).

These conclusions are very preliminary. When all data from field experiments will be available (Octol flakes and soil analyses), it will be easier to explain

the results from water analyses. Also, microcosm tests will give data on mineralisation and biodegradation of EM. Column experiments will provide information on the effect of UV light on degradation of EM.

6 Acknowledgements

The authors would like to thank all the collaborators involved in this project. The Ministry of National Defence provided a financial support. The DRDC-Valcartier provided all analyses. BRI performed also some of the analyses. This project is also supported through NSERC and NATEQ operating grants of Richard Martel and René Lefebvre.

7 REFERENCES

- American Standards for Testing and Materials. 1992. *Standard Guide for Pore-Liquid Sampling from the Vadose Zone*. D 4696-92
- Brannon, J.M., Deliman, P., Ruiz, C., Price, C., Gerald, J.A., Hayes, C. & Yost, S. 1999. *Conceptual Model and Process Descriptor Formulations for Fate and Transport of UXO*. Technical Report IRRP-99-1. US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Brannon, J.M. & Myers, T.E. 1997. *Review of Fate and Transport Processes of Explosives*. Technical Report IRRP-97-2. US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Carter, M.R. & Ball, B.C. 1993. *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Lewis Publisher, Boca Raton, Florida.
- Chapman, H.D. 1965. Cation-Exchange capacity. *Methods of Soil Analysis-Chemical and Microbiological properties*. Agronomy monograph, 9:891-901.
- Environment Canada & Ministry of Environment of Quebec. 1992. Carbone organique total. *Guide méthodologique de caractérisation des sédiments*. p.81-86.
- Mailloux, M., Martel, R., Lefebvre, R., Thiboutot, S. & Ampleman, G. 2000. Energetic material behaviour in groundwater at the Arnhem Anti-tank range, CFB-Valcartier, Quebec, Canada. *Proceeding of 1st Joint IAH-CNC and CGS Groundwater Specialty Conference*. p.213-220
- Major, M.A. 1999. Biological degradation of explosives. *Bioremediation of Contaminated Soils*. Agronomy Monograph, 37:111-132.
- McGrath, C.J. 1995. *Review of Formulations for Processes Affecting the Subsurface Transport of Explosives*. Technical Report IRRP-95-2. US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Pennington, J.C. & Patrick, W.H. 1990. Adsorption and desorption of 2,4,6-trinitrotoluene by soils. *Journal of Environmental Quality*. 19:559-567.
- Ripple, C.D., James, R.V. & Rubin, J. 1973. Radial particle-size segregation during packing of particles into cylindrical containers. *Power technology*, 8:165-175.
- Speitel, G.E., Engels, T.L. & McKinney, D.C. 2001. Biodegradation of RDX in unsaturated soil. *Bioremediation Journal*. 5(1):1-11.
- Thiboutot, S., Ampleman, G., Gagnon, A., Marois, A., Jenkins, T.F., Walsh, M.E., Thorne, P.G. & Ranney, T.A. 1998. *Characterisation of AntiTank firing ranges at CFB Valcartier, WATC Wainwright and CFAD Dundum*. DREV, National Defence Department.
- Townsend, D.M. & Myers, T.E. 1996. *Recent Development in Formulating Model Descriptors for Subsurface Transformation and Sorption of TNT, RDX and HMX*. Technical Report IRRP-96-1. US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Vukovic, M. & Soro, A. 1992. *Determination of hydraulic conductivity of porous media from grain-size composition*. Water Resources Publications, Littleton, Colorado.



Annexe B

**Résultats détaillés d'échantillonnage et d'analyse des essais effectués
sur chaque casier lysimétrique**



Les tableaux suivants montrent les résultats d'échantillonnage des casiers lysimétriques L1-50 (Tableau B.1.), L1-100 (Tableau B.2.), L2-50 (Tableau B.3.), L2-100 (Tableau B.4.) et L3-100 (Tableau B.5.). Pour chaque casier, un tableau séparé en trois parties présente les dates d'échantillonnage et les volumes d'eau recueillis, les valeurs des paramètres de terrain comme le pH, la température (Temp.), la conductivité (Cond.), la conductivité spécifique (Cond. Spéc.), la salinité, l'oxygène dissous (O₂ dissous) et le potentiel d'oxydo-réduction (Pot. oxydo-réd.) et les résultats des analyses effectués pour les concentrations en chlorure et en matériaux énergétiques et leurs produits de transformation.

Une légende est associée aux tableaux présentés :



1^{ère} partie du tableau

- (*) Échantillon incomplet suite à un débordement ou un renversement
 (Rien) Aucun échantillon prélevé pendant cette période

2^e partie du tableau

- Aucune lecture
 (brisée) Sonde de potentiel d'oxydo-réduction hors d'usage
 Lerr Lecture hors des limites de l'appareil

3^e partie du tableau

- n.d. Concentration sous les limites de détection
 Échantillon d'eau inutilisable
 Aucun échantillon d'eau

Il est à noter que les échantillons d'eau ont aussi été analysés pour les composés suivants : 1,3,5-TNB; DNB; Tetryl; NB; 2,4-DNT; 2,6-DNT; 2A-DNT; 4A-DNT et Mono-Nitro, mais que ces composés n'ont pas été détectés.

Tableau B.1. Données du casier lysimétrique L1-50

Date d'échantillonnage et volume d'eau recueilli pour chaque échantillon

L1-50 Échantillon #	Date	Nombre de jours		Pesée totale	Pesée chaudière	Pesée eau	Volume d'eau cumulatif		Éq. hauteur d'eau
			cumulatifs	g	g	g	ml	ml	mm H ₂ O
0	Bruit de fond	0	0	—	—	—	—	—	—
(Rien)	08-12-00 au 23-04-01	137	137	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	23-04-01 au 25-04-01	2	139	6680,0	1214,0	5466,0	5466,0	5466,0	10,7
2	25-04-01 au 26-04-01	1	140	4302,6	1148,9	3153,7	3153,7	8619,7	16,9
3	26-04-01 au 27-04-01	1	141	5256,0	1202,0	4054,0	4054,0	12673,7	24,9
4	27-04-01 au 28-04-01	1	142	5149,4	1183,9	3965,5	3965,5	16639,2	32,6
5	28-04-01 au 30-04-01	2	144	7632,9	1190,2	6442,7	6442,7	23081,9	45,3
6	30-04-01 au 01-05-01	1	145	4063,3	1182,7	2880,6	2880,6	25962,5	50,9
7	01-05-01 au 07-05-01	6	151	2977,1	1187,1	1790,0	1790,0	27752,5	54,4
8	07-05-01 au 18-05-01	11	162	—	—	—	655,0	28407,5	55,7
(Rien)	18-05-01 au 25-05-01	7	169	—	—	—	—	—	—
9	25-05-01 au 29-05-01	4	173	7671,0	1188,0	6483,0	6483,0	34890,5	68,4
10	29-05-01 au 31-05-01	2	175	3217,0	1354,0	1863,0	1863,0	36753,5	72,1
11	31-05-01 au 03-06-01	3	178	9640,7	1343,2	8297,5	8297,5	45051,0	88,3
12 (*)	03-06-01 au 05-06-01	2	180	11812,0	1206,0	10606,0	10606,0	55657,0	109,1
13	05-06-01 au 18-06-01	13	193	3352,0	1154,0	2198,0	2198,0	57855,0	113,4
14	18-06-01 au 20-06-01	2	195	5475,0	1149,0	4326,0	4326,0	62181,0	121,9
15	20-06-01 au 22-06-01	2	197	1945,5	1202,6	742,9	742,9	62923,9	123,4
16	22-06-01 au 23-06-01	1	198	13399,1	1367,2	12031,9	12031,9	74955,8	147,0
17	23-06-01 au 24-06-01	1	199	3398,4	1197,4	2201,0	2201,0	77156,8	151,3
(Rien)	24-06-01 au 04-07-01	10	209	—	—	—	—	—	—
18	04-07-01 au 07-07-01	3	212	2754,0	1360,0	1394,0	1394,0	78550,8	154,0
19	07-07-01 au 09-07-01	2	214	2047,0	1347,0	700,0	700,0	79250,8	155,4
20	09-07-01 au 11-07-01	2	216	6926,0	1342,0	5584,0	5584,0	84834,8	166,3
21	11-07-01 au 12-07-01	1	217	2887,0	1214,0	1673,0	1673,0	86507,8	169,6
22	12-07-01 au 13-07-01	1	218	2905,8	1340,2	1565,6	1565,6	88073,4	172,7
23	13-07-01 au 15-07-01	2	220	2529,5	1180,8	1348,7	1348,7	89422,1	175,3
24	15-07-01 au 17-07-01	2	222	7897,0	1199,0	6698,0	6698,0	96120,1	188,5
25	17-07-01 au 19-07-01	2	224	6845,0	1215,0	5630,0	5630,0	101750,1	199,5
26	19-07-01 au 23-07-01	4	228	5147,0	1151,0	3996,0	3996,0	105746,1	207,3
27	23-07-01 au 25-07-01	2	230	6267,0	1179,0	5088,0	5088,0	110834,1	217,3
(Rien)	25-07-01 au 17-08-01	23	253	—	—	—	—	—	—
28	17-08-01 au 20-08-01	3	256	4130,0	1188,0	2942,0	2942,0	113776,1	223,1
29	20-08-01 au 21-08-01	1	257	4310,0	1346,0	2964,0	2964,0	116740,1	228,9
30	21-08-01 au 23-08-01	2	259	2484,0	1206,0	1278,0	1278,0	118018,1	231,4

31	23-08-01 au 27-08-01	4	263	3780,0	1359,0	2421,0	2421,0	120439,1	236,2
32	27-08-01 au 30-08-01	3	266	2076,0	1336,0	740,0	740,0	121179,1	237,6
33	30-08-01 au 01-09-01	2	268	4280,0	1360,0	2920,0	2920,0	124099,1	243,3
34	01-09-01 au 05-09-01	4	272	2789,0	1339,0	1450,0	1450,0	125549,1	246,2
35	05-09-01 au 13-09-01	8	280	2479,0	1357,0	1122,0	1122,0	126671,1	248,4
36	13-09-01 au 21-09-01	8	288	3852,0	1338,0	2514,0	2514,0	129185,1	253,3
37	21-09-01 au 24-09-01	3	291	6225,0	1207,0	5018,0	5018,0	134203,1	263,1
38	24-09-01 au 26-09-01	2	293	3911,0	1340,0	2571,0	2571,0	136774,1	268,2
39	26-09-01 au 06-10-01	10	303	3520,4	1209,1	2311,3	2311,3	139085,4	272,7
40	06-10-01 au 07-10-01	1	304	2845,3	1354,1	1491,2	1491,2	140576,6	275,6
41	07-10-01 au 16-10-01	9	313	2461,0	1153,0	1308,0	1308,0	141884,6	278,2
42	16-10-01 au 18-10-01	2	315	2677,0	1346,0	1331,0	1331,0	143215,6	280,8
43	18-10-01 au 24-10-01	6	321	2475,0	1185,0	1290,0	1290,0	144505,6	283,3
44	24-10-01 au 26-10-01	2	323	2471,0	1142,0	1329,0	1329,0	145834,6	286,0
45	26-10-01 au 30-10-01	4	327	1668,0	1344,0	324,0	324,0	146158,6	286,6

Valeurs des paramètres de terrain dans chaque échantillon d'eau

L1-50 Échantillon #	Paramètres de terrain							
	pH	Temp.	Cond.	Cond. Spéc.	Salinité	O ₂ dissous		Pot. oxydo-réd.
		°C	mS	mS	ppt	%	mg/L	mV
0	—	—	—	—	—	—	—	—
1	4,91	1,1	368,3	LErr	0,3	54,4	7,72	—
2	4,66	2,1	469,0	LErr	0,4	89,4	12,26	—
3	4,59	2,5	554,0	968,0	0,5	56,7	7,76	—
4	4,58	1,8	609,0	1082,0	0,5	74,5	10,48	—
5	4,64	2,3	610,0	1081,0	0,5	66,0	9,01	—
6	4,58	2,6	592,0	1049,0	0,5	58,4	7,85	—
7	4,63	6,9	680,0	1040,0	0,5	57,5	6,96	—
8	4,50	12,6	695,0	907,0	0,4	66,7	7,05	—
9	4,76	12,0	688,0	915,0	0,5	54,8	5,92	234
10	5,52	11,9	358,7	475,8	0,2	46,6	5,02	294
11	4,31	11,8	599,0	796,0	0,4	25,7	2,87	257
12 (*)	4,56	11,1	477,0	633,0	0,3	62,0	6,92	351
13	4,80	17,9	433,5	520,0	0,2	26,9	2,55	253
14	4,68	16,8	409,8	486,3	0,2	34,8	3,36	219
15	4,67	16,6	203,3	241,8	0,1	48,0	3,06	246
16	4,68	16,6	374,4	443,9	0,2	53,6	5,22	283
17	4,38	18,3	331,0	374,9	0,2	55,3	5,20	341
18	4,98	17,0	317,4	375,2	0,2	64,3	6,21	245
19	5,02	18,6	275,4	311,3	0,1	48,7	4,55	274
20	4,82	17,1	265,3	312,0	0,2	44,7	4,33	287
21	4,83	18,0	342,4	393,5	0,2	48,6	4,61	300
22	4,54	16,1	245,1	295,1	0,1	55,8	5,41	(brisée)
23	4,59	18,7	261,4	297,0	0,1	53,9	5,08	(brisée)
24	4,57	17,2	223,3	264,0	0,1	22,1	2,15	(brisée)
25	4,72	17,4	230,0	267,8	0,1	31,8	3,04	(brisée)
26	4,85	18,3	200,1	225,9	0,1	45,5	4,29	(brisée)
27	4,86	19,0	179,2	201,7	0,1	32,6	2,83	(brisée)
28	4,89	18,2	162,0	187,2	0,1	47,6	4,47	136
29	4,93	18,6	165,2	188,9	0,1	47,6	4,46	(brisée)
30	4,92	19,3	178,2	200,3	0,1	56,6	5,23	(brisée)
31	4,75	18,5	156,3	178,4	0,1	52,7	4,93	(brisée)
32	5,03	16,1	166,9	201,4	0,1	48,9	4,78	(brisée)
33	4,74	16,4	181,3	215,6	0,1	44,1	4,32	(brisée)
34	4,89	16,5	170,0	203,2	0,1	36,5	3,78	(brisée)
35	4,84	17,2	138,9	163,1	0,1	38,9	3,94	(brisée)
36	4,91	15,4	140,0	170,5	0,1	39,7	3,97	(brisée)
37	4,75	15,9	158,5	191,9	0,1	40,3	3,99	(brisée)

38	5,03	15,2	182,4	223,6	0,1	44,1	4,45	(brisée)
39	5,27	13,4	154,0	197,0	0,1	44,9	4,71	(brisée)
40	4,86	10,7	158,4	217,1	0,1	51,3	5,66	(brisée)
41	--	--	--	--	--	--	--	--
42	--	--	--	--	--	--	--	--
43	--	--	--	--	--	--	--	--
44	--	--	--	--	--	--	--	--
45	--	--	--	--	--	--	--	--

Concentrations des composés détectés dans chaque échantillon d'eau

L1-50 Échantillon #	Traceur				Matériaux énergétiques					Produits de transformation		
	Chlorures				HMX			RDX	TNT	Nitrates + Nitrites	Azote ammoniacale	
	mg/L	Masse mg	cumulée	% récup.	µg/L	Masse mg	cumulée	% récup.	µg/L	µg/L	mg NO ₃ /L	µg N/L
0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	176,0	962,0	962,0	4,2	—	—	—	—	—	—	28,7	12,9
2	248,0	782,1	1744,1	7,7	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	26,0	65,8
3	295,0	1195,9	2940,1	12,9	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	25,7	52,8
4	292,0	1157,9	4098,0	18,0	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	26,8	39,7
5	324,0	2087,4	6185,4	27,2	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	25,9	63,4
6	332,0	956,4	7141,8	31,4	2,8	0,01	0,01	0,000	n.d.	n.d.	24,2	206,9
7	341,0	610,4	7752,2	34,1	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	24,1	25,4
8	324,0	212,2	7964,4	35,0	4,8	0,00	0,01	0,000	n.d.	n.d.	14,8	n.d.
9	269,0	1743,9	9708,3	42,7	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	26,3	53,6
10	239,0	445,3	10153,6	44,6	113,9	0,21	0,22	0,001	n.d.	n.d.	24,5	76,2
11	—	—	—	—	22,4	0,19	0,41	0,003	n.d.	n.d.	—	—
12 (*)	172,9	1833,8	11987,4	52,7	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	23,3	57,0
13	154,5	339,6	12326,9	54,2	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	23,3	n.d.
14	140,1	606,1	12933,0	56,8	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	22,7	n.d.
15	117,2	87,1	13020,1	57,2	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	18,0	1069,1
16	108,7	1307,9	14328,0	62,9	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	19,4	14,9
17	87,6	192,8	14520,8	63,8	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	18,6	414,8
18	86,3	120,3	14641,1	64,3	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	16,4	522,3
19	73,4	51,4	14692,4	64,5	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	19,7	5,2
20	80,4	449,0	15141,4	66,5	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	19,7	268,0
21	72,3	121,0	15262,4	67,1	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	17,6	130,9
22	71,2	111,5	15373,8	67,5	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	19,0	130,4
23	65,2	87,9	15461,8	67,9	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	18,2	60,6
24	60,2	403,2	15865,0	69,7	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	17,8	n.d.
25	52,6	296,1	16161,1	71,0	—	—	—	—	—	—	20,8	16,2
26	39,1	156,2	16317,4	71,7	15,0	0,06	0,47	0,003	n.d.	n.d.	19,2	n.d.
27	37,2	189,3	16506,6	72,5	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	19,8	12,4
28	31,9	93,8	16600,5	72,9	8,4	0,02	0,49	0,003	n.d.	n.d.	15,6	54,3
29	33,9	100,5	16701,0	73,4	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	18,9	43,1
30	31,8	40,6	16741,6	73,5	11,9	0,02	0,51	0,003	n.d.	n.d.	18,2	14,7
31	28,1	68,0	16809,6	73,8	33,8	0,08	0,59	0,004	n.d.	n.d.	18,2	24,9
32	27,9	20,6	16830,3	73,9	36,4	0,03	0,62	0,004	n.d.	n.d.	17,9	177,8
33	24,2	70,7	16900,9	74,2	39,0	0,11	0,73	0,005	n.d.	n.d.	9,8	n.d.
34	25,6	37,1	16938,1	74,4	33,1	0,05	0,78	0,005	n.d.	n.d.	16,0	n.d.
35	2,5	2,8	16940,9	74,4	—	—	—	—	—	—	0,2	823,1
36	27,9	70,1	17011,0	74,7	20,0	0,05	0,83	0,005	n.d.	n.d.	16,2	n.d.
37	47,8	239,9	17250,9	75,8	20,0	0,10	0,93	0,006	n.d.	n.d.	14,1	6,2

38	51,0	131,1	17382,0	76,4	30,0	0,08	1,01	0,007	n.d.	n.d.	9,4	n.d.
39	48,2	111,4	17493,4	76,9	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	4,1	n.d.
40	49,6	74,0	17567,4	77,2	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	3,9	148,5
41	43,7	57,2	17624,5	77,4	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	0,9	n.d.
42	42,3	56,3	17680,8	77,7	70,0	0,09	1,10	0,007	n.d.	n.d.	0,8	n.d.
43	35,0	45,2	17726,0	77,9	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	0,4	n.d.
44	31,2	41,5	17767,4	78,1	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	0,2	n.d.
45					n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.		

Tableau B.2. Données du casier lysimétrique L1-100

Date d'échantillonnage et volume d'eau recueilli pour chaque échantillon

L1-100 Échantillon #	Date	Nombre de jours		Pesée totale	Pesée chaudière	Pesée eau	Volume d'eau cumulatif		Éq. hauteur d'eau
			cumulatifs	g	g	g	ml	ml	mm H ₂ O
0	Bruit de fond	0	0	—	—	—	—	—	—
1 (*)	08-12-00 au 18-12-00	11	11	4189,4	1338,0	2851,4	3481,4	3481,4	5,0
2 (*)	18-12-00 au 21-12-00	3	14	5612,0	1338,0	4274,0	4274,0	7755,4	11,2
3	21-12-00 au 22-12-00	1	15	4082,0	1334,0	2748,0	3513,8	11269,2	16,3
4	22-12-00 au 15-01-01	24	39	3270,0	1319,0	1951,0	2811,0	14080,2	20,4
(Rien)	15-01-01 au 28-04-01	103	142	—	—	—	—	—	—
5	28-04-01 au 30-04-01	2	144	5072,9	1211,2	3861,7	3861,7	17941,9	26,0
6 (*)	30-04-01 au 01-05-01	1	145	10675,0	1353,5	9321,5	9321,5	27263,4	39,5
7	01-05-01 au 02-05-01	1	146	9489,6	1217,8	8271,8	8271,8	35535,2	51,5
8	02-05-01 au 03-05-01	1	147	5332,2	1165,0	4167,2	4167,2	39702,4	57,5
9	03-05-01 au 04-05-01	1	148	5840,0	1209,0	4631,0	4631,0	44333,4	64,3
10	04-05-01 au 05-05-01	1	149	4472,2	1352,3	3119,9	3119,9	47453,3	68,8
11	05-05-01 au 07-05-01	2	151	3144,4	1339,2	1805,2	1805,2	49258,5	71,4
12	07-05-01 au 14-05-01	7	158	5404,8	1362,1	4042,7	4042,7	53301,2	77,2
13	14-05-01 au 18-05-01	4	162	2262,0	1209,0	1053,0	1053,0	54354,2	78,8
(Rien)	18-05-01 au 25-05-01	7	169	—	—	—	—	—	—
14	25-05-01 au 29-05-01	4	173	6576,0	1361,0	5215,0	5215,0	59569,2	86,3
15	29-05-01 au 31-05-01	2	175	12213,0	1184,0	11029,0	11029,0	70598,2	102,3
16	31-05-01 au 03-06-01	3	178	9937,6	1210,9	8726,7	8726,7	79324,9	115,0
17 (*)	03-06-01 au 05-06-01	2	180	12084,0	1159,0	10925,0	10925,0	90249,9	130,8
18	05-06-01 au 07-06-01	2	182	8802,0	1209,0	7593,0	7593,0	97842,9	141,8
19	07-06-01 au 13-06-01	6	188	2132,3	1193,4	938,9	938,9	98781,8	143,2
20	13-06-01 au 18-06-01	5	193	6645,0	1187,0	5458,0	5458,0	104239,8	151,1
21	18-06-01 au 20-06-01	2	195	11010,0	1186,0	9824,0	9824,0	114063,8	165,3
22	20-06-01 au 22-06-01	2	197	3220,3	1339,3	1881,0	1881,0	115944,8	168,0
23	22-06-01 au 23-06-01	1	198	12841,3	1361,1	11480,2	11480,2	127425,0	184,7
24	23-06-01 au 24-06-01	1	199	9065,0	1213,2	7851,8	7851,8	135276,8	196,1
25	24-06-01 au 28-06-01	4	203	5855,0	1179,0	4676,0	4676,0	139952,8	202,8
(Rien)	28-06-01 au 01-07-01	3	206	—	—	—	—	—	—
26	01-07-01 au 04-07-01	3	209	4206,0	1186,0	3020,0	3020,0	142972,8	207,2
27	04-07-01 au 07-07-01	3	212	6025,0	1199,0	4826,0	4826,0	147798,8	214,2
28	07-07-01 au 09-07-01	2	214	4931,0	1213,0	3718,0	3718,0	151516,8	219,6
29	09-07-01 au 11-07-01	2	216	7841,0	1189,0	6652,0	6652,0	158168,8	229,2
30	11-07-01 au 12-07-01	1	217	4341,0	1350,0	2991,0	2991,0	161159,8	233,6
31	12-07-01 au 13-07-01	1	218	3607,4	1361,1	2246,3	2246,3	163406,1	236,8

32	13-07-01 au 15-07-01	2	220	5254,5	1355,9	3898,6	3898,6	167304,7	242,5
33	15-07-01 au 17-07-01	2	222	11767,0	1348,0	10419,0	10419,0	177723,7	257,6
34 (*)	17-07-01 au 19-07-01	2	224	13467,0	1211,0	12256,0	12256,0	189979,7	275,3
35	19-07-01 au 23-07-01	4	228	8992,0	1346,0	7646,0	7646,0	197625,7	286,4
36	23-07-01 au 24-07-01	1	229	8467,0	1166,0	7301,0	7301,0	204926,7	297,0
37	24-07-01 au 25-07-01	1	230	7569,0	1199,0	6370,0	6370,0	211296,7	306,2
38	25-07-01 au 26-07-01	1	231	3703,0	1157,0	2546,0	2546,0	213842,7	309,9
(Rien)	26-07-01 au 06-08-01	11	242	—	—	—	—	—	—
39	06-08-01 au 08-08-01	2	244	7460,0	1199,0	6261,0	6261,0	220103,7	319,0
40	08-08-01 au 16-08-01	8	252	3326,0	1359,0	1967,0	1967,0	222070,7	321,8
41 (*)	16-08-01 au 20-08-01	4	256	13100,0	1211,0	11889,0	11889,0	233959,7	339,1
42	20-08-01 au 21-08-01	1	257	5189,0	1362,0	3827,0	3827,0	237786,7	344,6
43	21-08-01 au 22-08-01	1	258	7080,0	1160,0	5920,0	5920,0	243706,7	353,2
44	22-08-01 au 23-08-01	1	259	3398,0	1347,0	2051,0	2051,0	245757,7	356,2
45	23-08-01 au 27-08-01	4	263	3901,0	1212,0	2689,0	2689,0	248446,7	360,1
46	27-08-01 au 28-08-01	1	264	6406,0	1150,0	5256,0	5256,0	253702,7	367,7
47	28-08-01 au 30-08-01	2	266	3989,0	1173,0	2816,0	2816,0	256518,7	371,8
48	30-08-01 au 01-09-01	2	268	4180,0	1200,0	2980,0	2980,0	259498,7	376,1
49	01-09-01 au 04-09-01	3	271	5800,0	1186,0	4614,0	4614,0	264112,7	382,8
50	04-09-01 au 05-09-01	1	272	3841,0	1156,0	2685,0	2685,0	266797,7	386,7
51	05-09-01 au 13-09-01	8	280	7787,0	1200,0	6587,0	6587,0	273384,7	396,2
52	13-09-01 au 21-09-01	8	288	8600,0	1160,0	7440,0	7440,0	280824,7	407,0
53 (*)	21-09-01 au 24-09-01	3	291	13100,0	1368,0	11732,0	11732,0	292556,7	424,0
54	24-09-01 au 25-09-01	1	292	3014,0	1146,0	1868,0	1868,0	294424,7	426,7
55 (*)	25-09-01 au 26-09-01	1	293	13400,0	1194,0	12206,0	12206,0	306630,7	444,4
56	26-09-01 au 27-09-01	1	294	11243,0	1203,0	10040,0	10040,0	316670,7	458,9
57	27-09-01 au 28-09-01	1	295	2622,0	1188,0	1434,0	1434,0	318104,7	461,0
58	28-09-01 au 05-10-01	7	302	2938,0	1207,0	1731,0	1731,0	319835,7	463,5
59	05-10-01 au 06-10-01	1	303	4592,2	1141,4	3450,8	3450,8	323286,5	468,5
60 (*)	06-10-01 au 07-10-01	1	304	12759,1	1205,2	11553,9	11553,9	334840,4	485,3
61	07-10-01 au 16-10-01	9	313	13200,0	1206,0	11994,0	11994,0	346834,4	502,7
62 (*)	16-10-01 au 17-10-01	1	314	4629,0	1187,0	3442,0	3442,0	350276,4	507,6
63	17-10-01 au 18-10-01	1	315	5641,0	1200,0	4441,0	4441,0	354717,4	514,1
64	18-10-01 au 19-10-01	1	316	6652,0	1210,0	5442,0	5442,0	360159,4	522,0
65	19-10-01 au 23-10-01	4	320	4569,0	1363,0	3206,0	3206,0	363365,4	526,6
66	23-10-01 au 24-10-01	1	321	6930,0	1214,0	5716,0	5716,0	369081,4	534,9
67	24-10-01 au 25-10-01	1	322	11008,0	1341,0	9667,0	9667,0	378748,4	548,9
68	25-10-01 au 26-10-01	1	323	7435,0	1211,0	6224,0	6224,0	384972,4	557,9
69	26-10-01 au 30-10-01	4	327	10027,0	1339,0	8688,0	8688,0	393660,4	570,5

Pour les échantillons 1, 3 et 4, un certain volume d'eau (630, 765,8 et 860 ml respectivement) a été envoyé à l'analyse avant la pesée.

Valeurs des paramètres de terrain dans chaque échantillon d'eau

L1-100 Échantillon #	Paramètres de terrain							
	pH	Temp.	Cond.	Cond. Spéc.	Salinité	O ₂ dissous		Pot. oxydo-réd.
		°C	mS	mS	ppt	%	mg/L	mV
0	--	--	--	--	--	--	--	--
1 (*)	--	--	--	--	--	--	--	--
2 (*)	--	--	--	--	--	--	--	--
3	--	--	--	--	--	--	--	--
4	--	--	--	--	--	--	--	--
5	5,00	2,9	168,3	297,4	0,1	66,3	8,83	--
6 (*)	4,94	1,9	146,4	LErr	0,1	60,5	8,35	--
7	4,83	3,9	164,4	279,3	0,1	58,6	7,58	--
8	4,85	5,5	186,6	297,3	0,1	60,7	7,65	--
9	6,51	3,8	230,8	394,2	0,2	56,7	7,39	--
10	4,89	3,8	209,0	347,4	0,2	57,5	7,59	--
11	5,03	6,2	208,7	324,9	0,2	57,8	7,16	--
12	4,56	6,6	251,2	387,6	0,2	68,1	8,46	--
13	4,97	10,2	247,0	343,9	0,2	65,5	7,36	--
14	5,14	10,1	245,3	332,2	0,2	52,5	6,03	261
15	6,46	10,0	244,6	342,5	0,2	23,1	2,55	260
16	4,48	10,2	245,2	341,0	0,2	69,0	7,59	250
17 (*)	4,85	9,8	228,2	320,3	0,2	35,5	3,99	334
18	4,98	9,9	250,9	352,4	0,2	42,6	4,82	299
19	5,22	15,2	339,1	415,0	0,2	43,5	4,38	258
20	5,35	14,7	207,4	258,7	0,1	0,0	0,00	218
21	4,99	14,9	203,4	251,6	0,1	53,3	5,43	213
22	5,08	14,4	196,5	247,5	0,1	41,3	4,13	240
23	4,77	15,1	185,3	228,8	0,1	55,0	5,56	280
24	4,86	15,6	188,2	230,0	0,1	62,0	6,26	320
25	5,44	15,7	199,9	242,1	0,1	45,6	4,48	226
26	5,38	15,6	179,3	218,2	0,1	37,5	3,73	219
27	5,27	15,1	166,6	205,5	0,1	53,5	5,39	233
28	5,30	16,0	173,5	208,8	0,1	47,7	4,72	265
29	5,42	16,6	173,6	206,6	0,1	54,5	5,39	268
30	5,13	17,2	172,5	202,8	0,1	46,2	4,42	266
31	4,99	14,7	166,9	203,2	0,1	47,8	4,84	(brisée)
32	4,98	16,9	164,4	194,9	0,1	54,2	5,28	(brisée)
33	4,93	15,5	154,4	187,5	0,1	32,8	3,00	(brisée)
34 (*)	4,95	15,6	145,2	177,0	0,1	31,5	3,22	(brisée)
35	5,03	16,3	136,6	164,2	0,1	25,7	2,55	(brisée)
36	5,34	17,8	141,2	163,9	0,1	54,7	5,19	(brisée)
37	5,10	16,8	124,6	147,2	0,1	47,8	4,48	(brisée)

38	5,48	16,8	149,5	176,1	0,1	51,2	5,79	(brisée)
39	5,49	17,7	119,9	139,8	0,1	26,5	2,51	33
40	5,19	18,1	143,0	164,7	0,1	41,7	3,95	136
41 (*)	4,94	17,3	108,5	128,5	0,1	29,9	2,89	124
42	5,09	18,1	101,9	117,3	0,1	57,4	5,41	(brisée)
43	4,87	17,7	100,1	114,9	0,1	54,3	5,18	(brisée)
44	5,05	18,3	100,1	114,5	0,1	56,4	5,31	(brisée)
45	4,52	18,0	99,4	115,3	0,1	52,4	4,96	(brisée)
46	4,98	17,2	95,3	112,4	0,1	44,8	4,63	(brisée)
47	5,23	16,5	92,7	110,7	0,1	49,4	4,70	(brisée)
48	5,24	16,0	88,0	106,0	0,1	45,2	4,47	(brisée)
49	4,79	16,3	107,0	128,0	0,1	44,7	4,40	(brisée)
50	5,20	15,9	100,3	82,8	0,0	40,4	4,01	(brisée)
51	4,91	16,1	80,1	97,1	0,0	22,9	3,08	(brisée)
52	5,08	15,1	76,5	94,8	0,0	31,8	3,15	(brisée)
53 (*)	4,45	15,5	75,7	92,5	0,0	33,8	3,33	(brisée)
54	4,91	15,8	72,7	87,9	0,0	42,2	4,17	(brisée)
55 (*)	5,06	15,1	69,3	82,2	0,0	37,7	3,80	(brisée)
56	5,27	14,8	67,4	81,1	0,0	38,0	3,84	(brisée)
57	5,09	14,0	62,0	79,3	0,0	44,9	4,62	(brisée)
58	5,34	14,1	64,4	80,6	0,0	43,3	4,44	(brisée)
59	5,40	13,6	52,3	67,6	0,0	46,1	4,80	(brisée)
60 (*)	5,29	11,9	51,0	69,7	0,0	42,5	4,60	(brisée)
61	—	—	—	—	—	—	—	—
62 (*)	—	—	—	—	—	—	—	—
63	—	—	—	—	—	—	—	—
64	—	—	—	—	—	—	—	—
65	—	—	—	—	—	—	—	—
66	—	—	—	—	—	—	—	—
67	—	—	—	—	—	—	—	—
68	—	—	—	—	—	—	—	—
69	—	—	—	—	—	—	—	—

Concentrations des composés détectés dans chaque échantillon

L1-100 Échantillon #	Traceur				Matériaux énergétiques						Produits de transformation	
	Chlorures				HMX				RDX	TNT	Nitrates + Nitrites	Azote ammoniacale
	mg/L	Masse		% récup.	µg/L	Masse		% récup.	µg/L	µg/L	mg NO ₃ /L	µg N/L
		mg	cumulée			mg	cumulée					
0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1 (*)	n.d.	—	—	—	134,2	0,47	0,47	0,003	2,6	5,7	2,5	555,6
2 (*)	—	—	—	—	1,8	0,01	0,47	0,003	n.d.	n.d.	—	—
3	66,6	183,0	183,0	0,8	42,6	0,12	0,59	0,004	n.d.	15,3	7,6	28,4
4	74,4	209,1	392,2	1,7	14,8	0,04	0,63	0,004	n.d.	3,8	9,2	74,5
5	71,2	275,0	667,1	2,9	29,4	0,11	0,75	0,005	n.d.	n.d.	10,2	25,1
6 (*)	55,7	519,2	1186,3	5,2	2,9	0,03	0,77	0,005	n.d.	n.d.	11,0	11,1
7	69,9	578,2	1764,5	7,8	7,0	0,06	0,83	0,005	n.d.	n.d.	10,7	41,4
8	66,2	275,9	2040,4	9,0	23,5	0,10	0,93	0,006	n.d.	n.d.	11,6	29,6
9	110,3	510,8	2551,2	11,2	16,3	0,08	1,01	0,007	n.d.	n.d.	14,0	114,9
10	76,6	239,0	2790,2	12,3	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	12,0	24,0
11	82,9	149,7	2939,8	12,9	22,3	0,04	1,05	0,007	n.d.	n.d.	12,8	9,1
12	90,3	365,1	3304,9	14,5	12,9	0,05	1,10	0,007	n.d.	n.d.	12,0	34,2
13	81,3	85,6	3390,5	14,9	7,0	0,01	1,11	0,007	n.d.	n.d.	13,0	n.d.
14	80,0	417,2	3807,7	16,7	19,7	0,10	1,21	0,008	n.d.	n.d.	13,1	59,2
15	97,3	1073,1	4880,8	21,4	43,5	0,48	1,69	0,011	n.d.	n.d.	12,6	9,9
16	—	—	—	—	32,6	0,28	1,97	0,013	n.d.	n.d.	—	—
17 (*)	82,9	905,7	5786,5	25,4	19,4	0,21	2,18	0,014	n.d.	n.d.	11,2	22,6
18	70,7	536,8	6323,3	27,8	21,6	0,16	2,35	0,015	n.d.	n.d.	10,1	9,7
19	70,0	65,7	6389,0	28,1	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	8,8	417,8
20	60,6	330,8	6719,8	29,5	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	9,7	20,2
21	62,4	613,0	7332,8	32,2	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	9,4	21,5
22	55,8	105,0	7437,8	32,7	4,2	0,01	2,36	0,015	n.d.	n.d.	9,7	95,7
23	52,9	607,3	8045,1	35,3	4,6	0,05	2,41	0,016	n.d.	n.d.	10,8	71,0
24	52,4	411,4	8456,5	37,2	5,0	0,04	2,45	0,016	n.d.	n.d.	12,5	229,7
25	43,7	204,3	8660,8	38,0	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	13,2	68,6
26	39,9	120,5	8781,3	38,6	11,3	0,03	2,48	0,016	n.d.	n.d.	12,4	212,2
27	41,7	201,2	8982,6	39,5	n.d.	—	2,48	0,016	n.d.	n.d.	14,6	100,8
28	40,9	152,1	9134,7	40,1	4,6	0,02	2,50	0,016	n.d.	n.d.	14,2	47,9
29	40,7	270,7	9405,4	41,3	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	13,5	68,0
30	43,3	129,5	9534,9	41,9	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	14,1	28,9
31	39,6	89,0	9623,9	42,3	5,1	0,01	2,51	0,016	n.d.	n.d.	13,1	124,4
32	41,1	160,2	9784,1	43,0	61,1	0,24	2,75	0,018	n.d.	n.d.	13,2	145,5
33	35,7	372,0	10156,0	44,6	6,8	0,07	2,82	0,018	n.d.	n.d.	12,8	108,5
34 (*)	36,4	446,1	10602,2	46,6	5,4	0,07	2,89	0,019	n.d.	n.d.	12,1	50,9
35	28,1	214,9	10817,0	47,5	5,7	0,04	2,93	0,019	n.d.	n.d.	11,2	11,8
36	27,4	200,0	11017,1	48,4	6,3	0,05	2,98	0,019	n.d.	n.d.	11,2	32,1
37	24,0	152,9	11169,9	49,1	6,2	0,04	3,02	0,020	n.d.	n.d.	11,0	19,3

38	23,2	59,1	11229,0	49,3	64,5	0,16	3,18	0,021	n.d.	n.d.	10,5	103,1
39	19,7	123,3	11352,4	49,9	4,5	0,03	3,21	0,021	n.d.	n.d.	10,2	51,3
40	20,3	39,9	11392,3	50,0	5,2	0,01	3,22	0,021	n.d.	n.d.	10,7	117,8
41 (*)	17,1	203,3	11595,6	50,9	22,7	0,27	3,49	0,023	n.d.	n.d.	10,8	14,1
42	14,0	53,6	11649,2	51,2	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	10,3	23,3
43	13,8	81,7	11730,9	51,5	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	10,4	16,3
44	14,3	29,3	11760,2	51,7	4,4	0,01	3,50	0,023	n.d.	n.d.	10,7	31,3
45	11,8	31,7	11791,9	51,8	5,1	0,01	3,51	0,023	n.d.	n.d.	10,5	19,6
46	11,5	60,4	11852,4	52,1	4,5	0,02	3,53	0,023	n.d.	n.d.	10,3	13,0
47	11,1	31,3	11883,6	52,2	9,0	0,03	3,56	0,023	n.d.	n.d.	10,4	10,6
48	10,5	31,3	11914,9	52,3	7,9	0,02	3,58	0,023	n.d.	n.d.	10,3	n.d.
49	11,0	50,8	11965,7	52,6	6,8	0,03	3,61	0,023	n.d.	n.d.	9,8	17,6
50	10,8	29,0	11994,7	52,7	9,1	0,02	3,64	0,024	n.d.	n.d.	17,1	n.d.
51	13,1	86,3	12081,0	53,1	8,3	0,05	3,69	0,024	n.d.	n.d.	10,5	47,4
52	11,0	81,8	12162,8	53,4	8,7	0,06	3,76	0,024	n.d.	n.d.	10,3	22,0
53 (*)	11,3	132,6	12295,4	54,0	20,0	0,23	3,99	0,026	n.d.	n.d.	11,1	n.d.
54	9,6	17,9	12313,3	54,1	30,0	0,06	4,05	0,026	n.d.	n.d.	10,2	19,8
55 (*)	8,3	101,3	12414,6	54,5	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	10,4	27,0
56	6,3	63,3	12477,9	54,8	120,0	1,20	5,25	0,034	n.d.	n.d.	9,2	7,5
57	5,0	7,2	12485,0	54,8	60,0	0,09	5,34	0,035	n.d.	n.d.	7,2	8,5
58	5,1	8,8	12493,9	54,9	70,0	0,12	5,46	0,035	n.d.	n.d.	7,1	n.d.
59	5,7	19,7	12513,5	55,0	80,0	0,28	5,74	0,037	n.d.	n.d.	8,4	39,3
60 (*)	2,7	31,2	12544,7	55,1	40,0	0,46	6,20	0,040	n.d.	n.d.	1,9	3576,3
61	4,2	50,4	12595,1	55,3	5,8	0,07	6,27	0,041	n.d.	n.d.	8,3	27,7
62 (*)	4,3	14,8	12609,9	55,4	6,1	0,02	6,29	0,041	n.d.	n.d.	7,9	27,0
63	3,5	15,5	12625,4	55,5	8,3	0,04	6,33	0,041	n.d.	n.d.	7,6	33,3
64	4,6	25,0	12650,5	55,6	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	7,2	28,9
65	3,5	11,2	12661,7	55,6	9,3	0,03	6,36	0,041	n.d.	n.d.	7,0	5,2
66	2,9	16,6	12678,3	55,7	14,7	0,08	6,44	0,042	n.d.	n.d.	6,5	36,2
67	5,0	48,3	12726,6	55,9	8,5	0,08	6,52	0,042	n.d.	n.d.	6,3	22,1
68	3,9	24,3	12750,9	56,0	12,7	0,08	6,60	0,043	n.d.	n.d.	5,6	16,9
69	4,8	41,7	12792,6	56,2							5,2	52,8

Tableau B.3. Données du casier lysimétrique L2-50

Date d'échantillonnage et volume d'eau recueilli pour chaque échantillon

L2-50 Échantillon #	Date	Nombre de jours		Pesée totale	Pesée chaudière	Pesée eau	Volume d'eau cumulatif		Éq. Hauteur d'eau
			cumulatifs	g	g	g	ml	ml	mm H ₂ O
0	Bruit de fon.d.	0	0	—	—	—	—	—	—
(Rien)	08-12-00 au 18-04-01	132	132	—	—	—	—	—	—
1	18-04-01 au 19-04-01	1	133	3758,5	1353,7	2404,8	2404,8	2404,8	5,3
2	19-04-01 au 21-04-01	2	135	2411,5	1148,6	1262,9	1262,9	3667,7	8,2
3	21-04-01 au 23-04-01	2	137	6953,0	1354,0	5599,0	5599,0	9266,7	20,6
4	23-04-01 au 25-04-01	2	139	4465,0	1187,0	3278,0	3278,0	12544,7	27,9
5	25-04-01 au 28-04-01	3	142	—	—	—	685,0	13229,7	29,4
6	28-04-01 au 07-05-01	9	151	2835,0	1148,7	1686,3	1686,3	14916,0	33,1
(Rien)	07-05-01 au 31-05-01	24	175	—	—	—	—	—	—
7	31-05-01 au 03-06-01	3	178	6260,6	1159,1	5101,5	5101,5	20017,5	44,5
8 (*)	03-06-01 au 05-06-01	2	180	11093,0	1188,0	9905,0	9905,0	29922,5	66,5
9	05-06-01 au 20-06-01	15	195	4302,0	1360,0	2942,0	2942,0	32864,5	73,0
10	20-06-01 au 22-06-01	2	197	2279,4	1194,9	1084,5	1084,5	33949,0	75,4
11	22-06-01 au 23-06-01	1	198	11135,6	1154,5	9981,1	9981,1	43930,1	97,6
12	23-06-01 au 24-06-01	1	199	2833,3	1156,3	1677,0	1677,0	45607,1	101,3
(Rien)	24-06-01 au 04-07-01	10	209	—	—	—	—	—	—
13	04-07-01 au 07-07-01	3	212	2431,4	1149,0	1282,4	1282,4	46889,5	104,2
14	07-07-01 au 09-07-01	2	214	2487,0	1205,0	1282,0	1282,0	48171,5	107,0
15	09-07-01 au 11-07-01	2	216	5843,0	1151,0	4692,0	4692,0	52863,5	117,5
16	11-07-01 au 12-07-01	1	217	2256,0	1202,0	1054,0	1054,0	53917,5	119,8
17	12-07-01 au 13-07-01	1	218	2585,1	1186,3	1398,8	1398,8	55316,3	122,9
18	13-07-01 au 15-07-01	2	220	2668,4	1213,0	1455,4	1455,4	56771,7	126,2
19	15-07-01 au 17-07-01	2	222	7102,0	1362,0	5740,0	5740,0	62511,7	138,9
20 (*)	17-07-01 au 19-07-01	2	224	4868,0	1352,0	3516,0	3516,0	66027,7	146,7
21	19-07-01 au 23-07-01	4	228	8227,0	1187,0	7040,0	7040,0	73067,7	162,4
22	23-07-01 au 25-07-01	2	230	5891,0	1205,0	4686,0	4686,0	77753,7	172,8
(Rien)	25-07-01 au 20-08-01	26	256	—	—	—	—	—	—
23	20-08-01 au 21-08-01	1	257	4777,0	1149,0	3628,0	3628,0	81381,7	180,8
24	21-08-01 au 23-08-01	2	259	2002,0	1182,0	820,0	820,0	82201,7	182,7
25	23-08-01 au 27-08-01	4	263	4401,0	1198,0	3203,0	3203,0	85404,7	189,8
26	27-08-01 au 30-08-01	3	266	1807,0	1202,0	605,0	605,0	86009,7	191,1
27 (*)	30-08-01 au 01-09-01	2	268	4060,0	1140,0	2920,0	2920,0	88929,7	197,6
28	01-09-01 au 05-09-01	4	272	2891,0	1175,0	1716,0	1716,0	90645,7	201,4
29	05-09-01 au 13-09-01	8	280	3051,0	1185,0	1866,0	1866,0	92511,7	205,6
30	13-09-01 au 21-09-01	8	288	6309,0	1146,0	5163,0	5163,0	97674,7	217,1
31	21-09-01 au 24-09-01	3	291	7462,0	1188,0	6274,0	6274,0	103948,7	231,0

32	24-09-01 au 25-09-01	1	292	8952,0	1349,0	7603,0	7603,0	111551,7	247,9
33 (*)	25-09-01 au 26-09-01	1	293	13200,0	1214,0	11986,0	11986,0	123537,7	274,5
34	26-09-01 au 28-09-01	2	295	2603,0	1147,0	1456,0	1456,0	124993,7	277,8
35	28-09-01 au 06-10-01	8	303	11455,2	1150,0	10305,2	10305,2	135298,9	300,7
36	06-10-01 au 07-10-01	1	304	7377,9	1336,6	6041,3	6041,3	141340,2	314,1
37	07-10-01 au 16-10-01	9	313	5937,0	1147,0	4790,0	4790,0	146130,2	324,7
38	16-10-01 au 18-10-01	2	315	7063,0	1363,0	5700,0	5700,0	151830,2	337,4
39	18-10-01 au 19-10-01	1	316	2339,0	1146,0	1193,0	1193,0	153023,2	340,1
40 (*)	19-10-01 au 24-10-01	5	321	—	—	—	12000,0	165023,2	366,7
41	24-10-01 au 26-10-01	2	323	5977,0	1150,0	4827,0	4827,0	169850,2	377,4
42	26-10-01 au 30-10-01	4	327	3039,0	1207,0	1832,0	1832,0	171682,2	381,5

Valeurs des paramètres de terrain dans chaque échantillon d'eau

L2-50 Échantillon #	Paramètres de terrain							
	pH	Temp.	Cond.	Cond. Spéc.	Salinité	O ₂ dissous		Pot. oxydo-réd.
		°C	mS	mS	ppt	%	mg/L	mV
0	--	--	--	--	--	--	--	--
1	--	--	--	--	--	--	--	--
2	5,94	11,3	647,0	872,0	0,4	105,1	11,61	--
3	4,84	1,6	562,0	LErr	0,5	79,1	11,04	--
4	4,64	1,6	353,7	LErr	0,3	54,7	7,63	--
5	4,60	3,8	908,0	1523,0	0,8	75,1	9,95	--
6	4,48	8,1	848,0	1252,0	0,6	56,3	6,63	--
7	4,19	12,4	744,0	983,0	0,5	74,2	8,06	270
8 (*)	4,46	11,9	684,0	913,0	0,5	42,7	4,64	355
9	4,54	18,8	658,0	748,0	0,4	66,6	6,16	200
10	4,58	17,1	605,0	714,0	0,4	23,3	2,26	270
11	4,40	17,3	580,0	682,0	0,3	57,8	5,59	302
12	4,43	19,5	568,0	633,0	0,3	47,6	4,38	339
13	4,79	16,8	501,0	594,0	0,3	46,6	4,50	260
14	4,75	17,7	512,0	596,0	0,3	49,8	4,76	290
15	4,51	17,8	485,0	564,0	0,3	39,1	3,73	299
16	4,49	19,8	502,0	557,0	0,3	37,7	3,42	297
17	4,35	16,2	449,0	541,0	0,3	56,8	5,60	(brisée)
18	4,54	18,7	469,0	533,0	0,3	61,8	5,63	(brisée)
19	4,33	17,2	448,1	527,0	0,3	25,6	2,44	(brisée)
20 (*)	4,49	16,2	373,1	449,4	0,2	43,9	4,35	(brisée)
21	4,39	19,2	337,0	379,0	0,2	36,7	3,42	(brisée)
22	4,48	19,7	327,0	364,5	0,2	40,3	3,67	(brisée)
23	4,71	18,9	207,1	234,8	0,1	45,0	4,19	(brisée)
24	4,57	19,0	232,9	262,5	0,1	56,1	5,20	(brisée)
25	4,40	18,9	217,6	247,0	0,1	52,5	4,88	(brisée)
26	4,83	16,7	215,6	256,2	0,1	49,0	4,76	(brisée)
27 (*)	4,63	16,5	207,0	247,2	0,1	43,8	4,28	(brisée)
28	4,78	15,9	201,4	243,6	0,1	41,2	4,06	(brisée)
29	4,56	17,1	182,6	215,6	0,1	36,2	3,49	(brisée)
30	4,58	15,4	187,7	229,8	0,1	33,2	3,32	(brisée)
31	4,23	15,8	188,5	229,1	0,1	36,0	3,57	(brisée)
32	4,18	16,3	163,9	196,5	0,1	29,9	2,94	(brisée)
33 (*)	4,45	15,6	151,7	186,0	0,1	38,1	3,81	(brisée)
34	4,56	14,1	131,8	167,4	0,1	48,3	4,95	(brisée)
35	4,80	13,1	119,9	155,8	0,1	39,0	4,12	(brisée)
36	4,57	11,3	102,9	139,8	0,1	47,5	5,20	(brisée)
37	--	--	--	--	--	--	--	--

38	--	--	--	--	--	--	--	--
39	--	--	--	--	--	--	--	--
40 (*)	--	--	--	--	--	--	--	--
41	--	--	--	--	--	--	--	--
42	--	--	--	--	--	--	--	--

Concentrations des composés détectés dans chaque échantillon d'eau

L2-50 Échantillon #	Traceur				Matériaux énergétiques						Produits de transformation	
	Chlorures				HMX				RDX	TNT	Nitrates + Nitrites	Azote ammoniacale
	mg/L	Masse mg	Masse cumulée	% récup.	µg/L	Masse mg	Masse cumulée	% récup.	µg/L	µg/L	mg NO ₃ /L	µg N/L
0	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1	75,1	180,6	180,6	0,8	25,2	0,06	0,06	0,000	n.d.	n.d.	2,8	50,0
2	280,0	353,6	534,2	2,3	6,7	0,01	0,07	0,000	n.d.	2,91	1,6	288,0
3	346,0	1937,3	2471,5	10,9	n.d.	---	---	---	n.d.	n.d.	0,7	13,7
4	452,0	1481,7	3953,1	17,4	18,7	0,06	0,13	0,001	n.d.	n.d.	0,5	18,1
5	524,0	358,9	4312,1	18,9	n.d.	---	---	---	n.d.	n.d.	0,6	89,2
6	438,0	738,6	5050,7	22,2	6,3	0,01	0,14	0,001	n.d.	n.d.	1,4	11,1
7	---	---	---	---	10,3	0,05	0,19	0,001	n.d.	n.d.	---	---
8 (*)	303,0	3001,2	8051,9	35,4	12,5	0,12	0,32	0,002	n.d.	n.d.	1,8	21,0
9	243,0	714,9	8766,8	38,5	n.d.	---	---	---	n.d.	n.d.	2,9	97,7
10	240,0	260,3	9027,1	39,7	n.d.	---	---	---	n.d.	n.d.	3,3	57,7
11	220,0	2195,8	11222,9	49,3	8,6	0,09	0,40	0,003	n.d.	n.d.	4,2	58,8
12	191,0	320,3	11543,2	50,7	11,9	0,02	0,42	0,003	n.d.	n.d.	4,7	123,7
13	188,6	241,9	11785,1	51,8	10,6	0,01	0,44	0,003	n.d.	n.d.	4,3	639,3
14	185,2	237,4	12022,5	52,8	12,2	0,02	0,45	0,003	n.d.	n.d.	5,6	54,4
15	170,7	800,9	12823,4	56,3	n.d.	---	---	---	n.d.	n.d.	6,6	60,1
16	160,9	169,6	12993,0	57,1	20,4	0,02	0,47	0,003	n.d.	n.d.	7,3	49,4
17	161,6	226,0	13219,1	58,1	28,4	0,04	0,51	0,003	n.d.	n.d.	7,4	165,6
18	169,2	246,3	13465,3	59,2	17,3	0,03	0,54	0,003	n.d.	n.d.	7,8	189,3
19	159,2	913,8	14379,1	63,2	4,8	0,03	0,57	0,004	n.d.	n.d.	9,5	28,7
20 (*)	121,9	428,6	14807,7	65,1	30,2	0,11	0,67	0,004	n.d.	n.d.	9,8	15,2
21	99,4	699,8	15507,5	68,1	60,6	0,43	1,10	0,007	n.d.	n.d.	8,7	41,3
22	88,3	413,8	15921,3	69,9	43,4	0,20	1,30	0,008	n.d.	n.d.	11,0	14,5
23	44,7	162,2	16083,4	70,7	69,2	0,25	1,55	0,010	n.d.	n.d.	8,2	6,9
24	60,3	49,4	16132,9	70,9	78,6	0,06	1,62	0,011	n.d.	n.d.	9,2	66,0
25	49,7	159,2	16292,1	71,6	65,7	0,21	1,83	0,012	n.d.	n.d.	8,4	n.d.
26	57,4	34,7	16326,8	71,7	87,3	0,05	1,88	0,012	n.d.	n.d.	10,9	291,4
27 (*)	45,5	132,9	16459,7	72,3	50,9	0,15	2,03	0,013	n.d.	n.d.	10,6	n.d.
28	48,6	83,4	16543,1	72,7	88,2	0,15	2,18	0,014	n.d.	n.d.	12,0	6,3
29	43,3	80,8	16623,9	73,0	156,4	0,29	2,47	0,016	n.d.	n.d.	11,7	79,0
30	49,2	254,0	16877,9	74,1	110,0	0,57	3,04	0,020	n.d.	n.d.	15,6	12,3
31	48,2	302,4	17180,3	75,5	40,0	0,25	3,29	0,021	n.d.	n.d.	15,0	32,5
32	32,6	247,9	17428,1	76,6	130,0	0,99	4,28	0,028	n.d.	n.d.	13,2	13,1
33 (*)	38,5	461,5	17889,6	78,6	140,0	1,68	5,96	0,039	n.d.	n.d.	10,6	14,8
34	35,5	51,7	17941,3	78,8	n.d.	---	---	---	n.d.	n.d.	5,8	29,8
35	28,9	297,8	18239,1	80,1	5,4	0,06	6,01	0,039	n.d.	n.d.	3,6	219,2
36	25,4	153,4	18392,6	80,8	24,7	0,15	6,16	0,045	n.d.	n.d.	1,8	119,7
37	23,2	111,1	18503,7	81,3	n.d.	---	---	---	n.d.	n.d.	1,4	26,5

38	24,1	137,4	18641,1	81,9	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	1,3	21,0
39	21,0	25,1	18666,1	82,0	160,0	0,19	6,35	0,047	n.d.	n.d.	1,1	31,5
40 (*)	18,2	218,4	18884,5	83,0	5,7	0,07	6,42	0,047	n.d.	n.d.	0,8	54,0
41	16,2	78,2	18962,7	83,3	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	0,7	9,7
42	16,3	29,9	18992,6	83,4	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	0,7	12,9

Tableau B.4. Données du casier lysimétrique L2-100

Date d'échantillonnage et volume d'eau recueilli pour chaque échantillon									
L2-100 Échantillon #	Date	Nombre de jours		Pesée	Pesée	Pesée	Volume d'eau		Éq. hauteur
			cumulatifs	totale	chaudière	eau	cumulatif		d'eau
				g	g	g	ml	ml	mm H ₂ O
0	Bruit de fond	0	0	3045,0	1329,0	1716,0	2410,4	—	—
1 (*)	08-12-00 au 18-12-00	11	11	5612,0	1338,0	4274,0	4274,0	4274,0	8,2
2	18-12-00 au 22-12-00	4	15	3372,0	1315,0	2057,0	2777,0	7051,0	13,6
3	22-12-00 au 15-01-01	24	39	1604,0	1326,0	278,0	1014,5	8065,5	15,5
(Rien)	15-01-01 au 15-04-01	90	129	—	—	—	—	—	—
4	15-04-01 au 16-04-01	1	130	2257,6	1336,1	921,5	921,5	8987,0	17,3
5	16-04-01 au 17-04-01	1	131	4441,0	1148,0	3293,0	3293,0	12280,0	23,6
6	17-04-01 au 18-04-01	1	132	5954,0	1180,0	4774,0	4774,0	17054,0	32,8
7	18-04-01 au 19-04-01	1	133	6695,0	1201,1	5493,9	5493,9	22547,9	43,4
8 (*)	19-04-01 au 20-04-01	1	134	11699,0	1173,0	10526,0	10526,0	33073,9	63,6
9	20-04-01 au 21-04-01	1	135	13911,6	1198,7	12712,9	12712,9	45786,8	88,1
10	21-04-01 au 22-04-01	1	136	6651,2	1191,8	5459,4	5459,4	51246,2	98,6
11	22-04-01 au 23-04-01	1	137	7159,0	1180,0	5979,0	5979,0	57225,2	110,0
12	23-04-01 au 24-04-01	1	138	6174,0	1368,0	4806,0	4806,0	62031,2	119,3
13	24-04-01 au 25-04-01	1	139	4373,0	1158,0	3215,0	3215,0	65246,2	125,5
14	25-04-01 au 26-04-01	1	140	4357,7	1340,1	3017,6	3017,6	68263,8	131,3
15	26-04-01 au 27-04-01	1	141	3410,0	1184,0	2226,0	2226,0	70489,8	135,6
16	27-04-01 au 28-04-01	1	142	3144,5	1341,4	1803,1	1803,1	72292,9	139,0
17	28-04-01 au 30-04-01	2	144	3828,3	1157,9	2670,4	2670,4	74963,3	144,2
18	30-04-01 au 02-05-01	2	146	4036,7	1343,1	2693,6	2693,6	77656,9	149,3
19	02-05-01 au 03-05-01	1	147	3190,9	1363,5	1827,4	1827,4	79484,3	152,9
20	03-05-01 au 07-05-01	4	151	2982,0	1179,2	1802,8	1802,8	81287,1	156,3
(Rien)	07-05-01 au 29-05-01	22	173	—	—	—	—	—	—
21	29-05-01 au 31-05-01	2	175	2902,0	1200,0	1702,0	1702,0	82989,1	159,6
22	31-05-01 au 03-06-01	3	178	3686,4	1360,0	2326,4	2326,4	85315,5	164,1
23 (*)	03-06-01 au 05-06-01	2	180	11260,0	1359,0	9901,0	9901,0	95216,5	183,1
24	05-06-01 au 07-06-01	2	182	7431,0	1210,0	6221,0	6221,0	101437,5	195,1
25	07-06-01 au 13-06-01	6	188	2401,3	1208,7	1192,6	1192,6	102630,1	197,4
26	13-06-01 au 18-06-01	5	193	3544,0	1339,0	2205,0	2205,0	104835,1	201,6
27	18-06-01 au 20-06-01	2	195	3874,0	1211,0	2663,0	2663,0	107498,1	206,7
28	20-06-01 au 22-06-01	2	197	2305,0	1153,5	1151,5	1151,5	108649,6	208,9
29	22-06-01 au 23-06-01	1	198	5967,7	1181,8	4785,9	4785,9	113435,5	218,1
30	23-06-01 au 24-06-01	1	199	7079,4	1341,1	5738,3	5738,3	119173,8	229,2
31	24-06-01 au 28-06-01	4	203	6144,0	1213,0	4931,0	4931,0	124104,8	238,7
(Rien)	28-06-01 au 04-07-01	6	209	—	—	—	—	—	—
32	04-07-01 au 09-07-01	5	214	2550,0	1156,0	1394,0	1394,0	125498,8	241,3

33	09-07-01 au 11-07-01	2	216	5501,0	1199,0	4302,0	4302,0	129800,8	249,6
34	11-07-01 au 12-07-01	1	217	3438,0	1158,0	2280,0	2280,0	132080,8	254,0
35	12-07-01 au 13-07-01	1	218	2724,7	1200,2	1524,5	1524,5	133605,3	256,9
36	13-07-01 au 15-07-01	2	220	4568,5	1159,9	3408,6	3408,6	137013,9	263,5
37	15-07-01 au 17-07-01	2	222	8066,0	1152,0	6914,0	6914,0	143927,9	276,8
38 (*)	17-07-01 au 19-07-01	2	224	2605,0	1180,0	1425,0	1425,0	145352,9	279,5
39	19-07-01 au 23-07-01	4	228	8333,0	1204,0	7129,0	7129,0	152481,9	293,2
40	23-07-01 au 24-07-01	1	229	4028,0	1350,0	2678,0	2678,0	155159,9	298,4
41 (*)	24-07-01 au 25-07-01	1	230	4745,0	1358,0	3387,0	3387,0	158546,9	304,9
42	25-07-01 au 26-07-01	1	231	3697,0	1345,0	2352,0	2352,0	160898,9	309,4
(Rien)	26-07-01 au 06-08-01	11	242	—	—	—	—	—	—
43	06-08-01 au 08-08-01	2	244	3793,0	1207,0	2586,0	2586,0	163484,9	314,4
44	08-08-01 au 16-08-01	8	252	2010,0	1335,0	675,0	675,0	164159,9	315,7
45	16-08-01 au 20-08-01	4	256	6465,0	1197,0	5268,0	5268,0	169427,9	325,8
46	20-08-01 au 21-08-01	1	257	2414,0	1338,0	1076,0	1076,0	170503,9	327,9
47	21-08-01 au 22-08-01	1	258	4420,0	1160,0	3260,0	3260,0	173763,9	334,2
48	22-08-01 au 23-08-01	1	259	3226,0	1338,0	1888,0	1888,0	175651,9	337,8
49	23-08-01 au 27-08-01	4	263	3452,0	1177,0	2275,0	2275,0	177926,9	342,2
50	27-08-01 au 28-08-01	1	264	3307,0	1347,0	1960,0	1960,0	179886,9	345,9
51	28-08-01 au 30-08-01	2	266	3510,0	1187,0	2323,0	2323,0	182209,9	350,4
52 (*)	30-08-01 au 01-09-01	2	268	2200,0	1140,0	1060,0	1060,0	183269,9	352,4
53	01-09-01 au 04-09-01	3	271	4977,0	1208,0	3769,0	3769,0	187038,9	359,7
54	04-09-01 au 05-09-01	1	272	2153,0	1343,0	810,0	810,0	187848,9	361,2
55	05-09-01 au 13-09-01	8	280	5826,0	1207,0	4619,0	4619,0	192467,9	370,1
56	13-09-01 au 21-09-01	8	288	4786,0	1349,0	3437,0	3437,0	195904,9	376,7
57	21-09-01 au 24-09-01	3	291	11750,0	1218,0	10532,0	10532,0	206436,9	397,0
58	24-09-01 au 25-09-01	1	292	3330,0	1176,0	2154,0	2154,0	208590,9	401,1
59 (*)	25-09-01 au 26-09-01	1	293	12950,0	1367,0	11583,0	11583,0	220173,9	423,4
60	26-09-01 au 27-09-01	1	294	6166,0	1177,0	4989,0	4989,0	225162,9	433,0
61	27-09-01 au 28-09-01	1	295	3145,0	1360,0	1785,0	1785,0	226947,9	436,4
62	28-09-01 au 05-10-01	7	302	3530,0	1200,0	2330,0	2330,0	229277,9	440,9
63 (*)	05-10-01 au 07-10-01	2	304	12342,4	1185,9	11156,5	11156,5	240434,4	462,4
64	07-10-01 au 16-10-01	9	313	8104,0	1213,0	6891,0	6891,0	247325,4	475,6
65	16-10-01 au 17-10-01	1	314	3533,0	1210,0	2323,0	2323,0	249648,4	480,1
66	17-10-01 au 18-10-01	1	315	3463,0	1178,0	2285,0	2285,0	251933,4	484,5
67	18-10-01 au 19-10-01	1	316	5636,0	1336,0	4300,0	4300,0	256233,4	492,8
68	19-10-01 au 23-10-01	4	320	5744,0	1348,0	4396,0	4396,0	260629,4	501,2
69	23-10-01 au 24-10-01	1	321	6029,0	1199,0	4830,0	4830,0	265459,4	510,5
70	24-10-01 au 25-10-01	1	322	7325,0	1349,0	5976,0	5976,0	271435,4	522,0
71	25-10-01 au 26-10-01	1	323	4741,0	1175,0	3566,0	3566,0	275001,4	528,8
72	26-10-01 au 30-10-01	4	327	8848,0	1364,0	7484,0	7484,0	282485,4	543,2

Pour les échantillons 0, 2 et 3, un certain volume d'eau (694,4; 720 et 736,5 ml respectivement) a été envoyé à l'analyse avant la pesée.

Valeurs des paramètres de terrain dans chaque échantillon d'eau

L2-100 Échantillon #	Paramètres de terrain							
	pH	Temp.	Cond.	Cond. Spéc.	Salinité	O ₂ dissous		Pot. oxydo-réd.
		°C	mS	mS	ppt	%	mg/L	mV
0	---	---	---	---	---	---	---	---
1 (*)	---	---	---	---	---	---	---	---
2	---	---	---	---	---	---	---	---
3	---	---	---	---	---	---	---	---
4	---	---	---	---	---	---	---	---
5	---	---	---	---	---	---	---	---
6	---	---	---	---	---	---	---	---
7	---	---	---	---	---	---	---	---
8 (*)	---	---	---	---	---	---	---	---
9	4,98	4,0	500,0	834,0	0,4	99,4	12,98	---
10	4,55	1,9	359,8	LErr	0,3	63,4	8,80	---
11	4,71	1,7	316,8	LErr	0,3	79,3	11,03	---
12	4,67	3,9	311,6	519,0	0,2	56,3	7,45	---
13	4,60	1,8	304,3	LErr	0,3	54,7	7,62	---
14	4,65	2,3	289,5	508,0	0,2	86,6	11,92	---
15	4,76	3,7	289,4	495,9	0,2	57,3	7,48	---
16	4,73	2,4	266,1	466,5	0,2	75,3	10,36	---
17	4,74	3,9	295,8	488,1	0,2	66,8	8,94	---
18	4,68	4,4	268,0	435,0	0,2	59,1	7,82	---
19	4,67	5,3	246,1	391,1	0,2	56,8	7,27	---
20	4,76	6,5	247,8	383,2	0,2	57,8	7,10	---
21	6,16	10,9	281,6	385,2	0,2	42,6	4,70	183
22	4,64	11,9	252,1	338,2	0,2	85,1	9,04	264
23 (*)	4,70	10,1	205,7	287,7	0,1	61,9	6,86	348
24	4,97	9,7	143,3	203,6	0,1	37,0	4,21	317
25	5,24	15,3	167,7	206,6	0,1	45,0	4,98	281
26	5,13	16,1	143,3	171,7	0,1	11,2	1,09	223
27	5,12	15,9	150,3	181,7	0,1	49,4	4,91	186
28	5,02	16,2	134,1	162,5	0,1	36,7	3,46	254
29	4,76	16,0	123,3	149,7	0,1	60,0	5,90	280
30	4,83	16,4	127,1	151,9	0,1	36,6	4,22	323
31	5,10	16,1	127,1	153,1	0,1	41,7	4,14	227
32	5,14	16,6	178,4	210,2	0,1	50,5	4,93	280
33	4,91	17,1	118,9	140,1	0,1	36,8	3,55	282
34	4,87	16,6	112,7	134,4	0,1	40,8	3,97	323
35	4,93	14,9	105,7	131,0	0,1	39,8	4,04	(brisée)
36	4,92	17,0	114,9	135,4	0,1	26,3	2,67	(brisée)
37	4,86	15,7	106,9	132,2	0,1	31,5	3,17	(brisée)

38 (*)	4,44	16,6	353,7	421,6	0,2	56,0	5,46	(brisée)
39	4,91	16,7	94,0	111,5	0,1	25,5	2,49	(brisée)
40	4,86	18,3	94,3	108,5	0,1	48,4	4,68	(brisée)
41 (*)	5,10	17,4	90,4	105,1	0,1	50,0	4,80	(brisée)
42	5,60	16,8	90,4	106,9	0,1	54,5	5,26	(brisée)
43	5,47	17,8	93,6	108,8	0,1	25,2	2,40	65
44	5,28	19,1	96,0	106,9	0,1	39,3	3,63	152
45	5,14	17,6	82,3	96,6	0,0	32,1	3,06	146
46	5,20	20,3	88,1	96,1	0,0	42,0	3,80	(brisée)
47	4,94	17,8	82,1	95,2	0,0	54,4	5,17	(brisée)
48	4,95	18,4	85,0	94,6	0,0	55,0	5,13	(brisée)
49	4,91	18,2	86,3	99,5	0,1	51,9	4,89	(brisée)
50	5,03	17,7	82,7	96,2	0,0	47,2	4,51	(brisée)
51	5,21	16,4	80,6	97,1	0,0	48,4	4,74	(brisée)
52 (*)	5,00	15,9	84,2	101,2	0,1	46,1	4,56	(brisée)
53	4,50	16,4	80,8	97,5	0,0	43,2	4,20	(brisée)
54	5,19	16,3	78,6	95,5	0,0	34,4	3,35	(brisée)
55	4,95	16,4	78,1	93,5	0,0	30,2	2,61	(brisée)
56	5,04	15,5	80,3	97,8	0,0	34,6	3,45	(brisée)
57	4,59	15,6	75,1	91,4	0,0	37,6	3,75	(brisée)
58	4,51	16,1	74,2	89,6	0,0	40,9	4,03	(brisée)
59 (*)	4,78	15,4	75,8	90,8	0,0	39,3	3,94	(brisée)
60	5,33	15,2	64,3	79,1	0,0	38,9	3,92	(brisée)
61	5,01	14,4	61,9	76,8	0,0	43,5	4,35	(brisée)
62	5,40	14,9	64,0	78,8	0,0	40,1	4,06	(brisée)
63 (*)	4,94	12,4	52,4	69,8	0,0	40,3	4,30	(brisée)
64	—	—	—	—	—	—	—	—
65	—	—	—	—	—	—	—	—
66	—	—	—	—	—	—	—	—
67	—	—	—	—	—	—	—	—
68	—	—	—	—	—	—	—	—
69	—	—	—	—	—	—	—	—
70	—	—	—	—	—	—	—	—
71	—	—	—	—	—	—	—	—
72	—	—	—	—	—	—	—	—

Concentrations des composés détectés dans chaque échantillon d'eau

L2-100 Échantillon #	Traceur				Matériaux énergétiques						Produits de transformation	
	Chlorures				HMX				RDX	TNT	Nitrates + Nitrites	Azote ammoniacale
	mg/L	Masse		% récup.	µg/L	Masse		% récup.	µg/L	µg/L	mg NO ₃ /L	µg N/L
		mg	cumulée			mg	cumulée					
0	n.d.	—	—	—	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	—	—
1 (*)	n.d.	—	—	—	n.d.	—	—	—	2,1	n.d.		
2	57,0	158,3	158,3	0,7	9,6	0,03	0,03	0,000	n.d.	73,1	0,2	27,0
3	92,2	93,5	251,8	1,1	8,2	0,00	0,03	0,000	n.d.	44,3	0,2	n.d.
4					n.d.	—	0,03	0,000	n.d.	n.d.		
5	48,7	160,4	412,2	1,8	9,0	0,03	0,06	0,000	n.d.	n.d.	0,5	94,2
6	110,5	527,5	939,7	4,1	14,2	0,07	0,13	0,001	n.d.	n.d.	0,3	71,8
7	253,0	1390,0	2329,7	10,2	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	0,2	81,0
8 (*)	339,0	3568,3	5898,0	25,9	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	0,1	67,6
9	259,0	3292,6	9190,6	40,4	6,0	0,08	0,20	0,001	n.d.	n.d.	0,1	151,5
10	218,0	1190,1	10380,8	45,6	2,6	0,01	0,22	0,001	n.d.	n.d.	0,1	64,5
11	178,7	1068,4	11449,2	50,3	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	0,1	57,5
12	150,0	720,9	12170,1	53,5	28,8	0,14	0,36	0,002	n.d.	n.d.	0,1	51,9
13	148,2	476,5	12646,6	55,6	26,0	0,08	0,44	0,003	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
14	144,6	436,3	13082,9	57,5	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	n.d.	9,4
15	145,8	324,6	13407,5	58,9	28,6	0,06	0,50	0,003	n.d.	n.d.	0,1	5,7
16	143,2	258,2	13665,7	60,0	64,7	0,12	0,62	0,004	n.d.	n.d.	0,1	12,9
17	137,2	366,4	14032,1	61,6	11,1	0,03	0,65	0,004	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
18	126,1	339,7	14371,7	63,1	37,0	0,10	0,75	0,005	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
19	118,6	216,7	14588,5	64,1	20,7	0,04	0,79	0,005	n.d.	n.d.	0,1	50,0
20	113,3	204,3	14792,7	65,0	23,7	0,04	0,83	0,005	n.d.	n.d.	0,1	n.d.
21	88,8	151,1	14943,9	65,7	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	n.d.	102,4
22	91,0	211,7	15155,6	66,6	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	0,2	934,8
23 (*)	75,3	745,5	15901,1	69,9	24,7	0,25	1,07	0,007	n.d.	n.d.	0,3	17,0
24	54,6	339,7	16240,8	71,3	46,8	0,29	1,37	0,009	n.d.	n.d.	0,1	7,8
25	48,8	58,2	16299,0	71,6	58,9	0,07	1,44	0,009	n.d.	n.d.	0,1	117,8
26	40,9	90,2	16389,2	72,0	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	0,9	n.d.
27	40,1	106,8	16495,9	72,5	13,8	0,04	1,47	0,010	n.d.	n.d.	0,3	n.d.
28	41,1	47,3	16543,3	72,7	8,9	0,01	1,48	0,010	n.d.	n.d.	0,3	78,4
29	34,4	164,6	16707,9	73,4	7,6	0,04	1,52	0,010	n.d.	n.d.	0,3	30,6
30	35,3	202,6	16910,5	74,3	15,0	0,09	1,60	0,010	n.d.	n.d.	0,2	261,2
31	33,8	166,7	17077,1	75,0	13,3	0,07	1,67	0,011	n.d.	n.d.	0,4	25,3
32	32,4	45,2	17122,3	75,2	12,8	0,02	1,69	0,011	n.d.	n.d.	0,4	n.d.
33	28,4	122,2	17244,5	75,8	18,2	0,08	1,77	0,011	n.d.	n.d.	0,4	n.d.
34	26,9	61,3	17305,8	76,0	15,7	0,04	1,80	0,012	n.d.	n.d.	0,4	8,3
35	29,2	44,5	17350,3	76,2	5,1	0,01	1,81	0,012	n.d.	n.d.	0,4	203,1
36	28,7	97,8	17448,2	76,7	29,3	0,10	1,91	0,012	n.d.	n.d.	0,4	116,7
37	26,0	179,8	17627,9	77,4							0,3	33,3

38 (*)	124,1	176,8	17804,8	78,2	32,7	0,05	1,96	0,013	n.d.	n.d.	10,7	67,8
39	20,8	148,3	17953,0	78,9	67,8	0,48	2,44	0,016	n.d.	n.d.	0,2	35,2
40	17,3	46,3	17999,4	79,1	92,2	0,25	2,69	0,017	n.d.	n.d.	0,3	38,9
41 (*)	17,6	59,6	18059,0	79,3	40,5	0,14	2,82	0,018	n.d.	n.d.	0,3	19,3
42	18,1	42,6	18101,6	79,5	103,5	0,24	3,07	0,020	n.d.	n.d.	0,3	18,8
43	17,3	44,7	18146,3	79,7	14,4	0,04	3,10	0,020	n.d.	n.d.	0,4	8,2
44	15,1	10,2	18156,5	79,8	22,7	0,02	3,12	0,020	n.d.	n.d.	2,5	n.d.
45	13,0	68,5	18225,0	80,1	48,6	0,26	3,38	0,022	n.d.	n.d.	0,6	19,5
46	12,8	13,8	18238,7	80,1	84,8	0,09	3,47	0,023	n.d.	n.d.	0,6	3,8
47	12,5	40,8	18279,5	80,3	81,8	0,27	3,73	0,024	n.d.	n.d.	0,5	n.d.
48	11,9	22,5	18302,0	80,4	102,4	0,19	3,93	0,026	n.d.	n.d.	0,5	7,7
49	14,0	31,9	18333,8	80,5	27,4	0,06	3,99	0,026	n.d.	n.d.	0,5	n.d.
50	12,3	24,1	18357,9	80,6	78,3	0,15	4,14	0,027	16,4	34,3	0,5	n.d.
51	12,3	28,6	18386,5	80,8	69,9	0,16	4,31	0,028	n.d.	n.d.	0,6	n.d.
52 (*)	13,8	14,6	18401,1	80,8	140,9	0,15	4,45	0,029	n.d.	n.d.	0,7	n.d.
53	14,1	53,1	18454,3	81,1	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	0,6	n.d.
54	14,2	11,5	18465,8	81,1	141,4	0,11	4,57	0,030	n.d.	n.d.	0,6	n.d.
55	15,2	70,2	18536,0	81,4							0,7	27,6
56	5,1	17,5	18553,5	81,5	112,9	0,39	4,96	0,032	n.d.	n.d.	0,2	1091,8
57	13,8	145,3	18698,8	82,1	100,0	1,05	6,01	0,039	n.d.	n.d.	0,8	28,6
58	14,0	30,2	18729,0	82,3	110,0	0,24	6,25	0,041	n.d.	n.d.	0,7	16,1
59 (*)	11,4	132,0	18861,0	82,9	120,0	1,39	7,64	0,050	n.d.	n.d.	0,8	29,7
60	10,1	50,4	18911,4	83,1	30,0	0,15	7,79	0,051	n.d.	n.d.	0,6	26,6
61	9,3	16,6	18928,0	83,2	120,0	0,21	8,00	0,052	n.d.	n.d.	0,7	23,1
62	9,1	21,2	18949,2	83,2	50,0	0,12	8,12	0,053	n.d.	n.d.	0,7	n.d.
63 (*)	10,4	116,0	19065,3	83,8	20,0	0,22	8,34	0,054	n.d.	n.d.	0,8	175,3
64	7,8	53,7	19119,0	84,0	5,1	0,04	8,38	0,054	n.d.	n.d.	0,8	20,6
65	6,4	14,9	19133,9	84,1	80,0	0,19	8,56	0,056	n.d.	n.d.	0,7	n.d.
66	5,7	13,0	19146,9	84,1	5,3	0,01	8,57	0,056	n.d.	n.d.	0,7	24,4
67	5,9	25,4	19172,3	84,2	90,0	0,39	8,96	0,058	n.d.	n.d.	0,7	30,1
68	6,7	29,5	19201,7	84,4	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	0,6	9,8
69	6,8	32,8	19234,6	84,5	4,1	0,02	8,98	0,058	n.d.	n.d.	0,6	8,7
70	5,0	29,9	19264,5	84,6	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	0,5	24,3
71	4,4	15,7	19280,1	84,7	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	0,4	9,5
72	4,8	35,9	19316,1	84,9	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	0,5	20,6

Tableau B.5. Données du casier lysimétrique L3-100

Date d'échantillonnage et volume d'eau recueilli pour chaque échantillon

L3-100 Échantillon #	Date	Nombre de jours		Pesée totale	Pesée chaudière	Pesée eau	Volume d'eau cumulatif		Éq. hauteur d'eau
			cumulatifs	g	g	g	ml	ml	mm H ₂ O
0	Bruit de fond	0	0	—	—	—	—	—	—
1	08-12-00 au 18-12-00	11	11	4660,8	1355,0	3305,8	3900,8	3900,8	8,9
2	18-12-00 au 21-12-00	3	14	3173,0	1327,0	1846,0	2696,0	6596,8	15,0
3	21-12-00 au 15-01-01	25	39	—	—	—	400,0	6996,8	15,9
(Rien)	15-01-01 au 06-04-01	81	120	—	—	—	—	—	—
4 (*)	06-04-01 au 10-04-01	4	124	10778,0	1186,0	9592,0	9592,0	16588,8	37,7
5 (*)	10-04-01 au 11-04-01	1	125	12400,0	1190,0	11210,0	11210,0	27798,8	63,2
6	11-04-01 au 11-04-01		125	4440,7	1196,1	3244,6	3244,6	31043,4	70,6
7	11-04-01 au 12-04-01	1	126	10561,5	1191,8	9369,7	9369,7	40413,1	91,8
8	12-04-01 au 13-04-01	1	127	11692,0	1187,2	10504,8	10504,8	50917,9	115,7
9	13-04-01 au 14-04-01	1	128	14235,0	1038,3	13196,7	13196,7	64114,6	145,7
10	14-04-01 au 15-04-01	1	129	12312,8	1025,9	11286,9	11286,9	75401,5	171,4
11	15-04-01 au 16-04-01	1	130	6910,6	1183,5	5727,1	5727,1	81128,6	184,4
12	16-04-01 au 17-04-01	1	131	7885,0	1362,0	6523,0	6523,0	87651,6	199,2
13	17-04-01 au 18-04-01	1	132	7946,0	1188,0	6758,0	6758,0	94409,6	214,6
14	18-04-01 au 19-04-01	1	133	6342,1	1159,0	5183,1	5183,1	99592,7	226,3
15	19-04-01 au 20-04-01	1	134	6350,0	1340,0	5010,0	5010,0	104602,7	237,7
16	20-04-01 au 21-04-01	1	135	6802,0	1161,9	5640,1	5640,1	110242,8	250,6
17 (*)	21-04-01 au 22-04-01	1	136	13911,1	1371,3	12539,8	12539,8	122782,6	279,1
18	22-04-01 au 23-04-01	1	137	12676,0	1334,0	11342,0	11342,0	134124,6	304,8
19	23-04-01 au 24-04-01	1	138	9244,0	1160,0	8084,0	8084,0	142208,6	323,2
20	24-04-01 au 25-04-01	1	139	7129,0	1204,0	5925,0	5925,0	148133,6	336,7
21	25-04-01 au 26-04-01	1	140	4162,8	1177,1	2985,7	2985,7	151119,3	343,5
22	26-04-01 au 28-04-01	2	142	3213,5	1359,9	1853,6	1853,6	152972,9	347,7
23	28-04-01 au 03-05-01	5	147	2462,2	1198,6	1263,6	1263,6	154236,5	350,5
24	03-05-01 au 07-05-01	4	151	2851,1	1212,0	1639,1	1639,1	155875,6	354,3
25	07-05-01 au 14-05-01	7	158	—	—	—	875,0	156750,6	356,3
26	14-05-01 au 18-05-01	4	162	1977,0	1175,0	802,0	802,0	157552,6	358,1
(Rien)	18-05-01 au 25-05-01	7	169	—	—	—	—	—	—
27	25-05-01 au 29-05-01	4	173	3238,0	1206,0	2032,0	2032,0	159584,6	362,7
28	29-05-01 au 31-05-01	2	175	8379,0	1216,0	7163,0	7163,0	166747,6	379,0
29	31-05-01 au 03-05-01	3	178	5589,7	1189,7	4400,0	4400,0	171147,6	389,0
30 (*)	03-06-01 au 05-06-01	2	180	11913,0	1224,0	10689,0	10689,0	181836,6	413,3
31	05-06-01 au 07-06-01	2	182	5798,0	1188,0	4610,0	4610,0	186446,6	423,7
32	07-06-01 au 13-06-01	6	188	1956,9	1146,0	810,9	810,9	187257,5	425,6
33	13-06-01 au 18-06-01	5	193	2754,0	1205,0	1549,0	1549,0	188806,5	429,1

34	18-06-01 au 20-06-01	2	195	6768,0	1351,0	5417,0	5417,0	194223,5	441,4
35	20-06-01 au 22-06-01	2	197	2553,6	1186,5	1367,1	1367,1	195590,6	444,5
36	22-06-01 au 23-06-01	1	198	8732,3	1220,5	7511,8	7511,8	203102,4	461,6
37	23-06-01 au 24-06-01	1	199	5675,2	1188,5	4486,7	4486,7	207589,1	471,8
38	24-06-01 au 28-06-01	4	203	4418,0	1352,0	3066,0	3066,0	210655,1	478,8
39	28-06-01 au 07-07-01	9	212	3822,1	1339,2	2482,9	2482,9	213138,0	484,4
40	07-07-01 au 09-07-01	2	214	3159,0	1180,0	1979,0	1979,0	215117,0	488,9
41	09-07-01 au 11-07-01	2	216	4625,0	1359,0	3266,0	3266,0	218383,0	496,3
42	11-07-01 au 12-07-01	1	217	2953,0	1180,0	1773,0	1773,0	220156,0	500,4
43	12-07-01 au 13-07-01	1	218	2594,3	1149,1	1445,2	1445,2	221601,2	503,6
44	13-07-01 au 15-07-01	2	220	3631,9	1207,3	2424,6	2424,6	224025,8	509,1
45	15-07-01 au 17-07-01	2	222	6524,0	1189,0	5335,0	5335,0	229360,8	521,3
46	17-07-01 au 19-07-01	2	224	8872,0	1159,0	7713,0	7713,0	237073,8	538,8
47	19-07-01 au 23-07-01	4	228	6446,0	1363,0	5083,0	5083,0	242156,8	550,4
48	23-07-01 au 24-07-01	1	229	4720,0	1217,0	3503,0	3503,0	245659,8	558,3
49	24-07-01 au 25-07-01	1	230	4365,0	1339,0	3026,0	3026,0	248685,8	565,2
50	25-07-01 au 26-07-01	1	231	2781,0	1210,0	1571,0	1571,0	250256,8	568,8
(Rien)	26-07-01 au 06-08-01	11	242	—	—	—	—	—	—
51	06-08-01 au 08-08-01	2	244	2914,0	1178,0	1736,0	1736,0	251992,8	572,7
52	08-08-01 au 16-08-01	8	252	2790,0	1209,0	1581,0	1581,0	253573,8	576,3
53	16-08-01 au 20-08-01	4	256	8108,0	1182,0	6926,0	6926,0	260499,8	592,0
54	20-08-01 au 21-08-01	1	257	2405,0	1208,0	1197,0	1197,0	261696,8	594,8
55	21-08-01 au 22-08-01	1	258	3500,0	1180,0	2320,0	2320,0	264016,8	600,0
56	22-08-01 au 23-08-01	1	259	3015,0	1150,0	1865,0	1865,0	265881,8	604,3
57	23-08-01 au 28-08-01	5	264	4617,0	1155,0	3462,0	3462,0	269343,8	612,1
58	28-08-01 au 30-08-01	2	266	2816,0	1211,0	1605,0	1605,0	270948,8	615,8
59	30-08-01 au 01-09-01	2	268	2280,0	1340,0	940,0	940,0	271888,8	617,9
60	01-09-01 au 04-09-01	3	271	3912,0	1212,0	2700,0	2700,0	274588,8	624,1
61	04-09-01 au 05-09-01	1	272	2170,0	1142,0	1028,0	1028,0	275616,8	626,4
62	05-09-01 au 13-09-01	8	280	4337,0	1211,0	3126,0	3126,0	278742,8	633,5
63	13-09-01 au 21-09-01	8	288	3883,0	1175,0	2708,0	2708,0	281450,8	639,7
64	21-09-01 au 24-09-01	3	291	3544,0	1198,0	2346,0	2346,0	283796,8	645,0
65 (*)	24-09-01 au 26-09-01	2	293	11278,0	1158,0	10120,0	10120,0	293916,8	668,0
66	26-09-01 au 27-09-01	1	294	6178,0	1348,0	4830,0	4830,0	298746,8	679,0
67	27-09-01 au 28-09-01	1	295	2569,0	1336,0	1233,0	1233,0	299979,8	681,8
68	28-09-01 au 05-10-01	7	302	2070,0	1344,0	726,0	726,0	300705,8	683,4
69	05-10-01 au 06-10-01	1	303	2697,2	1170,1	1527,1	1527,1	302232,9	686,9
70	06-10-01 au 07-10-01	1	304	12696,0	1344,3	11351,7	11351,7	313584,6	712,7
71	07-10-01 au 16-10-01	9	313	7351,0	1175,0	6176,0	6176,0	319760,6	726,7

Pour les échantillons 1 et 2, un certain volume d'eau (595 et 850 ml respectivement) a été envoyé à l'analyse avant la pesée

72	16-10-01 au 17-10-01	1	314	3194,0	1336,0	1858,0	1858,0	321618,6	731,0
73	17-10-01 au 18-10-01	1	315	3659,0	1153,0	2506,0	2506,0	324124,6	736,6
74	18-10-01 au 19-10-01	1	316	4614,0	1212,0	3402,0	3402,0	327526,6	744,4
75	19-10-01 au 23-10-01	4	320	3558,0	1151,0	2407,0	2407,0	329933,6	749,8
76	23-10-01 au 24-10-01	1	321	6106,0	1207,0	4899,0	4899,0	334832,6	761,0
77	24-10-01 au 25-10-01	1	322	6028,0	1363,0	4665,0	4665,0	339497,6	771,6
78	25-10-01 au 26-10-01	1	323	4139,0	1198,0	2941,0	2941,0	342438,6	778,3
79	26-10-01 au 30-10-01	4	327	6230,0	1189,0	5041,0	5041,0	347479,6	789,7

Valeurs des paramètres de terrain dans chaque échantillon d'eau

L3-100		Paramètres de terrain						
Échantillon	pH	Temp.	Cond.	Cond. Spéc.	Salinité	O ₂ dissous		Pot. oxydo-réd.
#		°C	mS	mS	ppt	%	mg/L	mV
0	---	---	---	---	---	---	---	---
1	---	---	---	---	---	---	---	---
2	---	---	---	---	---	---	---	---
3	---	---	---	---	---	---	---	---
4 (*)	---	---	---	---	---	---	---	---
5 (*)	---	---	---	---	---	---	---	---
6	---	---	---	---	---	---	---	---
7	---	---	---	---	---	---	---	---
8	---	---	---	---	---	---	---	---
9	---	---	---	---	---	---	---	---
10	---	---	---	---	---	---	---	---
11	---	---	---	---	---	---	---	---
12	---	---	---	---	---	---	---	---
13	---	---	---	---	---	---	---	---
14	---	---	---	---	---	---	---	---
15	---	---	---	---	---	---	---	---
16	5,37	5,6	178,4	291,3	0,1	101,6	12,52	---
17 (*)	4,71	1,8	163,1	LErr	0,1	62,7	8,68	---
18	5,20	1,7	167,4	LErr	0,1	78,1	10,89	---
19	4,78	3,9	134,7	223,4	0,1	56,2	7,51	---
20	4,93	1,9	112,8	LErr	0,1	55,0	7,60	---
21	5,10	2,7	125,0	219,0	0,1	86,8	11,74	---
22	5,00	2,7	120,9	210,3	0,1	73,7	10,05	---
23	4,92	7,5	144,7	215,6	0,1	59,4	7,18	---
24	5,05	6,9	178,7	278,6	0,1	56,5	6,88	---
25	5,00	7,3	150,5	227,5	0,1	67,4	8,80	---
26	5,18	11,0	166,3	226,8	0,1	70,1	7,73	---
27	5,30	10,8	212,9	292,5	0,1	53,6	5,93	154
28	6,25	9,1	188,7	268,1	0,1	24,0	2,76	191
29	4,85	10,6	219,5	301,8	0,1	56,8	6,42	264
30 (*)	4,92	9,6	242,4	343,4	0,2	45,4	5,15	333
31	4,96	9,2	270,1	387,1	0,2	39,6	4,27	302
32	5,18	15,6	326,4	398,1	0,2	36,6	3,64	280
33	5,27	15,8	351,7	428,2	0,2	58,2	5,74	173
34	5,02	14,2	322,7	405,2	0,2	38,9	4,00	193
35	5,14	15,7	154,2	188,4	0,1	16,1	1,60	236
36	4,82	15,1	339,8	418,1	0,2	50,1	5,07	292
37	4,85	16,0	335,2	404,9	0,2	39,9	3,94	321

38	5,06	15,6	319,3	387,1	0,2	44,1	4,35	232
39	5,23	15,2	302,8	372,3	0,2	44,5	4,47	246
40	5,19	15,4	301,4	369,1	0,2	48,0	4,79	264
41	4,99	16,3	289,9	349,4	0,2	40,2	3,94	289
42	5,07	16,6	284,1	332,5	0,2	35,8	3,49	333
43	4,81	14,3	258,0	324,9	0,2	41,2	4,20	(brisée)
44	4,97	17,0	270,3	320,1	0,2	37,1	3,59	(brisée)
45	4,78	15,1	250,7	309,4	0,1	31,7	3,53	(brisée)
46	4,84	14,9	227,2	281,7	0,1	31,6	2,96	(brisée)
47	4,86	15,9	206,8	250,1	0,1	40,1	3,97	(brisée)
48	4,91	17,5	198,9	232,2	0,1	52,4	5,01	(brisée)
49	5,02	16,9	187,6	222,0	0,1	47,3	4,57	(brisée)
50	5,36	16,1	174,6	210,2	0,1	58,5	5,75	(brisée)
51	5,94	18,9	183,8	208,0	0,1	40,2	3,74	46
52	5,46	17,6	180,5	210,2	0,1	46,1	4,41	148
53	5,27	17,1	170,4	200,5	0,1	36,8	3,54	137
54	5,39	19,7	164,8	183,6	0,1	45,1	4,12	(brisée)
55	5,01	17,1	152,7	180,3	0,1	43,5	4,24	(brisée)
56	4,97	17,9	147,7	171,8	0,1	57,3	5,43	(brisée)
57	5,12	17,0	141,3	167,6	0,1	47,5	4,44	(brisée)
58	5,26	16,6	135,8	161,0	0,1	47,2	4,62	(brisée)
59	4,96	16,0	133,8	161,4	0,1	46,1	4,55	(brisée)
60	4,66	16,2	130,4	157,2	0,1	44,3	4,30	(brisée)
61	5,18	15,9	125,7	153,1	0,1	31,8	3,23	(brisée)
62	4,96	16,2	125,0	150,3	0,1	19,0	2,38	(brisée)
63	5,14	15,3	108,9	132,7	0,1	31,0	3,11	(brisée)
64	4,90	15,8	119,7	142,7	0,1	38,2	3,78	(brisée)
65 (*)	4,82	14,9	88,0	109,4	0,1	35,0	3,54	(brisée)
66	5,26	14,8	79,9	98,4	0,0	42,6	4,03	(brisée)
67	5,08	15,1	77,3	95,4	0,0	44,2	4,47	(brisée)
68	5,40	16,9	85,9	102,1	0,0	43,7	4,24	(brisée)
69	5,35	16,9	81,3	100,9	0,0	47,5	4,83	(brisée)
70	4,98	12,9	69,8	90,8	0,0	40,1	4,23	(brisée)
71	---	---	---	---	---	---	---	---
72	---	---	---	---	---	---	---	---
73	---	---	---	---	---	---	---	---
74	---	---	---	---	---	---	---	---
75	---	---	---	---	---	---	---	---
76	---	---	---	---	---	---	---	---
77	---	---	---	---	---	---	---	---
78	---	---	---	---	---	---	---	---
79	---	---	---	---	---	---	---	---

Concentrations des composés détectés dans chaque échantillon d'eau

L3-100 Échantillon #	Traceur				Matériaux énergétiques					Produits de transformation		
	Chlorures				HMX				RDX	TNT	Nitrates + Nitrites	Azote ammoniacale
	mg/L	Masse mg	cumulée	% récup.	µg/L	Masse mg	cumulée	% récup.	µg/L	µg/L	mg NO ₃ /L	µg N/L
0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	1,0	3,9	3,9	0,0	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	18,6	14,6
2	1,0	2,6	6,5	0,0	1,7	0,005	0,005	0,000	n.d.	n.d.	16,2	n.d.
3					4,1	0,002	0,006	0,000	n.d.	n.d.		
4 (*)	2,2	21,1	27,6	0,1	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	18,9	17,2
5 (*)	35,8	401,3	428,9	1,9	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	13,8	n.d.
6	60,6	196,6	625,5	2,7	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	13,7	123,3
7	67,8	635,3	1260,8	5,5	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	12,5	119,6
8	111,8	1174,4	2435,2	10,7	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	12,7	151,7
9	119,9	1582,3	4017,5	17,6	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	11,1	100,9
10	98,8	1115,1	5132,6	22,5	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	10,5	48,7
11	85,7	490,8	5623,4	24,7	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	11,0	8,2
12	77,6	506,2	6129,6	26,9	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	11,1	56,9
13	74,1	500,8	6630,4	29,1	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	10,9	12,2
14	75,0	388,7	7019,1	30,8	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	10,2	21,5
15	82,5	413,3	7432,5	32,7	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	10,0	28,4
16	74,3	419,1	7851,5	34,5	1,3	0,007	0,013	0,000	n.d.	n.d.	9,5	126,6
17 (*)	83,2	1043,3	8894,8	39,1	4,0	0,051	0,064	0,000	n.d.	n.d.	8,3	58,6
18	74,6	846,1	9740,9	42,8	14,2	0,161	0,225	0,002	n.d.	n.d.	7,4	60,6
19	53,2	430,1	10171,0	44,7	36,4	0,294	0,519	0,004	n.d.	n.d.	5,4	34,9
20	49,5	293,3	10464,3	46,0	22,4	0,133	0,651	0,005	n.d.	n.d.	5,1	9,2
21	49,8	148,7	10613,0	46,6	26,1	0,078	0,729	0,006	n.d.	n.d.	5,1	25,8
22	47,3	87,7	10700,7	47,0	35,5	0,066	0,795	0,006	n.d.	n.d.	5,3	30,0
23	48,8	61,7	10762,3	47,3	12,6	0,016	0,811	0,006	n.d.	n.d.	5,3	39,2
24	58,1	95,2	10857,6	47,7	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	5,8	n.d.
25	58,8	51,5	10909,0	47,9	26,5	0,023	0,834	0,006	n.d.	n.d.	6,6	n.d.
26	55,4	44,4	10953,4	48,1	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	6,9	17,4
27	56,9	115,6	11069,1	48,6	30,2	0,061	0,896	0,007	n.d.	n.d.	8,4	n.d.
28	64,1	459,1	11528,2	50,6	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	7,7	33,0
29					n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.		
30 (*)	100,0	1068,9	12597,1	55,3	39,4	0,421	1,316	0,010	n.d.	n.d.	6,8	n.d.
31	108,0	497,9	13095,0	57,5	24,9	0,115	1,431	0,011	n.d.	n.d.	7,0	17,5
32	120,6	97,8	13192,8	58,0	146,0	0,118	1,550	0,012	n.d.	n.d.	8,3	147,4
33	114,5	177,4	13370,1	58,7	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	9,8	n.d.
34	120,6	653,3	14023,4	61,6	18,0	0,098	1,647	0,012	n.d.	n.d.	9,0	14,3
35	122,3	167,2	14190,6	62,3	12,5	0,017	1,664	0,013	n.d.	n.d.	8,3	58,6
36	122,6	920,9	15111,6	66,4	26,3	0,198	1,862	0,014	n.d.	n.d.	8,6	78,3
37	113,5	509,2	15620,8	68,6	20,8	0,093	1,955	0,015	n.d.	n.d.	8,3	247,6

38	106,0	325,0	15945,8	70,1	18,6	0,057	2,012	0,015	n.d.	n.d.	8,8	20,1
39	98,5	244,6	16190,4	71,1	24,3	0,060	2,073	0,016	n.d.	n.d.	11,3	134,2
40	98,5	194,9	16385,3	72,0	12,2	0,024	2,097	0,016	n.d.	n.d.	12,0	113,1
41	97,3	317,8	16703,1	73,4							11,3	4,7
42	87,8	155,7	16858,8	74,1	32,6	0,058	2,154	0,016	n.d.	n.d.	10,4	13,1
43	87,9	127,0	16985,8	74,6	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	10,3	140,9
44	86,5	209,7	17195,5	75,5	5,7	0,014	2,168	0,016	n.d.	n.d.	10,3	74,4
45	86,7	462,5	17658,1	77,6	10,7	0,057	2,225	0,017	n.d.	n.d.	10,4	29,7
46	69,8	538,4	18196,4	79,9	37,7	0,291	2,516	0,019	n.d.	n.d.	9,9	31,4
47	60,1	305,5	18501,9	81,3	6,5	0,033	2,549	0,019	n.d.	n.d.	11,5	39,2
48	54,6	191,3	18693,2	82,1	32,8	0,115	2,664	0,020	n.d.	n.d.	10,9	12,5
49	53,9	163,1	18856,3	82,8	37,3	0,113	2,777	0,021	n.d.	n.d.	11,0	21,0
50	49,7	78,1	18934,4	83,2	34,0	0,053	2,830	0,021	n.d.	n.d.	11,2	14,6
51	42,5	73,8	19008,1	83,5	15,7	0,027	2,858	0,022	n.d.	n.d.	12,8	3,7
52	38,7	61,2	19069,3	83,8	20,2	0,032	2,890	0,022	n.d.	n.d.	15,1	69,0
53	32,5	225,1	19294,4	84,8	11,5	0,080	2,969	0,022	n.d.	n.d.	15,6	20,4
54	37,6	45,0	19339,4	85,0	20,0	0,024	2,993	0,023	n.d.	n.d.	13,4	23,2
55	34,0	78,9	19418,3	85,3	26,2	0,061	3,054	0,023	n.d.	n.d.	11,7	3,5
56	30,4	56,7	19475,0	85,6	21,2	0,040	3,093	0,023	n.d.	n.d.	11,3	13,5
57	29,6	102,5	19577,5	86,0	90,9	0,315	3,408	0,026	n.d.	n.d.	13,2	6,2
58	27,3	43,8	19621,3	86,2	34,5	0,055	3,464	0,026	n.d.	n.d.	12,8	5,8
59	24,1	22,7	19644,0	86,3	24,3	0,023	3,486	0,026	n.d.	n.d.	12,9	19,2
60	22,7	61,3	19705,2	86,6	17,1	0,046	3,533	0,027	n.d.	n.d.	12,7	n.d.
61	23,8	24,5	19729,7	86,7	30,2	0,031	3,564	0,027	n.d.	n.d.	12,9	n.d.
62	27,8	86,9	19816,6	87,1	46,3	0,145	3,708	0,028	n.d.	n.d.	14,0	34,4
63	25,3	68,5	19885,1	87,4	10,0	0,027	3,735	0,028	n.d.	n.d.	15,0	n.d.
64	23,6	55,4	19940,5	87,6	30,0	0,070	3,806	0,029	n.d.	n.d.	14,1	33,1
65 (*)	21,6	218,6	20159,1	88,6	20,0	0,202	4,008	0,030	n.d.	n.d.	11,9	14,5
66	13,4	64,7	20223,8	88,8	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	13,3	24,5
67	12,3	15,2	20239,0	88,9	50,0	0,062	4,070	0,031	n.d.	n.d.	13,8	39,9
68	12,3	8,9	20247,9	89,0	40,0	0,029	4,099	0,031	n.d.	n.d.	14,6	32,4
69	10,6	16,2	20264,1	89,0	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	30,1	138,8
70	9,8	111,2	20375,3	89,5	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	14,1	101,1
71	10,3	63,6	20438,9	89,8	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	15,9	11,9
72	8,5	15,8	20454,7	89,9	20,0	0,037	4,136	0,031	n.d.	n.d.	16,3	n.d.
73	9,3	23,3	20478,0	90,0	n.d.	—	4,136	0,031	n.d.	n.d.	16,0	25,0
74	8,3	28,2	20506,3	90,1	60,0	0,204	4,340	0,033	n.d.	n.d.	15,1	n.d.
75	7,0	16,8	20523,1	90,2	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	15,9	7,6
76	6,8	33,3	20556,4	90,3	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	16,1	9,3
77	6,5	30,3	20586,8	90,4	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	16,4	n.d.
78	6,4	18,8	20605,6	90,5	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	16,5	36,4
79	7,1	35,8	20641,4	90,7							17,3	4,8



Annexe C
Protocole des essais en colonne



Protocole des essais en colonne (Laboratoire INRS-RDDC, Bâtiment 72, RDDC Valcartier)

Les essais en colonnes vont permettre d'évaluer les propriétés de transport et de transformation des matériaux énergétiques composant l'Octol (HMX, RDX et TNT).

Objectifs des essais

- Évaluer l'effet de la zone non saturée sur le transport du HMX, du RDX et du TNT;
- Identifier le facteur de retard du HMX, du RDX et du TNT sur le chlorure de sodium;
- Évaluer l'effet de la zone non saturée sur la transformation du HMX, du RDX et du TNT;
- Quantifier l'influence des rayons UV sur la dégradation sur le HMX, le RDX et le TNT.

Dispositif expérimental

Composantes du montage

Les sections employées pour le montage des colonnes sont des cylindres d'acier inoxydable de 0,61 m ou 1,22 m de longueur et de 21,16 cm de diamètre. Les colonnes (4) sont de différentes dimensions, soient deux colonnes de 0,61 m (une section), une de 1,22 m (une section) et une de 3,66 m (3 sections) de haut. Avant le montage des colonnes, chaque section d'acier inoxydable doit être nettoyée. D'abord avec un détergent permettant d'enlever les matières huileuses à l'intérieure de la colonne puis avec de l'éthanol et un rinçage final à l'eau distillée.

L'extrémité supérieure des colonnes est fermée à l'atmosphère par le système d'irrigation de la colonne. L'irrigation de la colonne est faite au moyen d'une pompe péristaltique dont le temps de fonctionnement est contrôlé par un CR10x. L'eau amenée par la pompe

est dirigée vers un tube de Tygon perforé disposé en spirale. Ce tube est placé au-dessus d'un tamis rempli de laine de verre inerte qui sert à répartir uniformément l'eau au-dessus du sol de la colonne. L'eau servant à l'irrigation est distillée.

L'extrémité inférieure est fermée par une plaque perforée en acier inoxydable surmontée d'un filtre en acier inoxydable pour éviter que le sable ne colmate les ouvertures de la plaque. Une autre plaque d'acier, placée sous la première, canalise l'eau vers son ouverture centrale où les échantillons d'eau sont prélevés. Les plaques doivent aussi être nettoyées à l'aide d'un détergent et de l'éthanol avant le montage du dispositif.

Sol utilisé

Les échantillons de sol utilisés pour ces essais proviennent de la sablière située à l'Est du champ de tirs Arnhem. Le sol est prélevé par tranche de 1 m afin d'avoir une meilleure représentation de la granulométrie même en profondeur. Ces échantillons de sol sont représentatifs du sol du champ de tirs mais ne contiennent aucune contamination.

Les instruments servant au prélèvement des échantillons (pelles) doivent être nettoyés à l'aide d'un détergent et de l'éthanol puis rincés à l'eau distillée avant leurs utilisations et entre les tranches de prélèvement (couche de 1 m). Les bacs d'entreposage des échantillons devront aussi être nettoyés à l'aide des mêmes solutions.

Les sols ne sont pas séchés à l'air ou à l'étuve, cela afin de ne pas détruire la flore microbienne. Ils seront directement compactés dans les colonnes. Des échantillons vont cependant être conservés pour des fins d'analyses granulométriques, de même que pour déterminer la teneur en eau de ces échantillons.

Montage des colonnes

Le sol est introduit par couche de 1 cm (615,4 g de sol pour une densité de 1,75 g/cm³) afin de prévenir l'hétérogénéité longitudinale du sol à l'intérieur de la colonne. La

compaction de la colonne est réalisée en martelant le sol présent dans la colonne par un poids de 1 kg, d'une hauteur contrôlée de 50 cm, 12 fois pour chaque couche. Le lien entre les couches est obtenu par la scarification des 0,5 premier centimètre de chaque couche avant l'ajout d'une nouvelle couche.

L'air interstitiel du sol n'est pas éliminé par circulation de dioxyde de carbone afin de préserver la flore microbienne qui s'y trouve. La colonne n'est pas saturée avec de l'eau parce que le sol compacté contient déjà une teneur en eau et que des conditions non saturées doivent être conservées.

Déroulement des essais

Mise en place de l'Octol et du traceur

De l'Octol et du chlorure de sodium doivent être disposés sur la surface du sol de la colonne. La concentration en Octol doit être représentative de ce qui a été prélevé dans le champ de tirs lors de l'échantillonnage des sols en 1995. Les concentrations en HMX se situaient entre 350 et 800 ppm. Afin de se situer dans le même étalonnage de concentration, la quantité d'Octol à épandre est de 600 ppm (3 g d'Octol en morceaux) et celle du traceur (chlorure de sodium) de 150 ppm (2,043 g dissous dans l'eau distillée).

Irrigation de la colonne

Un premier événement d'infiltration doit être fait avant l'épandage de l'Octol. Cet événement doit servir à ajuster le débit d'arrosage et à ramener le sol des colonnes à saturation résiduelle. Le deuxième événement d'infiltration doit être produit après l'épandage de l'Octol et doit simuler les précipitations des mois d'octobre et novembre. Les précipitations de l'automne vont servir à mettre l'Octol en solution dans le sol. Elles vont permettre d'avoir des données sur l'arrivée du traceur au bas de la colonne. Les colonnes vont être laissées en repos pendant un certain temps (2 mois) pour permettre à la flore bactérienne de procéder à la dégradation des matériaux énergétiques. Un troisième

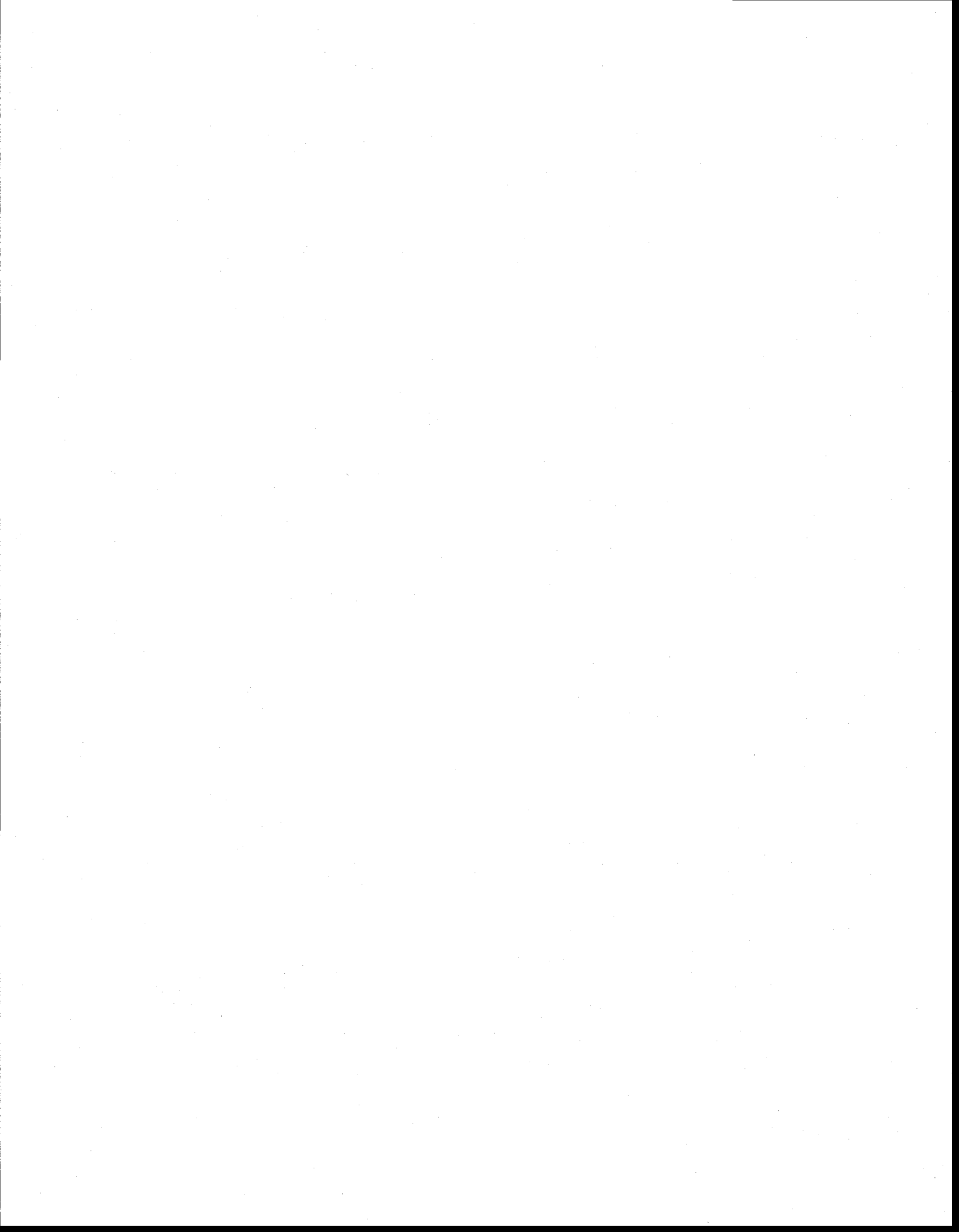
événement d'infiltration doit se produire à la suite de ce repos. Il doit simuler les précipitations du printemps. La durée totale de l'essai est d'environ 4 mois. La quantité d'eau associée à chaque événement de précipitation est estimée à partir des données de précipitation moyenne enregistrée par la station météo d'Environnement Canada située sur la base militaire de Valcartier.

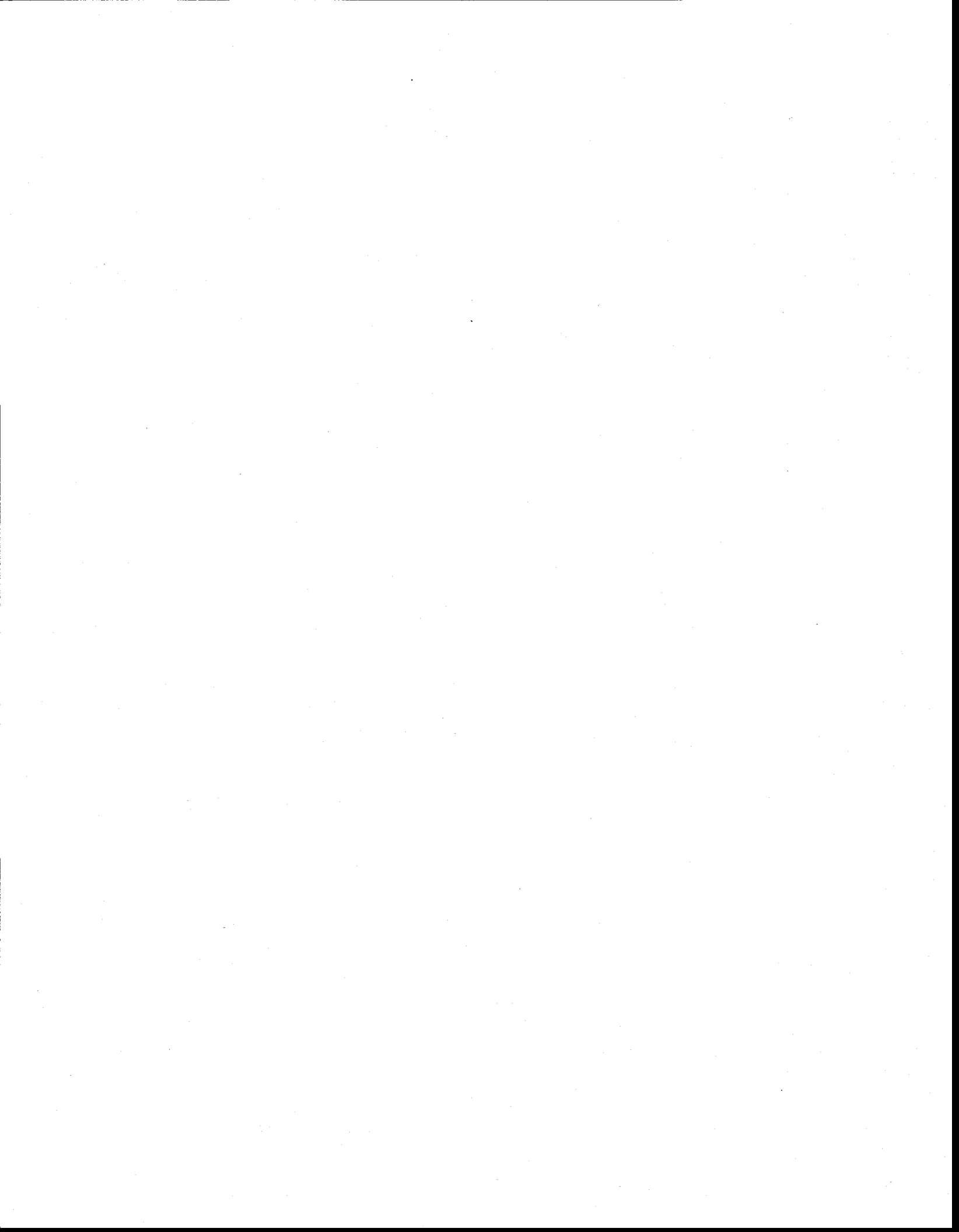
Conditions de l'essai

L'essai doit se dérouler à température constante (7-8°C). La pièce qui contient les colonnes doit être maintenue dans le noir pour éviter la dégradation de matériaux énergétiques, placés sur le dessus des colonnes, par la lumière. Seulement une colonne doit être munie d'un système d'éclairage (lampe UV) afin de considérer l'effet des rayons UV sur l'Octol.

Récupération des échantillons d'eau

Les échantillons d'eau sont récupérés à la base de la colonne dans des contenants en verre ambré de quatre litres.





Annexe D

Résultats détaillés de l'échantillonnage et de l'analyse des essais en colonne



Les tableaux suivants montrent les résultats d'échantillonnage des colonnes C-1UV-50 (Tableau C.1.), C-2D-330 (Tableau C.2.), C-3D-90 (Tableau C.3.) et C-4D-50 (Tableau C.4.). Pour chaque colonne, un tableau séparé en trois parties présente les dates d'échantillonnage et les volumes d'eau recueillis, les valeurs des paramètres de terrain comme le pH, la température (Temp.), la conductivité (Cond.), la salinité, l'oxygène dissous (O₂ dissous) et le potentiel d'oxydo-réduction (Pot. oxydo-réd.) et les résultats des analyses effectués pour les concentrations en chlorure et en matériaux énergétiques et leurs produits de transformation.

Une légende est associée aux tableaux présentés :

2^e partie du tableau

--- Aucune lecture

3^e partie du tableau

n.d. Concentration sous les limites de détection

déTECTÉ DéTECTÉ par l'appareil d'analyse mais non quantifiable

Il est à noter que les échantillons d'eau ont aussi été analysés pour les composés suivants : 1,3,5-TNB; DNB; Tetryl; NB; 2,4-DNT; 2,6-DNT et Mono-Nitro, mais que ces composés n'ont pas été détectés.

Le 2A-DNT et le 4A-DNT ont aussi été analysés, ils ont été détectés dans les colonnes C-1UV-50 et C-4D-50, mais pas dans les deux autres colonnes.

Tableau C.1. Données de la Colonne C-1UV-50

Date d'échantillonnage et volume d'eau recueilli pour chaque échantillon

Nom de l'échantillon	Date	Nombre de jours		Bouteille pleine	Bouteille vide	Quantité d'eau	Volume d'eau cumulatif		Éq. Hauteur d'eau
			cumulatifs	g	g	g	ml	ml	mm H ₂ O
Début de l'arrosage, 13 février		6	6	—	—	—	—	—	—
C1-1	18-02-02 au 25-02-02	7	13	2166	1342	824	824	824	23,4
C1-2	25-02-02 au 04-03-02	7	20	2377	1340	1037	1037	1861	52,9
C1-3	04-03-02 au 11-03-02	7	27	1918	1341	577	577	2438	69,3
Temps de repos		63	90	—	—	—	—	—	—
Début de l'arrosage, 13 mai		2	92	—	—	—	—	—	—
C1-4	15-05-02 au 17-05-02	2	94	2074	1339	735	735	3173	90,2
C1-5	17-05-02 au 21-05-02	4	98	2727	1344	1383	1383	4556	129,6
C1-6	21-05-02 au 24-05-02	3	101	2113	1338	775	775	5331	151,6
C1-7	24-05-02 au 27-05-02	3	104	2352	1341	1011	1011	6342	180,3
C1-8	27-05-02 au 30-05-02	3	107	2243	1338	905	905	7247	206,1
C1-9	30-05-02 au 03-06-02	4	111	2732	1345	1387	1387	8634	245,5
C1-10	03-06-02 au 06-06-02	3	114	2292	1340	952	952	9586	272,6
C1-11	06-06-02 au 10-06-02	4	118	2676	1343	1333	1333	10919	310,5
C1-12	10-06-02 au 17-06-02	7	125	1540	1338	202	202	11121	316,2

Valeur des paramètres de terrain pour chaque échantillon d'eau

Nom de l'échantillon	Paramètres de terrain					
	pH	Pot. oxydo-réd.	Temp.	Cond.	O ₂ dissous	Salinité
		mV	°C	mS/cm	%	ppt
C1-1	6,69	189,3	12,47	0,072	61,1	—
C1-2	7,32	145,1	10,92	0,400	45,0	—
C1-3	—	—	—	—	—	—
C1-4	9,05	73,3	14,74	1,090	46,3	—
C1-5	6,20	122,0	8,78	0,706	45,1	—
C1-6	6,12	200,8	8,96	0,401	53,6	0,19
C1-7	4,91	224,0	9,45	0,274	43,3	0,13
C1-8	5,15	250,7	9,12	0,202	46,6	0,10
C1-9	5,15	244,9	7,93	0,167	45,8	0,08
C1-10	5,08	236,4	8,54	0,093	38,2	0,04
C1-11	4,97	226,7	8,62	0,079	40,6	0,04
C1-12	—	—	—	—	—	—

Concentrations des composés détectés dans chaque échantillon d'eau

Nom de l'échantillon	Traceur				Matériaux énergétiques						Produits de transformation			
	Chlorures				HMX				RDX	TNT	2-ADNT	4-ADNT	Nitrates + Nitrites	Azote am-
	mg/L	Masse mg	cum.	% récup.	µg/L	Masse mg	cum.	% récup.	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg NO ₃ /L	µg N/L
C1-1	n.d.	—	—	—	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,13	11,66
C1-2	71,0	58,5	58,5	2,8	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,28	4,95
C1-3	178,2	184,8	243,3	11,8	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,05	8,01
C1-4	339,0	195,6	438,9	21,3	21,0	0,015	0,015	0,001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,55	9,07
C1-5	207,0	152,1	591,0	28,6	29,0	0,040	0,055	0,003	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,32	8,31
C1-6	122,9	170,0	761,0	36,9	40,4	0,031	0,087	0,004	n.d.	n.d.	n.d.	déTECTÉ	0,10	n.d.
C1-7	78,7	61,0	822,0	39,8	38,4	0,039	0,126	0,006	n.d.	n.d.	n.d.	déTECTÉ	n.d.	n.d.
C1-8	50,5	51,1	873,1	42,3	35,3	0,032	0,158	0,008	n.d.	n.d.	déTECTÉ	déTECTÉ	n.d.	n.d.
C1-9	27,2	24,6	897,7	43,5	31,0	0,043	0,201	0,010	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
C1-10	16,2	22,5	920,1	44,6	24,7	0,024	0,224	0,011	n.d.	n.d.	déTECTÉ	n.d.	n.d.	n.d.
C1-11	10,6	10,1	930,2	45,1	26,5	0,035	0,259	0,012	n.d.	n.d.	déTECTÉ	déTECTÉ	n.d.	n.d.
C1-12	—	—	930,2	45,1	10,3	0,002	0,261	0,012	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Tableau C.2. Données de la Colonne C-2D-330

Date d'échantillonnage et volume d'eau recueilli pour chaque échantillon

Nom de l'échantillon	Date	Nombre de jours		Bouteille pleine	Bouteille vide	Quantité d'eau	Volume d'eau cumulé		Éq. Hauteur d'eau
		cumulatifs		g	g	g	ml	ml	mm H ₂ O
Début de l'arrosage, 13 février									
C2-1	19-02-02 au 11-03-02	20	27	2266	1342	924	924	924	26,3
C2-2	11-03-02 au 18-03-02	7	34	1984	1335	649	649	1573	44,7
C2-3	18-03-02 au 27-03-02	9	43	1950	1342	608	608	2181	62,0
C2-4	27-03-02 au 10-04-02	14	57	2009	1332	677	677	2858	81,3
C2-5	10-04-02 au 01-05-02	21	78	1920	1343	577	577	3435	97,7
C2-6	01-05-02 au 27-05-02	26	104	2650	1338	1312	1312	4747	135,0
C2-7	27-05-02 au 30-05-02	3	107	2382	1343	1039	1039	5786	164,5
C2-8	30-05-02 au 03-06-02	4	111	2916	1338	1578	1578	7364	209,4
C2-9	03-06-02 au 06-06-02	2	113	2613	1345	1268	1268	8632	245,5
C2-10	06-06-02 au 10-06-02	4	117	3001	1338	1663	1663	10295	292,8
C2-11	10-06-02 au 13-06-02	3	120	2173	1344	829	829	11124	316,3
C2-12	13-06-02 au 17-06-02	4	124	2012	1336	676	676	11800	335,6
C2-13	17-06-02 au 25-06-02	8	132	2083	1343	740	740	12540	356,6
C2-14	25-06-02 au 01-08-02	37	169	2160	1336	824	824	13364	380,0

Valeur des paramètres de terrain pour chaque échantillon d'eau

Nom de l'échantillon	Paramètres de terrain					
	pH	Pot. oxydo-réd. mV	Temp. °C	Cond. mS/cm	O ₂ dissous %	Salinité ppt
C2-1	6,55	195,8	12,43	0,037	51,1	—
C2-2	—	—	—	—	—	—
C2-3	6,42	178,8	12,24	0,034	48,9	—
C2-4	6,34	180,7	12,78	0,024	47,5	—
C2-5	6,01	205,0	13,89	0,020	37,8	—
C2-6	5,06	234,5	9,41	0,024	42,2	0,01
C2-7	4,97	253,1	9,12	0,022	48,5	0,01
C2-8	4,71	272,2	8,09	0,109	38,5	0,05
C2-9	4,82	273,7	8,20	0,240	35,5	0,11
C2-10	4,74	261,1	8,54	0,291	42,3	0,14
C2-11	4,66	243,3	4,80	0,339	52,4	0,16
C2-12	5,04	240,1	8,62	0,330	50,3	0,16
C2-13	4,90	210,1	9,58	0,423	43,6	0,20
C2-14	—	—	—	—	—	—

Concentrations des composés détectés dans chaque échantillon d'eau

Nom de l'échantillon	Traceur				Matériaux énergétiques			Produits de transformation	
	Chlorures				HMX	RDX	TNT	Nitrates + Nitrites	Azote ammoniacale
	mg/L	Masse mg	cum.	% récup.	µg/L	µg/L	µg/L	mg NO ₃ /L	µg N/L
C2-1	n.d.	—	—	—	—	—	—	2,10	16,13
C2-2	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	n.d.	0,35	17,12
C2-3	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	n.d.	1,75	3,21
C2-4	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	n.d.	1,81	5,46
C2-5	2,7	1,6	1,6	0,1	n.d.	n.d.	n.d.	1,78	10,09
C2-6	n.d.	—	1,6	0,1	n.d.	n.d.	n.d.	2,03	n.d.
C2-7	3,4	3,5	5,1	0,2	n.d.	n.d.	n.d.	1,85	n.d.
C2-8	29,3	46,2	51,3	2,5	n.d.	n.d.	n.d.	2,35	n.d.
C2-9	74,3	94,2	145,5	7,1	n.d.	n.d.	n.d.	2,97	n.d.
C2-10	90,8	151,0	296,5	14,4	n.d.	n.d.	n.d.	0,59	n.d.
C2-11	100,7	83,5	380,0	18,4	n.d.	n.d.	n.d.	1,42	n.d.
C2-12	105,2	71,1	451,1	21,9	n.d.	n.d.	n.d.	1,05	n.d.
C2-13	138,0	102,1	553,3	26,8	n.d.	n.d.	n.d.	1,72	n.d.
C2-14	—	—	—	—	n.d.	n.d.	n.d.	2,14	n.d.

Tableau C.3. Données de la Colonne C-3D-90

Date d'échantillonnage et volume d'eau recueilli pour chaque échantillon

Nom de l'échantillon	Date	Nombre de jours		Bouteille pleine	Bouteille vide	Quantité d'eau	Volume d'eau cumulatif		Éq. Hauteur d'eau
			cumulatifs	g	g	g	ml	ml	mm H ₂ O
Début de l'arrosage, 13 février		5	5	—	—	—	—	—	—
C3-1	17-02-02 au 22-02-02	5	10	2041	1336	705	705	705	20,05
C3-2	22-02-02 au 26-02-02	4	14	1998	1318	680	680	1385	39,38
C3-3	26-02-02 au 04-03-02	6	20	2618	1341	1277	1277	2662	75,70
C3-4	04-03-02 au 07-03-02	3	23	2043	1332	711	711	3373	95,92
C3-5	07-03-02 au 18-03-02	11	34	1841	1338	503	503	3876	110,22
Temps de repos		59	93	—	—	—	—	—	—
Début de l'arrosage, 13 mai		3	96	—	—	—	—	—	—
C3-6	16-05-02 au 17-05-02	1	97	2039	1328	711	711	4587	130,44
C3-7	17-05-02 au 21-05-02	4	101	3062	1341	1721	1721	6308	179,38
C3-8	21-05-02 au 24-05-02	3	104	2311	1329	982	982	7290	207,30
C3-9	24-05-02 au 27-05-02	3	107	2324	1339	985	985	8275	235,31
C3-10	27-05-02 au 30-05-02	3	110	2278	1329	949	949	9224	262,30
C3-11	30-05-02 au 03-06-02	4	114	2688	1340	1348	1348	10572	300,63
C3-12	03-06-02 au 06-06-02	3	117	2372	1330	1042	1042	11614	330,26
C3-13	06-06-02 au 10-06-02	4	121	2751	1340	1411	1411	13025	370,39
C3-14	10-06-02 au 17-06-02	7	128	1864	1328	536	536	13561	385,63

Valeur des paramètres de terrain pour chaque échantillon d'eau

Nom de l'échantillon	Paramètres de terrain					
	pH	Pot. oxydo-réd.	Temp.	Cond.	O ₂ dissous	Salinité
		mV	°C	mS/cm	%	ppt
C3-1	6,54	159,2	12,68	0,057	48,4	—
C3-2	—	—	—	—	—	—
C3-3	6,11	168,9	10,20	0,483	51,4	—
C3-4	6,20	164,6	12,32	1,546	42,2	—
C3-5	—	—	—	—	—	—
C3-6	4,83	103,8	16,13	1,194	52,4	—
C3-7	5,15	106,0	8,82	0,878	46,7	—
C3-8	5,01	222,2	8,56	0,557	48,3	0,27
C3-9	4,85	239,7	9,31	0,346	42,9	0,17
C3-10	4,88	246,2	8,67	0,229	46,1	0,11
C3-11	4,95	248,4	7,90	0,165	40,7	0,08
C3-12	5,15	241,7	8,47	0,125	36,8	0,06
C3-13	5,23	221,2	8,59	0,100	42,5	0,05
C3-14	5,53	201,7	8,65	0,094	44,6	0,04

Concentrations des composés détectés dans chaque échantillon d'eau

Nom de l'échantillon	Traceur				Matériaux énergétiques			Produits de transformation	
	Chlorures				HMX	RDX	TNT	Nitrates + Nitrites	Azote amoniacale
	mg/L	Masse mg	cum.	% récup.	µg/L	µg/L	µg/L	mg NO ₃ /L	µg N/L
C3-1	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	n.d.	1,05	34,09
C3-2	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	n.d.	0,27	19,13
C3-3	146,4	187,0	187,0	9,1	n.d.	n.d.	n.d.	0,45	7,50
C3-4	488,0	347,0	533,9	25,9	n.d.	n.d.	n.d.	1,06	7,72
C3-5	572,0	287,7	821,6	39,8	n.d.	n.d.	n.d.	0,63	19,49
C3-6	356,0	253,1	1074,8	52,1	n.d.	n.d.	n.d.	1,77	41,65
C3-7	301,0	518,0	1592,8	77,2	n.d.	n.d.	n.d.	1,93	21,54
C3-8	188,8	185,4	1778,2	86,2	n.d.	n.d.	n.d.	0,98	7,57
C3-9	104,8	103,2	1881,4	91,2	n.d.	n.d.	n.d.	0,57	5,56
C3-10	70,6	67,0	1948,4	94,4	n.d.	n.d.	n.d.	0,35	n.d.
C3-11	44,5	60,0	2008,4	97,3	déecté	n.d.	n.d.	0,21	n.d.
C3-12	32,8	34,2	2042,6	99,0	déecté	n.d.	n.d.	0,08	n.d.
C3-13	25,7	36,3	2078,8	100,7	déecté	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
C3-14	22,4	12,0	2090,8	101,3	déecté	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Tableau C.4. Données de la Colonne C-4D-50

Date d'échantillonnage et volume d'eau recueilli pour chaque échantillon

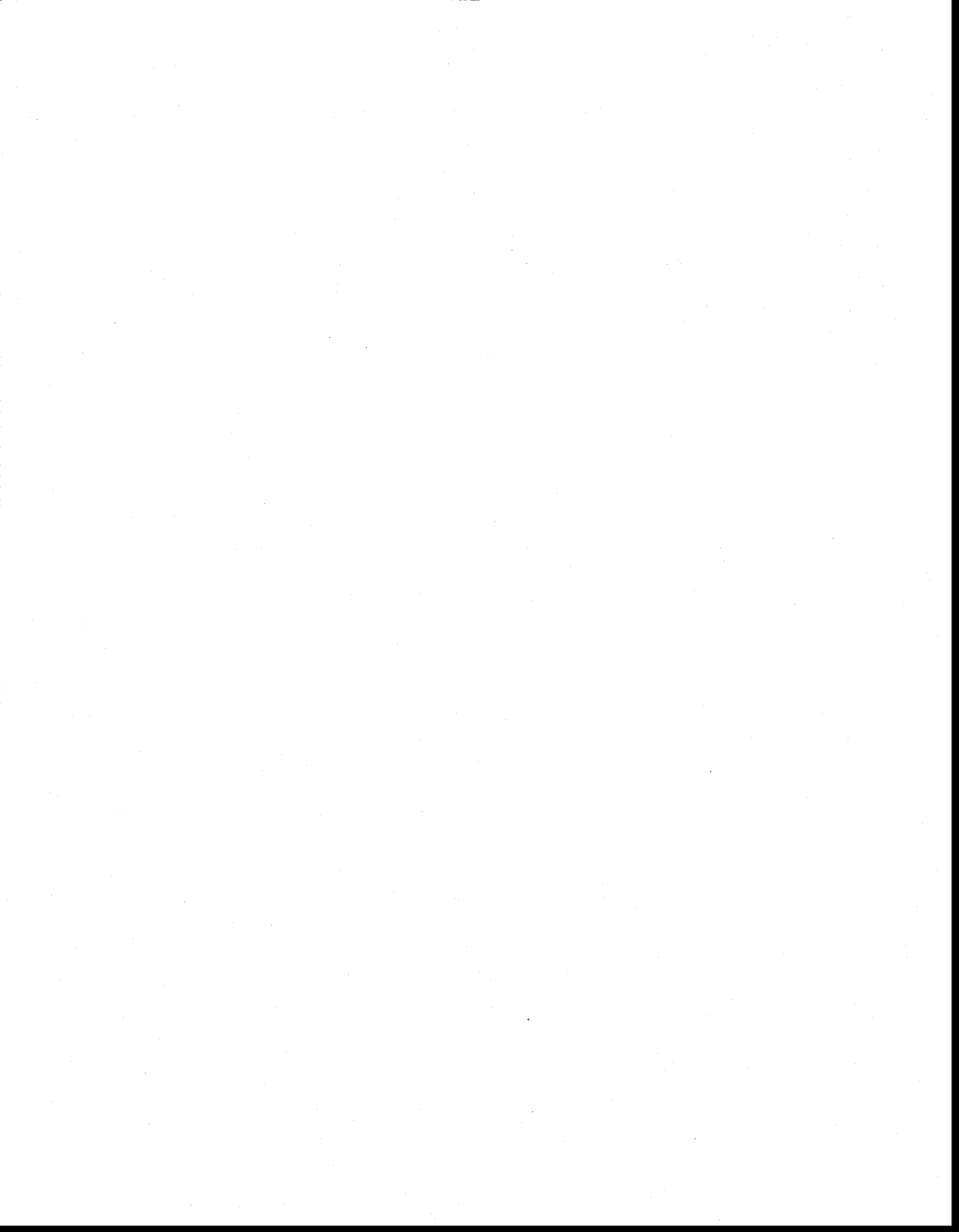
Nom de l'échantillon	Date	Nombre de jours		Bouteille pleine	Bouteille vide	Quantité d'eau	Volume d'eau cumulatif		Éq. Hauteur d'eau
			cumulatifs	g	g	g	ml	ml	mm H ₂ O
Début de l'arrosage, 13 février		2	2	—	—	—	—	—	—
C4-1	15-02-02 au 20-02-02	6	8	2092	1337	755	755	755	21,47
C4-2	20-02-02 au 26-02-02	6	14	2173	1331	842	842	1597	45,41
C4-3	26-06-02 au 04-03-02	6	20	2191	1338	853	853	2450	69,67
C4-4	04-03-02 au 11-03-02	7	27	2106	1330	776	776	3226	91,74
C4-5	11-03-02 au 18-03-02	7	34	1674	1337	337	337	3563	101,32
Temps de repos		55	89	—	—	—	—	—	—
Début de l'arrosage, 13 mai		2	91	—	—	—	—	—	—
C4-6	15-05-02 au 17-05-02	3	94	2537	1334	1203	1203	4766	135,53
C4-7	17-05-02 au 21-05-02	4	98	2596	1341	1255	1255	6021	171,22
C4-8	21-05-02 au 24-05-02	3	101	2143	1332	811	811	6832	194,28
C4-9	24-05-02 au 27-05-02	3	104	2421	1340	1081	1081	7913	225,02
C4-10	27-05-02 au 30-05-02	3	107	2278	1329	949	949	8862	252,01
C4-11	30-05-02 au 03-06-02	4	111	2647	1341	1306	1306	10168	289,14
C4-12	03-06-02 au 06-06-02	3	114	2340	1331	1009	1009	11177	317,84
C4-13	06-06-02 au 10-06-02	4	118	2721	1341	1380	1380	12557	357,08
C4-14	10-06-02 au 13-06-02	3	121	2259	1331	928	928	13485	383,47
C4-15	13-06-02 au 25-06-02	12	133	1424	1338	86	86	13571	385,91

Valeur des paramètres de terrain pour chaque échantillon d'eau

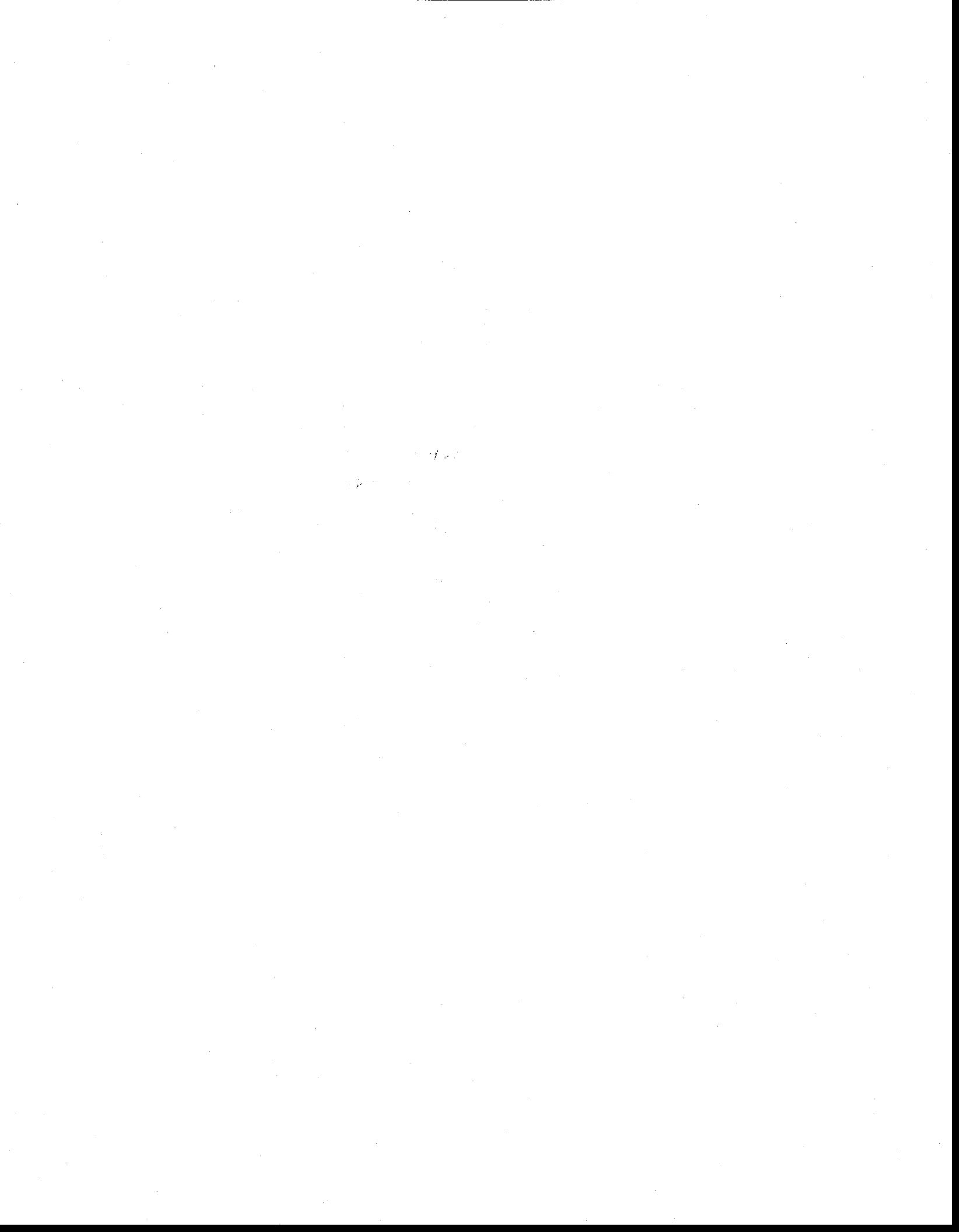
Nom de l'échantillon	Paramètres de terrain					
	pH	Pot. oxydo-réd. mV	Temp. °C	Cond. mS/cm	O ₂ dissous %	Salinité ppt
C4-1	6,56	195,8	12,80	0,283	53,1	—
C4-2	6,03	170,9	10,86	2,356	49,6	—
C4-3	5,99	158,2	9,84	1,533	47,5	—
C4-4	5,68	156,3	10,26	1,034	49,6	—
C4-5	—	—	—	—	—	—
C4-6	5,28	93,8	15,79	0,645	48,3	—
C4-7	5,49	99,4	9,18	0,374	51,1	—
C4-8	5,35	217,5	8,50	0,281	40,8	0,13
C4-9	5,33	221,6	9,03	0,214	43,7	0,10
C4-10	5,33	235,0	8,81	0,169	44,7	0,08
C4-11	5,33	245,0	7,56	0,136	34,5	0,06
C4-12	5,43	236,2	8,40	0,108	36,6	0,05
C4-13	5,47	226,3	8,35	0,090	40,1	0,04
C4-14	5,34	223,0	4,92	0,082	51,0	0,04
C4-15	—	—	—	—	—	—

Concentrations des composés détectés dans chaque échantillon d'eau

Nom de l'échantillon	Traceur				Matériaux énergétiques						Produits de transformation			
	Chlorures				HMX				RDX	TNT	2-ADNT	4-ADNT	Nitrates + Nitrites	Azote amoniacale
	mg/L	Masse mg	Masse cum.	% récup.	µg/L	Masse mg	Masse cum.	% récup.	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg NO ₃ /L	µg N/L
C4-1	80,9	61,1	61,1	3,0	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,44	3,15
C4-2	728,0	613,0	674,1	32,7	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,05	31,58
C4-3	474,0	404,3	1078,4	52,3	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,05	29,88
C4-4	327,5	254,1	1332,5	64,6	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,14	13,65
C4-5	244,0	82,2	1414,7	68,6	n.d.	—	—	—	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,21	25,36
C4-6	209,0	251,4	1666,2	80,7	7,9	0,010	0,010	0,000	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,45	18,01
C4-7	114,0	143,1	1809,2	87,7	17,0	0,021	0,031	0,001	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,24	n.d.
C4-8	74,8	60,7	1869,9	90,6	17,0	0,014	0,045	0,002	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,07	n.d.
C4-9	57,6	62,3	1932,2	93,6	16,1	0,017	0,062	0,003	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
C4-10	44,3	42,0	1974,2	95,7	15,7	0,015	0,077	0,004	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
C4-11	32,1	41,9	2016,1	97,7	15,1	0,020	0,097	0,005	n.d.	n.d.	n.d.	détecté	n.d.	n.d.
C4-12	24,1	24,3	2040,5	98,9	15,0	0,015	0,112	0,005	n.d.	n.d.	n.d.	détecté	n.d.	n.d.
C4-13	21,0	29,0	2069,4	100,3	7,8	0,011	0,122	0,006	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
C4-14	17,1	15,9	2085,3	101,0	13,4	0,012	0,135	0,006	n.d.	n.d.	détecté	détecté	n.d.	n.d.
C4-15	14,2	1,2	2086,5	101,1	—	—	—	—	—	—	—	—	n.d.	n.d.



Annexe E
Protocole des essais en microcosme



Protocole des essais en microcosmes

Une série de microcosme (microcosmes froids) permet de quantifier les processus de transformation du HMX, du RDX et du TNT. Une deuxième série de microcosmes (microcosmes radioactifs) permet de quantifier la minéralisation du HMX, du RDX et du TNT en éléments primaires (eau, CO₂).

Objectifs

Les objectifs des essais en microcosmes sont :

- Évaluer la transformation du HMX, du RDX et du TNT dans des conditions représentatives du site à l'étude (microcosmes froids);
- Évaluer la minéralisation du HMX, du RDX et du TNT dans des conditions représentatives du site à l'étude (microcosmes radioactifs).

Provenance des échantillons de sol

Les échantillons de sol ont été récupérés sur le site du champ de tirs Arnhem à la surface des casiers lysimétriques L2-50 et L3-100. Les échantillons de sol ont été prélevés à l'intérieur des 15 premiers centimètres de profondeur.

Les morceaux d'Octol présents à la surface de chaque casier ont été enlevés avant la récupération des échantillons de sol. Tout le sol compris à l'intérieur des 15 premiers centimètres de chaque casier lysimétrique (environ 75 litres) a été récupéré et déposé dans des contenants en polyéthylène d'une capacité de 20 litres préalablement rincés à l'éthanol. Ces contenants ont été transportés au laboratoire où le sol de chaque casier a été transvidé dans un baril en acier inoxydable préalablement rincé à l'éthanol. Les barils d'acier inoxydable ont été installés sur le mélangeur à barils où ils ont été en rotation pendant 30 minutes, de façon à uniformiser le sol. Après un premier brassage, un

échantillon de sol a été récupéré dans un contenant en verre autoclavé. Le même processus a été répété 4 fois. Chaque échantillon a été conservé à 4°C jusqu'à son utilisation.

Ces échantillons de sols ont été analysés pour la teneur en matériaux énergétiques et les concentrations détectées n'étaient pas assez significatives pour permettre l'utilisation des sols pour des microcosmes. De nouveaux échantillons de sols frais non contaminés ont été prélevés près des casiers lysimétriques L2-50 et L3-100. Ces échantillons ont été contaminés manuellement avec de la poudre d'Octol, à raison d'un gramme d'Octol pour 2 kilogrammes de sol humide. Les échantillons ont été mélangés dans le mélangeur à barils tel qu'indiqué précédemment.

Procédure expérimentale

Microcosmes froids

Des portions de 20g de sol ont été introduites dans des bouteilles à sérum de 120 millilitres. Une série de microcosmes en triplicatas a été préparée. Au total, neuf temps d'échantillonnages (t_0 à t_8) sont prévus en sacrifiant chacun des triplicatas. Une série de triplicatas de microcosmes stériles a aussi été préparée. Cette série contient des sols qui ont été autoclavés et contaminé manuellement avec quelques microlitres d'une solution acétone-Octol (300 mg Octol dans 1,5 ml d'acétone). Quatre temps d'échantillonnage sont prévus pour cette série et correspondent aux temps t_2 , t_5 , t_7 et t_8 . Les triplicatas ont été placés sous des conditions contrôlées à 10°C et une aiguille a été insérée sur le cap de chaque bouteille pour permettre de conserver des conditions aérobies. Les matériaux énergétiques de chaque triplicata d'échantillons de sol ont été extraits et analysés selon la méthode 8330 modifiée de l'EPA avec la modification suivante : chaque bouteille à sérum sacrifiée étant congelée à -20°C avant la lyophilisation de son contenu.

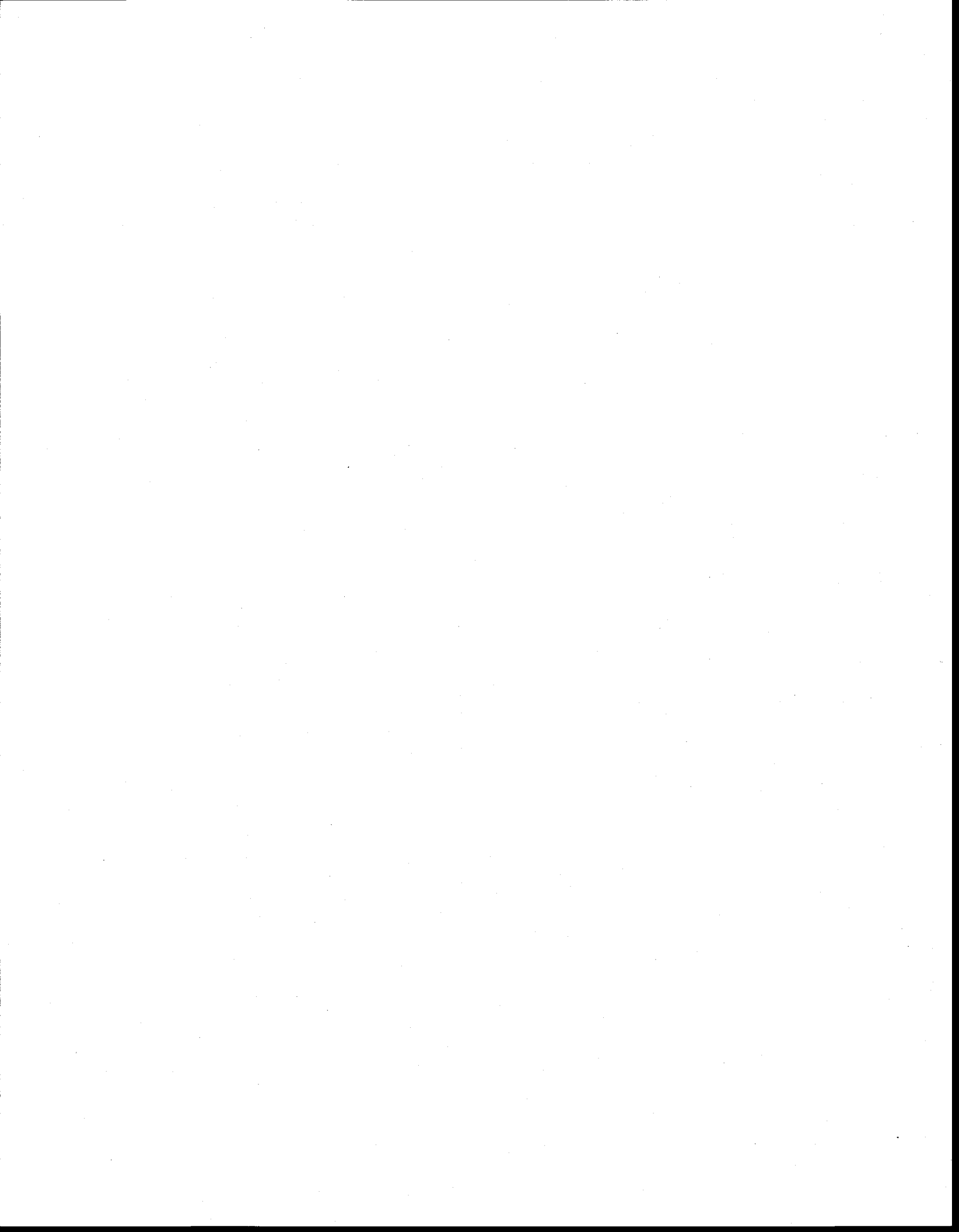
Microcosmes radioactifs

Des portions de 20g de sol ont été introduites dans des bouteilles à sérum de 120 millilitres. Une seule série de microcosmes en triplicatas a été préparée. Des composés radioactifs, du [^{14}C]TNT, du [^{14}C]HMX et du [^{14}C]RDX, ont été ajoutés au sol dans chaque bouteille. Une trappe à CO_2 contenant du KOH a aussi été installée à l'intérieur de chaque bouteille. Le KOH est échantillonné aux temps d'échantillonnage déterminés et permet de suivre l'évolution du CO_2 dans le temps. Au total, cinq temps d'échantillonnages (t_0 à t_4) ont été prévus. Une série de microcosmes radioactifs stériles a aussi été préparée en prenant un mélange des sols 1 et 2.



Annexe F

Dates d'échantillonnage et résultats détaillés des essais en microcosme



Microcosmes froids actifs

Tableau F.1. Dates d'échantillonnage des microcosmes actifs des sols 1 et 2

Temps	Date	Jours	
			Cumulés
0	18 juin 2002	0	0
1	19 juin 2002	1	1
2	21 juin 2002	2	2
3	26 juin 2002	5	7
4	3 juillet 2002	7	14
5	17 juillet 2002	14	28
6	31 juillet 2002	14	42
7	5 août 2002	5	47
8	28 août 2002	23	70
9	3 décembre 2002	97	167

Tableau F.2. Concentration des matériaux énergétiques (TNT et HMX) dans le sol 1

TNT Temps	Triplicata			Concentration moyenne	HMX Temps	Triplicata			Concentration moyenne
	Concentration (mg/kg)					Concentration (mg/kg)			
0	219,0	221,0	206,4	215,4	0	519,8	549,2	487,3	518,8
1	146,2	178,3	142,6	155,7	1	402,3	480,8	327,4	403,5
2	95,1	156,1	170,1	140,4	2	326,3	349,8	429,3	368,5
3	111,5	123,5	152,2	129,1	3	431,2	479,3	343,6	418,0
4	118,3	101,1	155,3	124,9	4	385,9	439,2	595,3	473,5
5	124,0	147,6	70,6	114,1	5	395,7	382,5	410,7	396,3
6	127,7	53,3	95,5	92,2	6	602,4	428,3	499,9	510,2
7	96,4	56,8	105,8	86,3	7	452,2	394,9	464,0	437,0
8	119,4	57,1	125,5	100,7	8	724,4	485,3	535,3	581,6
9	56,2	32,4	39,9	42,8	9	419,9	412,0	403,1	411,7

Tableau F.3. Concentrations des produits de transformation du TNT dans le sol 1

2-ADNT Temps	Triplicata			Concentration moyenne	4-ADNT Temps	Triplicata			Concentration moyenne
	Concentration (mg/kg)					Concentration (mg/kg)			
0	0,00	0,28	0,26	0,18	0	0,13	0,35	0,30	0,26
1	1,45	1,59	1,70	1,58	1	1,76	1,85	1,93	1,85
2	1,32	1,08	1,35	1,25	2	1,72	1,52	1,77	1,67
3	2,11	2,01	2,15	2,09	3	2,54	2,56	2,57	2,56
4	4,31	4,42	4,35	4,36	4	4,64	4,43	4,37	4,48
5	5,90	5,10	5,80	5,60	5	5,88	5,28	6,08	5,75
6	7,29	5,11	6,87	6,42	6	6,96	4,96	6,79	6,24
7	7,66	6,59	8,61	7,62	7	7,05	5,97	7,69	6,90
8	10,57	7,64	7,98	8,73	8	8,72	6,64	6,64	7,33
9	7,78	7,00	7,74	7,51	9	6,17	5,48	5,83	5,83

Tableau F.4. Concentration des matériaux énergétiques (TNT et HMX) dans le sol 2

TNT Temps	Triplicata			Concentration moyenne	HMX Temps	Triplicata			Concentration moyenne
	Concentration (mg/kg)					Concentration (mg/kg)			
0	192,1	178,8	206,2	192,4	0	569,1	532,0	598,4	566,5
1	128,8	141,9	117,1	129,3	1	395,3	388,7	276,8	353,6
2	444,7	135,0	118,0	126,5	2	629,3	358,8	267,3	313,1
3	69,8	149,0	64,2	94,3	3	178,6	427,2	194,9	266,9
4	86,6	100,4	146,6	111,2	4	229,8	286,2	409,7	308,6
5	89,2	132,1	89,0	103,4	5	192,5	425,2	219,1	279,0
6	104,9	106,5	114,6	108,7	6	307,8	256,1	319,9	294,6
7	81,0	100,2	103,9	95,0	7	339,1	432,4	277,9	349,8
8	157,8	90,5	184,8	144,4	8	419,0	292,0	447,8	386,3
9	94,2	166,6	127,4	129,4	9	312,6	416,6	366,8	365,3

Tableau F.5. Concentrations des produits de transformation du TNT dans le sol 2

2-ADNT Temps	Triplicata			Concentration moyenne	4-ADNT Temps	Triplicata			Concentration moyenne
	Concentration (mg/kg)					Concentration (mg/kg)			
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,15	0,17	0,11
1	0,30	0,26	0,16	0,24	1	0,23	0,13	0,10	0,15
2	0,37	0,18	0,20	0,19	2	0,20	0,22	0,23	0,23
3	0,31	0,32	0,14	0,25	3	0,28	0,35	0,18	0,27
4	0,58	0,44	0,51	0,51	4	0,36	0,34	0,44	0,38
5	0,47	0,57	0,36	0,46	5	0,40	0,60	0,40	0,46
6	0,51	0,50	0,53	0,51	6	0,45	0,54	0,55	0,51
7	0,59	0,50	0,61	0,56	7	0,57	0,57	0,68	0,61
8	0,67	0,69	1,03	0,80	8	0,82	0,88	1,28	0,99
9	0,90	0,95	1,17	1,01	9	1,07	1,24	1,46	1,26

Microcosmes froids stériles

Tableau F.6. Date d'échantillonnage des microcosmes stériles des sols 1 et 2

Temps	Date	Jours	
			Cumulés
1	27 juin 2002	8	8
2	31 juillet 2002	34	42
3	28 août 2002	28	70
4	3 décembre 2002	97	167

Tableau F.7. Concentration en matériaux énergétiques et produits de transformation dans le sol 1

TNT	Triplicata			Concentration moyenne	HMX	Triplicata			Concentration moyenne
	Temps	Concentration (mg/kg)				Temps	Concentration (mg/kg)		
1	186,9	177,2	205,4	189,8	1	366,0	379,7	452,6	399,5
2	182,6	202,8	193,1	192,8	2	529,3	470,1	463,2	487,5
3	187,0	209,7	211,2	202,7	3	477,5	471,0	497,4	482,0
4	77,1	149,3	168,0	131,5	4	178,6	331,4	458,2	322,7

2-ADNT	Triplicata			Concentration moyenne	4-ADNT	Triplicata			Concentration moyenne
	Temps	Concentration (mg/kg)				Temps	Concentration (mg/kg)		
1	0,4	0,9	0,4	0,6	1	0,3	0,3	0,2	0,3
2	0,6	0,5	1,1	0,7	2	0,3	0,2	0,4	0,3
3	0,8	0,9	1,6	1,1	3	0,4	0,4	0,6	0,5
4	0,8	1,3	1,0	1,0	4	0,4	0,7	0,5	0,5

Tableau F.8. Concentration en matériaux énergétiques et produits de transformation dans le sol 2

TNT	Triplicata			Concentration moyenne	HMX	Triplicata			Concentration moyenne
	Temps	Concentration (mg/kg)				Temps	Concentration (mg/kg)		
1	182,9	168,4	<i>1887,2</i>	175,6	1	389,2	333,6	<i>4688,6</i>	361,4
2	166,1	175,1	162,6	167,9	2	349,1	336,9	286,7	324,2
3	144,3	163,0	157,6	155,0	3	295,8	367,6	301,7	321,7
4	126,1	159,9	158,6	148,2	4	242,5	384,9	362,5	329,9

2-ADNT	Triplicata			Concentration moyenne	4-ADNT	Triplicata			Concentration moyenne
	Temps	Concentration (mg/kg)				Temps	Concentration (mg/kg)		
1	0,0	0,2	4,6	0,1	1	0,0	0,1	3,0	0,1
2	0,0	0,0	0,1	0,0	2	0,0	0,1	0,2	0,1
3	0,0	0,2	0,0	0,1	3	0,1	0,3	0,2	0,2
4	0,0	0,2	0,2	0,1	4	0,1	0,3	0,4	0,3

En *italique*, valeur d'analyse non considérée dans le calcul de la moyenne des triplicatas

Microcosmes radioactifs

Tableau F.9. Date d'échantillonnage des microcosmes radioactifs des sols 1 et 2 et des sols stériles

Temps	Date	Jours	
			Cumulés
0	19 juin 2002	0	0
1	28 juin 2002	9	9
2	12 juillet 2002	14	23
3	16 août 2002	35	58
4	21 février 2003	189	247

Tableau F.10. Minéralisation des matériaux énergétiques (TNT, HMX et RDX) dans le sol 1

Temps	TNT			Moyenne	Minéralisation	
	Triplicata				%	cumulatif
	Lecture DPM					
0	100041,00	101543,00	—	100792,00	0,000	0,000
1	159,36	143,02	220,39	174,26	0,173	0,173
2	381,57	331,29	517,22	410,03	0,407	0,580
3	568,35	719,51	737,13	675,00	0,670	1,249
4	808,78	950,71	923,04	894,18	0,887	2,137

Temps	HMX			Moyenne	Minéralisation	
	Triplicata				%	cumulatif
	Lecture DPM					
0	98927,90	101585,00	—	100256,45	0,000	0,000
1	165,51	165,42	164,22	165,05	0,165	0,165
2	23,08	40,62	51,12	38,27	0,038	0,203
3	40,11	31,92	41,87	37,97	0,038	0,241
4	55,18	57,68	55,18	56,01	0,056	0,297

Temps	RDX			Moyenne	Minéralisation	
	Triplicata				%	cumulatif
	Lecture DPM					
0	142251,00	141065,00	—	141658,00	0,000	0,000
1	130,46	189,87	177,01	165,78	0,117	0,117
2	126,72	115,22	145,87	129,27	0,091	0,208
3	347,60	413,04	479,40	413,35	0,292	0,500
4	1262,86	1445,50	1639,62	1449,33	1,023	1,523

Tableau F.11. Minéralisation des matériaux énergétiques (TNT, HMX et RDX) dans le sol 2

TNT	Triplicata			Moyenne	Minéralisation	
	Lecture DPM				%	cumulatif
0	100041,00	101543,00	—	100792,00	0,000	0,000
1	9,25	11,46	7,92	9,54	0,009	0,009
2	14,31	7,95	14,15	12,14	0,012	0,022
3	40,90	124,31	76,11	80,44	0,080	0,101
4	121,60	5280,56	717,79	2039,98	2,024	2,125

HMX	Triplicata			Moyenne	Minéralisation	
	Lecture DPM				%	cumulatif
0	98927,90	101585,00	—	100256,45	0,000	0,000
1	154,53	144,94	128,52	142,66	0,142	0,142
2	25,74	17,20	17,14	20,03	0,020	0,162
3	5,88	8,33	5,07	6,43	0,006	0,169
4	33,45	34,30	32,87	33,54	0,033	0,202

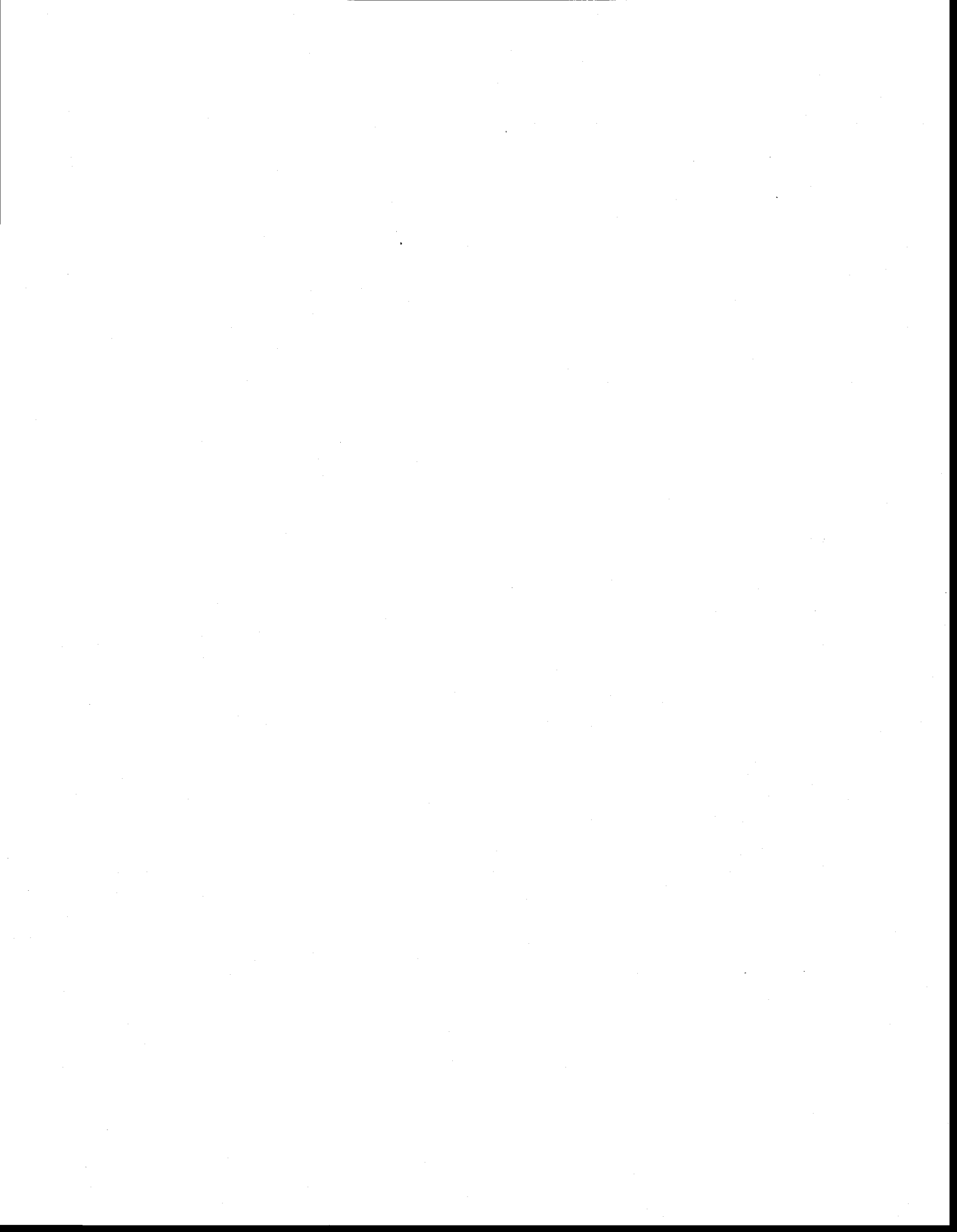
RDX	Triplicata			Moyenne	Minéralisation	
	Lecture DPM				%	cumulatif
0	142251,00	141065,00	—	141658,00	0,000	0,000
1	63,98	68,86	60,48	64,44	0,045	0,045
2	20,11	24,59	18,30	21,00	0,015	0,060
3	26,88	29,14	42,66	32,89	0,023	0,084
4	152,79	84,85	102,04	113,23	0,080	0,163

Tableau F.12. Minéralisation des matériaux énergétiques (TNT, HMX et RDX) dans les sols stériles

TNT	Triplicata			Moyenne	Minéralisation	
	Lecture DPM				%	cumulatif
0	100041,00	101543,00	—	100792,00	0,000	0,000
1	0,00	0,00	0,24	0,08	0,000	0,000
2	3,19	8,05	9,30	6,85	0,007	0,007
3	18,47	19,20	8,26	15,31	0,015	0,022
4	22,46	52,35	52,67	42,49	0,042	0,064

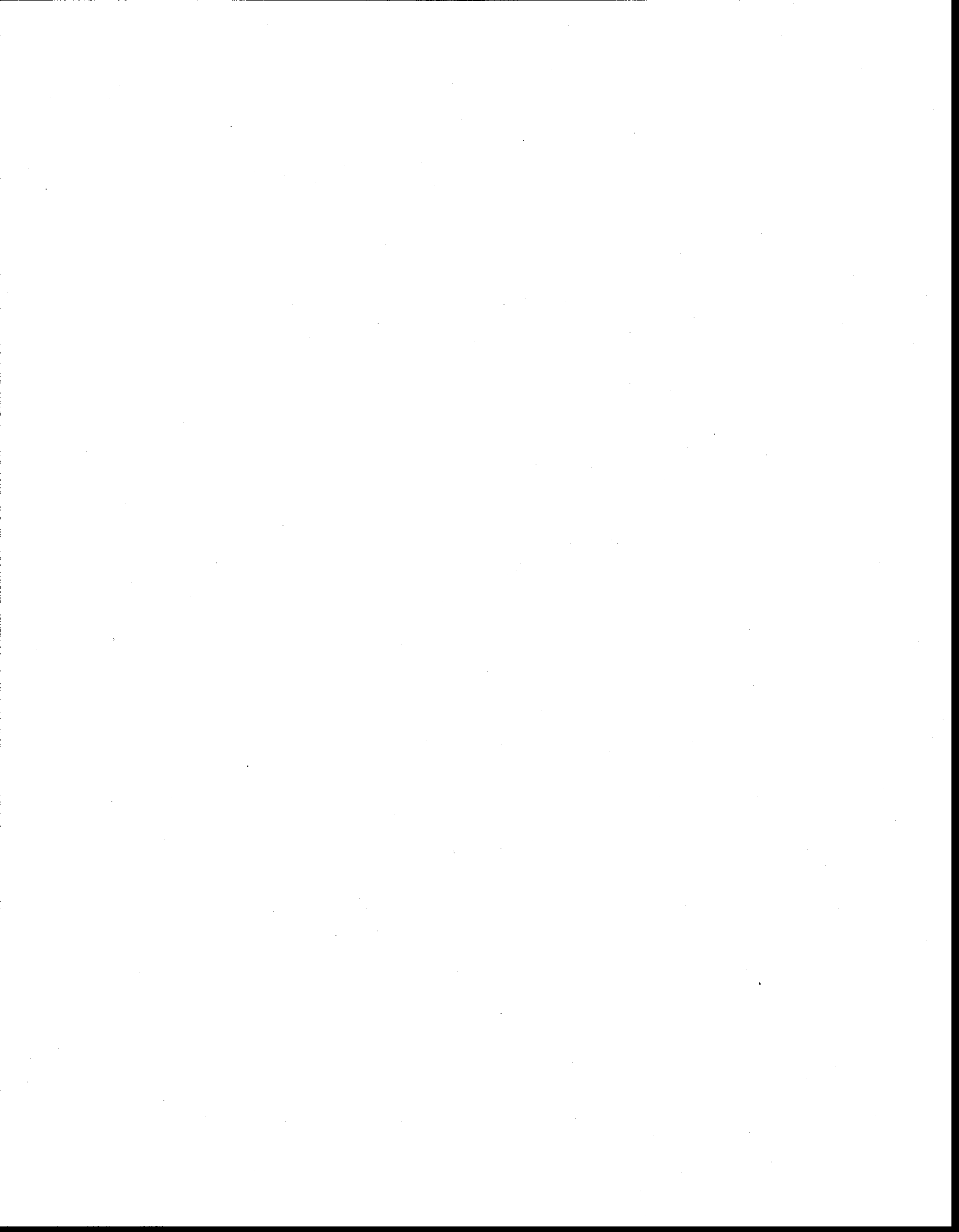
HMX	Triplicata			Moyenne	Minéralisation	
	Lecture DPM				%	cumulatif
0	98927,90	101585,00	—	100256,45	0,000	0,000
1	0,00	0,00	2,00	0,67	0,001	0,001
2	8,30	0,00	1,69	3,33	0,003	0,004
3	26,18	16,73	4,27	15,73	0,016	0,020
4	0,00	13,26	0,00	4,42	0,004	0,024

RDX	Triplicata			Moyenne	Minéralisation	
	Lecture DPM				%	cumulatif
0	142251,00	141065,00	—	141658,00	0,000	0,000
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000
3	0,00	12,64	9,13	7,26	0,005	0,005
4	27,68	44,18	83,14	51,67	0,036	0,042



Annexe G

Exemple d'un fichier produit par le modèle VS2D



Modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Time step	Total flow in			Total flow out			Total solute flux in			Total solute flux out		
	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step
day	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	mg	mg	mg	mg	mg	mg
5,80E+00	9,29E+02	2,67E+01	1,34E+02	-1,84E+02	-2,73E+01	-1,37E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
6,00E+00	9,56E+02	2,67E+01	1,34E+02	-2,11E+02	-2,77E+01	-1,38E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
6,20E+00	9,88E+02	3,24E+01	1,62E+02	-2,39E+02	-2,77E+01	-1,38E+02	3,24E-04	3,24E-04	1,62E-03	-8,78E-16	-8,78E-16	-4,39E-15
6,40E+00	1,02E+03	3,24E+01	1,62E+02	-2,67E+02	-2,79E+01	-1,39E+02	6,47E-04	3,24E-04	1,62E-03	-1,21E-14	-1,12E-14	-5,59E-14
6,60E+00	1,05E+03	3,24E+01	1,62E+02	-2,95E+02	-2,80E+01	-1,40E+02	9,71E-04	3,24E-04	1,62E-03	-8,21E-14	-7,00E-14	-3,50E-13
6,80E+00	1,09E+03	3,24E+01	1,62E+02	-3,23E+02	-2,82E+01	-1,41E+02	1,29E-03	3,24E-04	1,62E-03	-4,02E-13	-3,20E-13	-1,60E-12
7,00E+00	1,12E+03	3,24E+01	1,62E+02	-3,52E+02	-2,84E+01	-1,42E+02	1,62E-03	3,24E-04	1,62E-03	-1,69E-12	-1,29E-12	-6,44E-12
7,20E+00	1,15E+03	3,38E+01	1,69E+02	-3,80E+02	-2,84E+01	-1,42E+02	1,96E-03	3,38E-04	1,69E-03	-5,95E-12	-4,26E-12	-2,13E-11
7,40E+00	1,19E+03	3,38E+01	1,69E+02	-4,09E+02	-2,87E+01	-1,44E+02	2,29E-03	3,38E-04	1,69E-03	-1,86E-11	-1,27E-11	-6,34E-11
7,60E+00	1,22E+03	3,38E+01	1,69E+02	-4,38E+02	-2,92E+01	-1,46E+02	2,63E-03	3,38E-04	1,69E-03	-5,09E-11	-3,23E-11	-1,61E-10
7,80E+00	1,25E+03	3,38E+01	1,69E+02	-4,67E+02	-2,97E+01	-1,48E+02	2,97E-03	3,38E-04	1,69E-03	-1,27E-10	-7,65E-11	-3,83E-10
8,00E+00	1,29E+03	3,38E+01	1,69E+02	-4,98E+02	-3,02E+01	-1,51E+02	3,31E-03	3,38E-04	1,69E-03	-2,98E-10	-1,71E-10	-8,54E-10
8,20E+00	1,32E+03	3,24E+01	1,62E+02	-5,28E+02	-3,02E+01	-1,51E+02	3,63E-03	3,24E-04	1,62E-03	-6,64E-10	-3,66E-10	-1,83E-09
8,40E+00	1,35E+03	3,24E+01	1,62E+02	-5,59E+02	-3,07E+01	-1,54E+02	3,95E-03	3,24E-04	1,62E-03	-1,42E-09	-7,57E-10	-3,79E-09
8,60E+00	1,38E+03	3,24E+01	1,62E+02	-5,90E+02	-3,12E+01	-1,56E+02	4,28E-03	3,24E-04	1,62E-03	-2,83E-09	-1,41E-09	-7,06E-09
8,80E+00	1,42E+03	3,24E+01	1,62E+02	-6,21E+02	-3,16E+01	-1,58E+02	4,60E-03	3,24E-04	1,62E-03	-5,47E-09	-2,64E-09	-1,32E-08
9,00E+00	1,45E+03	3,24E+01	1,62E+02	-6,53E+02	-3,18E+01	-1,59E+02	4,92E-03	3,24E-04	1,62E-03	-1,02E-08	-4,70E-09	-2,35E-08
9,20E+00	1,48E+03	3,02E+01	1,51E+02	-6,88E+02	-3,19E+01	-1,59E+02	5,23E-03	3,02E-04	1,51E-03	-1,78E-08	-7,58E-09	-3,79E-08
9,40E+00	1,51E+03	3,02E+01	1,51E+02	-7,17E+02	-3,20E+01	-1,60E+02	5,53E-03	3,02E-04	1,51E-03	-2,97E-08	-1,19E-08	-5,95E-08
9,60E+00	1,54E+03	3,02E+01	1,51E+02	-7,49E+02	-3,21E+01	-1,61E+02	5,83E-03	3,02E-04	1,51E-03	-4,77E-08	-1,81E-08	-9,04E-08
9,80E+00	1,57E+03	3,02E+01	1,51E+02	-7,81E+02	-3,21E+01	-1,61E+02	6,13E-03	3,02E-04	1,51E-03	-7,43E-08	-2,66E-08	-1,33E-07
1,00E+01	1,60E+03	3,02E+01	1,51E+02	-8,13E+02	-3,20E+01	-1,60E+02	6,44E-03	3,02E-04	1,51E-03	-1,12E-07	-3,79E-08	-1,90E-07
1,02E+01	1,63E+03	3,24E+01	1,62E+02	-8,45E+02	-3,20E+01	-1,60E+02	6,76E-03	3,24E-04	1,62E-03	-1,65E-07	-5,30E-08	-2,65E-07
1,04E+01	1,66E+03	3,24E+01	1,62E+02	-8,77E+02	-3,19E+01	-1,59E+02	7,08E-03	3,24E-04	1,62E-03	-2,38E-07	-7,23E-08	-3,61E-07
1,06E+01	1,70E+03	3,24E+01	1,62E+02	-9,09E+02	-3,17E+01	-1,59E+02	7,41E-03	3,24E-04	1,62E-03	-3,37E-07	-9,94E-08	-4,97E-07
1,08E+01	1,73E+03	3,24E+01	1,62E+02	-9,41E+02	-3,16E+01	-1,58E+02	7,73E-03	3,24E-04	1,62E-03	-4,71E-07	-1,34E-07	-6,71E-07
1,10E+01	1,76E+03	3,24E+01	1,62E+02	-9,72E+02	-3,16E+01	-1,58E+02	8,05E-03	3,24E-04	1,62E-03	-6,45E-07	-1,74E-07	-8,69E-07
1,12E+01	1,78E+03	2,32E+01	1,16E+02	-1,00E+03	-3,16E+01	-1,58E+02	8,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	-8,67E-07	-2,22E-07	-1,11E-06

Modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Time step	Total flow in			Total flow out			Total solute flux in			Total solute flux out		
	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step
day	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	mg	mg	mg	mg	mg	mg
1,14E+01	1,81E+03	2,32E+01	1,16E+02	-1,04E+03	-3,15E+01	-1,57E+02	8,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	-1,15E-06	-2,87E-07	-1,43E-06
1,16E+01	1,83E+03	2,32E+01	1,16E+02	-1,07E+03	-3,13E+01	-1,56E+02	8,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	-1,52E-06	-3,63E-07	-1,81E-06
1,18E+01	1,85E+03	2,32E+01	1,16E+02	-1,10E+03	-3,09E+01	-1,54E+02	8,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	-1,96E-06	-4,41E-07	-2,20E-06
1,20E+01	1,88E+03	2,32E+01	1,16E+02	-1,13E+03	-3,04E+01	-1,52E+02	8,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	-2,49E-06	-5,36E-07	-2,68E-06
1,22E+01	1,90E+03	2,32E+01	1,16E+02	-1,16E+03	-2,97E+01	-1,49E+02	8,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	-3,12E-06	-6,28E-07	-3,14E-06
1,24E+01	1,92E+03	2,32E+01	1,16E+02	-1,19E+03	-2,90E+01	-1,45E+02	8,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	-3,86E-06	-7,38E-07	-3,69E-06
1,26E+01	1,95E+03	2,32E+01	1,16E+02	-1,22E+03	-2,83E+01	-1,42E+02	8,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	-4,71E-06	-8,55E-07	-4,28E-06
1,28E+01	1,97E+03	2,32E+01	1,16E+02	-1,24E+03	-2,76E+01	-1,38E+02	8,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	-5,69E-06	-9,80E-07	-4,90E-06
1,30E+01	1,99E+03	2,32E+01	1,16E+02	-1,27E+03	-2,70E+01	-1,35E+02	8,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	-6,81E-06	-1,11E-06	-5,57E-06
1,32E+01	2,02E+03	2,67E+01	1,34E+02	-1,30E+03	-2,70E+01	-1,35E+02	8,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	-8,10E-06	-1,29E-06	-6,44E-06
1,34E+01	2,05E+03	2,67E+01	1,34E+02	-1,32E+03	-2,64E+01	-1,32E+02	8,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	-9,52E-06	-1,43E-06	-7,14E-06
1,36E+01	2,07E+03	2,67E+01	1,34E+02	-1,35E+03	-2,60E+01	-1,30E+02	8,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	-1,11E-05	-1,60E-06	-8,00E-06
1,38E+01	2,10E+03	2,67E+01	1,34E+02	-1,37E+03	-2,57E+01	-1,28E+02	8,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	-1,29E-05	-1,79E-06	-8,94E-06
1,40E+01	2,13E+03	2,67E+01	1,34E+02	-1,40E+03	-2,54E+01	-1,27E+02	8,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	-1,49E-05	-2,00E-06	-9,99E-06
1,42E+01	2,15E+03	2,53E+01	1,27E+02	-1,43E+03	-2,54E+01	-1,27E+02	8,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	-1,72E-05	-2,24E-06	-1,12E-05
1,44E+01	2,18E+03	2,53E+01	1,27E+02	-1,45E+03	-2,53E+01	-1,27E+02	8,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	-1,97E-05	-2,50E-06	-1,25E-05
1,46E+01	2,20E+03	2,53E+01	1,27E+02	-1,48E+03	-2,53E+01	-1,27E+02	8,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	-2,24E-05	-2,75E-06	-1,38E-05
1,48E+01	2,23E+03	2,53E+01	1,27E+02	-1,50E+03	-2,53E+01	-1,27E+02	8,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	-2,55E-05	-3,06E-06	-1,53E-05
1,50E+01	2,25E+03	2,53E+01	1,27E+02	-1,53E+03	-2,54E+01	-1,27E+02	8,05E-03	0,00E+00	0,00E+00	-2,88E-05	-3,36E-06	-1,68E-05
1,52E+01	2,28E+03	2,88E+01	1,44E+02	-1,55E+03	-2,54E+01	-1,27E+02	8,34E-03	2,88E-04	1,44E-03	-3,25E-05	-3,68E-06	-1,84E-05
1,54E+01	2,31E+03	2,88E+01	1,44E+02	-1,58E+03	-2,54E+01	-1,27E+02	8,63E-03	2,88E-04	1,44E-03	-3,65E-05	-4,02E-06	-2,01E-05
1,56E+01	2,34E+03	2,88E+01	1,44E+02	-1,58E+03	-2,55E+01	-1,28E+02	8,92E-03	2,88E-04	1,44E-03	-4,10E-05	-4,44E-06	-2,22E-05
1,58E+01	2,37E+03	2,88E+01	1,44E+02	-1,63E+03	-2,57E+01	-1,28E+02	9,21E-03	2,88E-04	1,44E-03	-4,59E-05	-4,90E-06	-2,45E-05
1,60E+01	2,40E+03	2,88E+01	1,44E+02	-1,65E+03	-2,59E+01	-1,29E+02	9,50E-03	2,88E-04	1,44E-03	-5,13E-05	-5,41E-06	-2,70E-05
1,62E+01	2,42E+03	2,67E+01	1,34E+02	-1,68E+03	-2,59E+01	-1,29E+02	9,50E-03	0,00E+00	0,00E+00	-5,71E-05	-5,86E-06	-2,93E-05
1,64E+01	2,45E+03	2,67E+01	1,34E+02	-1,71E+03	-2,61E+01	-1,31E+02	9,50E-03	0,00E+00	0,00E+00	-6,35E-05	-6,39E-06	-3,20E-05
1,66E+01	2,48E+03	2,67E+01	1,34E+02	-1,75E+03	-2,63E+01	-1,32E+02	9,50E-03	0,00E+00	0,00E+00	-7,05E-05	-6,97E-06	-3,48E-05
1,68E+01	2,50E+03	2,67E+01	1,34E+02	-1,76E+03	-2,66E+01	-1,33E+02	9,50E-03	0,00E+00	0,00E+00	-7,81E-05	-7,57E-06	-3,79E-05

Modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Time step	Total flow in			Total flow out			Total solute flux in			Total solute flux out		
	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step
day	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	mg	mg	mg	mg	mg	mg
1,70E+01	2,53E+03	2,67E+01	1,34E+02	-1,79E+03	-2,67E+01	-1,34E+02	9,50E-03	0,00E+00	0,00E+00	-8,63E-05	-8,27E-06	-4,14E-05
1,72E+01	2,57E+03	3,59E+01	1,79E+02	-1,81E+03	-2,67E+01	-1,34E+02	9,85E-03	3,59E-04	1,79E-03	-9,52E-05	-8,89E-06	-4,45E-05
1,74E+01	2,60E+03	3,59E+01	1,79E+02	-1,84E+03	-2,70E+01	-1,35E+02	1,02E-02	3,59E-04	1,79E-03	-1,05E-04	-9,61E-06	-4,81E-05
1,76E+01	2,64E+03	3,59E+01	1,79E+02	-1,87E+03	-2,73E+01	-1,36E+02	1,06E-02	3,59E-04	1,79E-03	-1,15E-04	-1,04E-05	-5,21E-05
1,78E+01	2,68E+03	3,59E+01	1,79E+02	-1,90E+03	-2,77E+01	-1,39E+02	1,09E-02	3,59E-04	1,79E-03	-1,27E-04	-1,14E-05	-5,71E-05
1,80E+01	2,71E+03	3,59E+01	1,79E+02	-1,92E+03	-2,83E+01	-1,42E+02	1,13E-02	3,59E-04	1,79E-03	-1,39E-04	-1,26E-05	-6,28E-05
1,82E+01	2,74E+03	2,88E+01	1,44E+02	-1,95E+03	-2,83E+01	-1,42E+02	1,16E-02	2,88E-04	1,44E-03	-1,53E-04	-1,35E-05	-6,75E-05
1,84E+01	2,77E+03	2,88E+01	1,44E+02	-1,98E+03	-2,90E+01	-1,45E+02	1,19E-02	2,88E-04	1,44E-03	-1,68E-04	-1,48E-05	-7,42E-05
1,86E+01	2,80E+03	2,88E+01	1,44E+02	-2,01E+03	-2,96E+01	-1,48E+02	1,22E-02	2,88E-04	1,44E-03	-1,84E-04	-1,62E-05	-8,08E-05
1,88E+01	2,83E+03	2,88E+01	1,44E+02	-2,04E+03	-3,01E+01	-1,51E+02	1,24E-02	2,88E-04	1,44E-03	-2,01E-04	-1,76E-05	-8,80E-05
1,90E+01	2,86E+03	2,88E+01	1,44E+02	-2,07E+03	-3,04E+01	-1,52E+02	1,27E-02	2,88E-04	1,44E-03	-2,20E-04	-1,89E-05	-9,45E-05
1,92E+01	2,88E+03	2,32E+01	1,16E+02	-2,10E+03	-3,04E+01	-1,52E+02	1,27E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,40E-04	-2,01E-05	-1,01E-04
1,94E+01	2,90E+03	2,32E+01	1,16E+02	-2,13E+03	-3,05E+01	-1,53E+02	1,27E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,62E-04	-2,15E-05	-1,07E-04
1,96E+01	2,92E+03	2,32E+01	1,16E+02	-2,16E+03	-3,04E+01	-1,52E+02	1,27E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,84E-04	-2,26E-05	-1,13E-04
1,98E+01	2,95E+03	2,32E+01	1,16E+02	-2,19E+03	-3,00E+01	-1,50E+02	1,27E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,08E-04	-2,36E-05	-1,18E-04
2,00E+01	2,97E+03	2,32E+01	1,16E+02	-2,22E+03	-2,95E+01	-1,48E+02	1,27E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,32E-04	-2,43E-05	-1,22E-04
2,02E+01	3,00E+03	2,67E+01	1,34E+02	-2,25E+03	-2,95E+01	-1,48E+02	1,27E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,58E-04	-2,55E-05	-1,27E-04
2,04E+01	3,02E+03	2,67E+01	1,34E+02	-2,28E+03	-2,89E+01	-1,45E+02	1,27E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,84E-04	-2,62E-05	-1,31E-04
2,06E+01	3,05E+03	2,67E+01	1,34E+02	-2,31E+03	-2,84E+01	-1,42E+02	1,27E-02	0,00E+00	0,00E+00	-4,11E-04	-2,68E-05	-1,34E-04
2,08E+01	3,08E+03	2,67E+01	1,34E+02	-2,34E+03	-2,79E+01	-1,39E+02	1,27E-02	0,00E+00	0,00E+00	-4,38E-04	-2,75E-05	-1,37E-04
2,10E+01	3,10E+03	2,67E+01	1,34E+02	-2,36E+03	-2,74E+01	-1,37E+02	1,27E-02	0,00E+00	0,00E+00	-4,67E-04	-2,82E-05	-1,41E-04
2,12E+01	3,13E+03	2,11E+01	1,06E+02	-2,39E+03	-2,74E+01	-1,37E+02	1,27E-02	0,00E+00	0,00E+00	-4,96E-04	-2,92E-05	-1,46E-04
2,14E+01	3,15E+03	2,11E+01	1,06E+02	-2,42E+03	-2,70E+01	-1,35E+02	1,27E-02	0,00E+00	0,00E+00	-5,26E-04	-2,98E-05	-1,49E-04
2,16E+01	3,17E+03	2,11E+01	1,06E+02	-2,44E+03	-2,67E+01	-1,34E+02	1,27E-02	0,00E+00	0,00E+00	-5,56E-04	-3,04E-05	-1,52E-04
2,18E+01	3,19E+03	2,11E+01	1,06E+02	-2,47E+03	-2,63E+01	-1,32E+02	1,27E-02	0,00E+00	0,00E+00	-5,87E-04	-3,11E-05	-1,55E-04
2,20E+01	3,21E+03	2,11E+01	1,06E+02	-2,50E+03	-2,60E+01	-1,30E+02	1,27E-02	0,00E+00	0,00E+00	-6,19E-04	-3,17E-05	-1,58E-04
2,22E+01	3,24E+03	3,02E+01	1,51E+02	-2,52E+03	-2,60E+01	-1,30E+02	1,27E-02	0,00E+00	0,00E+00	-6,51E-04	-3,27E-05	-1,63E-04
2,24E+01	3,27E+03	3,02E+01	1,51E+02	-2,55E+03	-2,56E+01	-1,28E+02	1,35E-02	3,63E-04	1,82E-03	-6,85E-04	-3,32E-05	-1,66E-04

Modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Time step	Total flow in			Total flow out			Total solute flux in			Total solute flux out		
	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step
day	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	mg	mg	mg	mg	mg	mg
2,26E+01	3,30E+03	3,02E+01	1,51E+02	-2,57E+03	-2,53E+01	-1,27E+02	1,38E-02	3,63E-04	1,82E-03	-7,18E-04	-3,38E-05	-1,69E-04
2,28E+01	3,35E+03	3,02E+01	1,51E+02	-2,60E+03	-2,52E+01	-1,26E+02	1,42E-02	3,63E-04	1,82E-03	-7,53E-04	-3,46E-05	-1,73E-04
2,30E+01	3,36E+03	3,02E+01	1,51E+02	-2,62E+03	-2,52E+01	-1,26E+02	1,45E-02	3,63E-04	1,82E-03	-7,89E-04	-3,55E-05	-1,77E-04
2,32E+01	3,39E+03	2,53E+01	1,27E+02	-2,65E+03	-2,52E+01	-1,26E+02	1,45E-02	0,00E+00	0,00E+00	-8,25E-04	-3,64E-05	-1,82E-04
2,34E+01	3,41E+03	2,53E+01	1,27E+02	-2,67E+03	-2,53E+01	-1,27E+02	1,45E-02	0,00E+00	0,00E+00	-8,63E-04	-3,76E-05	-1,88E-04
2,36E+01	3,44E+03	2,53E+01	1,27E+02	-2,70E+03	-2,56E+01	-1,28E+02	1,45E-02	0,00E+00	0,00E+00	-9,01E-04	-3,88E-05	-1,94E-04
2,38E+01	3,46E+03	2,53E+01	1,27E+02	-2,73E+03	-2,58E+01	-1,29E+02	1,45E-02	0,00E+00	0,00E+00	-9,41E-04	-4,01E-05	-2,00E-04
2,40E+01	3,49E+03	2,53E+01	1,27E+02	-2,75E+03	-2,60E+01	-1,30E+02	1,45E-02	0,00E+00	0,00E+00	-9,83E-04	-4,13E-05	-2,07E-04
2,42E+01	3,52E+03	3,24E+01	1,62E+02	-2,78E+03	-2,60E+01	-1,30E+02	1,49E-02	3,24E-04	1,62E-03	-1,03E-03	-4,23E-05	-2,12E-04
2,44E+01	3,55E+03	3,24E+01	1,62E+02	-2,80E+03	-2,62E+01	-1,31E+02	1,52E-02	3,24E-04	1,62E-03	-1,07E-03	-4,37E-05	-2,18E-04
2,46E+01	3,59E+03	3,24E+01	1,62E+02	-2,83E+03	-2,64E+01	-1,32E+02	1,55E-02	3,24E-04	1,62E-03	-1,11E-03	-4,49E-05	-2,25E-04
2,48E+01	3,62E+03	3,24E+01	1,62E+02	-2,86E+03	-2,67E+01	-1,34E+02	1,58E-02	3,24E-04	1,62E-03	-1,16E-03	-4,64E-05	-2,32E-04
2,50E+01	3,65E+03	3,24E+01	1,62E+02	-2,88E+03	-2,71E+01	-1,35E+02	1,62E-02	3,24E-04	1,62E-03	-1,21E-03	-4,81E-05	-2,41E-04
2,52E+01	3,66E+03	1,41E+01	7,03E+01	-2,91E+03	-2,71E+01	-1,35E+02	1,62E-02	0,00E+00	0,00E+00	-1,26E-03	-4,91E-05	-2,46E-04
2,54E+01	3,68E+03	1,41E+01	7,03E+01	-2,94E+03	-2,74E+01	-1,37E+02	1,62E-02	0,00E+00	0,00E+00	-1,31E-03	-5,07E-05	-2,54E-04
2,56E+01	3,69E+03	1,41E+01	7,03E+01	-2,97E+03	-2,75E+01	-1,37E+02	1,62E-02	0,00E+00	0,00E+00	-1,36E-03	-5,20E-05	-2,60E-04
2,58E+01	3,71E+03	1,41E+01	7,03E+01	-2,99E+03	-2,73E+01	-1,36E+02	1,62E-02	0,00E+00	0,00E+00	-1,41E-03	-5,28E-05	-2,64E-04
2,60E+01	3,72E+03	1,41E+01	7,03E+01	-3,02E+03	-2,68E+01	-1,34E+02	1,62E-02	0,00E+00	0,00E+00	-1,47E-03	-5,28E-05	-2,64E-04
2,62E+01	3,73E+03	1,06E+01	5,28E+01	-3,05E+03	-2,68E+01	-1,34E+02	1,62E-02	0,00E+00	0,00E+00	-1,52E-03	-5,37E-05	-2,68E-04
2,64E+01	3,74E+03	1,06E+01	5,28E+01	-3,07E+03	-2,61E+01	-1,30E+02	1,62E-02	0,00E+00	0,00E+00	-1,57E-03	-5,31E-05	-2,66E-04
2,66E+01	3,75E+03	1,06E+01	5,28E+01	-3,10E+03	-2,51E+01	-1,28E+02	1,62E-02	0,00E+00	0,00E+00	-1,62E-03	-5,20E-05	-2,60E-04
2,68E+01	3,76E+03	1,06E+01	5,28E+01	-3,12E+03	-2,41E+01	-1,20E+02	1,62E-02	0,00E+00	0,00E+00	-1,68E-03	-5,07E-05	-2,53E-04
2,70E+01	3,77E+03	1,06E+01	5,28E+01	-3,15E+03	-2,30E+01	-1,15E+02	1,62E-02	0,00E+00	0,00E+00	-1,72E-03	-4,90E-05	-2,45E-04
2,72E+01	3,80E+03	2,88E+01	1,44E+02	-3,17E+03	-2,30E+01	-1,15E+02	1,66E-02	4,33E-04	2,16E-03	-1,77E-03	-4,97E-05	-2,49E-04
2,74E+01	3,83E+03	2,88E+01	1,44E+02	-3,19E+03	-2,19E+01	-1,10E+02	1,70E-02	4,33E-04	2,16E-03	-1,82E-03	-4,80E-05	-2,40E-04
2,76E+01	3,86E+03	2,88E+01	1,44E+02	-3,21E+03	-2,10E+01	-1,08E+02	1,75E-02	4,33E-04	2,16E-03	-1,87E-03	-4,66E-05	-2,33E-04
2,78E+01	3,89E+03	2,88E+01	1,44E+02	-3,23E+03	-2,03E+01	-1,02E+02	1,79E-02	4,33E-04	2,16E-03	-1,91E-03	-4,56E-05	-2,28E-04
2,80E+01	3,92E+03	2,88E+01	1,44E+02	-3,25E+03	-1,99E+01	-9,94E+01	1,83E-02	4,33E-04	2,16E-03	-1,96E-03	-4,51E-05	-2,26E-04

Modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Time step	Total flow in			Total flow out			Total solute flux in			Total solute flux out		
	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step
day	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	mg	mg	mg	mg	mg	mg
2,82E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,27E+03	-1,99E+01	-9,92E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,01E-03	-4,56E-05	-2,28E-04
2,84E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E+03	-1,96E+01	-9,80E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,05E-03	-4,55E-05	-2,27E-04
2,86E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,31E+03	-1,94E+01	-9,71E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,10E-03	-4,55E-05	-2,28E-04
2,88E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,33E+03	-1,92E+01	-9,61E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,14E-03	-4,55E-05	-2,28E-04
2,90E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,35E+03	-1,89E+01	-9,44E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,19E-03	-4,52E-05	-2,26E-04
2,92E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,37E+03	-1,84E+01	-9,19E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,23E-03	-4,44E-05	-2,22E-04
2,94E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,38E+03	-1,77E+01	-8,87E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,27E-03	-4,32E-05	-2,16E-04
2,96E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,40E+03	-1,70E+01	-8,49E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,32E-03	-4,17E-05	-2,09E-04
2,98E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,42E+03	-1,61E+01	-8,06E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,36E-03	-3,99E-05	-2,00E-04
3,00E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,43E+03	-1,53E+01	-7,63E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,39E-03	-3,80E-05	-1,90E-04
3,02E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,45E+03	-1,44E+01	-7,19E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,43E-03	-3,61E-05	-1,80E-04
3,04E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,46E+03	-1,35E+01	-6,76E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,46E-03	-3,41E-05	-1,71E-04
3,06E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,47E+03	-1,27E+01	-6,35E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,50E-03	-3,22E-05	-1,61E-04
3,08E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,49E+03	-1,19E+01	-5,96E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,53E-03	-3,04E-05	-1,52E-04
3,10E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,50E+03	-1,12E+01	-5,60E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,56E-03	-2,87E-05	-1,44E-04
3,12E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,51E+03	-1,05E+01	-5,26E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,58E-03	-2,71E-05	-1,36E-04
3,14E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,52E+03	-9,89E+00	-4,94E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,61E-03	-2,56E-05	-1,28E-04
3,16E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,53E+03	-9,31E+00	-4,65E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,63E-03	-2,42E-05	-1,21E-04
3,18E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,54E+03	-8,77E+00	-4,39E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,66E-03	-2,29E-05	-1,14E-04
3,20E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,54E+03	-8,28E+00	-4,14E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,68E-03	-2,17E-05	-1,08E-04
3,22E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,55E+03	-7,82E+00	-3,91E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,70E-03	-2,05E-05	-1,03E-04
3,24E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,56E+03	-7,40E+00	-3,70E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,72E-03	-1,95E-05	-9,75E-05
3,26E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,57E+03	-7,01E+00	-3,51E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,74E-03	-1,85E-05	-9,26E-05
3,28E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,57E+03	-6,65E+00	-3,33E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,75E-03	-1,76E-05	-8,81E-05
3,30E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,58E+03	-6,32E+00	-3,16E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,77E-03	-1,68E-05	-8,39E-05
3,32E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,58E+03	-6,00E+00	-3,00E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,79E-03	-1,60E-05	-7,99E-05
3,34E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,59E+03	-5,72E+00	-2,86E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,80E-03	-1,53E-05	-7,63E-05
3,36E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,60E+03	-5,45E+00	-2,72E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,82E-03	-1,46E-05	-7,28E-05

Modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Time step	Total flow in			Total flow out			Total solute flux in			Total solute flux out		
	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step
day	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	mg	mg	mg	mg	mg	mg
3,38E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,60E+03	-5,20E+00	-2,60E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,83E-03	-1,39E-05	-6,96E-05
3,40E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,61E+03	-4,96E+00	-2,48E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,84E-03	-1,33E-05	-6,66E-05
3,42E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,61E+03	-4,74E+00	-2,37E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,86E-03	-1,28E-05	-6,38E-05
3,44E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,62E+03	-4,54E+00	-2,27E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,87E-03	-1,22E-05	-6,12E-05
3,46E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,62E+03	-4,35E+00	-2,17E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,88E-03	-1,17E-05	-5,87E-05
3,48E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,62E+03	-4,17E+00	-2,08E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,89E-03	-1,13E-05	-5,63E-05
3,50E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,63E+03	-4,00E+00	-2,00E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,90E-03	-1,08E-05	-5,41E-05
3,52E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,63E+03	-3,84E+00	-1,92E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,91E-03	-1,04E-05	-5,20E-05
3,54E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,64E+03	-3,69E+00	-1,84E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,92E-03	-1,00E-05	-5,01E-05
3,56E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,64E+03	-3,54E+00	-1,77E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,93E-03	-9,64E-06	-4,82E-05
3,58E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,64E+03	-3,41E+00	-1,71E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,94E-03	-9,29E-06	-4,64E-05
3,60E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,65E+03	-3,28E+00	-1,64E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,95E-03	-8,95E-06	-4,48E-05
3,62E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,65E+03	-3,16E+00	-1,58E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,96E-03	-8,64E-06	-4,32E-05
3,64E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,65E+03	-3,05E+00	-1,53E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,97E-03	-8,34E-06	-4,17E-05
3,66E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,65E+03	-2,94E+00	-1,47E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,98E-03	-8,05E-06	-4,03E-05
3,68E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,66E+03	-2,84E+00	-1,42E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,98E-03	-7,78E-06	-3,89E-05
3,70E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,66E+03	-2,74E+00	-1,37E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-2,99E-03	-7,52E-06	-3,76E-05
3,72E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,66E+03	-2,66E+00	-1,32E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,00E-03	-7,27E-06	-3,64E-05
3,74E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,67E+03	-2,56E+00	-1,28E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,01E-03	-7,04E-06	-3,52E-05
3,76E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,67E+03	-2,48E+00	-1,24E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,01E-03	-6,81E-06	-3,41E-05
3,78E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,67E+03	-2,40E+00	-1,20E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,02E-03	-6,60E-06	-3,30E-05
3,80E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,67E+03	-2,32E+00	-1,16E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,02E-03	-6,39E-06	-3,20E-05
3,82E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,67E+03	-2,25E+00	-1,12E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,03E-03	-6,20E-06	-3,10E-05
3,84E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,68E+03	-2,18E+00	-1,09E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,04E-03	-6,01E-06	-3,00E-05
3,86E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,68E+03	-2,11E+00	-1,06E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,04E-03	-5,83E-06	-2,91E-05
3,88E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,68E+03	-2,05E+00	-1,02E+01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,05E-03	-5,66E-06	-2,83E-05
3,90E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,68E+03	-1,99E+00	-9,93E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,05E-03	-5,49E-06	-2,75E-05
3,92E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,69E+03	-1,93E+00	-9,63E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,06E-03	-5,33E-06	-2,67E-05

Modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Time step	Total flow in			Total flow out			Total solute flux in			Total solute flux out		
	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step
day	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	mg	mg	mg	mg	mg	mg
3,94E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,69E+03	-1,87E+00	-9,35E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,06E-03	-5,18E-06	-2,59E-05
3,96E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,69E+03	-1,82E+00	-9,08E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,07E-03	-5,03E-06	-2,52E-05
3,98E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,69E+03	-1,76E+00	-8,82E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,07E-03	-4,89E-06	-2,45E-05
4,00E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,69E+03	-1,71E+00	-8,57E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,08E-03	-4,76E-06	-2,38E-05
4,02E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,69E+03	-1,67E+00	-8,33E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,08E-03	-4,63E-06	-2,31E-05
4,04E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,70E+03	-1,62E+00	-8,10E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,09E-03	-4,50E-06	-2,25E-05
4,06E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,70E+03	-1,58E+00	-7,88E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,09E-03	-4,38E-06	-2,19E-05
4,08E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,70E+03	-1,53E+00	-7,67E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,10E-03	-4,27E-06	-2,13E-05
4,10E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,70E+03	-1,49E+00	-7,46E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,10E-03	-4,15E-06	-2,08E-05
4,12E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,70E+03	-1,45E+00	-7,26E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,11E-03	-4,05E-06	-2,02E-05
4,14E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,70E+03	-1,41E+00	-7,07E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,11E-03	-3,94E-06	-1,97E-05
4,16E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,70E+03	-1,38E+00	-6,89E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,11E-03	-3,84E-06	-1,92E-05
4,18E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,71E+03	-1,34E+00	-6,71E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,12E-03	-3,74E-06	-1,87E-05
4,20E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,71E+03	-1,31E+00	-6,54E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,12E-03	-3,65E-06	-1,83E-05
4,22E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,71E+03	-1,28E+00	-6,37E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,12E-03	-3,56E-06	-1,78E-05
4,24E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,71E+03	-1,24E+00	-6,21E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,13E-03	-3,47E-06	-1,74E-05
4,26E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,71E+03	-1,21E+00	-6,06E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,13E-03	-3,39E-06	-1,69E-05
4,28E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,71E+03	-1,18E+00	-5,91E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,13E-03	-3,30E-06	-1,65E-05
4,30E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,71E+03	-1,15E+00	-5,77E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,14E-03	-3,22E-06	-1,61E-05
4,32E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,71E+03	-1,13E+00	-5,63E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,14E-03	-3,15E-06	-1,57E-05
4,34E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,72E+03	-1,10E+00	-5,49E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,14E-03	-3,07E-06	-1,54E-05
4,36E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,72E+03	-1,07E+00	-5,36E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,15E-03	-3,00E-06	-1,50E-05
4,38E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,72E+03	-1,05E+00	-5,23E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,15E-03	-2,93E-06	-1,47E-05
4,40E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,72E+03	-1,02E+00	-5,11E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,15E-03	-2,86E-06	-1,43E-05
4,42E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,72E+03	-9,98E-01	-4,99E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,16E-03	-2,80E-06	-1,40E-05
4,44E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,72E+03	-9,74E-01	-4,87E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,16E-03	-2,73E-06	-1,37E-05
4,46E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,72E+03	-9,52E-01	-4,76E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,16E-03	-2,67E-06	-1,34E-05
4,48E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,72E+03	-9,30E-01	-4,65E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,16E-03	-2,61E-06	-1,31E-05

Modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Time step	Total flow in			Total flow out			Total solute flux in			Total solute flux out		
	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step
day	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	mg	mg	mg	mg	mg	mg
4,50E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,72E+03	-9,09E-01	-4,55E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,17E-03	-2,55E-06	-1,28E-05
4,52E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,72E+03	-8,88E-01	-4,44E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,17E-03	-2,49E-06	-1,25E-05
4,54E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,73E+03	-8,69E-01	-4,34E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,17E-03	-2,44E-06	-1,22E-05
4,56E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,73E+03	-8,49E-01	-4,25E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,17E-03	-2,39E-06	-1,19E-05
4,58E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,73E+03	-8,30E-01	-4,15E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,18E-03	-2,33E-06	-1,17E-05
4,60E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,73E+03	-8,12E-01	-4,06E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,18E-03	-2,28E-06	-1,14E-05
4,62E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,73E+03	-7,94E-01	-3,97E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,18E-03	-2,23E-06	-1,12E-05
4,64E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,73E+03	-7,77E-01	-3,88E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,18E-03	-2,18E-06	-1,09E-05
4,66E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,73E+03	-7,60E-01	-3,80E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,18E-03	-2,14E-06	-1,07E-05
4,68E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,73E+03	-7,44E-01	-3,72E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,19E-03	-2,09E-06	-1,05E-05
4,70E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,73E+03	-7,28E-01	-3,64E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,19E-03	-2,05E-06	-1,02E-05
4,72E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,73E+03	-7,12E-01	-3,56E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,19E-03	-2,01E-06	-1,00E-05
4,74E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,73E+03	-6,97E-01	-3,49E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,19E-03	-1,96E-06	-9,81E-06
4,76E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,73E+03	-6,83E-01	-3,41E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,19E-03	-1,92E-06	-9,61E-06
4,78E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,73E+03	-6,68E-01	-3,34E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,20E-03	-1,88E-06	-9,41E-06
4,80E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,73E+03	-6,54E-01	-3,27E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,20E-03	-1,84E-06	-9,22E-06
4,82E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,74E+03	-6,41E-01	-3,20E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,20E-03	-1,81E-06	-9,03E-06
4,84E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,74E+03	-6,28E-01	-3,14E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,20E-03	-1,77E-06	-8,84E-06
4,86E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,74E+03	-6,15E-01	-3,07E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,20E-03	-1,73E-06	-8,66E-06
4,88E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,74E+03	-6,02E-01	-3,01E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,20E-03	-1,70E-06	-8,49E-06
4,90E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,74E+03	-5,90E-01	-2,95E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,21E-03	-1,66E-06	-8,32E-06
4,92E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,74E+03	-5,78E-01	-2,89E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,21E-03	-1,63E-06	-8,15E-06
4,94E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,74E+03	-5,66E-01	-2,83E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,21E-03	-1,60E-06	-7,99E-06
4,96E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,74E+03	-5,55E-01	-2,77E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,21E-03	-1,57E-06	-7,83E-06
4,98E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,74E+03	-5,44E-01	-2,72E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,21E-03	-1,53E-06	-7,67E-06
5,00E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,74E+03	-5,33E-01	-2,66E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,21E-03	-1,50E-06	-7,52E-06
5,02E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,74E+03	-5,22E-01	-2,61E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,22E-03	-1,47E-06	-7,37E-06
5,04E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,74E+03	-5,12E-01	-2,56E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,22E-03	-1,45E-06	-7,23E-06

Modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Time step	Total flow in			Total flow out			Total solute flux in			Total solute flux out		
	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step
day	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	mg	mg	mg	mg	mg	mg
5,06E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,74E+03	-5,02E-01	-2,51E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,22E-03	-1,42E-06	-7,09E-06
5,08E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,74E+03	-4,92E-01	-2,46E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,22E-03	-1,39E-06	-6,95E-06
5,10E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,74E+03	-4,83E-01	-2,41E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,22E-03	-1,36E-06	-6,82E-06
5,12E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,74E+03	-4,73E-01	-2,37E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,22E-03	-1,34E-06	-6,68E-06
5,14E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,74E+03	-4,64E-01	-2,32E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,22E-03	-1,31E-06	-6,56E-06
5,16E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,74E+03	-4,55E-01	-2,28E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,23E-03	-1,29E-06	-6,43E-06
5,18E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-4,46E-01	-2,23E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,23E-03	-1,26E-06	-6,31E-06
5,20E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-4,38E-01	-2,19E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,23E-03	-1,24E-06	-6,19E-06
5,22E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-4,29E-01	-2,15E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,23E-03	-1,21E-06	-6,07E-06
5,24E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-4,21E-01	-2,11E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,23E-03	-1,19E-06	-5,96E-06
5,26E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-4,13E-01	-2,07E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,23E-03	-1,17E-06	-5,85E-06
5,28E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-4,06E-01	-2,03E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,23E-03	-1,15E-06	-5,74E-06
5,30E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-3,98E-01	-1,99E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,23E-03	-1,13E-06	-5,63E-06
5,32E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-3,90E-01	-1,95E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,23E-03	-1,11E-06	-5,52E-06
5,34E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-3,83E-01	-1,92E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,24E-03	-1,08E-06	-5,42E-06
5,36E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-3,76E-01	-1,88E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,24E-03	-1,06E-06	-5,32E-06
5,38E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-3,69E-01	-1,85E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,24E-03	-1,04E-06	-5,22E-06
5,40E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-3,62E-01	-1,81E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,24E-03	-1,03E-06	-5,13E-06
5,42E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-3,56E-01	-1,78E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,24E-03	-1,01E-06	-5,03E-06
5,44E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-3,49E-01	-1,75E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,24E-03	-9,88E-07	-4,94E-06
5,46E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-3,43E-01	-1,71E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,24E-03	-9,70E-07	-4,85E-06
5,48E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-3,36E-01	-1,68E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,24E-03	-9,52E-07	-4,76E-06
5,50E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-3,30E-01	-1,65E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,24E-03	-9,35E-07	-4,68E-06
5,52E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-3,24E-01	-1,62E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,24E-03	-9,18E-07	-4,59E-06
5,54E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-3,18E-01	-1,59E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,25E-03	-9,02E-07	-4,51E-06
5,56E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-3,13E-01	-1,56E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,25E-03	-8,86E-07	-4,43E-06
5,58E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-3,07E-01	-1,54E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,25E-03	-8,70E-07	-4,35E-06
5,60E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-3,01E-01	-1,51E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,25E-03	-8,54E-07	-4,27E-06

Modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Time step day	Total flow in			Total flow out			Total solute flux in			Total solute flux out		
	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step
	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	mg	mg	mg	mg	mg	mg
5,62E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-2,96E-01	-1,48E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,25E-03	-8,39E-07	-4,20E-06
5,64E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-2,91E-01	-1,45E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,25E-03	-8,24E-07	-4,12E-06
5,66E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-2,86E-01	-1,43E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,25E-03	-8,10E-07	-4,05E-06
5,68E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-2,81E-01	-1,40E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,25E-03	-7,95E-07	-3,98E-06
5,70E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-2,76E-01	-1,38E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,25E-03	-7,81E-07	-3,91E-06
5,72E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-2,71E-01	-1,35E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,25E-03	-7,67E-07	-3,84E-06
5,74E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-2,66E-01	-1,33E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,25E-03	-7,54E-07	-3,77E-06
5,76E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,75E+03	-2,61E-01	-1,31E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,25E-03	-7,41E-07	-3,70E-06
5,78E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-2,57E-01	-1,28E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,26E-03	-7,28E-07	-3,64E-06
5,80E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-2,52E-01	-1,26E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,26E-03	-7,15E-07	-3,58E-06
5,82E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-2,48E-01	-1,24E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,26E-03	-7,03E-07	-3,51E-06
5,84E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-2,43E-01	-1,22E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,26E-03	-6,90E-07	-3,45E-06
5,86E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-2,39E-01	-1,20E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,26E-03	-6,78E-07	-3,39E-06
5,88E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-2,35E-01	-1,18E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,26E-03	-6,67E-07	-3,33E-06
5,90E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-2,31E-01	-1,16E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,26E-03	-6,55E-07	-3,28E-06
5,92E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-2,27E-01	-1,14E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,26E-03	-6,44E-07	-3,22E-06
5,94E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-2,23E-01	-1,12E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,26E-03	-6,33E-07	-3,17E-06
5,96E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-2,19E-01	-1,10E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,26E-03	-6,22E-07	-3,11E-06
5,98E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-2,16E-01	-1,08E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,26E-03	-6,12E-07	-3,06E-06
6,00E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-2,12E-01	-1,06E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,26E-03	-6,01E-07	-3,01E-06
6,02E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-2,08E-01	-1,04E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,26E-03	-5,91E-07	-2,96E-06
6,04E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-2,05E-01	-1,02E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,26E-03	-5,81E-07	-2,91E-06
6,06E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-2,01E-01	-1,01E+00	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,26E-03	-5,71E-07	-2,86E-06
6,08E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,98E-01	-9,89E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,26E-03	-5,62E-07	-2,81E-06
6,10E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,94E-01	-9,72E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,27E-03	-5,52E-07	-2,76E-06
6,12E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,91E-01	-9,56E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,27E-03	-5,43E-07	-2,72E-06
6,14E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,88E-01	-9,40E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,27E-03	-5,34E-07	-2,67E-06
6,16E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,85E-01	-9,24E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,27E-03	-5,25E-07	-2,62E-06

Modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Time step	Total flow in			Total flow out			Total solute flux in			Total solute flux out		
	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step
day	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	mg	mg	mg	mg	mg	mg
6,18E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,82E-01	-9,08E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,27E-03	-5,16E-07	-2,58E-06
6,20E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,79E-01	-8,93E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,27E-03	-5,08E-07	-2,54E-06
6,22E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,76E-01	-8,78E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,27E-03	-4,99E-07	-2,50E-06
6,24E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,73E-01	-8,64E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,27E-03	-4,91E-07	-2,45E-06
6,26E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,70E-01	-8,49E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,27E-03	-4,83E-07	-2,41E-06
6,28E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,67E-01	-8,35E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,27E-03	-4,75E-07	-2,37E-06
6,30E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,64E-01	-8,21E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,27E-03	-4,67E-07	-2,33E-06
6,32E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,62E-01	-8,07E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,27E-03	-4,59E-07	-2,30E-06
6,34E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,59E-01	-7,94E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,27E-03	-4,51E-07	-2,26E-06
6,36E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,56E-01	-7,81E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,27E-03	-4,44E-07	-2,22E-06
6,38E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,54E-01	-7,68E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,27E-03	-4,37E-07	-2,18E-06
6,40E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,51E-01	-7,55E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,27E-03	-4,29E-07	-2,15E-06
6,42E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,49E-01	-7,43E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,27E-03	-4,22E-07	-2,11E-06
6,44E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,46E-01	-7,31E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,27E-03	-4,15E-07	-2,08E-06
6,46E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,44E-01	-7,19E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,27E-03	-4,09E-07	-2,04E-06
6,48E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,41E-01	-7,07E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,27E-03	-4,02E-07	-2,01E-06
6,50E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,39E-01	-6,95E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,27E-03	-3,95E-07	-1,98E-06
6,52E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,37E-01	-6,84E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-3,89E-07	-1,94E-06
6,54E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,35E-01	-6,73E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-3,83E-07	-1,91E-06
6,56E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,32E-01	-6,62E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-3,76E-07	-1,88E-06
6,58E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,30E-01	-6,51E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-3,70E-07	-1,85E-06
6,60E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,28E-01	-6,40E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-3,64E-07	-1,82E-06
6,62E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,26E-01	-6,30E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-3,58E-07	-1,79E-06
6,64E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,24E-01	-6,19E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-3,52E-07	-1,76E-06
6,66E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,22E-01	-6,09E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-3,47E-07	-1,73E-06
6,68E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,20E-01	-5,99E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-3,41E-07	-1,71E-06
6,70E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,18E-01	-5,90E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-3,36E-07	-1,68E-06
6,72E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,16E-01	-5,80E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-3,30E-07	-1,65E-06

Modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Time step	Total flow in			Total flow out			Total solute flux in			Total solute flux out		
	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step
day	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	mg	mg	mg	mg	mg	mg
6,74E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,14E-01	-5,71E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-3,25E-07	-1,62E-06
6,76E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,12E-01	-5,62E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-3,20E-07	-1,60E-06
6,78E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,11E-01	-5,52E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-3,14E-07	-1,57E-06
6,80E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,09E-01	-5,44E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-3,09E-07	-1,55E-06
6,82E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,07E-01	-5,35E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-3,04E-07	-1,52E-06
6,84E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,05E-01	-5,26E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-2,99E-07	-1,50E-06
6,86E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,04E-01	-5,18E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-2,95E-07	-1,47E-06
6,88E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,02E-01	-5,09E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-2,90E-07	-1,45E-06
6,90E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-1,00E-01	-5,01E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-2,85E-07	-1,43E-06
6,92E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-9,86E-02	-4,93E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-2,81E-07	-1,40E-06
6,94E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-9,70E-02	-4,85E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-2,76E-07	-1,38E-06
6,96E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-9,55E-02	-4,77E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-2,72E-07	-1,36E-06
6,98E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-9,40E-02	-4,70E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-2,67E-07	-1,34E-06
7,00E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-9,25E-02	-4,62E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-2,63E-07	-1,32E-06
7,02E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-9,10E-02	-4,55E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-2,59E-07	-1,30E-06
7,04E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,76E+03	-8,95E-02	-4,48E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-2,55E-07	-1,27E-06
7,06E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-8,81E-02	-4,41E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-2,51E-07	-1,25E-06
7,08E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-8,67E-02	-4,34E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-2,47E-07	-1,23E-06
7,10E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-8,53E-02	-4,27E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-2,43E-07	-1,21E-06
7,12E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-8,40E-02	-4,20E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-2,39E-07	-1,20E-06
7,14E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-8,26E-02	-4,13E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-2,35E-07	-1,18E-06
7,16E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-8,13E-02	-4,07E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,28E-03	-2,32E-07	-1,16E-06
7,18E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-8,01E-02	-4,00E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-2,28E-07	-1,14E-06
7,20E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-7,88E-02	-3,94E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-2,24E-07	-1,12E-06
7,22E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-7,76E-02	-3,88E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-2,21E-07	-1,11E-06
7,24E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-7,64E-02	-3,82E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-2,18E-07	-1,09E-06
7,26E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-7,52E-02	-3,76E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-2,14E-07	-1,07E-06
7,28E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-7,41E-02	-3,70E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-2,11E-07	-1,06E-06

Modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Time step	Total flow in			Total flow out			Total solute flux in			Total solute flux out		
	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step
day	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	mg	mg	mg	mg	mg	mg
7,30E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-7,30E-02	-3,65E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-2,08E-07	-1,04E-06
7,32E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-7,18E-02	-3,59E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-2,05E-07	-1,02E-06
7,34E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-7,07E-02	-3,54E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-2,01E-07	-1,01E-06
7,36E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-6,96E-02	-3,48E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,98E-07	-9,92E-07
7,38E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-6,86E-02	-3,43E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,95E-07	-9,76E-07
7,40E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-6,75E-02	-3,38E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,92E-07	-9,62E-07
7,42E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-6,65E-02	-3,33E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,89E-07	-9,47E-07
7,44E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-6,55E-02	-3,27E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,87E-07	-9,32E-07
7,46E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-6,45E-02	-3,22E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,84E-07	-9,18E-07
7,48E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-6,35E-02	-3,18E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,81E-07	-9,04E-07
7,50E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-6,25E-02	-3,13E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,78E-07	-8,90E-07
7,52E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-6,16E-02	-3,08E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,75E-07	-8,77E-07
7,54E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-6,06E-02	-3,03E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,73E-07	-8,64E-07
7,56E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-5,97E-02	-2,99E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,70E-07	-8,50E-07
7,58E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-5,88E-02	-2,94E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,68E-07	-8,37E-07
7,60E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-5,79E-02	-2,90E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,65E-07	-8,25E-07
7,62E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-5,70E-02	-2,85E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,62E-07	-8,12E-07
7,64E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-5,62E-02	-2,81E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,60E-07	-8,00E-07
7,66E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-5,53E-02	-2,77E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,58E-07	-7,88E-07
7,68E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-5,45E-02	-2,72E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,55E-07	-7,76E-07
7,70E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-5,36E-02	-2,68E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,53E-07	-7,64E-07
7,72E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-5,28E-02	-2,64E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,51E-07	-7,52E-07
7,74E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-5,20E-02	-2,60E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,48E-07	-7,41E-07
7,76E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-5,12E-02	-2,56E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,46E-07	-7,30E-07
7,78E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-5,05E-02	-2,52E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,44E-07	-7,19E-07
7,80E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-4,97E-02	-2,49E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,42E-07	-7,08E-07
7,82E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-4,89E-02	-2,45E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,39E-07	-6,97E-07
7,84E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-4,82E-02	-2,41E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,37E-07	-6,87E-07

Modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Time step	Total flow in			Total flow out			Total solute flux in			Total solute flux out		
	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step
day	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	mg	mg	mg	mg	mg	mg
7,86E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-4,75E-02	-2,37E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,35E-07	-6,76E-07
7,88E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-4,68E-02	-2,34E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,33E-07	-6,66E-07
7,90E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-4,61E-02	-2,30E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,31E-07	-6,56E-07
7,92E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-4,54E-02	-2,27E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,29E-07	-6,46E-07
7,94E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-4,47E-02	-2,23E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,27E-07	-6,36E-07
7,96E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-4,40E-02	-2,20E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,25E-07	-6,27E-07
7,98E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-4,33E-02	-2,17E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,24E-07	-6,17E-07
8,00E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-4,27E-02	-2,13E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,22E-07	-6,08E-07
8,02E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-4,20E-02	-2,10E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,20E-07	-5,99E-07
8,04E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-4,14E-02	-2,07E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,18E-07	-5,90E-07
8,06E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-4,08E-02	-2,04E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,16E-07	-5,81E-07
8,08E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-4,02E-02	-2,01E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,15E-07	-5,72E-07
8,10E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-3,96E-02	-1,98E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,13E-07	-5,64E-07
8,12E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-3,90E-02	-1,95E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,11E-07	-5,55E-07
8,14E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-3,84E-02	-1,92E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,09E-07	-5,47E-07
8,16E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-3,78E-02	-1,89E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,08E-07	-5,39E-07
8,18E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-3,72E-02	-1,86E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,06E-07	-5,31E-07
8,20E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-3,67E-02	-1,83E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,05E-07	-5,23E-07
8,22E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-3,61E-02	-1,81E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,03E-07	-5,15E-07
8,24E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-3,56E-02	-1,78E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-1,01E-07	-5,07E-07
8,26E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-3,51E-02	-1,75E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-9,99E-08	-5,00E-07
8,28E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-3,45E-02	-1,73E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-9,84E-08	-4,92E-07
8,30E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-3,40E-02	-1,70E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-9,69E-08	-4,85E-07
8,32E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-3,35E-02	-1,68E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-9,55E-08	-4,77E-07
8,34E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-3,30E-02	-1,65E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-9,40E-08	-4,70E-07
8,36E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-3,25E-02	-1,63E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-9,26E-08	-4,63E-07
8,38E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-3,20E-02	-1,60E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-9,12E-08	-4,56E-07
8,40E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-3,15E-02	-1,58E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-8,99E-08	-4,49E-07

Modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Time step	Total flow in			Total flow out			Total solute flux in			Total solute flux out		
	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step
day	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	mg	mg	mg	mg	mg	mg
8,42E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-3,11E-02	-1,55E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-8,85E-08	-4,43E-07
8,44E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-3,06E-02	-1,53E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-8,72E-08	-4,36E-07
8,46E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-3,01E-02	-1,51E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-8,59E-08	-4,30E-07
8,48E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,97E-02	-1,48E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-8,46E-08	-4,23E-07
8,50E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,92E-02	-1,46E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-8,34E-08	-4,17E-07
8,52E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,88E-02	-1,44E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-8,21E-08	-4,11E-07
8,54E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,84E-02	-1,42E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-8,09E-08	-4,04E-07
8,56E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,80E-02	-1,40E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-7,97E-08	-3,98E-07
8,58E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,75E-02	-1,38E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-7,85E-08	-3,92E-07
8,60E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,71E-02	-1,36E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-7,73E-08	-3,87E-07
8,62E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,67E-02	-1,34E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-7,62E-08	-3,81E-07
8,64E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,63E-02	-1,32E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,29E-03	-7,50E-08	-3,75E-07
8,66E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,59E-02	-1,30E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,30E-03	-7,39E-08	-3,70E-07
8,68E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,55E-02	-1,28E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,30E-03	-7,28E-08	-3,64E-07
8,70E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,52E-02	-1,26E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,30E-03	-7,17E-08	-3,59E-07
8,72E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,48E-02	-1,24E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,30E-03	-7,07E-08	-3,53E-07
8,74E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,44E-02	-1,22E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,30E-03	-6,96E-08	-3,48E-07
8,76E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,41E-02	-1,20E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,30E-03	-6,86E-08	-3,43E-07
8,78E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,37E-02	-1,19E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,30E-03	-6,75E-08	-3,38E-07
8,80E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,33E-02	-1,17E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,30E-03	-6,65E-08	-3,33E-07
8,82E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,30E-02	-1,15E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,30E-03	-6,56E-08	-3,28E-07
8,84E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,27E-02	-1,14E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,30E-03	-6,47E-08	-3,24E-07
8,86E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,24E-02	-1,12E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,30E-03	-6,38E-08	-3,19E-07
8,88E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,21E-02	-1,10E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,30E-03	-6,29E-08	-3,15E-07
8,90E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,18E-02	-1,09E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,30E-03	-6,21E-08	-3,10E-07
8,92E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,15E-02	-1,07E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,30E-03	-6,12E-08	-3,06E-07
8,94E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,12E-02	-1,06E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,30E-03	-6,04E-08	-3,02E-07
8,96E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,09E-02	-1,04E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,30E-03	-5,95E-08	-2,98E-07

Modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Time step	Total flow in			Total flow out			Total solute flux in			Total solute flux out		
	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step
day	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	mg	mg	mg	mg	mg	mg
8,98E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,06E-02	-1,03E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,30E-03	-5,87E-08	-2,94E-07
9,00E+01	3,92E+03	0,00E+00	0,00E+00	-3,77E+03	-2,03E-02	-1,02E-01	1,83E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,30E-03	-5,79E-08	-2,90E-07
9,02E+01	4,00E+03	8,79E+01	4,40E+02	-3,77E+03	-2,03E-02	-1,01E-01	3,06E-02	1,23E-02	6,15E-02	-3,30E-03	-5,78E-08	-2,89E-07
9,04E+01	4,09E+03	8,79E+01	4,40E+02	-3,77E+03	-2,02E-02	-1,01E-01	4,29E-02	1,23E-02	6,15E-02	-3,30E-03	-5,74E-08	-2,87E-07
9,06E+01	4,18E+03	8,79E+01	4,40E+02	-3,77E+03	-2,15E-02	-1,08E-01	5,53E-02	1,23E-02	6,15E-02	-3,30E-03	-6,13E-08	-3,07E-07
9,08E+01	4,27E+03	8,79E+01	4,40E+02	-3,77E+03	-3,27E-02	-1,63E-01	6,76E-02	1,23E-02	6,15E-02	-3,30E-03	-9,31E-08	-4,66E-07
9,10E+01	4,36E+03	8,79E+01	4,40E+02	-3,77E+03	-9,40E-02	-4,70E-01	7,99E-02	1,23E-02	6,15E-02	-3,30E-03	-2,68E-07	-1,34E-06
9,12E+01	4,45E+03	9,28E+01	4,64E+02	-3,77E+03	-9,49E-02	-4,75E-01	8,08E-02	9,28E-04	4,64E-03	-3,30E-03	-2,71E-07	-1,35E-06
9,14E+01	4,54E+03	9,28E+01	4,64E+02	-3,77E+03	-3,81E-01	-1,91E+00	8,17E-02	9,28E-04	4,64E-03	-3,30E-03	-1,09E-06	-5,44E-06
9,16E+01	4,64E+03	9,28E+01	4,64E+02	-3,77E+03	-1,48E+00	-7,41E+00	8,27E-02	9,28E-04	4,64E-03	-3,30E-03	-4,23E-06	-2,11E-05
9,18E+01	4,73E+03	9,28E+01	4,64E+02	-3,78E+03	-4,92E+00	-2,46E+01	8,36E-02	9,28E-04	4,64E-03	-3,32E-03	-1,41E-05	-7,03E-05
9,20E+01	4,82E+03	9,28E+01	4,64E+02	-3,79E+03	-1,32E+01	-6,62E+01	8,45E-02	9,28E-04	4,64E-03	-3,35E-03	-3,80E-05	-1,90E-04
9,22E+01	4,89E+03	6,47E+01	3,24E+02	-3,80E+03	-1,29E+01	-6,46E+01	8,45E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,39E-03	-3,73E-05	-1,86E-04
9,24E+01	4,95E+03	6,47E+01	3,24E+02	-3,83E+03	-2,59E+01	-1,29E+02	8,45E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,47E-03	-7,53E-05	-3,76E-04
9,26E+01	5,01E+03	6,47E+01	3,24E+02	-3,87E+03	-4,03E+01	-2,02E+02	8,45E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,59E-03	-1,20E-04	-5,98E-04
9,28E+01	5,08E+03	6,47E+01	3,24E+02	-3,92E+03	-5,21E+01	-2,60E+02	8,45E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,74E-03	-1,59E-04	-7,92E-04
9,30E+01	5,14E+03	6,47E+01	3,24E+02	-3,98E+03	-5,95E+01	-2,98E+02	8,45E-02	0,00E+00	0,00E+00	-3,93E-03	-1,89E-04	-9,43E-04
9,32E+01	5,21E+03	6,47E+01	3,24E+02	-4,04E+03	-5,96E+01	-2,98E+02	8,45E-02	0,00E+00	0,00E+00	-4,13E-03	-1,99E-04	-9,94E-04
9,34E+01	5,28E+03	6,47E+01	3,24E+02	-4,10E+03	-6,37E+01	-3,19E+02	8,45E-02	0,00E+00	0,00E+00	-4,13E-03	-1,99E-04	-9,94E-04
9,36E+01	5,35E+03	6,47E+01	3,24E+02	-4,17E+03	-6,59E+01	-3,30E+02	8,45E-02	0,00E+00	0,00E+00	-4,36E-03	-2,27E-04	-1,14E-03
9,38E+01	5,42E+03	6,47E+01	3,24E+02	-4,24E+03	-6,71E+01	-3,36E+02	8,45E-02	0,00E+00	0,00E+00	-4,61E-03	-2,54E-04	-1,27E-03
9,40E+01	5,49E+03	6,47E+01	3,24E+02	-4,30E+03	-6,79E+01	-3,39E+02	8,45E-02	0,00E+00	0,00E+00	-4,90E-03	-2,82E-04	-1,41E-03
9,42E+01	5,56E+03	6,47E+01	3,24E+02	-4,37E+03	-6,78E+01	-3,39E+02	8,45E-02	0,00E+00	0,00E+00	-5,21E-03	-3,10E-04	-1,55E-03
9,44E+01	5,62E+03	6,47E+01	3,24E+02	-4,44E+03	-6,80E+01	-3,40E+02	8,45E-02	0,00E+00	0,00E+00	-5,54E-03	-3,40E-04	-1,70E-03
9,46E+01	5,69E+03	6,47E+01	3,24E+02	-4,51E+03	-6,78E+01	-3,39E+02	8,45E-02	0,00E+00	0,00E+00	-5,92E-03	-3,71E-04	-1,86E-03
9,48E+01	5,75E+03	6,47E+01	3,24E+02	-4,58E+03	-6,74E+01	-3,37E+02	8,45E-02	0,00E+00	0,00E+00	-6,32E-03	-4,03E-04	-2,01E-03
9,50E+01	5,82E+03	6,47E+01	3,24E+02	-4,64E+03	-6,69E+01	-3,34E+02	8,45E-02	0,00E+00	0,00E+00	-6,76E-03	-4,38E-04	-2,19E-03
9,52E+01	5,87E+03	5,70E+01	2,85E+02	-4,71E+03	-6,67E+01	-3,34E+02	8,45E-02	0,00E+00	0,00E+00	-7,23E-03	-4,73E-04	-2,37E-03
							8,54E-02	8,55E-04	4,27E-03	-7,74E-03	-5,12E-04	-2,56E-03

Modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Time step	Total flow in			Total flow out			Total solute flux in			Total solute flux out		
	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step
day	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	mg	mg	mg	mg	mg	mg
9,54E+01	5,93E+03	5,70E+01	2,85E+02	-4,77E+03	-6,57E+01	-3,29E+02	8,62E-02	8,55E-04	4,27E-03	-8,29E-03	-5,44E-04	-2,72E-03
9,56E+01	5,99E+03	5,70E+01	2,85E+02	-4,84E+03	-6,45E+01	-3,23E+02	8,71E-02	8,55E-04	4,27E-03	-8,86E-03	-5,73E-04	-2,86E-03
9,58E+01	6,04E+03	5,70E+01	2,85E+02	-4,90E+03	-6,31E+01	-3,16E+02	8,79E-02	8,55E-04	4,27E-03	-9,45E-03	-5,94E-04	-2,97E-03
9,60E+01	6,10E+03	5,70E+01	2,85E+02	-4,96E+03	-6,18E+01	-3,09E+02	8,88E-02	8,55E-04	4,27E-03	-1,01E-02	-6,17E-04	-3,09E-03
9,62E+01	6,16E+03	6,26E+01	3,13E+02	-5,03E+03	-6,19E+01	-3,09E+02	8,97E-02	9,39E-04	4,70E-03	-1,07E-02	-6,53E-04	-3,26E-03
9,64E+01	6,23E+03	6,26E+01	3,13E+02	-5,09E+03	-6,10E+01	-3,05E+02	9,07E-02	9,39E-04	4,70E-03	-1,14E-02	-6,77E-04	-3,39E-03
9,66E+01	6,29E+03	6,26E+01	3,13E+02	-5,15E+03	-6,05E+01	-3,03E+02	9,16E-02	9,39E-04	4,70E-03	-1,21E-02	-7,01E-04	-3,51E-03
9,68E+01	6,35E+03	6,26E+01	3,13E+02	-5,21E+03	-6,05E+01	-3,02E+02	9,25E-02	9,39E-04	4,70E-03	-1,28E-02	-7,29E-04	-3,65E-03
9,70E+01	6,41E+03	6,26E+01	3,13E+02	-5,27E+03	-6,07E+01	-3,03E+02	9,35E-02	9,39E-04	4,70E-03	-1,36E-02	-7,62E-04	-3,81E-03
9,72E+01	6,47E+03	6,05E+01	3,02E+02	-5,33E+03	-6,07E+01	-3,03E+02	9,44E-02	9,07E-04	4,54E-03	-1,44E-02	-7,92E-04	-3,96E-03
9,74E+01	6,53E+03	6,05E+01	3,02E+02	-5,39E+03	-6,09E+01	-3,05E+02	9,53E-02	9,07E-04	4,54E-03	-1,52E-02	-8,23E-04	-4,12E-03
9,76E+01	6,60E+03	6,05E+01	3,02E+02	-5,45E+03	-6,11E+01	-3,05E+02	9,62E-02	9,07E-04	4,54E-03	-1,61E-02	-8,49E-04	-4,25E-03
9,78E+01	6,66E+03	6,05E+01	3,02E+02	-5,51E+03	-6,11E+01	-3,06E+02	9,71E-02	9,07E-04	4,54E-03	-1,69E-02	-8,76E-04	-4,38E-03
9,80E+01	6,72E+03	6,05E+01	3,02E+02	-5,57E+03	-6,11E+01	-3,05E+02	9,80E-02	9,07E-04	4,54E-03	-1,78E-02	-8,96E-04	-4,48E-03
9,82E+01	6,77E+03	4,99E+01	2,50E+02	-5,63E+03	-6,09E+01	-3,05E+02	9,86E-02	5,99E-04	3,00E-03	-1,87E-02	-9,16E-04	-4,58E-03
9,84E+01	6,82E+03	4,99E+01	2,50E+02	-5,69E+03	-6,03E+01	-3,01E+02	9,92E-02	5,99E-04	3,00E-03	-1,97E-02	-9,25E-04	-4,62E-03
9,86E+01	6,87E+03	4,99E+01	2,50E+02	-5,75E+03	-5,92E+01	-2,96E+02	9,98E-02	5,99E-04	3,00E-03	-2,06E-02	-9,26E-04	-4,63E-03
9,88E+01	6,92E+03	4,99E+01	2,50E+02	-5,81E+03	-5,79E+01	-2,89E+02	1,00E-01	5,99E-04	3,00E-03	-2,15E-02	-9,21E-04	-4,60E-03
9,90E+01	6,97E+03	4,99E+01	2,50E+02	-5,87E+03	-5,64E+01	-2,82E+02	1,01E-01	5,99E-04	3,00E-03	-2,24E-02	-9,09E-04	-4,55E-03
9,92E+01	7,01E+03	4,85E+01	2,43E+02	-5,92E+03	-5,64E+01	-2,82E+02	1,02E-01	4,85E-04	2,43E-03	-2,33E-02	-9,20E-04	-4,60E-03
9,94E+01	7,06E+03	4,85E+01	2,43E+02	-5,98E+03	-5,50E+01	-2,75E+02	1,02E-01	4,85E-04	2,43E-03	-2,43E-02	-9,07E-04	-4,53E-03
9,96E+01	7,11E+03	4,85E+01	2,43E+02	-6,03E+03	-5,37E+01	-2,68E+02	1,03E-01	4,85E-04	2,43E-03	-2,52E-02	-8,94E-04	-4,47E-03
9,98E+01	7,16E+03	4,85E+01	2,43E+02	-6,09E+03	-5,25E+01	-2,63E+02	1,03E-01	4,85E-04	2,43E-03	-2,60E-02	-8,83E-04	-4,42E-03
1,000E+02	7,21E+03	4,85E+01	2,43E+02	-6,14E+03	-5,16E+01	-2,58E+02	1,03E-01	4,85E-04	2,43E-03	-2,69E-02	-8,74E-04	-4,37E-03
1,002E+02	7,26E+03	5,56E+01	2,78E+02	-6,19E+03	-5,16E+01	-2,58E+02	1,04E-01	6,67E-04	3,33E-03	-2,78E-02	-8,80E-04	-4,40E-03
1,004E+02	7,32E+03	5,56E+01	2,78E+02	-6,24E+03	-5,11E+01	-2,56E+02	1,05E-01	6,67E-04	3,33E-03	-2,87E-02	-8,76E-04	-4,38E-03
1,006E+02	7,38E+03	5,56E+01	2,78E+02	-6,29E+03	-5,10E+01	-2,55E+02	1,05E-01	6,67E-04	3,33E-03	-2,95E-02	-8,79E-04	-4,39E-03
1,008E+02	7,43E+03	5,56E+01	2,78E+02	-6,34E+03	-5,13E+01	-2,57E+02	1,06E-01	6,67E-04	3,33E-03	-3,04E-02	-8,88E-04	-4,44E-03

Modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Time step	Total flow in			Total flow out			Total solute flux in			Total solute flux out		
	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step
day	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	mg	mg	mg	mg	mg	mg
1,010E+02	7,49E+03	5,56E+01	2,78E+02	-6,39E+03	-5,19E+01	-2,59E+02	1,07E-01	6,67E-04	3,33E-03	-3,13E-02	-9,00E-04	-4,50E-03
1,012E+02	7,55E+03	6,05E+01	3,02E+02	-6,45E+03	-5,19E+01	-2,60E+02	1,08E-01	9,07E-04	4,54E-03	-3,22E-02	-9,04E-04	-4,52E-03
1,014E+02	7,61E+03	6,05E+01	3,02E+02	-6,50E+03	-5,28E+01	-2,64E+02	1,09E-01	9,07E-04	4,54E-03	-3,32E-02	-9,22E-04	-4,61E-03
1,016E+02	7,67E+03	6,05E+01	3,02E+02	-6,55E+03	-5,39E+01	-2,70E+02	1,10E-01	9,07E-04	4,54E-03	-3,41E-02	-9,43E-04	-4,71E-03
1,018E+02	7,73E+03	6,05E+01	3,02E+02	-6,61E+03	-5,51E+01	-2,76E+02	1,10E-01	9,07E-04	4,54E-03	-3,51E-02	-9,65E-04	-4,83E-03
1,020E+02	7,79E+03	6,05E+01	3,02E+02	-6,66E+03	-5,63E+01	-2,82E+02	1,11E-01	9,07E-04	4,54E-03	-3,60E-02	-9,87E-04	-4,93E-03
1,022E+02	7,85E+03	6,26E+01	3,13E+02	-6,72E+03	-5,63E+01	-2,82E+02	1,12E-01	9,39E-04	4,70E-03	-3,70E-02	-9,88E-04	-4,94E-03
1,024E+02	7,91E+03	6,26E+01	3,13E+02	-6,78E+03	-5,75E+01	-2,87E+02	1,13E-01	9,39E-04	4,70E-03	-3,80E-02	-1,01E-03	-5,04E-03
1,026E+02	7,98E+03	6,26E+01	3,13E+02	-6,84E+03	-5,86E+01	-2,93E+02	1,14E-01	9,39E-04	4,70E-03	-3,91E-02	-1,03E-03	-5,13E-03
1,028E+02	8,04E+03	6,26E+01	3,13E+02	-6,90E+03	-5,95E+01	-2,98E+02	1,15E-01	9,39E-04	4,70E-03	-4,01E-02	-1,04E-03	-5,21E-03
1,030E+02	8,10E+03	6,26E+01	3,13E+02	-6,96E+03	-6,03E+01	-3,02E+02	1,16E-01	9,39E-04	4,70E-03	-4,12E-02	-1,05E-03	-5,27E-03
1,032E+02	8,16E+03	6,26E+01	3,13E+02	-7,02E+03	-6,10E+01	-3,05E+02	1,17E-01	9,39E-04	4,70E-03	-4,22E-02	-1,06E-03	-5,31E-03
1,034E+02	8,23E+03	6,26E+01	3,13E+02	-7,08E+03	-6,15E+01	-3,07E+02	1,18E-01	9,39E-04	4,70E-03	-4,33E-02	-1,07E-03	-5,34E-03
1,036E+02	8,29E+03	6,26E+01	3,13E+02	-7,14E+03	-6,18E+01	-3,09E+02	1,19E-01	9,39E-04	4,70E-03	-4,44E-02	-1,07E-03	-5,35E-03
1,038E+02	8,35E+03	6,26E+01	3,13E+02	-7,20E+03	-6,21E+01	-3,10E+02	1,20E-01	9,39E-04	4,70E-03	-4,54E-02	-1,07E-03	-5,36E-03
1,040E+02	8,41E+03	6,26E+01	3,13E+02	-7,27E+03	-6,22E+01	-3,11E+02	1,21E-01	9,39E-04	4,70E-03	-4,65E-02	-1,07E-03	-5,35E-03
1,042E+02	8,48E+03	6,61E+01	3,31E+02	-7,33E+03	-6,23E+01	-3,12E+02	1,22E-01	9,92E-04	4,96E-03	-4,76E-02	-1,07E-03	-5,34E-03
1,044E+02	8,55E+03	6,61E+01	3,31E+02	-7,39E+03	-6,26E+01	-3,13E+02	1,23E-01	9,92E-04	4,96E-03	-4,86E-02	-1,07E-03	-5,34E-03
1,046E+02	8,61E+03	6,61E+01	3,31E+02	-7,45E+03	-6,31E+01	-3,15E+02	1,24E-01	9,92E-04	4,96E-03	-4,97E-02	-1,07E-03	-5,35E-03
1,048E+02	8,68E+03	6,61E+01	3,31E+02	-7,52E+03	-6,36E+01	-3,18E+02	1,25E-01	9,92E-04	4,96E-03	-5,08E-02	-1,08E-03	-5,37E-03
1,050E+02	8,75E+03	6,61E+01	3,31E+02	-7,58E+03	-6,42E+01	-3,21E+02	1,26E-01	9,92E-04	4,96E-03	-5,19E-02	-1,08E-03	-5,39E-03
1,052E+02	8,81E+03	6,26E+01	3,13E+02	-7,65E+03	-6,41E+01	-3,21E+02	1,27E-01	9,39E-04	4,70E-03	-5,29E-02	-1,07E-03	-5,37E-03
1,054E+02	8,87E+03	6,26E+01	3,13E+02	-7,71E+03	-6,44E+01	-3,22E+02	1,28E-01	9,39E-04	4,70E-03	-5,40E-02	-1,07E-03	-5,36E-03
1,056E+02	8,93E+03	6,26E+01	3,13E+02	-7,77E+03	-6,45E+01	-3,22E+02	1,29E-01	9,39E-04	4,70E-03	-5,51E-02	-1,07E-03	-5,34E-03
1,058E+02	9,00E+03	6,26E+01	3,13E+02	-7,84E+03	-6,43E+01	-3,22E+02	1,29E-01	9,39E-04	4,70E-03	-5,61E-02	-1,06E-03	-5,30E-03
1,060E+02	9,06E+03	6,26E+01	3,13E+02	-7,90E+03	-6,40E+01	-3,20E+02	1,30E-01	9,39E-04	4,70E-03	-5,72E-02	-1,05E-03	-5,25E-03
1,062E+02	9,12E+03	6,61E+01	3,31E+02	-7,97E+03	-6,41E+01	-3,20E+02	1,31E-01	9,92E-04	4,96E-03	-5,82E-02	-1,05E-03	-5,23E-03
1,064E+02	9,19E+03	6,61E+01	3,31E+02	-8,03E+03	-6,39E+01	-3,20E+02	1,32E-01	9,92E-04	4,96E-03	-5,93E-02	-1,04E-03	-5,20E-03

Modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Time step	Total flow in			Total flow out			Total solute flux in			Total solute flux out		
	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step
day	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	mg	mg	mg	mg	mg	mg
1,066E+02	9,26E+03	6,61E+01	3,31E+02	-8,09E+03	-6,40E+01	-3,20E+02	1,33E-01	9,92E-04	4,96E-03	-6,03E-02	-1,04E-03	-5,18E-03
1,068E+02	9,32E+03	6,61E+01	3,31E+02	-8,16E+03	-6,43E+01	-3,21E+02	1,34E-01	9,92E-04	4,96E-03	-6,13E-02	-1,03E-03	-5,17E-03
1,070E+02	9,39E+03	6,61E+01	3,31E+02	-8,22E+03	-6,46E+01	-3,23E+02	1,35E-01	9,92E-04	4,96E-03	-6,24E-02	-1,04E-03	-5,17E-03
1,072E+02	9,45E+03	6,47E+01	3,24E+02	-8,29E+03	-6,46E+01	-3,23E+02	1,36E-01	9,71E-04	4,85E-03	-6,34E-02	-1,03E-03	-5,15E-03
1,074E+02	9,52E+03	6,47E+01	3,24E+02	-8,35E+03	-6,49E+01	-3,24E+02	1,37E-01	9,71E-04	4,85E-03	-6,44E-02	-1,03E-03	-5,15E-03
1,076E+02	9,58E+03	6,47E+01	3,24E+02	-8,42E+03	-6,50E+01	-3,25E+02	1,38E-01	9,71E-04	4,85E-03	-6,55E-02	-1,03E-03	-5,14E-03
1,078E+02	9,65E+03	6,47E+01	3,24E+02	-8,48E+03	-6,51E+01	-3,25E+02	1,39E-01	9,71E-04	4,85E-03	-6,66E-02	-1,03E-03	-5,12E-03
1,080E+02	9,71E+03	6,47E+01	3,24E+02	-8,55E+03	-6,51E+01	-3,25E+02	1,40E-01	9,71E-04	4,85E-03	-6,75E-02	-1,02E-03	-5,10E-03
1,082E+02	9,78E+03	6,75E+01	3,38E+02	-8,61E+03	-6,51E+01	-3,26E+02	1,41E-01	1,01E-03	5,06E-03	-6,85E-02	-1,02E-03	-5,09E-03
1,084E+02	9,85E+03	6,75E+01	3,38E+02	-8,68E+03	-6,52E+01	-3,26E+02	1,42E-01	1,01E-03	5,06E-03	-6,95E-02	-1,02E-03	-5,08E-03
1,086E+02	9,91E+03	6,75E+01	3,38E+02	-8,74E+03	-6,54E+01	-3,27E+02	1,43E-01	1,01E-03	5,06E-03	-7,06E-02	-1,02E-03	-5,08E-03
1,088E+02	9,98E+03	6,75E+01	3,38E+02	-8,81E+03	-6,58E+01	-3,29E+02	1,44E-01	1,01E-03	5,06E-03	-7,16E-02	-1,02E-03	-5,08E-03
1,090E+02	1,01E+04	6,75E+01	3,38E+02	-8,88E+03	-6,61E+01	-3,31E+02	1,45E-01	1,01E-03	5,06E-03	-7,26E-02	-1,02E-03	-5,10E-03
1,092E+02	1,01E+04	6,05E+01	3,02E+02	-8,94E+03	-6,60E+01	-3,30E+02	1,46E-01	9,07E-04	4,54E-03	-7,36E-02	-1,02E-03	-5,08E-03
1,094E+02	1,02E+04	6,05E+01	3,02E+02	-9,01E+03	-6,60E+01	-3,30E+02	1,47E-01	9,07E-04	4,54E-03	-7,46E-02	-1,01E-03	-5,06E-03
1,096E+02	1,02E+04	6,05E+01	3,02E+02	-9,07E+03	-6,55E+01	-3,27E+02	1,48E-01	9,07E-04	4,54E-03	-7,56E-02	-1,00E-03	-5,01E-03
1,098E+02	1,03E+04	6,05E+01	3,02E+02	-9,14E+03	-6,48E+01	-3,24E+02	1,49E-01	9,07E-04	4,54E-03	-7,66E-02	-9,88E-04	-4,94E-03
1,100E+02	1,04E+04	6,05E+01	3,02E+02	-9,20E+03	-6,39E+01	-3,20E+02	1,50E-01	9,07E-04	4,54E-03	-7,76E-02	-9,73E-04	-4,86E-03
1,102E+02	1,04E+04	6,26E+01	3,13E+02	-9,27E+03	-6,39E+01	-3,20E+02	1,51E-01	9,39E-04	4,70E-03	-7,86E-02	-9,71E-04	-4,85E-03
1,104E+02	1,05E+04	6,26E+01	3,13E+02	-9,33E+03	-6,32E+01	-3,16E+02	1,52E-01	9,39E-04	4,70E-03	-7,95E-02	-9,58E-04	-4,79E-03
1,106E+02	1,05E+04	6,26E+01	3,13E+02	-9,39E+03	-6,27E+01	-3,14E+02	1,53E-01	9,39E-04	4,70E-03	-8,05E-02	-9,49E-04	-4,75E-03
1,108E+02	1,06E+04	6,26E+01	3,13E+02	-9,45E+03	-6,25E+01	-3,12E+02	1,54E-01	9,39E-04	4,70E-03	-8,14E-02	-9,43E-04	-4,72E-03
1,110E+02	1,07E+04	6,26E+01	3,13E+02	-9,52E+03	-6,24E+01	-3,12E+02	1,54E-01	9,39E-04	4,70E-03	-8,23E-02	-9,40E-04	-4,70E-03
1,112E+02	1,07E+04	6,75E+01	3,38E+02	-9,58E+03	-6,24E+01	-3,12E+02	1,55E-01	6,75E-04	3,38E-03	-8,33E-02	-9,40E-04	-4,70E-03
1,114E+02	1,08E+04	6,75E+01	3,38E+02	-9,64E+03	-6,27E+01	-3,14E+02	1,56E-01	6,75E-04	3,38E-03	-8,42E-02	-9,43E-04	-4,71E-03
1,116E+02	1,09E+04	6,75E+01	3,38E+02	-9,70E+03	-6,33E+01	-3,16E+02	1,57E-01	6,75E-04	3,38E-03	-8,52E-02	-9,50E-04	-4,75E-03
1,118E+02	1,09E+04	6,75E+01	3,38E+02	-9,77E+03	-6,40E+01	-3,20E+02	1,57E-01	6,75E-04	3,38E-03	-8,61E-02	-9,60E-04	-4,80E-03
1,120E+02	1,10E+04	6,75E+01	3,38E+02	-9,83E+03	-6,47E+01	-3,24E+02	1,58E-01	6,75E-04	3,38E-03	-8,71E-02	-9,70E-04	-4,85E-03

Modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Time step	Total flow in			Total flow out			Total solute flux in			Total solute flux out		
	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step
day	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	mg	mg	mg	mg	mg	mg
1,122E+02	1,11E+04	6,61E+01	3,31E+02	-9,90E+03	-6,48E+01	-3,24E+02	1,59E-01	6,61E-04	3,31E-03	-8,81E-02	-9,70E-04	-4,85E-03
1,124E+02	1,11E+04	6,61E+01	3,31E+02	-9,96E+03	-6,54E+01	-3,27E+02	1,59E-01	6,61E-04	3,31E-03	-8,91E-02	-9,78E-04	-4,89E-03
1,126E+02	1,12E+04	6,61E+01	3,31E+02	-1,00E+04	-6,58E+01	-3,29E+02	1,60E-01	6,61E-04	3,31E-03	-9,00E-02	-9,84E-04	-4,92E-03
1,128E+02	1,13E+04	6,61E+01	3,31E+02	-1,01E+04	-6,61E+01	-3,30E+02	1,61E-01	6,61E-04	3,31E-03	-9,10E-02	-9,87E-04	-4,94E-03
1,130E+02	1,13E+04	6,61E+01	3,31E+02	-1,02E+04	-6,62E+01	-3,31E+02	1,61E-01	6,61E-04	3,31E-03	-9,20E-02	-9,88E-04	-4,94E-03
1,132E+02	1,14E+04	6,47E+01	3,24E+02	-1,02E+04	-6,62E+01	-3,31E+02	1,62E-01	6,47E-04	3,24E-03	-9,30E-02	-9,87E-04	-4,94E-03
1,134E+02	1,15E+04	6,47E+01	3,24E+02	-1,03E+04	-6,61E+01	-3,31E+02	1,62E-01	6,47E-04	3,24E-03	-9,40E-02	-9,86E-04	-4,93E-03
1,136E+02	1,15E+04	6,47E+01	3,24E+02	-1,04E+04	-6,60E+01	-3,30E+02	1,63E-01	6,47E-04	3,24E-03	-9,50E-02	-9,83E-04	-4,92E-03
1,138E+02	1,16E+04	6,47E+01	3,24E+02	-1,04E+04	-6,58E+01	-3,29E+02	1,64E-01	6,47E-04	3,24E-03	-9,60E-02	-9,79E-04	-4,89E-03
1,140E+02	1,17E+04	6,47E+01	3,24E+02	-1,05E+04	-6,55E+01	-3,28E+02	1,64E-01	6,47E-04	3,24E-03	-9,69E-02	-9,75E-04	-4,87E-03
1,142E+02	1,17E+04	6,61E+01	3,31E+02	-1,06E+04	-6,55E+01	-3,28E+02	1,65E-01	6,61E-04	3,31E-03	-9,79E-02	-9,74E-04	-4,87E-03
1,144E+02	1,18E+04	6,61E+01	3,31E+02	-1,06E+04	-6,54E+01	-3,27E+02	1,66E-01	6,61E-04	3,31E-03	-9,89E-02	-9,72E-04	-4,86E-03
1,146E+02	1,19E+04	6,61E+01	3,31E+02	-1,07E+04	-6,54E+01	-3,27E+02	1,66E-01	6,61E-04	3,31E-03	-9,98E-02	-9,70E-04	-4,85E-03
1,148E+02	1,19E+04	6,61E+01	3,31E+02	-1,08E+04	-6,54E+01	-3,27E+02	1,67E-01	6,61E-04	3,31E-03	-1,01E-01	-9,70E-04	-4,85E-03
1,150E+02	1,20E+04	6,61E+01	3,31E+02	-1,08E+04	-6,55E+01	-3,28E+02	1,68E-01	6,61E-04	3,31E-03	-1,02E-01	-9,71E-04	-4,86E-03
1,152E+02	1,21E+04	6,75E+01	3,38E+02	-1,09E+04	-6,58E+01	-3,28E+02	1,68E-01	6,75E-04	3,38E-03	-1,03E-01	-9,71E-04	-4,85E-03
1,154E+02	1,21E+04	6,75E+01	3,38E+02	-1,10E+04	-6,58E+01	-3,29E+02	1,69E-01	6,75E-04	3,38E-03	-1,04E-01	-9,72E-04	-4,86E-03
1,156E+02	1,22E+04	6,75E+01	3,38E+02	-1,10E+04	-6,61E+01	-3,30E+02	1,70E-01	6,75E-04	3,38E-03	-1,05E-01	-9,75E-04	-4,87E-03
1,158E+02	1,23E+04	6,75E+01	3,38E+02	-1,11E+04	-6,64E+01	-3,32E+02	1,70E-01	6,75E-04	3,38E-03	-1,06E-01	-9,78E-04	-4,89E-03
1,160E+02	1,23E+04	6,75E+01	3,38E+02	-1,12E+04	-6,66E+01	-3,33E+02	1,71E-01	6,75E-04	3,38E-03	-1,07E-01	-9,80E-04	-4,90E-03
1,162E+02	1,24E+04	6,61E+01	3,31E+02	-1,12E+04	-6,66E+01	-3,33E+02	1,72E-01	6,61E-04	3,31E-03	-1,08E-01	-9,78E-04	-4,89E-03
1,164E+02	1,25E+04	6,61E+01	3,31E+02	-1,13E+04	-6,68E+01	-3,34E+02	1,72E-01	6,61E-04	3,31E-03	-1,09E-01	-9,79E-04	-4,89E-03
1,166E+02	1,25E+04	6,61E+01	3,31E+02	-1,14E+04	-6,68E+01	-3,34E+02	1,73E-01	6,61E-04	3,31E-03	-1,10E-01	-9,77E-04	-4,88E-03
1,168E+02	1,26E+04	6,61E+01	3,31E+02	-1,14E+04	-6,68E+01	-3,34E+02	1,74E-01	6,61E-04	3,31E-03	-1,11E-01	-9,73E-04	-4,87E-03
1,170E+02	1,27E+04	6,61E+01	3,31E+02	-1,15E+04	-6,67E+01	-3,33E+02	1,74E-01	6,61E-04	3,31E-03	-1,12E-01	-9,69E-04	-4,85E-03
1,172E+02	1,27E+04	6,61E+01	3,31E+02	-1,16E+04	-6,67E+01	-3,33E+02	1,75E-01	6,61E-04	3,31E-03	-1,13E-01	-9,67E-04	-4,83E-03
1,174E+02	1,28E+04	6,75E+01	3,38E+02	-1,16E+04	-6,66E+01	-3,33E+02	1,76E-01	6,75E-04	3,38E-03	-1,14E-01	-9,63E-04	-4,81E-03
1,176E+02	1,29E+04	6,75E+01	3,38E+02	-1,17E+04	-6,67E+01	-3,33E+02	1,76E-01	6,75E-04	3,38E-03	-1,14E-01	-9,60E-04	-4,80E-03

Modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Time step	Total flow in			Total flow out			Total solute flux in			Total solute flux out		
	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step
day	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	mg	mg	mg	mg	mg	mg
1,178E+02	1,29E+04	6,75E+01	3,38E+02	-1,18E+04	-6,68E+01	-3,34E+02	1,77E-01	6,75E-04	3,38E-03	-1,15E-01	-9,58E-04	-4,79E-03
1,180E+02	1,30E+04	6,75E+01	3,38E+02	-1,18E+04	-6,69E+01	-3,35E+02	1,78E-01	6,75E-04	3,38E-03	-1,16E-01	-9,56E-04	-4,78E-03
1,182E+02	1,31E+04	6,75E+01	3,38E+02	-1,19E+04	-6,69E+01	-3,35E+02	1,78E-01	6,75E-04	3,38E-03	-1,17E-01	-9,53E-04	-4,76E-03
1,184E+02	1,31E+04	6,75E+01	3,38E+02	-1,20E+04	-6,71E+01	-3,35E+02	1,79E-01	6,75E-04	3,38E-03	-1,18E-01	-9,50E-04	-4,75E-03
1,186E+02	1,32E+04	6,75E+01	3,38E+02	-1,20E+04	-6,72E+01	-3,36E+02	1,80E-01	6,75E-04	3,38E-03	-1,19E-01	-9,48E-04	-4,74E-03
1,188E+02	1,33E+04	6,75E+01	3,38E+02	-1,21E+04	-6,73E+01	-3,36E+02	1,80E-01	6,75E-04	3,38E-03	-1,20E-01	-9,45E-04	-4,72E-03
1,190E+02	1,33E+04	6,75E+01	3,38E+02	-1,22E+04	-6,74E+01	-3,37E+02	1,81E-01	6,75E-04	3,38E-03	-1,21E-01	-9,42E-04	-4,71E-03
1,192E+02	1,34E+04	6,75E+01	3,38E+02	-1,22E+04	-6,74E+01	-3,37E+02	1,82E-01	6,75E-04	3,38E-03	-1,22E-01	-9,37E-04	-4,69E-03
1,194E+02	1,35E+04	6,75E+01	3,38E+02	-1,23E+04	-6,74E+01	-3,37E+02	1,83E-01	6,75E-04	3,38E-03	-1,23E-01	-9,33E-04	-4,67E-03
1,196E+02	1,35E+04	6,75E+01	3,38E+02	-1,24E+04	-6,75E+01	-3,37E+02	1,83E-01	6,75E-04	3,38E-03	-1,24E-01	-9,29E-04	-4,64E-03
1,198E+02	1,36E+04	6,75E+01	3,38E+02	-1,24E+04	-6,75E+01	-3,37E+02	1,84E-01	6,75E-04	3,38E-03	-1,25E-01	-9,25E-04	-4,62E-03
1,200E+02	1,37E+04	6,75E+01	3,38E+02	-1,25E+04	-6,75E+01	-3,37E+02	1,85E-01	6,75E-04	3,38E-03	-1,26E-01	-9,20E-04	-4,60E-03
1,202E+02	1,37E+04	4,29E+01	2,15E+02	-1,26E+04	-6,70E+01	-3,35E+02	1,85E-01	4,29E-04	2,15E-03	-1,27E-01	-9,09E-04	-4,55E-03
1,204E+02	1,38E+04	4,29E+01	2,15E+02	-1,26E+04	-6,56E+01	-3,28E+02	1,85E-01	4,29E-04	2,15E-03	-1,28E-01	-8,85E-04	-4,43E-03
1,206E+02	1,38E+04	4,29E+01	2,15E+02	-1,27E+04	-6,33E+01	-3,16E+02	1,86E-01	4,29E-04	2,15E-03	-1,28E-01	-8,49E-04	-4,25E-03
1,208E+02	1,38E+04	4,29E+01	2,15E+02	-1,27E+04	-6,03E+01	-3,02E+02	1,86E-01	4,29E-04	2,15E-03	-1,29E-01	-8,05E-04	-4,02E-03
1,210E+02	1,39E+04	4,29E+01	2,15E+02	-1,28E+04	-5,72E+01	-2,86E+02	1,87E-01	4,29E-04	2,15E-03	-1,30E-01	-7,60E-04	-3,80E-03
1,212E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,29E+04	-5,69E+01	-2,84E+02	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,31E-01	-7,52E-04	-3,76E-03
1,214E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,29E+04	-5,29E+01	-2,65E+02	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,31E-01	-6,96E-04	-3,48E-03
1,216E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,30E+04	-4,85E+01	-2,42E+02	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,32E-01	-6,35E-04	-3,17E-03
1,218E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,30E+04	-4,39E+01	-2,20E+02	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,33E-01	-5,72E-04	-2,86E-03
1,220E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,30E+04	-3,94E+01	-1,97E+02	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,33E-01	-5,12E-04	-2,56E-03
1,222E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,31E+04	-3,53E+01	-1,76E+02	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,34E-01	-4,57E-04	-2,28E-03
1,224E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,31E+04	-3,15E+01	-1,58E+02	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,34E-01	-4,07E-04	-2,04E-03
1,226E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,31E+04	-2,82E+01	-1,41E+02	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,34E-01	-3,63E-04	-1,82E-03
1,228E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,32E+04	-2,54E+01	-1,27E+02	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E-01	-3,26E-04	-1,63E-03
1,230E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,32E+04	-2,29E+01	-1,14E+02	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E-01	-2,93E-04	-1,46E-03
1,232E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,32E+04	-2,07E+01	-1,03E+02	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E-01	-2,64E-04	-1,32E-03

Modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Time step	Total flow in			Total flow out			Total solute flux in			Total solute flux out		
	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step	total for simulation	total for time step	rate for time step
day	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	mg	mg	mg	mg	mg	mg
1,234E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,32E+04	-1,88E+01	-9,39E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E-01	-2,40E-04	-1,20E-03
1,236E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,32E+04	-1,71E+01	-8,57E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,36E-01	-2,18E-04	-1,09E-03
1,238E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,33E+04	-1,57E+01	-7,85E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,36E-01	-2,00E-04	-9,99E-04
1,240E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,33E+04	-1,44E+01	-7,21E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,36E-01	-1,83E-04	-9,17E-04
1,242E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,33E+04	-1,33E+01	-6,65E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,36E-01	-1,69E-04	-8,45E-04
1,244E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,33E+04	-1,23E+01	-6,16E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,37E-01	-1,56E-04	-7,81E-04
1,246E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,33E+04	-1,14E+01	-5,72E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,37E-01	-1,45E-04	-7,24E-04
1,248E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,33E+04	-1,07E+01	-5,32E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,37E-01	-1,35E-04	-6,74E-04
1,250E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,33E+04	-9,94E+00	-4,97E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,37E-01	-1,26E-04	-6,29E-04
1,252E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,33E+04	-9,30E+00	-4,65E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,37E-01	-1,18E-04	-5,88E-04
1,254E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,34E+04	-8,73E+00	-4,36E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,37E-01	-1,10E-04	-5,51E-04
1,256E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,34E+04	-8,20E+00	-4,10E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,37E-01	-1,04E-04	-5,18E-04
1,258E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,34E+04	-7,73E+00	-3,86E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,37E-01	-9,74E-05	-4,87E-04
1,260E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,34E+04	-7,29E+00	-3,65E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,37E-01	-9,19E-05	-4,60E-04
1,262E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,34E+04	-6,89E+00	-3,45E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,37E-01	-8,68E-05	-4,34E-04
1,264E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,34E+04	-6,53E+00	-3,26E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,38E-01	-8,22E-05	-4,11E-04
1,266E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,34E+04	-6,19E+00	-3,10E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,38E-01	-7,79E-05	-3,90E-04
1,268E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,34E+04	-5,88E+00	-2,94E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,38E-01	-7,40E-05	-3,70E-04
1,270E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,34E+04	-5,59E+00	-2,80E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,38E-01	-7,03E-05	-3,52E-04
1,272E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,34E+04	-5,33E+00	-2,66E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,38E-01	-6,69E-05	-3,35E-04
1,274E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,34E+04	-5,08E+00	-2,54E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,38E-01	-6,38E-05	-3,19E-04
1,276E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,34E+04	-4,85E+00	-2,43E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,38E-01	-6,09E-05	-3,04E-04
1,278E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,34E+04	-4,63E+00	-2,32E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,38E-01	-5,81E-05	-2,91E-04
1,280E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,34E+04	-4,43E+00	-2,22E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,38E-01	-5,56E-05	-2,78E-04
1,282E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,34E+04	-4,25E+00	-2,12E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,38E-01	-5,32E-05	-2,66E-04
1,284E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,34E+04	-4,07E+00	-2,03E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,38E-01	-5,10E-05	-2,55E-04
1,286E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,34E+04	-3,90E+00	-1,95E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,38E-01	-4,89E-05	-2,45E-04
1,288E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,34E+04	-3,75E+00	-1,87E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,38E-01	-4,69E-05	-2,35E-04

Modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Time step	Total flow in			Total flow out			Total solute flux in			Total solute flux out		
	total for simulation	time step	rate for time step	total for simulation	time step	rate for time step	total for simulation	time step	rate for time step	total for simulation	time step	rate for time step
day	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	mg	mg	mg	mg	mg	mg
1,290E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E+04	-3,60E+00	-1,80E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,38E-01	-4,51E-05	-2,25E-04
1,292E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E+04	-3,46E+00	-1,73E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,38E-01	-4,33E-05	-2,17E-04
1,294E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E+04	-3,33E+00	-1,67E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,38E-01	-4,17E-05	-2,08E-04
1,296E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E+04	-3,21E+00	-1,60E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,38E-01	-4,01E-05	-2,01E-04
1,298E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E+04	-3,09E+00	-1,55E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,38E-01	-3,87E-05	-1,93E-04
1,300E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E+04	-2,98E+00	-1,49E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,38E-01	-3,73E-05	-1,86E-04
1,302E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E+04	-2,88E+00	-1,44E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,39E-01	-3,60E-05	-1,80E-04
1,304E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E+04	-2,78E+00	-1,39E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,39E-01	-3,47E-05	-1,74E-04
1,306E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E+04	-2,68E+00	-1,34E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,39E-01	-3,35E-05	-1,68E-04
1,308E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E+04	-2,59E+00	-1,30E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,39E-01	-3,24E-05	-1,62E-04
1,310E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E+04	-2,51E+00	-1,25E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,39E-01	-3,13E-05	-1,57E-04
1,312E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E+04	-2,42E+00	-1,21E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,39E-01	-3,03E-05	-1,51E-04
1,314E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E+04	-2,35E+00	-1,17E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,39E-01	-2,93E-05	-1,46E-04
1,316E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E+04	-2,27E+00	-1,14E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,39E-01	-2,84E-05	-1,42E-04
1,318E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E+04	-2,20E+00	-1,10E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,39E-01	-2,75E-05	-1,37E-04
1,320E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E+04	-2,13E+00	-1,07E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,39E-01	-2,66E-05	-1,33E-04
1,322E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E+04	-2,07E+00	-1,03E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,39E-01	-2,58E-05	-1,29E-04
1,324E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E+04	-2,01E+00	-1,00E+01	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,39E-01	-2,50E-05	-1,25E-04
1,326E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E+04	-1,95E+00	-9,73E+00	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,39E-01	-2,43E-05	-1,21E-04
1,328E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E+04	-1,89E+00	-9,44E+00	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,39E-01	-2,35E-05	-1,18E-04
1,330E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E+04	-1,83E+00	-9,17E+00	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,39E-01	-2,29E-05	-1,14E-04
1,332E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E+04	-1,78E+00	-8,90E+00	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,39E-01	-2,22E-05	-1,11E-04
1,334E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E+04	-1,73E+00	-8,65E+00	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,39E-01	-2,16E-05	-1,08E-04
1,336E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E+04	-1,68E+00	-8,41E+00	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,39E-01	-2,10E-05	-1,05E-04
1,338E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E+04	-1,64E+00	-8,17E+00	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,39E-01	-2,04E-05	-1,02E-04
1,340E+02	1,39E+04	0,00E+00	0,00E+00	-1,35E+04	-1,59E+00	-7,95E+00	1,87E-01	0,00E+00	0,00E+00	-1,39E-01	-1,98E-05	-9,90E-05

Point d'observation dans la modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Modélisation de la Colonne 4

MONITORING POINT FILE

TIME, day	XR, cm	Z, cm	H, cm	P, cm	THETA	SAT
0,00E+00	1,76E+02	2,50E-01	-5,00E+01	-4,98E+01	9,56E-02	2,39E-01
2,00E-01	1,76E+02	2,50E-01	-3,51E+01	-3,48E+01	1,10E-01	2,76E-01
4,00E-01	1,76E+02	2,50E-01	-3,06E+01	-3,03E+01	1,17E-01	2,92E-01
6,00E-01	1,76E+02	2,50E-01	-2,82E+01	-2,79E+01	1,21E-01	3,03E-01
8,00E-01	1,76E+02	2,50E-01	-2,66E+01	-2,64E+01	1,24E-01	3,10E-01
1,00E+00	1,76E+02	2,50E-01	-2,55E+01	-2,52E+01	1,26E-01	3,16E-01
1,20E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,73E+01	-1,70E+01	1,50E-01	3,74E-01
1,40E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,52E+01	-1,49E+01	1,58E-01	3,96E-01
1,60E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,42E+01	-1,40E+01	1,63E-01	4,08E-01
1,80E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,37E+01	-1,34E+01	1,66E-01	4,15E-01
2,00E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,33E+01	-1,31E+01	1,68E-01	4,20E-01
2,20E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,37E+01	-1,35E+01	1,66E-01	4,14E-01
2,40E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,36E+01	-1,33E+01	1,66E-01	4,16E-01
2,60E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,35E+01	-1,32E+01	1,67E-01	4,18E-01
2,80E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,34E+01	-1,31E+01	1,68E-01	4,19E-01
3,00E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,33E+01	-1,31E+01	1,68E-01	4,20E-01
3,20E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,29E+01	-1,27E+01	1,70E-01	4,26E-01
3,40E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,28E+01	-1,25E+01	1,71E-01	4,28E-01
3,60E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,27E+01	-1,24E+01	1,72E-01	4,29E-01
3,80E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,26E+01	-1,24E+01	1,72E-01	4,30E-01
4,00E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,26E+01	-1,23E+01	1,72E-01	4,30E-01
4,20E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,37E+01	-1,34E+01	1,66E-01	4,15E-01
4,40E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,40E+01	-1,38E+01	1,64E-01	4,10E-01
4,60E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,42E+01	-1,39E+01	1,63E-01	4,08E-01
4,80E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,43E+01	-1,40E+01	1,63E-01	4,07E-01
5,00E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,43E+01	-1,41E+01	1,63E-01	4,06E-01
5,20E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,44E+01	-1,41E+01	1,62E-01	4,06E-01
5,40E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,44E+01	-1,41E+01	1,62E-01	4,06E-01
5,60E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,44E+01	-1,42E+01	1,62E-01	4,05E-01

Point d'observation dans la modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Modélisation de la Colonne 4

MONITORING POINT FILE

TIME, day	XR, cm	Z, cm	H, cm	P, cm	THETA	SAT
5,80E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,44E+01	-1,42E+01	1,62E-01	4,05E-01
6,00E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,44E+01	-1,42E+01	1,62E-01	4,05E-01
6,20E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,39E+01	-1,37E+01	1,65E-01	4,11E-01
6,40E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,38E+01	-1,36E+01	1,65E-01	4,13E-01
6,60E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,37E+01	-1,35E+01	1,66E-01	4,14E-01
6,80E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,37E+01	-1,35E+01	1,66E-01	4,15E-01
7,00E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,37E+01	-1,34E+01	1,66E-01	4,15E-01
7,20E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,36E+01	-1,33E+01	1,67E-01	4,16E-01
7,40E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,35E+01	-1,33E+01	1,67E-01	4,17E-01
7,60E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,35E+01	-1,33E+01	1,67E-01	4,17E-01
7,80E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,35E+01	-1,32E+01	1,67E-01	4,18E-01
8,00E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,35E+01	-1,32E+01	1,67E-01	4,18E-01
8,20E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,36E+01	-1,33E+01	1,66E-01	4,16E-01
8,40E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,36E+01	-1,34E+01	1,66E-01	4,16E-01
8,60E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,36E+01	-1,34E+01	1,66E-01	4,16E-01
8,80E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,36E+01	-1,34E+01	1,66E-01	4,16E-01
9,00E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,36E+01	-1,34E+01	1,66E-01	4,16E-01
9,20E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,38E+01	-1,35E+01	1,65E-01	4,13E-01
9,40E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,39E+01	-1,36E+01	1,65E-01	4,13E-01
9,60E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,39E+01	-1,36E+01	1,65E-01	4,12E-01
9,80E+00	1,76E+02	2,50E-01	-1,39E+01	-1,36E+01	1,65E-01	4,12E-01
1,00E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,37E+01	-1,37E+01	1,65E-01	4,12E-01
1,02E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,37E+01	-1,35E+01	1,66E-01	4,14E-01
1,04E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,37E+01	-1,34E+01	1,66E-01	4,15E-01
1,06E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,37E+01	-1,34E+01	1,66E-01	4,15E-01
1,08E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,37E+01	-1,34E+01	1,66E-01	4,15E-01
1,10E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,37E+01	-1,34E+01	1,66E-01	4,15E-01
1,12E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,44E+01	-1,42E+01	1,62E-01	4,05E-01
1,14E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,47E+01	-1,44E+01	1,61E-01	4,02E-01
						0,00E+00
						0,00E+00
						1,64E-06
						2,68E-06
						3,35E-06
						3,88E-06
						4,36E-06
						4,78E-06
						5,13E-06
						5,41E-06
						5,66E-06
						5,88E-06
						6,10E-06
						6,30E-06
						6,46E-06
						6,63E-06
						6,79E-06
						6,91E-06
						7,02E-06
						7,13E-06
						7,24E-06
						7,34E-06
						7,44E-06
						7,54E-06
						7,64E-06
						7,73E-06
						7,81E-06
						6,62E-06
						5,72E-06

Point d'observation dans la modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Modélisation de la Colonne 4

MONITORING POINT FILE

TIME, day	XR, cm	Z, cm	H, cm	P, cm	THETA	SAT
1,16E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,48E+01	-1,46E+01	1,60E-01	4,01E-01
1,18E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,49E+01	-1,46E+01	1,60E-01	4,00E-01
1,20E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,49E+01	-1,47E+01	1,60E-01	3,99E-01
1,22E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,50E+01	-1,47E+01	1,59E-01	3,99E-01
1,24E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,50E+01	-1,47E+01	1,59E-01	3,98E-01
1,26E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,50E+01	-1,48E+01	1,59E-01	3,98E-01
1,28E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,50E+01	-1,48E+01	1,59E-01	3,98E-01
1,30E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,50E+01	-1,48E+01	1,59E-01	3,98E-01
1,32E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,47E+01	-1,44E+01	1,61E-01	4,02E-01
1,34E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,46E+01	-1,43E+01	1,61E-01	4,03E-01
1,36E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,45E+01	-1,43E+01	1,62E-01	4,04E-01
1,38E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,45E+01	-1,43E+01	1,62E-01	4,04E-01
1,40E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,45E+01	-1,42E+01	1,62E-01	4,04E-01
1,42E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,46E+01	-1,44E+01	1,62E-01	4,03E-01
1,44E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,47E+01	-1,44E+01	1,61E-01	4,02E-01
1,46E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,47E+01	-1,44E+01	1,61E-01	4,02E-01
1,48E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,47E+01	-1,44E+01	1,61E-01	4,02E-01
1,50E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,47E+01	-1,44E+01	1,61E-01	4,02E-01
1,52E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,44E+01	-1,41E+01	1,62E-01	4,06E-01
1,54E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,43E+01	-1,40E+01	1,63E-01	4,07E-01
1,56E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,42E+01	-1,40E+01	1,63E-01	4,08E-01
1,58E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,42E+01	-1,39E+01	1,63E-01	4,08E-01
1,60E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,42E+01	-1,39E+01	1,63E-01	4,09E-01
1,62E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,43E+01	-1,41E+01	1,63E-01	4,06E-01
1,64E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,44E+01	-1,41E+01	1,62E-01	4,06E-01
1,66E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,44E+01	-1,42E+01	1,62E-01	4,05E-01
1,68E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,44E+01	-1,42E+01	1,62E-01	4,05E-01
1,70E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,44E+01	-1,42E+01	1,62E-01	4,05E-01
1,72E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,37E+01	-1,34E+01	1,66E-01	4,15E-01
						5,08E-06
						4,64E-06
						4,25E-06
						3,96E-06
						3,67E-06
						3,43E-06
						3,22E-06
						3,03E-06
						2,83E-06
						2,68E-06
						2,53E-06
						2,39E-06
						2,26E-06
						2,16E-06
						2,05E-06
						1,97E-06
						1,88E-06
						1,81E-06
						3,12E-06
						4,00E-06
						4,70E-06
						5,21E-06
						5,62E-06
						4,56E-06
						3,89E-06
						3,42E-06
						3,08E-06
						2,78E-06
						4,07E-06

Point d'observation dans la modélisation du tranport du HMX dans la Colonne 4

Modélisation de la Colonne 4

MONITORING POINT FILE

TIME, day	XR, cm	Z, cm	H _i , cm	P, cm	THETA	SAT
1,74E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,35E+01	-1,32E+01	1,67E-01	4,18E-01
1,76E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,34E+01	-1,31E+01	1,68E-01	4,19E-01
1,78E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,33E+01	-1,31E+01	1,68E-01	4,20E-01
1,80E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,33E+01	-1,30E+01	1,68E-01	4,20E-01
1,82E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,38E+01	-1,36E+01	1,65E-01	4,13E-01
1,84E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,39E+01	-1,37E+01	1,65E-01	4,11E-01
1,86E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,40E+01	-1,38E+01	1,64E-01	4,10E-01
1,88E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,41E+01	-1,38E+01	1,64E-01	4,10E-01
1,90E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,41E+01	-1,38E+01	1,64E-01	4,10E-01
1,92E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,46E+01	-1,43E+01	1,61E-01	4,03E-01
1,94E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,48E+01	-1,45E+01	1,60E-01	4,01E-01
1,96E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,49E+01	-1,46E+01	1,60E-01	4,00E-01
1,98E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,49E+01	-1,47E+01	1,60E-01	3,99E-01
2,00E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,50E+01	-1,47E+01	1,60E-01	3,99E-01
2,02E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,46E+01	-1,44E+01	1,61E-01	4,03E-01
2,04E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,45E+01	-1,43E+01	1,62E-01	4,04E-01
2,06E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,45E+01	-1,43E+01	1,62E-01	4,04E-01
2,08E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,45E+01	-1,42E+01	1,62E-01	4,05E-01
2,10E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,45E+01	-1,42E+01	1,62E-01	4,05E-01
2,12E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,50E+01	-1,48E+01	1,59E-01	3,98E-01
2,14E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,52E+01	-1,49E+01	1,58E-01	3,96E-01
2,16E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,53E+01	-1,50E+01	1,58E-01	3,95E-01
2,18E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,54E+01	-1,51E+01	1,58E-01	3,94E-01
2,20E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,54E+01	-1,51E+01	1,58E-01	3,94E-01
2,22E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,45E+01	-1,42E+01	1,62E-01	4,05E-01
2,24E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,42E+01	-1,40E+01	1,63E-01	4,08E-01
2,26E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,41E+01	-1,39E+01	1,64E-01	4,09E-01
2,28E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,40E+01	-1,38E+01	1,64E-01	4,10E-01
2,30E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,40E+01	-1,38E+01	1,64E-01	4,11E-01
						4,89E-06
						5,47E-06
						5,95E-06
						6,31E-06
						6,55E-06
						6,76E-06
						6,94E-06
						7,11E-06
						7,24E-06
						5,98E-06
						5,17E-06
						4,66E-06
						4,21E-06
						3,90E-06
						3,60E-06
						3,32E-06
						3,11E-06
						2,91E-06
						2,73E-06
						2,62E-06
						2,51E-06
						2,41E-06
						2,30E-06
						2,21E-06
						4,00E-06
						5,11E-06
						5,88E-06
						6,46E-06
						6,87E-06

Point d'observation dans la modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Modélisation de la Colonne 4

MONITORING POINT FILE

TIME, day	XR, cm	Z, cm	H, cm	P, cm	THETA	SAT
2,32E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,44E+01	-1,42E+01	1,62E-01	4,05E-01
2,34E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,45E+01	-1,43E+01	1,62E-01	4,04E-01
2,36E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,46E+01	-1,43E+01	1,61E-01	4,03E-01
2,38E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,46E+01	-1,44E+01	1,61E-01	4,03E-01
2,40E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,46E+01	-1,44E+01	1,61E-01	4,03E-01
2,42E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,40E+01	-1,38E+01	1,64E-01	4,10E-01
2,44E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,39E+01	-1,36E+01	1,65E-01	4,13E-01
2,46E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,38E+01	-1,35E+01	1,66E-01	4,14E-01
2,48E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,37E+01	-1,35E+01	1,66E-01	4,14E-01
2,50E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,37E+01	-1,34E+01	1,66E-01	4,15E-01
2,52E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,54E+01	-1,51E+01	1,58E-01	3,94E-01
2,54E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,60E+01	-1,58E+01	1,55E-01	3,87E-01
2,56E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,64E+01	-1,62E+01	1,53E-01	3,83E-01
2,58E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,67E+01	-1,64E+01	1,52E-01	3,80E-01
2,60E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,69E+01	-1,66E+01	1,51E-01	3,78E-01
2,62E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,74E+01	-1,71E+01	1,49E-01	3,73E-01
2,64E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,78E+01	-1,75E+01	1,48E-01	3,70E-01
2,66E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,80E+01	-1,78E+01	1,47E-01	3,67E-01
2,68E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,82E+01	-1,79E+01	1,46E-01	3,66E-01
2,70E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,83E+01	-1,81E+01	1,46E-01	3,65E-01
2,72E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,57E+01	-1,54E+01	1,56E-01	3,91E-01
2,74E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,50E+01	-1,47E+01	1,59E-01	3,99E-01
2,76E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,47E+01	-1,44E+01	1,61E-01	4,02E-01
2,78E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,45E+01	-1,42E+01	1,62E-01	4,05E-01
2,80E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,44E+01	-1,41E+01	1,62E-01	4,06E-01
2,82E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,80E+01	-1,77E+01	1,47E-01	3,68E-01
2,84E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,99E+01	-1,96E+01	1,41E-01	3,52E-01
2,86E+01	1,76E+02	2,50E-01	-2,12E+01	-2,10E+01	1,37E-01	3,42E-01
2,88E+01	1,76E+02	2,50E-01	-2,24E+01	-2,21E+01	1,34E-01	3,34E-01
						5,47E-06
						4,62E-06
						4,11E-06
						3,72E-06
						3,42E-06
						4,72E-06
						5,50E-06
						5,97E-06
						6,33E-06
						6,65E-06
						5,71E-06
						5,09E-06
						4,64E-06
						4,29E-06
						4,04E-06
						3,88E-06
						3,72E-06
						3,58E-06
						3,44E-06
						3,33E-06
						5,47E-06
						6,64E-06
						7,56E-06
						8,24E-06
						8,77E-06
						8,50E-06
						8,39E-06
						8,31E-06
						8,25E-06

Point d'observation dans la modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Modélisation de la Colonne 4

MONITORING POINT FILE

TIME, day	XR, cm	Z, cm	H, cm	P, cm	THETA	SAT
2,90E+01	1,76E+02	2,50E-01	-2,33E+01	-2,31E+01	1,31E-01	3,28E-01
2,92E+01	1,76E+02	2,50E-01	-2,41E+01	-2,39E+01	1,29E-01	3,23E-01
2,94E+01	1,76E+02	2,50E-01	-2,49E+01	-2,47E+01	1,28E-01	3,19E-01
2,96E+01	1,76E+02	2,50E-01	-2,56E+01	-2,53E+01	1,26E-01	3,15E-01
2,98E+01	1,76E+02	2,50E-01	-2,62E+01	-2,60E+01	1,25E-01	3,12E-01
3,00E+01	1,76E+02	2,50E-01	-2,68E+01	-2,66E+01	1,24E-01	3,09E-01
3,02E+01	1,76E+02	2,50E-01	-2,74E+01	-2,71E+01	1,23E-01	3,06E-01
3,04E+01	1,76E+02	2,50E-01	-2,79E+01	-2,77E+01	1,22E-01	3,04E-01
3,06E+01	1,76E+02	2,50E-01	-2,84E+01	-2,82E+01	1,21E-01	3,01E-01
3,08E+01	1,76E+02	2,50E-01	-2,89E+01	-2,86E+01	1,20E-01	2,99E-01
3,10E+01	1,76E+02	2,50E-01	-2,93E+01	-2,91E+01	1,19E-01	2,97E-01
3,12E+01	1,76E+02	2,50E-01	-2,98E+01	-2,95E+01	1,18E-01	2,96E-01
3,14E+01	1,76E+02	2,50E-01	-3,02E+01	-2,99E+01	1,18E-01	2,94E-01
3,16E+01	1,76E+02	2,50E-01	-3,06E+01	-3,03E+01	1,17E-01	2,92E-01
3,18E+01	1,76E+02	2,50E-01	-3,10E+01	-3,07E+01	1,16E-01	2,91E-01
3,20E+01	1,76E+02	2,50E-01	-3,13E+01	-3,11E+01	1,16E-01	2,89E-01
3,22E+01	1,76E+02	2,50E-01	-3,17E+01	-3,14E+01	1,15E-01	2,88E-01
3,24E+01	1,76E+02	2,50E-01	-3,20E+01	-3,18E+01	1,15E-01	2,87E-01
3,26E+01	1,76E+02	2,50E-01	-3,23E+01	-3,21E+01	1,14E-01	2,85E-01
3,28E+01	1,76E+02	2,50E-01	-3,27E+01	-3,24E+01	1,14E-01	2,84E-01
3,30E+01	1,76E+02	2,50E-01	-3,30E+01	-3,27E+01	1,13E-01	2,83E-01
3,32E+01	1,76E+02	2,50E-01	-3,33E+01	-3,30E+01	1,13E-01	2,82E-01
3,34E+01	1,76E+02	2,50E-01	-3,36E+01	-3,33E+01	1,12E-01	2,81E-01
3,36E+01	1,76E+02	2,50E-01	-3,39E+01	-3,36E+01	1,12E-01	2,80E-01
3,38E+01	1,76E+02	2,50E-01	-3,42E+01	-3,39E+01	1,12E-01	2,79E-01
3,40E+01	1,76E+02	2,50E-01	-3,44E+01	-3,42E+01	1,11E-01	2,78E-01
3,42E+01	1,76E+02	2,50E-01	-3,47E+01	-3,44E+01	1,11E-01	2,77E-01
3,44E+01	1,76E+02	2,50E-01	-3,50E+01	-3,47E+01	1,11E-01	2,76E-01
3,46E+01	1,76E+02	2,50E-01	-3,52E+01	-3,50E+01	1,10E-01	2,76E-01
						8,21E-06
						8,17E-06
						8,14E-06
						8,11E-06
						8,09E-06
						8,07E-06
						8,05E-06
						8,03E-06
						8,02E-06
						8,00E-06
						7,99E-06
						7,97E-06
						7,96E-06
						7,95E-06
						7,94E-06
						7,93E-06
						7,92E-06
						7,91E-06
						7,90E-06
						7,90E-06
						7,89E-06
						7,88E-06
						7,87E-06
						7,87E-06
						7,86E-06
						7,85E-06
						7,85E-06
						7,84E-06
						7,84E-06

Point d'observation dans la modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Modélisation de la Colonne 4

MONITORING POINT FILE

TIME, day	XR, cm	Z, cm	H, cm	P, cm	THETA	SAT
4,06E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,08E+01	-4,06E+01	1,04E-01	2,59E-01
4,08E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,10E+01	-4,07E+01	1,04E-01	2,59E-01
4,10E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,11E+01	-4,08E+01	1,03E-01	2,59E-01
4,12E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,12E+01	-4,10E+01	1,03E-01	2,58E-01
4,14E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,14E+01	-4,11E+01	1,03E-01	2,58E-01
4,16E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,15E+01	-4,12E+01	1,03E-01	2,58E-01
4,18E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,16E+01	-4,14E+01	1,03E-01	2,57E-01
4,20E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,17E+01	-4,15E+01	1,03E-01	2,57E-01
4,22E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,19E+01	-4,16E+01	1,03E-01	2,57E-01
4,24E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,20E+01	-4,17E+01	1,03E-01	2,56E-01
4,26E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,21E+01	-4,19E+01	1,02E-01	2,56E-01
4,28E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,22E+01	-4,20E+01	1,02E-01	2,56E-01
4,30E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,23E+01	-4,21E+01	1,02E-01	2,55E-01
4,32E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,25E+01	-4,22E+01	1,02E-01	2,55E-01
4,34E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,26E+01	-4,23E+01	1,02E-01	2,55E-01
4,36E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,27E+01	-4,24E+01	1,02E-01	2,55E-01
4,38E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,28E+01	-4,25E+01	1,02E-01	2,54E-01
4,40E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,29E+01	-4,26E+01	1,02E-01	2,54E-01
4,42E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,30E+01	-4,27E+01	1,02E-01	2,54E-01
4,44E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,31E+01	-4,28E+01	1,01E-01	2,54E-01
4,46E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,32E+01	-4,29E+01	1,01E-01	2,53E-01
4,48E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,33E+01	-4,30E+01	1,01E-01	2,53E-01
4,50E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,34E+01	-4,31E+01	1,01E-01	2,53E-01
4,52E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,35E+01	-4,32E+01	1,01E-01	2,53E-01
4,54E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,36E+01	-4,33E+01	1,01E-01	2,53E-01
4,56E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,37E+01	-4,34E+01	1,01E-01	2,52E-01
4,58E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,38E+01	-4,35E+01	1,01E-01	2,52E-01
4,60E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,39E+01	-4,36E+01	1,01E-01	2,52E-01
4,62E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,40E+01	-4,37E+01	1,01E-01	2,52E-01

Point d'observation dans la modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Modélisation de la Colonne 4

MONITORING POINT FILE

TIME, day	XR, cm	Z, cm	H, cm	P, cm	THETA	SAT
4,64E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,40E+01	-4,38E+01	1,01E-01	2,51E-01
4,66E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,41E+01	-4,39E+01	1,01E-01	2,51E-01
4,68E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,42E+01	-4,40E+01	1,00E-01	2,51E-01
4,70E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,43E+01	-4,41E+01	1,00E-01	2,51E-01
4,72E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,44E+01	-4,41E+01	1,00E-01	2,51E-01
4,74E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,45E+01	-4,42E+01	1,00E-01	2,50E-01
4,76E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,45E+01	-4,43E+01	1,00E-01	2,50E-01
4,78E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,46E+01	-4,44E+01	1,00E-01	2,50E-01
4,80E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,47E+01	-4,45E+01	1,00E-01	2,50E-01
4,82E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,48E+01	-4,45E+01	9,99E-02	2,50E-01
4,84E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,49E+01	-4,46E+01	9,98E-02	2,50E-01
4,86E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,49E+01	-4,47E+01	9,98E-02	2,49E-01
4,88E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,50E+01	-4,48E+01	9,97E-02	2,49E-01
4,90E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,51E+01	-4,48E+01	9,96E-02	2,49E-01
4,92E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,51E+01	-4,49E+01	9,96E-02	2,49E-01
4,94E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,52E+01	-4,50E+01	9,95E-02	2,49E-01
4,96E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,53E+01	-4,50E+01	9,95E-02	2,49E-01
4,98E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,54E+01	-4,51E+01	9,94E-02	2,49E-01
5,00E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,54E+01	-4,52E+01	9,93E-02	2,48E-01
5,02E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,55E+01	-4,52E+01	9,93E-02	2,48E-01
5,04E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,55E+01	-4,53E+01	9,92E-02	2,48E-01
5,06E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,56E+01	-4,54E+01	9,92E-02	2,48E-01
5,08E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,57E+01	-4,54E+01	9,91E-02	2,48E-01
5,10E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,57E+01	-4,55E+01	9,91E-02	2,48E-01
5,12E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,58E+01	-4,55E+01	9,90E-02	2,48E-01
5,14E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,59E+01	-4,56E+01	9,90E-02	2,47E-01
5,16E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,59E+01	-4,57E+01	9,89E-02	2,47E-01
5,18E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,60E+01	-4,57E+01	9,89E-02	2,47E-01
5,20E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,60E+01	-4,58E+01	9,88E-02	2,47E-01

Point d'observation dans la modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Modélisation de la Colonne 4

MONITORING POINT FILE

TIME, day	XR, cm	Z, cm	H, cm	P, cm	THETA	SAT
5,22E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,61E+01	-4,58E+01	9,88E-02	2,47E-01
5,24E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,61E+01	-4,59E+01	9,87E-02	2,47E-01
5,26E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,62E+01	-4,59E+01	9,87E-02	2,47E-01
5,28E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,63E+01	-4,60E+01	9,86E-02	2,47E-01
5,30E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,63E+01	-4,61E+01	9,86E-02	2,46E-01
5,32E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,64E+01	-4,61E+01	9,85E-02	2,46E-01
5,34E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,64E+01	-4,62E+01	9,85E-02	2,46E-01
5,36E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,65E+01	-4,62E+01	9,84E-02	2,46E-01
5,38E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,65E+01	-4,63E+01	9,84E-02	2,46E-01
5,40E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,66E+01	-4,63E+01	9,84E-02	2,46E-01
5,42E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,66E+01	-4,64E+01	9,83E-02	2,46E-01
5,44E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,67E+01	-4,64E+01	9,83E-02	2,46E-01
5,46E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,67E+01	-4,65E+01	9,82E-02	2,46E-01
5,48E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,67E+01	-4,65E+01	9,82E-02	2,46E-01
5,50E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,68E+01	-4,65E+01	9,82E-02	2,45E-01
5,52E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,68E+01	-4,66E+01	9,81E-02	2,45E-01
5,54E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,69E+01	-4,66E+01	9,81E-02	2,45E-01
5,56E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,69E+01	-4,67E+01	9,80E-02	2,45E-01
5,58E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,70E+01	-4,67E+01	9,80E-02	2,45E-01
5,60E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,70E+01	-4,68E+01	9,80E-02	2,45E-01
5,62E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,71E+01	-4,68E+01	9,79E-02	2,45E-01
5,64E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,71E+01	-4,68E+01	9,79E-02	2,45E-01
5,66E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,71E+01	-4,69E+01	9,79E-02	2,45E-01
5,68E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,72E+01	-4,69E+01	9,78E-02	2,45E-01
5,70E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,72E+01	-4,70E+01	9,78E-02	2,45E-01
5,72E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,73E+01	-4,70E+01	9,78E-02	2,44E-01
5,74E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,73E+01	-4,70E+01	9,77E-02	2,44E-01
5,76E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,73E+01	-4,71E+01	9,77E-02	2,44E-01
5,78E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,74E+01	-4,71E+01	9,77E-02	2,44E-01

Point d'observation dans la modélisation du transport du HIMX dans la Colonne 4

Modélisation de la Colonne 4

MONITORING POINT FILE

TIME, day	XR, cm	Z, cm	H, cm	P, cm	THETA	SAT
5,80E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,74E+01	-4,72E+01	9,77E-02	2,44E-01
5,82E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,74E+01	-4,72E+01	9,76E-02	2,44E-01
5,84E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,75E+01	-4,72E+01	9,76E-02	2,44E-01
5,86E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,75E+01	-4,73E+01	9,76E-02	2,44E-01
5,88E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,75E+01	-4,73E+01	9,75E-02	2,44E-01
5,90E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,76E+01	-4,73E+01	9,75E-02	2,44E-01
5,92E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,76E+01	-4,74E+01	9,75E-02	2,44E-01
5,94E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,76E+01	-4,74E+01	9,74E-02	2,44E-01
5,96E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,77E+01	-4,74E+01	9,74E-02	2,44E-01
5,98E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,77E+01	-4,75E+01	9,74E-02	2,44E-01
6,00E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,77E+01	-4,75E+01	9,74E-02	2,43E-01
6,02E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,78E+01	-4,75E+01	9,74E-02	2,43E-01
6,04E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,78E+01	-4,75E+01	9,73E-02	2,43E-01
6,06E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,78E+01	-4,76E+01	9,73E-02	2,43E-01
6,08E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,79E+01	-4,76E+01	9,73E-02	2,43E-01
6,10E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,79E+01	-4,76E+01	9,73E-02	2,43E-01
6,12E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,79E+01	-4,77E+01	9,72E-02	2,43E-01
6,14E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,79E+01	-4,77E+01	9,72E-02	2,43E-01
6,16E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,80E+01	-4,77E+01	9,72E-02	2,43E-01
6,18E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,80E+01	-4,77E+01	9,72E-02	2,43E-01
6,20E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,80E+01	-4,78E+01	9,72E-02	2,43E-01
6,22E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,80E+01	-4,78E+01	9,71E-02	2,43E-01
6,24E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,81E+01	-4,78E+01	9,71E-02	2,43E-01
6,26E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,81E+01	-4,78E+01	9,71E-02	2,43E-01
6,28E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,81E+01	-4,79E+01	9,71E-02	2,43E-01
6,30E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,81E+01	-4,79E+01	9,71E-02	2,43E-01
6,32E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,82E+01	-4,79E+01	9,70E-02	2,43E-01
6,34E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,82E+01	-4,79E+01	9,70E-02	2,43E-01
6,36E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,82E+01	-4,80E+01	9,70E-02	2,43E-01

Point d'observation dans la modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Modélisation de la Colonne 4

MONITORING POINT FILE

TIME, day	XR, cm	Z, cm	H, cm	P, cm	THETA	SAT
6,38E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,82E+01	-4,80E+01	9,70E-02	2,42E-01
6,40E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,83E+01	-4,80E+01	9,70E-02	2,42E-01
6,42E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,83E+01	-4,80E+01	9,69E-02	2,42E-01
6,44E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,83E+01	-4,81E+01	9,69E-02	2,42E-01
6,46E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,83E+01	-4,81E+01	9,69E-02	2,42E-01
6,48E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,83E+01	-4,81E+01	9,69E-02	2,42E-01
6,50E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,84E+01	-4,81E+01	9,69E-02	2,42E-01
6,52E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,84E+01	-4,81E+01	9,69E-02	2,42E-01
6,54E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,84E+01	-4,82E+01	9,68E-02	2,42E-01
6,56E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,84E+01	-4,82E+01	9,68E-02	2,42E-01
6,58E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,85E+01	-4,82E+01	9,68E-02	2,42E-01
6,60E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,85E+01	-4,82E+01	9,68E-02	2,42E-01
6,62E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,85E+01	-4,82E+01	9,68E-02	2,42E-01
6,64E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,85E+01	-4,83E+01	9,68E-02	2,42E-01
6,66E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,85E+01	-4,83E+01	9,67E-02	2,42E-01
6,68E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,85E+01	-4,83E+01	9,67E-02	2,42E-01
6,70E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,86E+01	-4,83E+01	9,67E-02	2,42E-01
6,72E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,86E+01	-4,83E+01	9,67E-02	2,42E-01
6,74E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,86E+01	-4,84E+01	9,67E-02	2,42E-01
6,76E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,86E+01	-4,84E+01	9,67E-02	2,42E-01
6,78E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,87E+01	-4,84E+01	9,67E-02	2,42E-01
6,80E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,87E+01	-4,84E+01	9,66E-02	2,42E-01
6,82E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,87E+01	-4,84E+01	9,66E-02	2,42E-01
6,84E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,87E+01	-4,85E+01	9,66E-02	2,42E-01
6,86E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,87E+01	-4,85E+01	9,66E-02	2,42E-01
6,88E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,87E+01	-4,85E+01	9,66E-02	2,42E-01
6,90E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,87E+01	-4,85E+01	9,66E-02	2,42E-01
6,92E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,87E+01	-4,85E+01	9,66E-02	2,41E-01
6,94E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,88E+01	-4,85E+01	9,66E-02	2,41E-01

Point d'observation dans la modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Modélisation de la Colonne 4

MONITORING POINT FILE

TIME, day	XR, cm	Z, cm	H, cm	P, cm	THETA	SAT
6,96E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,88E+01	-4,85E+01	9,66E-02	2,41E-01
6,98E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,88E+01	-4,85E+01	9,65E-02	2,41E-01
7,00E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,88E+01	-4,86E+01	9,65E-02	2,41E-01
7,02E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,88E+01	-4,86E+01	9,65E-02	2,41E-01
7,04E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,88E+01	-4,86E+01	9,65E-02	2,41E-01
7,06E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,88E+01	-4,86E+01	9,65E-02	2,41E-01
7,08E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,89E+01	-4,86E+01	9,65E-02	2,41E-01
7,10E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,89E+01	-4,86E+01	9,65E-02	2,41E-01
7,12E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,89E+01	-4,87E+01	9,65E-02	2,41E-01
7,14E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,89E+01	-4,87E+01	9,64E-02	2,41E-01
7,16E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,89E+01	-4,87E+01	9,64E-02	2,41E-01
7,18E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,89E+01	-4,87E+01	9,64E-02	2,41E-01
7,20E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,89E+01	-4,87E+01	9,64E-02	2,41E-01
7,22E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,90E+01	-4,87E+01	9,64E-02	2,41E-01
7,24E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,90E+01	-4,87E+01	9,64E-02	2,41E-01
7,26E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,90E+01	-4,87E+01	9,64E-02	2,41E-01
7,28E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,90E+01	-4,87E+01	9,64E-02	2,41E-01
7,30E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,90E+01	-4,88E+01	9,64E-02	2,41E-01
7,32E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,90E+01	-4,88E+01	9,64E-02	2,41E-01
7,34E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,90E+01	-4,88E+01	9,64E-02	2,41E-01
7,36E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,90E+01	-4,88E+01	9,63E-02	2,41E-01
7,38E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,91E+01	-4,88E+01	9,63E-02	2,41E-01
7,40E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,91E+01	-4,88E+01	9,63E-02	2,41E-01
7,42E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,91E+01	-4,88E+01	9,63E-02	2,41E-01
7,44E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,91E+01	-4,88E+01	9,63E-02	2,41E-01
7,46E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,91E+01	-4,88E+01	9,63E-02	2,41E-01
7,48E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,91E+01	-4,88E+01	9,63E-02	2,41E-01
7,50E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,91E+01	-4,89E+01	9,63E-02	2,41E-01
7,52E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,91E+01	-4,89E+01	9,63E-02	2,41E-01

Point d'observation dans la modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Modélisation de la Colonne 4

MONITORING POINT FILE

TIME, day	XR, cm	Z, cm	H, cm	P, cm	THETA	SAT
7,54E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,91E+01	-4,89E+01	9,63E-02	2,41E-01
7,56E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,91E+01	-4,89E+01	9,63E-02	2,41E-01
7,58E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,91E+01	-4,89E+01	9,63E-02	2,41E-01
7,60E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,91E+01	-4,89E+01	9,63E-02	2,41E-01
7,62E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,92E+01	-4,89E+01	9,63E-02	2,41E-01
7,64E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,92E+01	-4,89E+01	9,62E-02	2,41E-01
7,66E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,92E+01	-4,89E+01	9,62E-02	2,41E-01
7,68E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,92E+01	-4,89E+01	9,62E-02	2,41E-01
7,70E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,92E+01	-4,89E+01	9,62E-02	2,41E-01
7,72E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,92E+01	-4,89E+01	9,62E-02	2,41E-01
7,74E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,92E+01	-4,90E+01	9,62E-02	2,41E-01
7,76E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,92E+01	-4,90E+01	9,62E-02	2,41E-01
7,78E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,92E+01	-4,90E+01	9,62E-02	2,41E-01
7,80E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,92E+01	-4,90E+01	9,62E-02	2,41E-01
7,82E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,92E+01	-4,90E+01	9,62E-02	2,41E-01
7,84E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,92E+01	-4,90E+01	9,62E-02	2,41E-01
7,86E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,93E+01	-4,90E+01	9,62E-02	2,40E-01
7,88E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,93E+01	-4,90E+01	9,62E-02	2,40E-01
7,90E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,93E+01	-4,90E+01	9,62E-02	2,40E-01
7,92E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,93E+01	-4,90E+01	9,62E-02	2,40E-01
7,94E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,93E+01	-4,90E+01	9,62E-02	2,40E-01
7,96E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,93E+01	-4,90E+01	9,62E-02	2,40E-01
7,98E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,93E+01	-4,90E+01	9,61E-02	2,40E-01
8,00E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,93E+01	-4,91E+01	9,61E-02	2,40E-01
8,02E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,93E+01	-4,91E+01	9,61E-02	2,40E-01
8,04E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,93E+01	-4,91E+01	9,61E-02	2,40E-01
8,06E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,93E+01	-4,91E+01	9,61E-02	2,40E-01
8,08E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,93E+01	-4,91E+01	9,61E-02	2,40E-01
8,10E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,93E+01	-4,91E+01	9,61E-02	2,40E-01

Point d'observation dans la modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Modélisation de la Colonne 4

MONITORING POINT FILE

TIME, day	XR, cm	Z, cm	H, cm	P, cm	THETA	SAT
8,12E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,93E+01	-4,91E+01	9,61E-02	2,40E-01
8,14E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,93E+01	-4,91E+01	9,61E-02	2,40E-01
8,16E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,94E+01	-4,91E+01	9,61E-02	2,40E-01
8,18E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,94E+01	-4,91E+01	9,61E-02	2,40E-01
8,20E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,94E+01	-4,91E+01	9,61E-02	2,40E-01
8,22E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,94E+01	-4,91E+01	9,61E-02	2,40E-01
8,24E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,94E+01	-4,91E+01	9,61E-02	2,40E-01
8,26E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,94E+01	-4,91E+01	9,61E-02	2,40E-01
8,28E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,94E+01	-4,91E+01	9,61E-02	2,40E-01
8,30E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,94E+01	-4,91E+01	9,61E-02	2,40E-01
8,32E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,94E+01	-4,92E+01	9,61E-02	2,40E-01
8,34E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,94E+01	-4,92E+01	9,61E-02	2,40E-01
8,36E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,94E+01	-4,92E+01	9,61E-02	2,40E-01
8,38E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,94E+01	-4,92E+01	9,61E-02	2,40E-01
8,40E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,94E+01	-4,92E+01	9,61E-02	2,40E-01
8,42E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,94E+01	-4,92E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,44E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,94E+01	-4,92E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,46E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,94E+01	-4,92E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,48E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,94E+01	-4,92E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,50E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,94E+01	-4,92E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,52E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,94E+01	-4,92E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,54E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,95E+01	-4,92E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,56E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,95E+01	-4,92E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,58E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,95E+01	-4,92E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,60E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,95E+01	-4,92E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,62E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,95E+01	-4,92E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,64E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,95E+01	-4,92E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,66E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,95E+01	-4,92E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,68E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,95E+01	-4,92E+01	9,60E-02	2,40E-01

Point d'observation dans la modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Modélisation de la Colonne 4

MONITORING POINT FILE

TIME, day	XR, cm	Z, cm	H, cm	P, cm	THETA	SAT
8,70E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,95E+01	-4,92E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,72E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,95E+01	-4,92E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,74E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,95E+01	-4,92E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,76E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,95E+01	-4,92E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,78E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,95E+01	-4,93E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,80E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,95E+01	-4,93E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,82E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,95E+01	-4,93E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,84E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,95E+01	-4,93E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,86E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,95E+01	-4,93E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,88E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,95E+01	-4,93E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,90E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,95E+01	-4,93E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,92E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,95E+01	-4,93E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,94E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,95E+01	-4,93E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,96E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,95E+01	-4,93E+01	9,60E-02	2,40E-01
8,98E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,95E+01	-4,93E+01	9,60E-02	2,40E-01
9,00E+01	1,76E+02	2,50E-01	-4,95E+01	-4,93E+01	9,60E-02	2,40E-01
9,02E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,43E+01	-1,40E+01	1,63E-01	4,07E-01
9,04E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,17E+01	-1,14E+01	1,78E-01	4,45E-01
9,06E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,08E+01	-1,06E+01	1,84E-01	4,60E-01
9,08E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,04E+01	-1,02E+01	1,87E-01	4,68E-01
9,10E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,03E+01	-1,00E+01	1,89E-01	4,71E-01
9,12E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,01E+01	-9,86E+00	1,90E-01	4,74E-01
9,14E+01	1,76E+02	2,50E-01	-9,99E+00	-9,74E+00	1,91E-01	4,77E-01
9,16E+01	1,76E+02	2,50E-01	-9,94E+00	-9,69E+00	1,91E-01	4,78E-01
9,18E+01	1,76E+02	2,50E-01	-9,91E+00	-9,66E+00	1,91E-01	4,79E-01
9,20E+01	1,76E+02	2,50E-01	-9,90E+00	-9,65E+00	1,92E-01	4,79E-01
9,22E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,07E+01	-1,05E+01	1,85E-01	4,62E-01
9,24E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,58E-01
9,26E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,57E-01

Point d'observation dans la modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Modélisation de la Colonne 4

MONITORING POINT FILE

TIME, day	XR, cm	Z, cm	H, cm	P, cm	THETA	SAT
9,28E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,08E+01	1,83E-01	4,57E-01
9,30E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,08E+01	1,83E-01	4,56E-01
9,32E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,06E+01	1,84E-01	4,60E-01
9,34E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,08E+01	-1,06E+01	1,84E-01	4,60E-01
9,36E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,08E+01	-1,06E+01	1,84E-01	4,61E-01
9,38E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,08E+01	-1,06E+01	1,84E-01	4,61E-01
9,40E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,08E+01	-1,06E+01	1,84E-01	4,61E-01
9,42E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,57E-01
9,44E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,08E+01	1,83E-01	4,57E-01
9,46E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,08E+01	1,83E-01	4,56E-01
9,48E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,08E+01	1,83E-01	4,56E-01
9,50E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,08E+01	1,83E-01	4,56E-01
9,52E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,14E+01	-1,11E+01	1,80E-01	4,51E-01
9,54E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,14E+01	-1,12E+01	1,80E-01	4,49E-01
9,56E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,15E+01	-1,12E+01	1,80E-01	4,49E-01
9,58E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,15E+01	-1,12E+01	1,80E-01	4,49E-01
9,60E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,15E+01	-1,12E+01	1,79E-01	4,49E-01
9,62E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,10E+01	1,81E-01	4,53E-01
9,64E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,09E+01	1,81E-01	4,54E-01
9,66E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,09E+01	1,82E-01	4,54E-01
9,68E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,09E+01	1,82E-01	4,54E-01
9,70E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,09E+01	1,82E-01	4,54E-01
9,72E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,09E+01	1,82E-01	4,53E-01
9,74E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,10E+01	1,81E-01	4,52E-01
9,76E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,13E+01	-1,10E+01	1,81E-01	4,52E-01
9,78E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,13E+01	-1,10E+01	1,81E-01	4,52E-01
9,80E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,13E+01	-1,10E+01	1,81E-01	4,52E-01
9,82E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,17E+01	-1,15E+01	1,78E-01	4,44E-01
9,84E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,19E+01	-1,16E+01	1,77E-01	4,42E-01
						1,91E-05
						1,71E-05
						1,53E-05
						1,38E-05
						1,25E-05
						1,14E-05
						1,05E-05
						9,68E-06
						9,01E-06
						8,41E-06
						7,79E-06
						7,23E-06
						9,84E-06
						1,13E-05
						1,23E-05
						1,28E-05
						1,33E-05
						1,36E-05
						1,39E-05
						1,41E-05
						1,43E-05
						1,44E-05
						1,45E-05
						1,46E-05
						1,47E-05
						1,47E-05
						1,48E-05
						1,42E-05
						1,39E-05

Point d'observation dans la modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Modélisation de la Colonne 4

MONITORING POINT FILE

TIME, day	XR, cm	Z, cm	H, cm	P, cm	THETA	SAT
9,86E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,19E+01	-1,17E+01	1,77E-01	4,41E-01
9,88E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,19E+01	-1,17E+01	1,76E-01	4,41E-01
9,90E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,19E+01	-1,17E+01	1,76E-01	4,41E-01
9,92E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,20E+01	-1,18E+01	1,76E-01	4,40E-01
9,94E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,20E+01	-1,18E+01	1,76E-01	4,39E-01
9,96E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,20E+01	-1,18E+01	1,76E-01	4,39E-01
9,98E+01	1,76E+02	2,50E-01	-1,21E+01	-1,18E+01	1,76E-01	4,39E-01
1,00E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,21E+01	-1,18E+01	1,76E-01	4,39E-01
1,002E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,17E+01	-1,15E+01	1,78E-01	4,45E-01
1,004E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,16E+01	-1,14E+01	1,78E-01	4,46E-01
1,006E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,16E+01	-1,14E+01	1,79E-01	4,46E-01
1,008E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,16E+01	-1,13E+01	1,79E-01	4,47E-01
1,010E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,16E+01	-1,13E+01	1,79E-01	4,47E-01
1,012E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,14E+01	-1,11E+01	1,80E-01	4,50E-01
1,014E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,13E+01	-1,11E+01	1,81E-01	4,51E-01
1,016E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,13E+01	-1,10E+01	1,81E-01	4,52E-01
1,018E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,13E+01	-1,10E+01	1,81E-01	4,52E-01
1,020E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,13E+01	-1,10E+01	1,81E-01	4,52E-01
1,022E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,09E+01	1,81E-01	4,54E-01
1,024E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,09E+01	1,82E-01	4,54E-01
1,026E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,09E+01	1,82E-01	4,54E-01
1,028E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,09E+01	1,82E-01	4,54E-01
1,030E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,09E+01	1,82E-01	4,54E-01
1,032E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,09E+01	1,82E-01	4,54E-01
1,034E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,09E+01	1,82E-01	4,54E-01
1,036E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,09E+01	1,82E-01	4,54E-01
1,038E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,09E+01	1,82E-01	4,54E-01
1,040E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,09E+01	1,82E-01	4,54E-01
1,042E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,08E+01	1,83E-01	4,57E-01

Point d'observation dans la modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Modélisation de la Colonne 4

MONITORING POINT FILE

TIME, day	XR, cm	Z, cm	H, cm	P, cm	THETA	SAT
1,044E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,57E-01
1,046E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,57E-01
1,048E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,57E-01
1,050E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,58E-01
1,052E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,11E+01	-1,09E+01	1,82E-01	4,55E-01
1,054E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,11E+01	-1,09E+01	1,82E-01	4,55E-01
1,056E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,09E+01	1,82E-01	4,54E-01
1,058E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,09E+01	1,82E-01	4,54E-01
1,060E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,09E+01	1,82E-01	4,54E-01
1,062E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,08E+01	1,83E-01	4,57E-01
1,064E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,57E-01
1,066E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,57E-01
1,068E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,57E-01
1,070E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,58E-01
1,072E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,08E+01	1,83E-01	4,57E-01
1,074E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,08E+01	1,83E-01	4,56E-01
1,076E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,08E+01	1,83E-01	4,56E-01
1,078E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,08E+01	1,83E-01	4,56E-01
1,080E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,08E+01	1,83E-01	4,56E-01
1,082E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,58E-01
1,084E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,59E-01
1,086E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,84E-01	4,59E-01
1,088E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,84E-01	4,59E-01
1,090E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,84E-01	4,59E-01
1,092E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,09E+01	1,82E-01	4,54E-01
1,094E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,10E+01	1,81E-01	4,53E-01
1,096E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,13E+01	-1,10E+01	1,81E-01	4,52E-01
1,098E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,13E+01	-1,10E+01	1,81E-01	4,52E-01
1,100E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,13E+01	-1,10E+01	1,81E-01	4,52E-01

Point d'observation dans la modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Modélisation de la Colonne 4

MONITORING POINT FILE

TIME, day	XR, cm	Z, cm	H, cm	P, cm	THETA	SAT
1,102E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,09E+01	1,82E-01	4,54E-01
1,104E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,09E+01	1,82E-01	4,54E-01
1,106E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,09E+01	1,82E-01	4,54E-01
1,108E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,09E+01	1,82E-01	4,54E-01
1,110E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,12E+01	-1,09E+01	1,82E-01	4,54E-01
1,112E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,58E-01
1,114E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,58E-01
1,116E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,59E-01
1,118E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,84E-01	4,59E-01
1,120E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,84E-01	4,59E-01
1,122E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,58E-01
1,124E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,58E-01
1,126E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,58E-01
1,128E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,58E-01
1,130E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,58E-01
1,132E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,08E+01	1,83E-01	4,57E-01
1,134E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,08E+01	1,83E-01	4,56E-01
1,136E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,08E+01	1,83E-01	4,56E-01
1,138E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,08E+01	1,83E-01	4,56E-01
1,140E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,08E+01	1,83E-01	4,56E-01
1,142E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,57E-01
1,144E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,57E-01
1,146E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,58E-01
1,148E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,58E-01
1,150E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,59E-01
1,152E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,59E-01
1,154E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,84E-01	4,59E-01
1,156E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,84E-01	4,59E-01
1,158E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,84E-01	4,59E-01

Point d'observation dans la modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Modélisation de la Colonne 4

MONITORING POINT FILE

TIME, day	XR, cm	Z, cm	H, cm	P, cm	THETA	SAT
1,160E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,84E-01	4,59E-01
1,162E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,58E-01
1,164E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,58E-01
1,166E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,58E-01
1,168E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,58E-01
1,170E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,10E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,58E-01
1,172E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,83E-01	4,59E-01
1,174E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,84E-01	4,59E-01
1,176E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,84E-01	4,59E-01
1,178E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,84E-01	4,59E-01
1,180E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,84E-01	4,59E-01
1,182E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,84E-01	4,59E-01
1,184E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,84E-01	4,59E-01
1,186E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,84E-01	4,59E-01
1,188E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,84E-01	4,59E-01
1,190E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,84E-01	4,59E-01
1,192E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,84E-01	4,59E-01
1,194E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,84E-01	4,59E-01
1,196E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,84E-01	4,59E-01
1,198E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,84E-01	4,59E-01
1,200E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,09E+01	-1,07E+01	1,84E-01	4,59E-01
1,202E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,19E+01	-1,17E+01	1,76E-01	4,41E-01
1,204E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,22E+01	-1,20E+01	1,74E-01	4,36E-01
1,206E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,24E+01	-1,21E+01	1,74E-01	4,34E-01
1,208E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,24E+01	-1,22E+01	1,73E-01	4,33E-01
1,210E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,25E+01	-1,22E+01	1,73E-01	4,32E-01
1,212E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,61E+01	-1,58E+01	1,54E-01	3,86E-01
1,214E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,81E+01	-1,79E+01	1,47E-01	3,66E-01
1,216E+02	1,76E+02	2,50E-01	-1,96E+01	-1,94E+01	1,42E-01	3,54E-01

Point d'observation dans la modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Modélisation de la Colonne 4

MONITORING POINT FILE

TIME, day	XR, cm	Z, cm	H, cm	P, cm	THETA	SAT
1,218E+02	1,76E+02	2,50E-01	-2,08E+01	-2,06E+01	1,38E-01	3,45E-01
1,220E+02	1,76E+02	2,50E-01	-2,19E+01	-2,16E+01	1,35E-01	3,37E-01
1,222E+02	1,76E+02	2,50E-01	-2,28E+01	-2,25E+01	1,33E-01	3,31E-01
1,224E+02	1,76E+02	2,50E-01	-2,36E+01	-2,34E+01	1,31E-01	3,26E-01
1,226E+02	1,76E+02	2,50E-01	-2,44E+01	-2,41E+01	1,29E-01	3,22E-01
1,228E+02	1,76E+02	2,50E-01	-2,51E+01	-2,48E+01	1,27E-01	3,18E-01
1,230E+02	1,76E+02	2,50E-01	-2,57E+01	-2,55E+01	1,26E-01	3,15E-01
1,232E+02	1,76E+02	2,50E-01	-2,63E+01	-2,61E+01	1,25E-01	3,12E-01
1,234E+02	1,76E+02	2,50E-01	-2,69E+01	-2,66E+01	1,24E-01	3,09E-01
1,236E+02	1,76E+02	2,50E-01	-2,74E+01	-2,72E+01	1,22E-01	3,06E-01
1,238E+02	1,76E+02	2,50E-01	-2,79E+01	-2,77E+01	1,22E-01	3,04E-01
1,240E+02	1,76E+02	2,50E-01	-2,84E+01	-2,81E+01	1,21E-01	3,02E-01
1,242E+02	1,76E+02	2,50E-01	-2,89E+01	-2,86E+01	1,20E-01	2,99E-01
1,244E+02	1,76E+02	2,50E-01	-2,93E+01	-2,90E+01	1,19E-01	2,98E-01
1,246E+02	1,76E+02	2,50E-01	-2,97E+01	-2,95E+01	1,18E-01	2,96E-01
1,248E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,01E+01	-2,99E+01	1,18E-01	2,94E-01
1,250E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,05E+01	-3,03E+01	1,17E-01	2,92E-01
1,252E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,09E+01	-3,06E+01	1,16E-01	2,91E-01
1,254E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,13E+01	-3,10E+01	1,16E-01	2,90E-01
1,256E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,16E+01	-3,14E+01	1,15E-01	2,88E-01
1,258E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,20E+01	-3,17E+01	1,15E-01	2,87E-01
1,260E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,23E+01	-3,20E+01	1,14E-01	2,86E-01
1,262E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,26E+01	-3,24E+01	1,14E-01	2,84E-01
1,264E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,29E+01	-3,27E+01	1,13E-01	2,83E-01
1,266E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,32E+01	-3,30E+01	1,13E-01	2,82E-01
1,268E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,35E+01	-3,33E+01	1,13E-01	2,81E-01
1,270E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,38E+01	-3,36E+01	1,12E-01	2,80E-01
1,272E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,41E+01	-3,38E+01	1,12E-01	2,79E-01
1,274E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,44E+01	-3,41E+01	1,11E-01	2,78E-01

Point d'observation dans la modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Modélisation de la Colonne 4

MONITORING POINT FILE

TIME, day	XR, cm	Z, cm	H, cm	P, cm	THETA	SAT
1,276E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,46E+01	-3,44E+01	1,11E-01	2,77E-01
1,278E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,49E+01	-3,46E+01	1,11E-01	2,77E-01
1,280E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,51E+01	-3,49E+01	1,10E-01	2,76E-01
1,282E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,54E+01	-3,51E+01	1,10E-01	2,75E-01
1,284E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,56E+01	-3,54E+01	1,10E-01	2,74E-01
1,286E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,59E+01	-3,56E+01	1,09E-01	2,73E-01
1,288E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,61E+01	-3,59E+01	1,09E-01	2,73E-01
1,290E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,63E+01	-3,61E+01	1,09E-01	2,72E-01
1,292E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,66E+01	-3,63E+01	1,09E-01	2,71E-01
1,294E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,68E+01	-3,65E+01	1,08E-01	2,71E-01
1,296E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,70E+01	-3,67E+01	1,08E-01	2,70E-01
1,298E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,72E+01	-3,69E+01	1,08E-01	2,69E-01
1,300E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,74E+01	-3,71E+01	1,08E-01	2,69E-01
1,302E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,76E+01	-3,73E+01	1,07E-01	2,68E-01
1,304E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,78E+01	-3,75E+01	1,07E-01	2,68E-01
1,306E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,80E+01	-3,77E+01	1,07E-01	2,67E-01
1,308E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,82E+01	-3,79E+01	1,07E-01	2,66E-01
1,310E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,84E+01	-3,81E+01	1,06E-01	2,66E-01
1,312E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,85E+01	-3,83E+01	1,06E-01	2,65E-01
1,314E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,87E+01	-3,85E+01	1,06E-01	2,65E-01
1,316E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,89E+01	-3,86E+01	1,06E-01	2,64E-01
1,318E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,91E+01	-3,88E+01	1,06E-01	2,64E-01
1,320E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,92E+01	-3,90E+01	1,05E-01	2,64E-01
1,322E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,94E+01	-3,92E+01	1,05E-01	2,63E-01
1,324E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,96E+01	-3,93E+01	1,05E-01	2,63E-01
1,326E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,97E+01	-3,95E+01	1,05E-01	2,62E-01
1,328E+02	1,76E+02	2,50E-01	-3,99E+01	-3,96E+01	1,05E-01	2,62E-01
1,330E+02	1,76E+02	2,50E-01	-4,00E+01	-3,98E+01	1,05E-01	2,61E-01
1,332E+02	1,76E+02	2,50E-01	-4,02E+01	-3,99E+01	1,04E-01	2,61E-01

Point d'observation dans la modélisation du transport du HMX dans la Colonne 4

Modélisation de la Colonne 4

MONITORING POINT FILE

TIME, day	XR, cm	Z, cm	H, cm	P, cm	THETA	SAT
1,334E+02	1,76E+02	2,50E-01	-4,03E+01	-4,01E+01	1,04E-01	2,61E-01
1,336E+02	1,76E+02	2,50E-01	-4,05E+01	-4,02E+01	1,04E-01	2,60E-01
1,338E+02	1,76E+02	2,50E-01	-4,06E+01	-4,04E+01	1,04E-01	2,60E-01
1,340E+02	1,76E+02	2,50E-01	-4,08E+01	-4,05E+01	1,04E-01	2,59E-01