

Évaluation environnementale et économique  
de la méthode du tiers inférieur  
pour l'entretien des fossés routiers



ENVIRONNEMENT



ÉTUDES ET RECHERCHES  
EN TRANSPORT



# **Évaluation environnementale et économique de la méthode du tiers inférieur pour l'entretien des fossés routiers**

## **ENVIRONNEMENT**

**Pascal Monast Robineau**

ÉTUDES ET RECHERCHES  
EN TRANSPORT



**ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE ET ÉCONOMIQUE  
DE LA MÉTHODE DU TIERS INFÉRIEUR  
POUR L'ENTRETIEN DES FOSSÉS ROUTIERS**

Pascal Monast Robineau  
Département de géomatique appliquée  
Faculté des lettres et sciences humaines  
Université de Sherbrooke

Réalisé pour le compte du ministère des Transports

Juin 2008

La présente étude a été réalisée à la demande du ministère des transports du Québec et a été financée par la Direction de la recherche et de l'environnement.

Les opinions exprimées dans le présent rapport n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement les positions du ministère des Transports du Québec.

L'auteure a présenté ce rapport en tant que mémoire pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M. Sc.) en géographie, Cheminement géographique physique.

### **Collaborateurs**

Directeurs de recherche

Léo Provencher, Université de Sherbrooke

Jean-Marie Dubois, Université de Sherbrooke

Membre du jury

Jean Gagné, ministère des Transports du Québec, Direction de l'Estrie

Dépôt légal

Bibliothèque nationale du Québec, 2008

ISBN 978-2-550-53404-4 (PDF)

Titre et sous-titre du rapport Évaluation environnementale et économique de la méthode du tiers inférieur pour l'entretien des fossés routiers		N° du rapport Transports Québec RTQ-08-03	
		Date de publication du rapport (Année – Mois) 2008-06	
Titre du projet de recherche Évaluation environnementale et économique de la méthode du tiers inférieur pour l'entretien des fossés routiers		N° du contrat (RRDD-AA-CCXX) 2520-04-RE01	N° de projet ou dossier R547.1
Responsable de recherche Jean-Marie Dubois		Date du début de la recherche 2005-04	Date de fin de la recherche 2007-06
Auteur(s) du rapport Pascal Monast Robineau			
Chargé de projet, direction Jean Gagné, direction de l'Estrie		Coût total de l'étude 66 020 \$	
Étude ou recherche réalisée par (nom et adresse de l'organisme) Département de géographie Université de Sherbrooke 2500, boul. de l'Université Sherbrooke (Québec) J1K 2R1		Étude ou recherche financée par (nom et adresse de l'organisme) <i>Préciser DRE ou autre direction du MTQ</i> Direction de la recherche et de l'environnement 930, chemin Sainte-Foy, 6 <sup>e</sup> étage Québec (Québec) G1S 4X9	
<p>Problématique</p> <p>Les observations de terrain suite à l'utilisation de la méthode du tiers inférieur pour l'entretien des fossés routiers semblent démontrer des gains environnementaux intéressants en ce qui concerne le contrôle de l'érosion et des sédiments. Toutefois, bien que la méthode du tiers inférieur soit devenue une norme gouvernementale en mai 2002, ses avantages environnementaux et économiques par rapport à la méthode traditionnelle n'ont jamais été validés, de sorte que le Ministère ne dispose d'aucune donnée à caractère quantitatif pour en justifier le choix et pour le promouvoir auprès des autres intervenants sur le territoire.</p>			
<p>Objectifs</p> <p>Valider les avantages environnementaux et économiques de la méthode du tiers inférieur afin de justifier son usage par le Ministère et le promouvoir auprès des autres intervenants sur le territoire, dans l'objectif ultime d'une action concertée et efficace pour la protection de la ressource hydrique. Subsidairement, vérifier l'efficacité de l'ajout de seuils en pierre pour améliorer la méthode du tiers inférieur.</p>			
<p>Méthodologie</p> <p>Aménagement et suivi sur une période de deux ans de douze sections de fossés routiers de 200 m de longueur chacune. Ces douze sections sont regroupées en quatre triplets comprenant chacun une section entretenue selon la méthode traditionnelle, une section selon la méthode du tiers inférieur et une section selon la méthode du tiers inférieur accompagnée de seuils en pierre. Chaque triplet correspond à une classe de pente moyenne spécifique, soit 3 %, 5 %, 7 % et 10 %. Le suivi comprend la mesure des matières en suspension (MES) et de la morphologie du fossé après chaque précipitation importante. Des données sont également recueillies quant au temps d'utilisation de la machinerie et du volume de déblais à disposer au cours de l'aménagement des sites.</p>			
<p>Résultats et recommandations</p> <p>Les résultats obtenus entre mai 2005 et novembre 2006 montrent que l'utilisation des méthodes du tiers inférieur et du tiers inférieur bonifiée entraîne une réduction de l'érosion de l'ordre de 60 à 94 %. Plus la pente est forte, plus la réduction est significative. On constate que des gains économiques sont aussi liés à l'utilisation de la méthode du tiers inférieur par rapport à la méthode traditionnelle, puisqu'on note dans le cas de la première une réduction de 40 % du temps requis pour nettoyer 200 m de fossé.</p>			
Mots-clés érosion, contrôle de l'érosion, fossés routiers, méthode d'entretien	Nombre de pages 210 pages	Nombre de références bibliographiques 10	Langue du document <input checked="" type="checkbox"/> Français <input type="checkbox"/> Anglais Autre (spécifier) :





## REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier la Direction de la recherche et de l'environnement ainsi que la Direction de l'Estrie du ministère des Transports du Québec (MTQ) qui ont financé conjointement le projet. Ensuite, je remercie les membres du comité de gestion du projet : Jean Gagné, Kathy Rouleau, Pierre Lambert, Pierre Bilodeau et Mark St-Cyr, du MTQ, ainsi que Jean-Claude Thibault, du Regroupement des associations pour la protection de l'environnement des lacs et des cours d'eau (RAPPEL), et Léo Provencher et Jean-Marie Dubois, tous deux de l'Université de Sherbrooke. Aussi, j'offre plus particulièrement mes remerciements à l'équipe du Centre de services de Sherbrooke du MTQ pour l'entretien des fossés.

Enfin, j'adresse un merci tout spécial à Jean Gagné, qui m'a proposé ce projet, ainsi qu'à Léo Provencher et Jean-Marie Dubois, sans qui je n'aurais pas pu réaliser un projet d'une telle ampleur.



## RÉSUMÉ

Le but du projet consiste à faire l'évaluation de l'érosion dans les fossés routiers nettoyés selon trois méthodes d'entretien : traditionnelle, du tiers inférieur et du tiers inférieur bonifiée. La méthode traditionnelle se fait par le reprofilage du fossé en éliminant la végétation du fond et des talus bordiers. La méthode du tiers inférieur consiste à n'enlever la végétation que dans le fond du fossé et sur le tiers inférieur des talus; cette méthode est devenue une norme au ministère des Transports du Québec en 2002 et elle est de plus en plus utilisée sur le plan provincial. La méthode du tiers inférieur bonifiée consiste à ajouter des seuils en pierres pour réduire la vitesse de l'eau.

L'évolution de l'érosion a été suivie dans douze sites en Estrie sur des versants de till et répartis en fonction de quatre catégories de pentes : 3, 5, 7 et 10 %. Ainsi, quatre groupes de trois sites de 200 m de longueur ayant la même pente ont été formés. Pour chaque groupe, des fossés ont été nettoyés selon les trois méthodes. Afin de permettre l'évaluation du volume de sédiments érodés dans chacun des sites, des mesures sur huit profils transversaux ont été réalisées.

Les résultats obtenus entre mai 2005 et novembre 2006 montrent que l'utilisation des méthodes du tiers inférieur et du tiers inférieur bonifiée entraîne une réduction de l'érosion de l'ordre de 60 à 94 %. Plus la pente est forte, plus la réduction est significative. Dans les sites où la pente est de 10 %, le volume de matériaux érodés passe de 207 m<sup>3</sup>, avec la méthode traditionnelle, à 13 m<sup>3</sup>, avec celle du tiers inférieur.

On constate que des gains économiques sont aussi liés à l'utilisation de la méthode du tiers inférieur par rapport à la méthode traditionnelle, puisqu'on note dans le cas de la première une réduction de 40 % du temps requis pour nettoyer 200 m de fossé. En ce qui concerne la quantité de déblais, la réduction est de l'ordre des deux tiers avec l'utilisation de la méthode du tiers inférieur.

Mots-clés : érosion, contrôle de l'érosion, fossés routiers, méthode d'entretien



## TABLE DES MATIÈRES

<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>11</b>
1.1. PROBLÉMATIQUE .....	11
1.2. HYPOTHÈSES.....	11
1.3. BUT ET OBJECTIFS .....	12
1.4. APPROCHE .....	12
<b>2. CARACTÉRISTIQUES DES MÉTHODES D'ENTRETIEN DES FOSSÉS.....</b>	<b>13</b>
2.1. MÉTHODE TRADITIONNELLE .....	13
2.2. MÉTHODE DU TIERS INFÉRIEUR.....	14
2.3. MÉTHODE DU TIERS INFÉRIEUR BONIFIÉE.....	14
<b>3. MÉTHODOLOGIE .....</b>	<b>17</b>
3.1. CRITÈRES DE SÉLECTION DES SITES.....	17
3.1.1. Routes du ministère des Transports.....	19
3.1.2. Zones d'intervention du ministère des Transports .....	19
3.1.3. Catégorie de formations meubles.....	19
3.1.4. Pente.....	21
3.1.5. Bassin de drainage .....	21
3.1.6. Occupation des terres.....	22
3.2. LOCALISATION DES FOSSÉS ET DES TRANSECTS .....	22
3.3. TECHNIQUES DE PRISE ET DE TRAITEMENT DES DONNÉES .....	23
3.3.1. Données d'érosion.....	23
3.3.2. Données économiques .....	28
3.4. DONNÉES AUXILIAIRES .....	29
3.5. CHRONOLOGIE DES INTERVENTIONS ET DES ÉVÉNEMENTS .....	30
<b>4. RÉSULTATS : CARACTÉRISTIQUES ET PRÉPARATION DES SITES SÉLECTIONNÉS.....</b>	<b>33</b>
4.1. SITE NO 1 : 5 % DE PENTE, MÉTHODE TRADITIONNELLE.....	37
4.2. SITE NO 2 : 5 % DE PENTE, MÉTHODE TRADITIONNELLE AVEC SEUILS .....	41
4.3. SITE NO 3 : 3 % DE PENTE, MÉTHODE DU TIERS INFÉRIEUR.....	44
4.4. SITE NO 4 : 7 % DE PENTE, MÉTHODE DU TIERS INFÉRIEUR BONIFIÉE .....	46
4.5. SITE NO 5 : 10 % DE PENTE, MÉTHODE DU TIERS INFÉRIEUR BONIFIÉE .....	50
4.6. SITE NO 6 : 5 % DE PENTE, MÉTHODE DU TIERS INFÉRIEUR.....	54
4.7. SITE NO 7 : 7 % DE PENTE, MÉTHODE TRADITIONNELLE.....	57
4.8. SITE NO 8 : 7 % DE PENTE, MÉTHODE DU TIERS INFÉRIEUR.....	59
4.9. SITE NO 9 : 10 % DE PENTE, MÉTHODE DU TIERS INFÉRIEUR.....	64
4.10. SITE NO 10 : 10 % DE PENTE, MÉTHODE TRADITIONNELLE.....	67
4.11. SITE NO 11 : 3 % DE PENTE, MÉTHODE TRADITIONNELLE .....	70
4.12. SITE NO 12 : 5 % DE PENTE, MÉTHODE DU TIERS INFÉRIEUR BONIFIÉE .....	74
4.13. SITE NO 13 : 3 % DE PENTE, MÉTHODE DU TIERS INFÉRIEUR BONIFIÉE .....	77
4.14. SITE NO 14 : 3 % DE PENTE, MÉTHODE DU TIERS INFÉRIEUR BONIFIÉE .....	80
4.15. INSTALLATION DE PANNEAUX.....	83
4.16. DONNÉES MÉTÉOROLOGIQUES .....	84
<b>5. RÉSULTATS : SUIVI DES SITES.....</b>	<b>87</b>
5.1. ÉVOLUTION DES SITES.....	87
5.1.1. Site n° 1 : 5 % de pente, méthode traditionnelle.....	87
5.1.2. Site no 2 : 5 % de pente, méthode traditionnelle avec seuils.....	90
5.1.3. Site no 3 : 3 % de pente, méthode du tiers inférieur.....	93

5.1.4. Site no 4 : 7 % de pente, méthode du tiers inférieur bonifiée.....	94
5.1.5. Site no 5 : 10 % de pente, méthode du tiers inférieur bonifiée.....	97
5.1.6. Site no 6 : 5 % de pente, méthode du tiers inférieur.....	99
5.1.7. Site no 7 : 7 % de pente, méthode traditionnelle.....	101
5.1.8. Site no 8 : 7 % de pente, méthode du tiers inférieur.....	108
5.1.9. Site no 9 : 10 % de pente, méthode du tiers inférieur.....	108
5.1.10. Site no 10 : 10 % de pente, méthode traditionnelle.....	111
5.1.11. Site no 11 : 3 % de pente, méthode traditionnelle.....	117
5.1.12. Site no 12 : 5 % de pente, méthode du tiers inférieur bonifiée.....	119
5.1.13. Site no 14 : 3 % de pente, méthode du tiers inférieur bonifiée.....	122
5.2. VOLUME BRUT DE MATÉRIAUX ÉRODÉS.....	124
5.3. DONNÉES ÉCONOMIQUES.....	125
5.3.1. Temps de nettoyage et nombre de chargements de camion.....	125
5.3.2. Installation des seuils.....	126
5.3.3. Réparation des sites.....	127
<b>6. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS.....</b>	<b>129</b>
6.1. PONDÉRATION DES RÉSULTATS.....	129
6.1.1. Site no 1 : 5 % de pente, méthode traditionnelle.....	129
6.1.2. Site no 2 : 5 % de pente, méthode traditionnelle avec seuils.....	130
6.1.3. Site no 3 : 3 % de pente, méthode du tiers inférieur.....	131
6.1.4. Site no 4 : 7 % de pente, méthode du tiers inférieur bonifiée.....	131
6.1.5. Site no 5 : 10 % de pente, méthode du tiers inférieur bonifiée.....	131
6.1.6. Site no 6 : 5 % de pente, méthode du tiers inférieur.....	131
6.1.7. Site no 7 : 7 % de pente, méthode traditionnelle.....	132
6.1.8. Site no 8 : 7 % de pente, méthode du tiers inférieur.....	132
6.1.9. Site no 9 : 10 % de pente, méthode du tiers inférieur.....	132
6.1.10. Site no 10 : 10 % de pente, méthode traditionnelle.....	132
6.1.11. Site no 11 : 3 % de pente, méthode traditionnelle.....	133
6.1.12. Site no 12 : 5 % de pente, méthode du tiers inférieur bonifiée.....	133
6.1.13. Site no 14 : 3 % de pente, méthode du tiers inférieur bonifiée.....	133
6.1.14. Volumes nets de matériaux érodés.....	133
6.2. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS EN FONCTION DE LA PENTE.....	135
6.3. REPRISE DE LA VÉGÉTATION.....	136
6.3.1. Fossés de 3 % de pente.....	136
6.3.2. Fossés de 5 % de pente.....	137
6.3.3. Fossés de 7 % de pente.....	138
6.3.4. Fossés de 10 % de pente.....	138
6.4. ÉQUIPEMENT ET MÉTHODES DE NETTOYAGE DES FOSSÉS.....	139
<b>7. CONCLUSION.....</b>	<b>141</b>
<b>8. RÉFÉRENCES.....</b>	<b>143</b>
<b>ANNEXE 1 : BASSINS DE SÉDIMENTATION.....</b>	<b>145</b>
<b>ANNEXE 2 : SUIVI PHOTOGRAPHIQUE DE L'ÉROSION ET DE LA VÉGÉTATION.....</b>	<b>157</b>
<b>ANNEXE 3 : ÉVOLUTION DES TRANSECTS.....</b>	<b>159</b>

## **1. INTRODUCTION**

### **1.1. Problématique**

L'entretien des fossés routiers est une tâche nécessaire pour faciliter l'écoulement de l'eau et ainsi assurer le drainage de la route. Le nettoyage peut engendrer des impacts environnementaux dont les effets participent à la dégradation des lacs et des cours d'eau par un apport important en sédiments. De nos jours, les eaux qui ruissellent dans un bassin versant sont déviées et elles traversent, pour une large part, ces fossés. Ainsi, la qualité des lacs et des cours d'eau est étroitement liée à la condition des fossés routiers.

En 1996, la Direction de l'Estrie du ministère des Transports du Québec (MTQ), à partir d'une proposition du Regroupement des associations pour la protection de l'environnement des lacs et des cours d'eau (RAPPEL), a adopté une nouvelle méthode d'entretien des fossés routiers, appelée la méthode du tiers inférieur (Ministère des Transports du Québec, 2004). Le but premier de cette méthode est d'atténuer l'impact environnemental des interventions d'entretien des fossés routiers. La méthode, qui a acquis le statut de norme (VII-1-1401) en mai 2002 en raison de ses résultats positifs, remplace la méthode traditionnelle utilisée auparavant (Ministère des Transports du Québec, 2003). Cette dernière consistait à rafraîchir le profil transversal du fossé dans sa totalité, ce qui provoquait une érosion importante après de fortes pluies. La méthode du tiers inférieur, qui laisse intacte la végétation sur les deux tiers supérieurs de la surface du fossé routier, a pour effet de diminuer l'érosion et donc l'apport de sédiments dans les cours d'eau ou les lacs situés en aval.

Aucune étude n'a été réalisée sur les gains environnementaux et économiques de la méthode du tiers inférieur. Le but du projet de recherche est donc de faire la validation environnementale et économique de l'utilisation de cette méthode pour l'entretien des fossés routiers. Avec la collaboration du ministère des Transports du Québec, les différentes méthodes d'entretien ont été testées sur les fossés du réseau routier supérieur de la région de l'Estrie.

En ce sens, le présent projet vise à faire la comparaison entre la méthode traditionnelle et la méthode du tiers inférieur afin de confirmer l'intérêt de la norme adoptée en 2002 et de préparer un argumentaire en vue de sa diffusion. De plus, le projet permet de faire l'évaluation d'une nouvelle approche : la méthode du tiers inférieur bonifiée avec des seuils en pierres.

### **1.2. Hypothèses**

Les hypothèses retenues sont les suivantes : 1) la méthode du tiers inférieur permettrait un gain environnemental par la réduction de l'érosion et la reprise de la végétation herbacée dans la portion nettoyée ainsi qu'un gain économique par une réduction des coûts d'exploitation; 2) les fossés nettoyés

à l'aide de la méthode du tiers inférieur bonifiée avec des seuils en pierres devraient être moins affectés par l'érosion.

### **1.3. But et objectifs**

Le but du projet consiste à évaluer l'efficacité environnementale et économique de la méthode du tiers inférieur en mesurant le volume de matériaux érodés dans les fossés récemment nettoyés. Les objectifs spécifiques du projet consistent à : 1) valider expérimentalement les gains environnementaux et économiques de la méthode du tiers inférieur par rapport à la méthode traditionnelle; 2) disposer d'un argumentaire validé et quantifié pour appuyer la promotion de la méthode du tiers inférieur à l'intérieur du ministère des Transports du Québec et auprès des autres intervenants sur le territoire; et 3) évaluer la nouvelle approche de la méthode de contrôle de l'érosion par l'utilisation de seuils en pierres.

### **1.4. Approche**

Le présent projet permet de faire un suivi environnemental de l'érosion dans les fossés nettoyés selon trois différentes méthodes d'entretien, soit la méthode traditionnelle, la méthode du tiers inférieur et la méthode du tiers inférieur bonifiée. L'étude repose sur la mesure du volume de matériaux érodés à l'intérieur de fossés expérimentaux où les caractéristiques biophysiques sont comparables. Afin de permettre l'extrapolation des résultats à une grande partie du territoire estrien, des critères de sélection ont été établis. Aussi, une évaluation visuelle selon photographies permet de suivre l'évolution de la reprise de la végétation sur la zone nettoyée en plus de l'érosion.

Ce projet de suivi environnemental dans les fossés routiers constitue une première dans le domaine et il permettra de faire la promotion de la meilleure méthode d'entretien auprès de nombreux intervenants sur le territoire. Il sera aussi possible de transposer la méthodologie de prise de données dans une nouvelle étude pour comparer les méthodes d'entretien des fossés routiers dans d'autres catégories de formations meubles et dans d'autres régions.

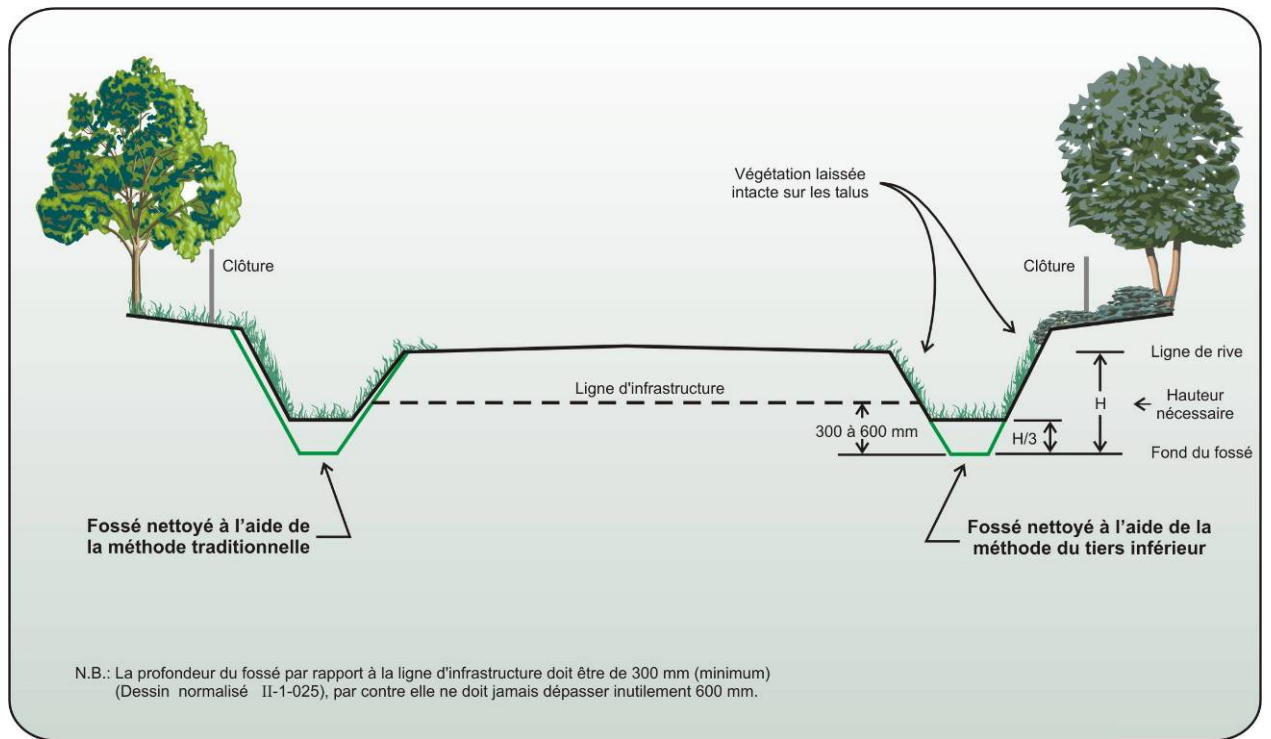


## 2. CARACTÉRISTIQUES DES MÉTHODES D'ENTRETIEN DES FOSSÉS

Trois méthodes d'entretien des fossés routiers ont été évaluées, soit la méthode traditionnelle, la méthode du tiers inférieur et la méthode du tiers inférieur bonifiée avec seuils. Comme mentionné précédemment, l'entretien des fossés du réseau routier est une tâche nécessaire qui se fait dans le but d'améliorer le drainage de la route par l'évacuation rapide de l'eau. Il s'agit donc de diminuer le plus possible l'érosion dans les fossés à la suite de cet entretien.

### 2.1. Méthode traditionnelle

La méthode traditionnelle consiste à refaire le profil transversal d'un fossé routier. Les deux talus ainsi que le fond du fossé sont mis à nu et, par conséquent, sont sujets à l'érosion (figure 1).



Modifié de Ministère des Transports du Québec (2004)

**Figure 1 : Méthodes d'entretien des fossés : traditionnelle et du tiers inférieur**

Afin de tenir compte des normes environnementales, des bermes filtrantes ont été installées en aval des fossés nettoyés à l'aide de la méthode traditionnelle pour retenir les sédiments (annexe 1).

## **2.2. Méthode du tiers inférieur**

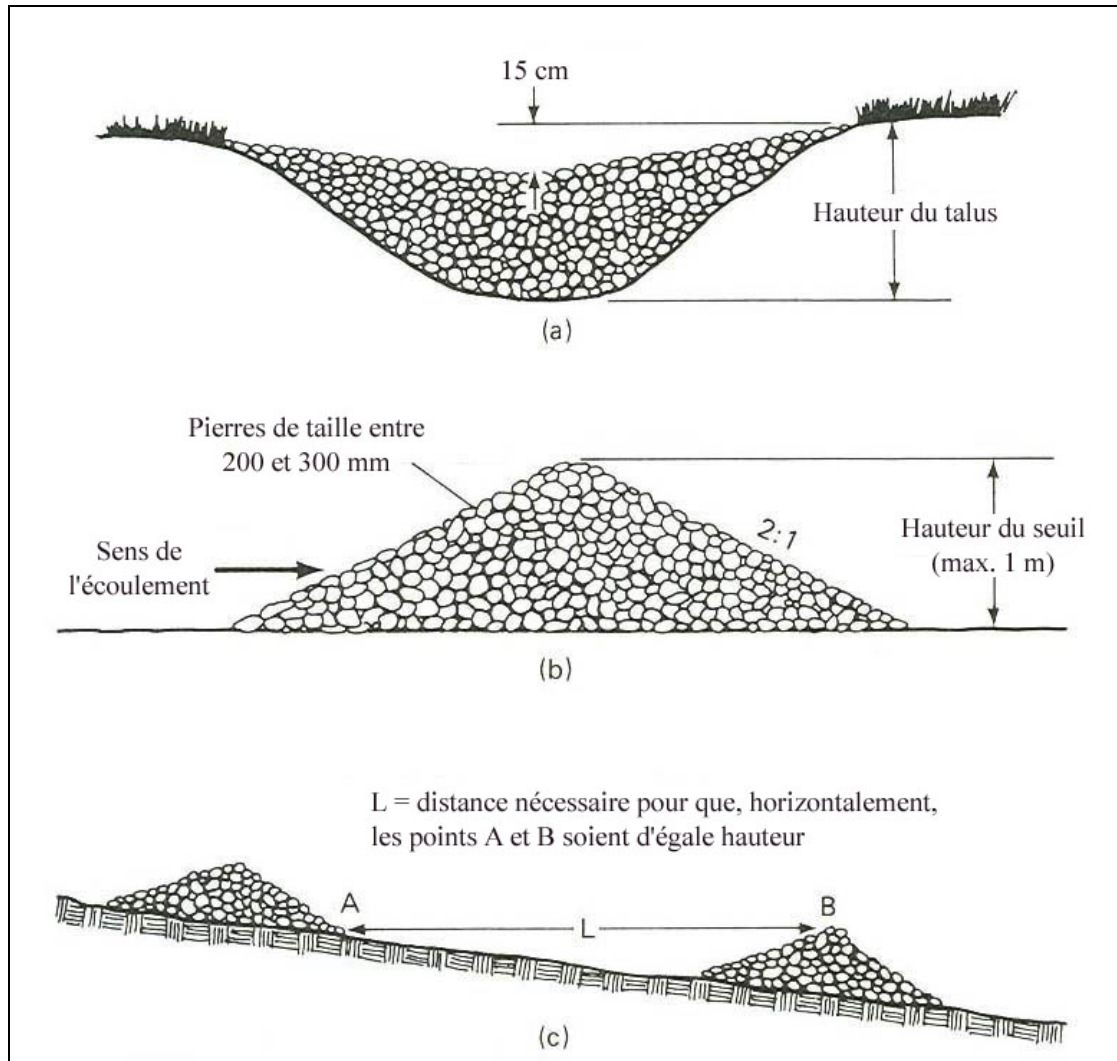
La méthode du tiers inférieur (figure 1) consiste à rafraîchir uniquement le tiers inférieur du fossé exigeant un entretien. La végétation en place est conservée sur les talus et le volume de matériaux enlevés dans le fossé est réduit. Pour procéder au nettoyage à l'aide de cette méthode, on doit utiliser une excavatrice de moindre taille que les excavatrices habituelles afin de s'assurer que le bras et le godet permettent de nettoyer seulement le tiers inférieur des fossés. Le rayon d'action étant plus faible, on peut plus facilement conserver la végétation sur le talus du côté opposé à la route.

L'excavatrice doit d'abord couper la végétation à la limite du tiers inférieur sur le talus du côté de la route. Elle nettoie ensuite le tiers inférieur en commençant par le talus du côté opposé à la route. On s'assure ainsi de respecter les limites du tiers inférieur et on évite d'arracher de grandes portions de végétation sur les talus.

## **2.3. Méthode du tiers inférieur bonifiée**

Une nouvelle approche est expérimentée : il s'agit de la méthode du tiers inférieur bonifiée avec des seuils en pierres. Cette méthode consiste à rafraîchir le fossé à l'aide de la méthode du tiers inférieur, en y ajoutant, en travers du fossé, des obstacles antiérosifs : les seuils. Ces seuils, formés de pierres, servent à diminuer la vitesse de l'eau afin de réduire l'érosion (figure 2). D'après Goldman et autres (1986), pour la mise en place des seuils, il est suggéré d'utiliser des pierres de taille moyenne variant de 100 à 200 mm (de 4 à 8 po). Cependant, afin d'éviter de créer des bassins de sédimentation en amont des seuils, la taille des pierres pour les seuils a donc été augmentée à une taille moyenne variant de 200 à 300 mm (de 8 à 12 po), ce qui permet de laisser passer les sédiments.

La hauteur des seuils est définie en fonction de la hauteur des talus du fossé (figure 2A). Ainsi, plus la hauteur des talus est importante, plus le seuil est de grande dimension, sans toutefois dépasser une hauteur maximale de 1 m au centre. Le centre du seuil doit être déprimé d'au moins 15 cm (6 po) pour éviter qu'il y ait érosion sur les talus advenant un débordement de l'eau au-dessus du seuil. Les pentes amont et aval du seuil doivent être équivalentes ou supérieures à la proportion 2 pour 1 (figure 2B). Enfin, la distance séparant les seuils (L) est fonction de la pente du fossé, puisque la crête du seuil aval (B) doit être à la hauteur de la base du seuil amont (A) afin d'éviter que l'érosion régressive ne puisse se produire à la base du seuil situé en amont (figure 2C).



Modifié de Goldman et autres (1986)

**Figure 2 : Seuils en pierres : a) vue en largeur; b) vue en travers; c) espacement entre les seuils**



### **3. MÉTHODOLOGIE**

Compte tenu du fait qu'aucune étude du genre n'avait été réalisée, une approche méthodologique d'évaluation de l'efficacité de la méthode du tiers inférieur a dû être mise au point. Pour ce faire, un comité de gestion de projet a été formé avec des membres du ministère des Transports à qui la méthodologie a été proposée (figure 3). À la suite de l'élaboration de la méthodologie de travail, on a sélectionné les sites d'étude à partir de paramètres qui influent sur l'érodibilité des fossés et choisi la méthode de prise de données pour l'estimation des matériaux érodés.

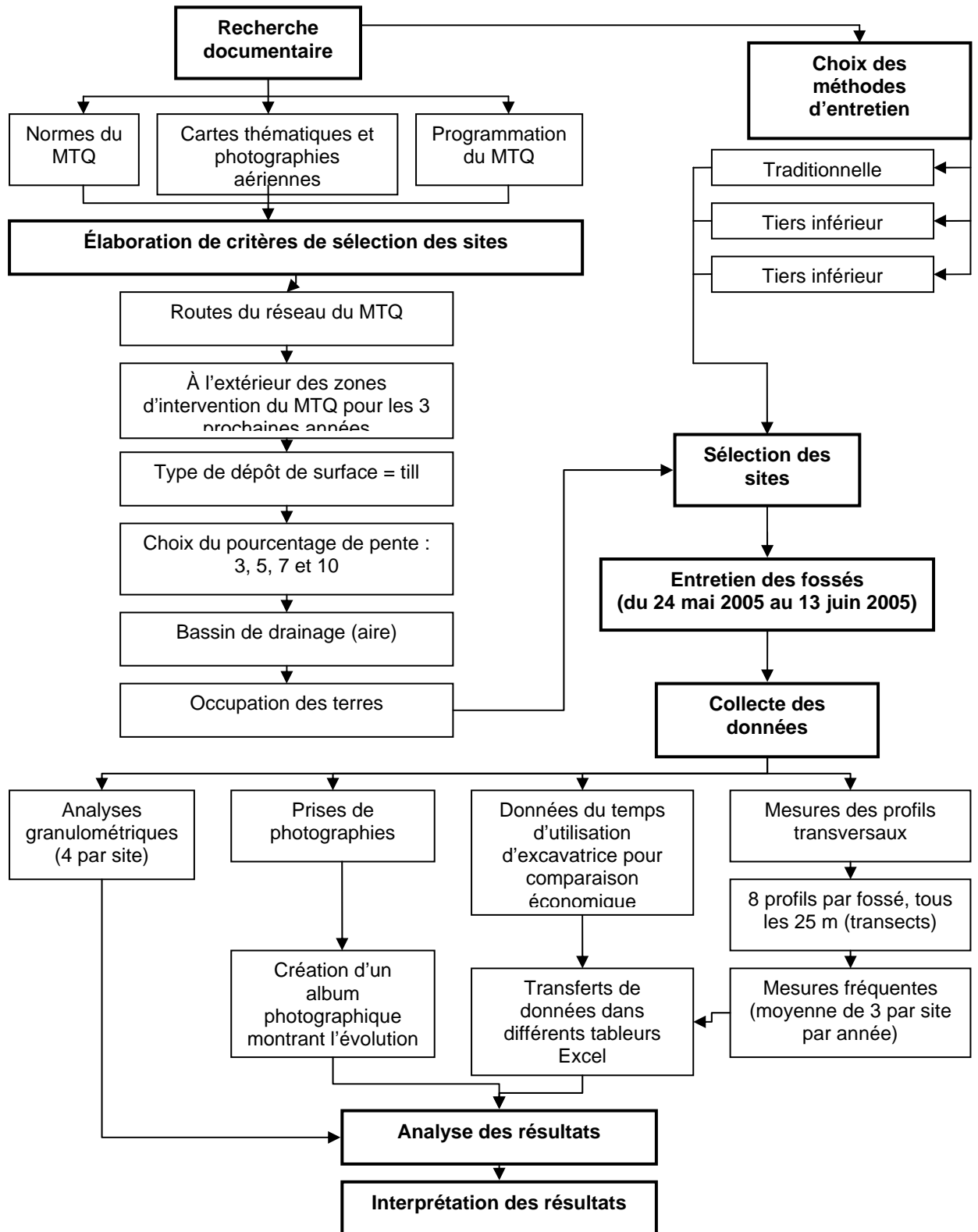
L'approche retenue est basée sur la mesure du volume de matériaux érodés à l'intérieur de portions de fossés de 200 m de longueur à partir de transects et sur une évaluation visuelle de la reprise de la végétation à partir de photographies.

#### **3.1. Critères de sélection des sites**

Pour la sélection des sites, il fallait garantir une similarité des paramètres entre ces derniers afin de pouvoir les comparer.

En s'assurant d'une similarité entre les sites, il sera plus facile par la suite de procéder à une analyse comparative en fonction des méthodes d'entretien des fossés routiers. Ces paramètres sont les routes du ministère des Transports, les zones d'intervention du Ministère, la catégorie de formation meuble, la pente, le bassin de drainage et l'occupation des terres.

Mais, avant de sélectionner les sites, on a choisi une région d'étude le plus près possible de l'Université de Sherbrooke, soit l'ouest de la MRC de Coaticook et l'est de la MRC de Memphrémagog.



### **3.1.1. Routes du ministère des Transports**

Des routes appartenant au ministère des Transports ont été sélectionnées pour faciliter la gestion du projet ainsi que la tâche du nettoyage des sites. Les routes composant le réseau routier supérieur appartenant au Ministère sont les artères principales reliant les municipalités.

### **3.1.2. Zones d'intervention du ministère des Transports**

Les sites sélectionnés ne devaient pas se trouver à l'intérieur de zones d'intervention du ministère des Transports. Il ne devait y avoir aucune prévision d'amélioration de ces sites ou d'asphaltage de la route pour les trois années suivant l'entretien des fossés. Ces contraintes ont été ciblées selon la programmation et de la planification des projets du MTQ.

### **3.1.3. Catégorie de formations meubles**

D'après B. Landry et M. Mercier (1992), le territoire canadien est couvert à plus de 75 % de dépôt glaciaire (till) en ce qui a trait aux formations meubles en surface. En examinant les cartes des formations meubles du Québec, on peut faire la même affirmation et, en répétant l'exercice en Estrie, ce pourcentage est certainement supérieur. En effet, dans la région à l'étude, le till couvre 82 % du territoire (figure 4). Dans le but de permettre une plus grande application des résultats de l'étude à l'ensemble du territoire estrien, les sites ont été sélectionnés d'après ce type de formations meubles selon les cartes disponibles (Service de la géoinformation, 1983; Service des inventaires forestiers, 1999).

Des échantillons de sédiments ont été recueillis dans les fossés à des endroits stratégiques pour s'assurer qu'ils correspondent à du till ou pour vérifier l'uniformité des formations meubles. Ainsi, quatre échantillons ont été récoltés, à 20 cm de profondeur, dans chacun des fossés avant leur nettoyage. Pour s'assurer de l'absence de disparité dans la texture entre l'amont et l'aval du fossé, deux échantillons ont été récoltés à 50 m de la limite amont et deux autres à 50 m de la limite aval du fossé. À chaque point d'échantillonnage, un échantillon a été prélevé dans le niveau supérieur du fossé, du côté opposé à la route, et un autre dans le fond du fossé (figure 5). L'échantillon prélevé dans le fond du fossé sert à vérifier si les sédiments qu'on y trouve correspondent à ceux du talus.

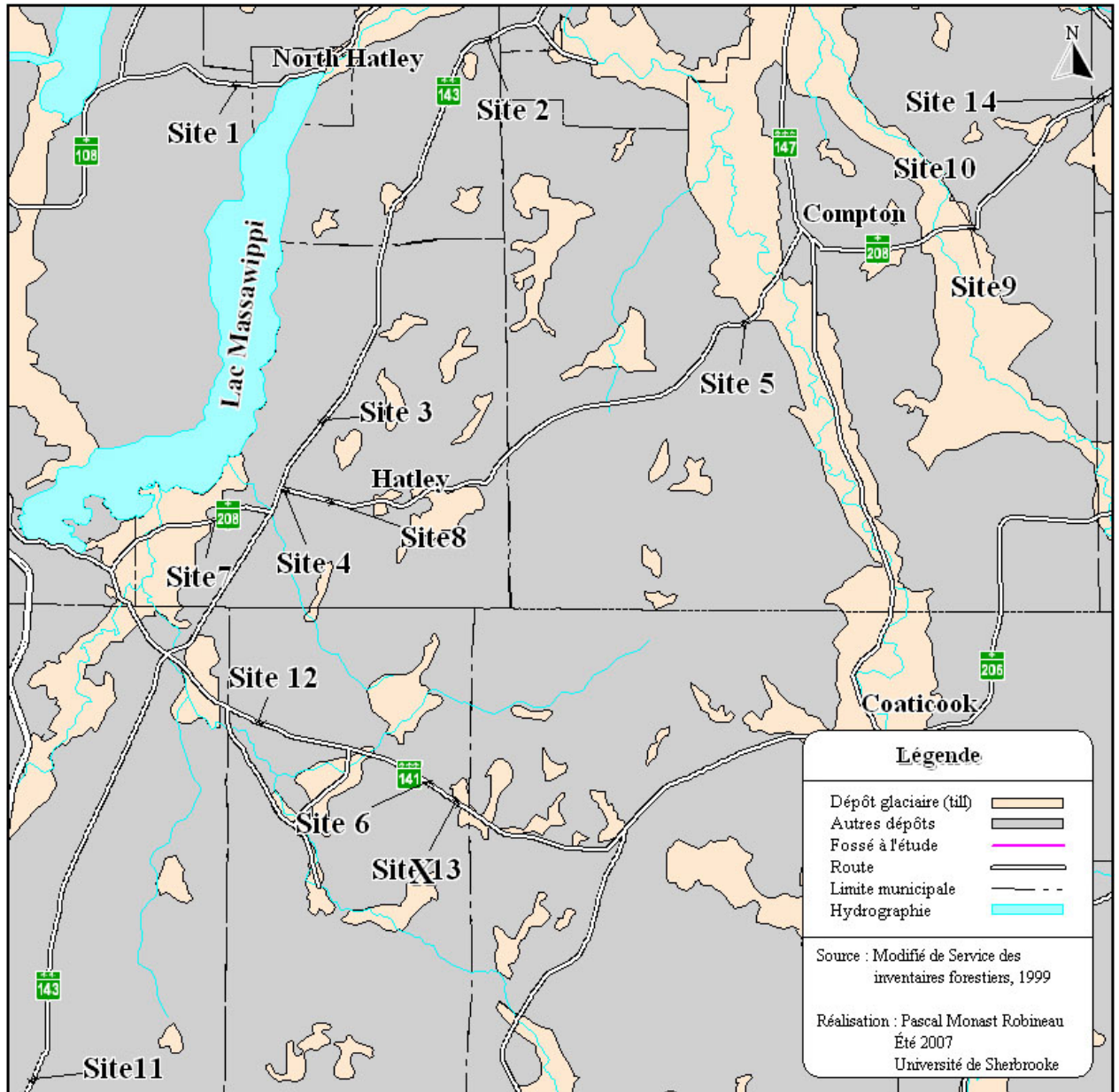


Figure 4 : Carte générale des formations meubles dans la région à l'étude

Des analyses granulométriques des échantillons de sédiments ont été réalisées en suivant la méthode traditionnelle avec tamis et mise en allonge (Lambert et Larocque, 2002) durant les hivers 2005 et 2006. Les résultats des analyses granulométriques sont présentés dans la section 4.





**Figure 5 : Points d'échantillonnage des formations meubles à l'intérieur des fossés**

#### **3.1.4. Pente**

La pente est le seul paramètre variable dans cette étude puisque l'érodibilité des surfaces varie différemment en fonction du pourcentage de pente. En effet, pour permettre une meilleure comparaison entre les trois méthodes d'entretien des fossés routiers, des pentes moyennes différentes ont été choisies.

On n'a pas choisi de fossé ayant une pente inférieure à 3 %, car la vitesse de l'eau y est plutôt faible et les processus d'érosion peu actifs, de sorte que les résultats auraient eu peu d'intérêt pour la présente étude.

Dans le but d'avoir une gamme suffisante de données comparatives, on a retenu quatre groupes de pentes moyennes, soit 3 %, 5 %, 7 % et 10 %. Ainsi, pour chacun des groupes, on a mis en place un site entretenu au moyen de la méthode traditionnelle, un au moyen de la méthode du tiers inférieur et un dernier, au moyen de la méthode du tiers inférieur avec seuils.

Il a pratiquement été impossible de sélectionner des sites possédant des pentes continues. En effet, dans la plupart des sites retenus, on trouve une faible rupture de pente, principalement située dans la partie amont des fossés sélectionnés. Par contre, les sites choisis affectés d'une rupture de pente possèdent une pente moyenne comparable à celle des autres sites d'un même groupe. Les ruptures de pente n'affectent pas significativement les sites, car le changement de pente ne dépasse jamais une distance de 30 m.

#### **3.1.5. Bassin de drainage**

Par bassin de drainage, on entend le bassin drainé par le fossé dont l'exutoire est la partie aval de chaque site sélectionné. Pour éviter d'avoir de trop grands

bassins de drainage, la plupart des sites ont été sélectionnés dans la partie amont des versants.

Les bassins ont été tracés par photointerprétation avec des photographies à l'échelle de 1 : 15 000, en s'aidant des courbes de niveau de la carte à 1 : 20 000 avec une équidistance de 10 m, et transposées sur les orthophotographies à l'échelle de 1 : 40 000. Une validation sur le terrain a ensuite été faite pour s'assurer du sens de l'écoulement par rapport à celui identifié par photointerprétation. La validation sur le terrain a aussi été utile pour déterminer le sens de l'écoulement à l'intérieur des fossés des routes municipales.

### **3.1.6. Occupation des terres**

L'occupation des terres à l'intérieur d'un bassin de drainage doit être connue pour effectuer la validation d'un site. En effet, la réponse à une précipitation sera différente en fonction de ce facteur. La vitesse à laquelle l'eau rejoindra un fossé sera plus rapide et la réponse plus spontanée si la parcelle de terre adjacente est complètement dénudée de végétation et ce sera le contraire si la parcelle est végétalisée, surtout s'il s'agit d'une forêt. Les sites ont donc été sélectionnés dans des zones agricoles pour que l'environnement de chacun des groupes de sites soit le plus similaire possible. Pour ne pas modifier les conditions d'écoulement dans un fossé des sites sélectionnés, l'apport additionnel d'eau provenant du drainage direct des terres agricoles devait être peu significatif afin d'assurer la constance du débit à l'intérieur du fossé.

## **3.2. Localisation des fossés et des transects**

La localisation des sections de fossé (sites) et des transects à l'intérieur des fossés est la même pour chacun des sites à l'étude. Les fossés sont localisés à l'aide du système RTS du MTQ : numéro de la route (R), du tronçon (T) et de la section (S). À cela, s'ajoute le chaînage qui aide à localiser précisément le début du fossé à l'étude. Ainsi, le chaînage du début du site correspond à sa plus petite valeur, peu importe l'orientation de la route et la direction de la pente. L'identification du côté de la route (droit ou gauche) provient aussi du système du MTQ dans lequel le côté droit de la route correspond toujours au sens de cette dernière. Par exemple, une route de chiffre pair a une direction ouest-est où le côté droit se trouve sur la majorité de son tracé au sud.

Les sections de fossé ont une longueur de 200 m et elles sont divisées en huit sous-sections égales de 25 m. Un transect est positionné au centre de chacune des sous-sections. Ainsi, il y a huit transects par site et c'est à partir de ces derniers que sera calculée la quantité de matériaux érodés au cours de l'expérimentation (figure 6). Tous les sites ont leur point de départ (mètre 0) positionné à la limite aval des sites, peu importe le côté de la route, et le mètre 200 correspond à la limite amont du fossé. Les transects sont situés tous les 25 m, c'est-à-dire du mètre 12,5 au mètre 187,5.

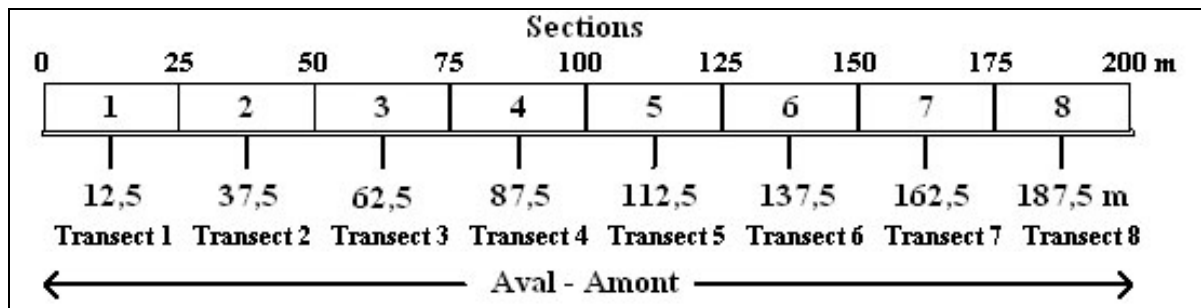


Figure 6 : Croquis d'un site avec ses transects

### 3.3. Techniques de prise et de traitement des données

Deux catégories de données servent à faire l'analyse des différentes méthodes d'entretien. Il y a le niveau environnemental qui se fait par l'estimation de l'érosion dans les fossés et le niveau économique où on attribue un coût à chacune des méthodes. La quantification de l'érosion est calculée à partir des données recueillies avec les mesures des profils transversaux. Pour aider à la compréhension et à l'explication de certains phénomènes caractéristiques, des photographies ont été prises au cours des visites sur le terrain afin de procéder à une évaluation visuelle de la reprise de la végétation ou de consigner des phénomènes particuliers d'érosion. Enfin, on a recueilli les données météorologiques des périodes estivales de 2005 et de 2006 pour faire une description des précipitations qui ont pu influencer sur la stabilité des fossés à l'étude.

#### 3.3.1. Données d'érosion

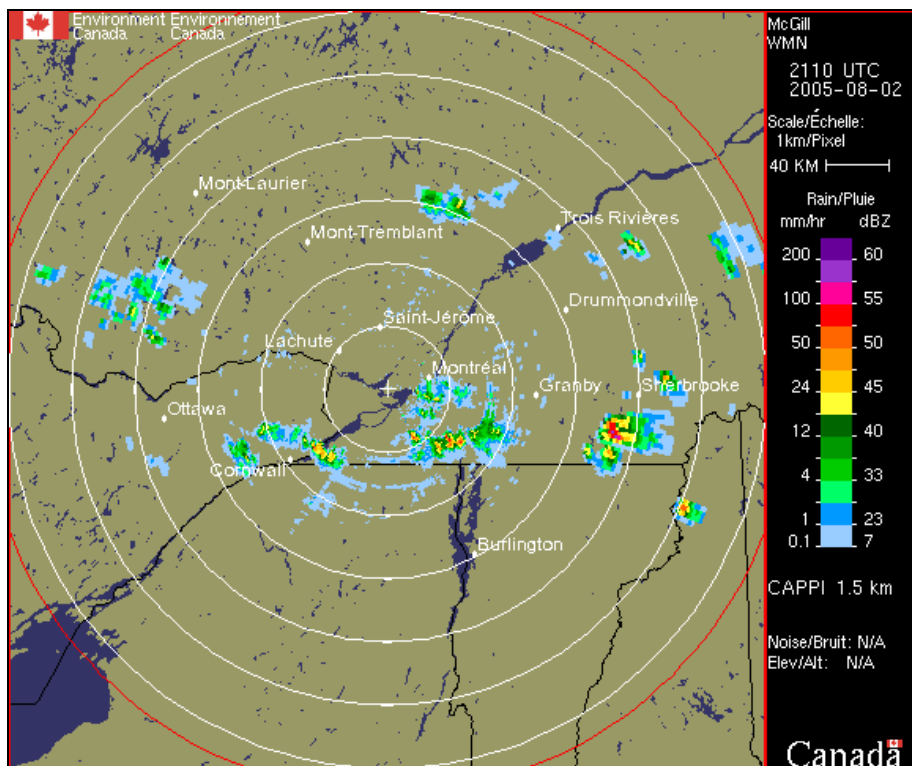
Les données d'estimation de l'érosion dans les fossés sont calculées à partir des mesures des profils transversaux. Mais, au départ, on avait tenté de bonifier ces données avec la cueillette d'échantillons d'eau pour connaître la quantité de matières en suspension.

##### A) Mesure des matières en suspension

La mesure des matières en suspension (MES) permet de faire une évaluation de la quantité de sédiments minéraux de faible taille transportés par l'eau dans le fossé. Pour pouvoir recueillir de bonnes données, il faut établir des critères particuliers. En effet, pour que les données soient comparables d'un site à l'autre, il faut qu'il y ait des précipitations importantes et constantes sur tout le territoire couvert par les sites, soit plus de 20 mm de pluie en quelques heures. On a remarqué que, lorsque les précipitations se situaient sous la barre des 20 mm, il était parfois impossible de récolter un échantillon à cause de la faible hauteur de la colonne d'eau dans le fond du fossé.

En réalité, de nombreux orages se manifestent un peu partout sur le territoire, mais ils sont trop localisés pour permettre de faire une collecte de données dans des conditions uniformes dans tous les sites. On peut le constater sur une image radar de la région (figure 7), et quelques visites sur le terrain l'ont aussi confirmé.

Au départ, on a établi qu'il y aurait des mesures de débit prises au moment de l'échantillonnage de l'eau pour permettre une comparaison des MES entre les sites. On voulait ainsi estimer le volume de matériaux transportés. La mesure de débit ne pouvant se faire à l'aide d'un débitmètre ou d'un autre outil de mesure semblable en raison de la faible hauteur de la colonne d'eau présente dans les fossés, on a choisi d'utiliser un objet flottant pour réaliser cette mesure; on a alors choisi de petites billes de bois. Leur faible dimension et leur poids font en sorte que si la hauteur de l'eau est suffisante, les billes flottent sans être affectées par le vent.



Source Internet : [http://weatheroffice.ec.gc.ca/radar/index\\_f.html?id=WMN](http://weatheroffice.ec.gc.ca/radar/index_f.html?id=WMN)

**Figure 7 : Image radar météorologique de la station de McGill, illustrant l'effet d'un orage localisé dans le sud de l'Estrie (2 août 2005, 18 h)**

L'expérience de la mesure de débit a été réalisée une seule fois lors d'une prise d'échantillons d'eau sur le terrain et a été un échec. En effet, la faible hauteur d'eau dans le fossé a fait en sorte que la bille frappe souvent le fond et

roule. De plus, surtout dans tous les sites nettoyés au moyen de la méthode du tiers inférieur, le parcours de la bille a été dévié et bloqué par la végétation.

Finalement, à l'été 2005, on a abandonné la récolte d'échantillons d'eau durant des précipitations car il était impossible de recueillir tous les échantillons au même moment. Aussi, la différence de conditions météorologiques sur certains sites lors d'une même récolte d'échantillons ne permet pas une comparaison scientifique adéquate pour estimer l'érosion dans les fossés. Le volume de matériaux érodés est donc calculé uniquement à partir des données des mesures des profils transversaux.

#### B) Mesures des profils transversaux

La mesure des profils transversaux des fossés permet de connaître la quantité de matériaux érodés à l'emplacement d'un transect donné.

Les extrémités d'un profil transversal sont deux points fixes de chaque côté du fossé routier. Du côté de la route, un clou est inséré dans un trou qui est percé dans l'asphalte de l'accotement et, du côté opposé à la route, le point fixe est soit un piquet de bois planté dans le sol, soit un arbre, ou encore un poteau de clôture bordant un champ. Une chaîne graduée tous les 5 cm est fixée entre les deux points et tendue à l'aide d'un tendeur. Des mesures sont prises tous les 5 cm à l'aide d'un fil à plomb qui est gradué au centimètre. L'usage d'un fil à plomb permet de s'assurer visuellement qu'on évite la végétation qui pourrait fausser les données. Une fiche de terrain est nécessaire pour la prise de données (figure 8). Sur cette fiche, on indique la date, le numéro de site, le transect et l'endroit où la chaîne est accrochée sur l'objet fixe du côté opposé du fossé. Les mesures des profils transversaux sont conservées sur un tableur Excel, qui permet facilement de constater l'évolution du fossé à chaque transect.

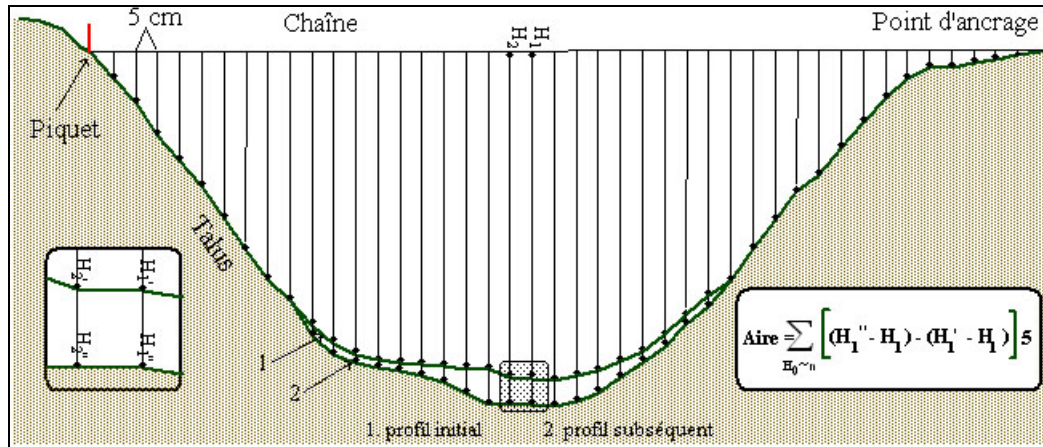
Pour obtenir l'estimation des matériaux érodés, on doit calculer l'aire située entre chacune des mesures de profondeur du fossé (figure 9). Ensuite, on multiplie cette aire par 25 m, afin d'obtenir une estimation du volume de la section. Avec chaque mesure subséquente, il est possible de calculer la différence de volume, ce qui donne une estimation du volume érodé ou, dans certains cas, du volume de sédiments accumulés.

ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE ET ÉCONOMIQUE DE LA MÉTHODE DU TIERS INFÉRIEUR POUR  
L'ENTRETIEN DES FOSSÉS ROUTIERS

N° de site		Date		Chaîne fixée à ___ cm du sol à ___ cm	
Transect					
Largeur (cm)	Profondeur (cm)	Largeur (cm)	Profondeur (cm)	Largeur (cm)	Profondeur (cm)
5		255		505	
10		260		510	
15		265		515	
20		270		520	
25		275		525	
30		280		530	
35		285		535	
40		290		540	
45		295		545	
50		300		550	
55		305		555	
60		310		560	
65		315		565	
70		320		570	
75		325		575	
80		330		580	
85		335		585	
90		340		590	
95		345		595	
100		350		600	
105		355		605	
110		360		610	
115		365		615	
120		370		620	
125		375		625	
130		380		630	
135		385		635	
140		390		640	
145		395		645	
150		400		650	
155		405		655	
160		410		660	
165		415		665	
170		420		670	
175		425		675	
180		430		680	
185		435		685	
190		440		690	
195		445		695	
200		450		700	
205		455		705	
210		460		710	
215		465		715	
220		470		720	
225		475		725	
230		480		730	
235		485		735	
240		490		740	
245		495		745	
250		500		750	

**Figure 8 : Fiche de terrain**

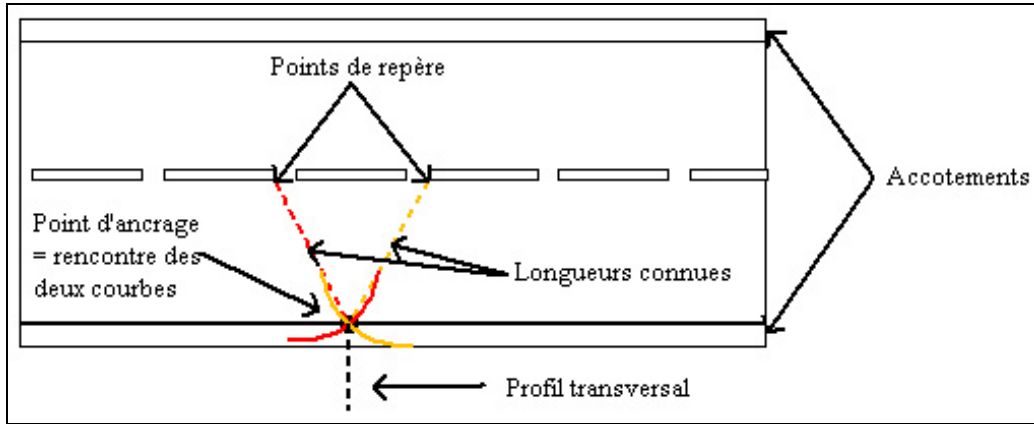
Les données concernant l'érosion à l'intérieur des fossés à l'étude sont estimées à partir du calcul de l'érosion sur les transects de chaque site (figure 9). La première mesure, qui sert de base au calcul de l'érosion, a été réalisée au printemps 2005 pour les sites n<sup>os</sup> 1 à 12 et, en septembre 2005, pour le site n<sup>o</sup> 14. Toutes les mesures initiales ont été réalisées rapidement après le nettoyage des fossés. Ensuite, on a mesuré les profils transversaux, en moyenne, trois fois par année.



**Figure 9 : Méthode de calcul du volume de matériaux érodés dans une section de fossé**

Tous les points d'ancrage situés du côté de la route ont été localisés à l'aide de points de repère pour prévenir leur perte en cas d'asphaltage de l'accotement. Pour chacun des points d'ancrage, deux points de repère ont été positionnés pour pouvoir les retrouver (figure 10). Les deux points de repère sont soit la limite de lignes pointillées médianes, soit des clous ancrés dans l'asphalte au centre de la chaussée. Il est ainsi possible de retrouver le point d'ancrage à la jonction des deux arcs de cercles faits à partir des points d'ancrage. Cependant, pour pouvoir utiliser ce genre de points de repère, il faut les recalculer chaque fois que les lignes pointillées sont repeintes.

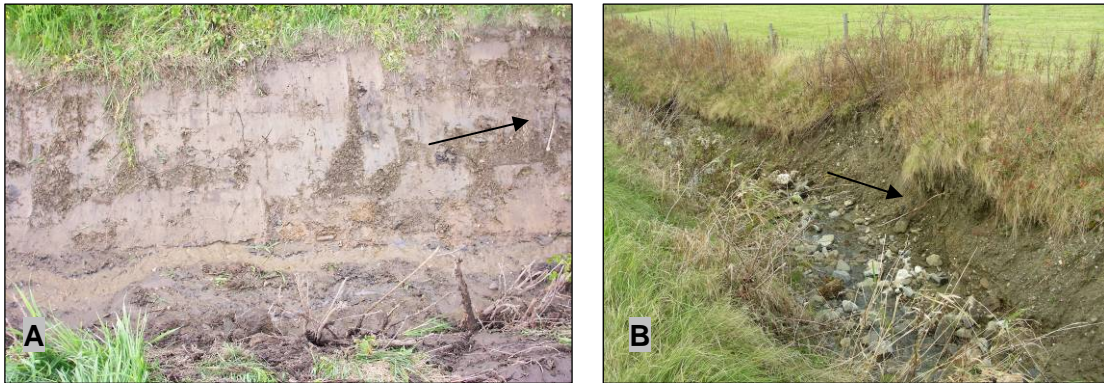
La fréquence de mesure des profils transversaux a été établie en fonction des événements pluvieux et de la sévérité de l'érosion dans chacun des fossés. Ainsi, à la suite de chacun des événements pluvieux importants et si un fossé avait de plus fortes marques d'érosion, la mesure des profils transversaux dans ce fossé était priorisée.



**Figure 10 : Points de repère pour retracer un point d'ancrage en bordure d'une route**

### C) Prise de photographies

La prise de photographies à chacune des visites des sites permet d'illustrer l'évolution de l'érosion et de la reprise de la végétation herbacée dans les fossés (figure 11). Aussi, il est possible de constater une marque d'érosion ponctuelle qui ne se trouve pas sur un transect. Au cours du projet, plus de 2 000 photographies ont ainsi été prises (annexe 2).



**Figure 11 : Présence d'une barre métallique dans le talus au mètre 60 du site n° 10 : A) talus à la suite du nettoyage (30 mai 2005); B) barre métallique dénudée par l'érosion du talus (1<sup>er</sup> novembre 2006)**

### 3.3.2. Données économiques

Les données économiques sont obtenues, pour la plupart, au cours du nettoyage des fossés. Le temps et le matériel requis pour la mise en place des seuils et des bermes ont aussi été comptabilisés. Ainsi, il est possible d'attribuer, à chaque méthode d'entretien, le temps d'utilisation de l'excavatrice et le nombre de chargements de camion nécessaires (volume de matériaux



extraits). Afin d'obtenir de meilleurs résultats, le temps autre que celui requis pour le nettoyage des fossés n'a pas été pris en compte. Ainsi, le temps requis pour le déplacement de la machinerie et de la main-d'œuvre, l'installation de la signalisation, les pauses et les retards causés par des bris de matériel n'est pas comptabilisé.

Un autre type de données s'ajoute à celles récoltées pour le nettoyage des fossés. Il s'agit du temps et de la quantité de pierres nécessaires pour la mise en place des seuils dans les sites entretenus à l'aide de la méthode du tiers inférieur bonifiée. Le temps total incluant le déplacement de l'excavatrice entre les seuils sur un même site est comptabilisé. Une moyenne de temps de pose peut être faite pour l'aménagement d'un seuil. Ainsi, le coût des seuils peut être ajouté au coût total d'entretien des sites nettoyés selon cette méthode d'entretien.

Lorsqu'il fallait effectuer une réparation majeure sur le talus d'un fossé faisant partie de l'étude, des données supplémentaires concernant le coût de réparation sont ajoutées au coût total d'exploitation d'une méthode. Par contre, si l'érosion n'est pas attribuable à la méthode d'entretien utilisée, le temps n'est pas mesuré, comme dans le cas du site n° 12, où il y a eu une intervention en vue de stabiliser l'accotement.

Enfin, des données sont aussi prises en ce qui a trait aux bermes filtrantes installées en aval des sites nettoyés à l'aide de la méthode traditionnelle. La quantité de pierres utilisées est notée ainsi que le temps requis pour la mise en place et, tout comme dans le cas des seuils, un temps et un coût peuvent être estimés pour l'aménagement d'une berme.

Au cours du projet, les bassins de sédimentation en amont de ces bermes ont été vidés à quelques reprises. Durant ces nettoyages, le temps d'utilisation de l'excavatrice et la quantité de matériel enlevé ont été comptabilisés pour permettre une estimation du coût d'entretien de ces aménagements. Étant donné que la mise en place et l'entretien des bermes filtrantes ne font pas partie de l'étude comparative des méthodes d'entretien, les résultats se trouvent à l'annexe 1 plutôt que dans le texte.

### **3.4. Données auxiliaires**

On utilise les données météorologiques pour établir la relation entre les précipitations importantes et les hausses subites d'érosion dans les fossés. Il s'agit des données disponibles qui se situent le plus près des sites d'étude et de celles recueillies par Environnement Canada à l'aéroport de Sherbrooke. À partir du site Internet <http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca>, il est possible de télécharger les données journalières. Ainsi, on peut tracer l'évolution des précipitations entre les mois de mars et de novembre, pour les deux années d'étude, ce qui correspond aux périodes de mesure des profils transversaux.

### 3.5. Chronologie des interventions et des événements

Les premières mesures des profils transversaux ont été faites pendant, ou immédiatement après, la période de nettoyage. Il n'y avait donc pas de marques importantes d'érosion dans les fossés pour les mesures servant de référence. Au cours de l'année 2005, on a effectué au minimum trois séries de mesures dans chacun des fossés, comprenant les profils initiaux, sauf le fossé du site n° 14 qui a été nettoyé le 19 septembre 2005 et pour lequel il n'y a que deux séries de mesures. En novembre 2005, la prise de données des profils transversaux a été interrompue pour la période hivernale.

Au cours de l'hiver 2005-2006, cinq visites des lieux ont été réalisées. La première a été faite à la mi-janvier et a démontré l'impossibilité de connaître l'état de la situation pour chacun des sites étant donné qu'ils étaient tous couverts de glace et de neige. Par contre, on a remarqué qu'il y avait toujours un écoulement sous la couche de glace dans certains sites, notamment les sites ayant une pente de 10 % (figure 12). Les quatre autres visites des lieux se sont étendues sur tout le mois de mars, soit les 1<sup>er</sup>, 10, 22 et 27. Graduellement, pendant ce mois, on est passé d'un couvert de neige important à une fonte totale à la fin du mois, vers le 27. Il a donc été possible de suivre l'évolution de la reprise d'un écoulement plus important dans les fossés.



**Figure 12 : Écoulement de l'eau sous la glace dans le fossé du site no 5 (1er mars 2006)**

En avril 2006, alors que la neige était totalement disparue, on a recommencé les mesures des profils transversaux pour chacun des sites. Au cours de l'année 2006, un minimum de trois mesures des profils transversaux par site a été fait. Certains sites ont subi de plus fortes marques d'érosion et, pour suivre

l'évolution, on a dû faire les mesures à plus de trois reprises. Ainsi, quatre mesures ont été nécessaires pour les sites n<sup>os</sup> 1, 7 et 12, et on a mesuré le site n<sup>o</sup> 10 à six reprises. Les mesures des profils transversaux se sont terminées en novembre 2006. Deux visites hivernales ont été réalisées en décembre 2006 et janvier 2007.



#### **4. RÉSULTATS : CARACTÉRISTIQUES ET PRÉPARATION DES SITES SÉLECTIONNÉS**

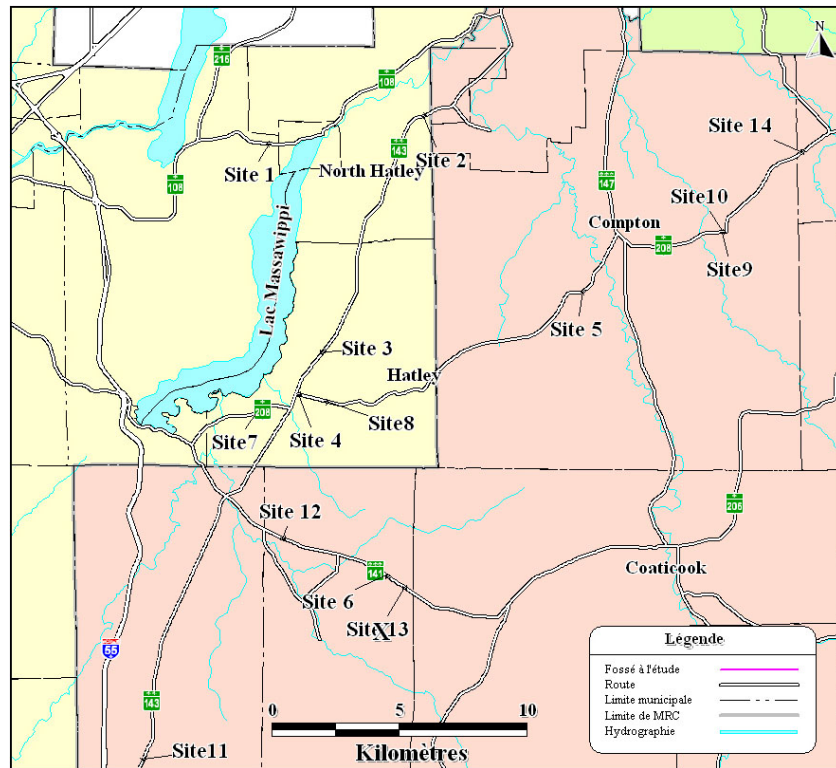
Dans cette section, les 14 sites sélectionnés pour l'étude sont caractérisés (figure 13), y compris le site n° 13, rejeté à cause des conséquences d'un manque de communication sur le projet entre les centres de services du MTQ. On présente la localisation et la longueur des sites, le type d'intervention faite par le MTQ et l'occupation des terres dans le bassin de drainage contigu aux sites. Aussi, on rapporte les faits marquants observés lors du nettoyage des fossés. La superficie des bassins est présentée dans le tableau 1.

On a ajouté deux sites pour compléter les groupes de sites. En effet, le site n° 12 a été ajouté pour remplacer le site n° 2, afin d'obtenir un fossé de 5 % de pente nettoyé à l'aide de la méthode du tiers inférieur bonifiée, et le site n° 14 a été ajouté pour remplacer le site n° 13, afin d'obtenir un fossé de 3 % de pente nettoyé à l'aide de la méthode du tiers inférieur bonifiée.

Une fiche de localisation a été produite pour chaque site en utilisant une orthophotographie comme support cartographique. Les couches des courbes de niveau, du réseau routier du ministère des Transports et des limites administratives y ont été superposées. De plus, la localisation du fossé par rapport à la route, la méthode d'entretien, le numéro route-tronçon-section (RTS), le chaînage, le nom de la municipalité, le pourcentage de pente ainsi que la délimitation du bassin de drainage y sont consignés.

En ce qui concerne le nettoyage des fossés des sites n°s 1 à 13, entre le 25 mai et le 13 juin 2005, une seule journée a connu des précipitations importantes. Par contre, le sol était encore gorgé d'eau, résultant d'une combinaison de la fonte des neiges et des précipitations printanières, ce qui a retardé le processus de stabilisation des talus après le nettoyage. Le site n° 14 a été nettoyé le 19 septembre 2005 avec un sol sec.

ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE ET ÉCONOMIQUE DE LA MÉTHODE DU TIERS INFÉRIEUR POUR  
L'ENTRETIEN DES FOSSÉS ROUTIERS



N° de site	Municipalité	MRC	Pente (%)	RTS	Chaînage du début	Côté	Méthode d'entretien
1	Ste-Catherine-de-Hatley	Memphrémagog	5	108-01-070	0+621	D	Traditionnelle
2	Hatley	Memphrémagog	5	143-01-110	5+516	D	Traditionnelle avec seuils
3	Hatley	Memphrémagog	3	143-01-100	1+851	G	Tiers inférieur
4	Hatley	Memphrémagog	7	208-01-060	0+034	D	Tiers inférieur avec seuils
5	Compton	Coaticook	10	208-01-080	6+813	D	Tiers inférieur avec seuils
6	Barnston-Ouest	Coaticook	5	141-01-100	1+073	G	Tiers inférieur
7	Hatley	Memphrémagog	7	208-01-040	1+968	D	Traditionnelle
8	Hatley	Memphrémagog	7	208-01-060	1+117	D	Tiers inférieur
9	Compton	Coaticook	10	208-01-115	3+886	D	Tiers inférieur
10	Compton	Coaticook	10	208-01-115	3+886	G	Traditionnelle
11	Stanstead-Est	Coaticook	3	143-01-050	3+031	D	Traditionnelle
12	Barnston-Ouest	Coaticook	5	141-01-100	5+475	G	Tiers inférieur avec seuils
13	Barnston-Ouest	Coaticook	3	141-01-100	0+245	G	Tiers inférieur avec seuils
14	Compton	Coaticook	3	208-01-130	1+220	G	Tiers inférieur avec seuils

Figure 13 : Localisation des sites

**Tableau 1 : Superficie des bassins de drainage**

N° de site	Pente du fossé (%)	Superficie (ha)
1	5	6,1
2	5	5,6
3	3	3,3
4	7	1,8
5	10	8,9
6	5	7,8
7	7	7,3
8	7	1,9
9	10	8,5
10	10	12,7
11	3	8,4
12	5	3,8
14	3	7,7

Il est important de mentionner qu'à la demande du Centre de services de Sherbrooke, la méthode de nettoyage des fossés à l'aide de la méthode traditionnelle a été modifiée. En effet, pour éviter des coûts supplémentaires, advenant le cas où il se produirait une érosion importante dans ces sites, on a laissé en place la moitié de la végétation située du côté de la route (figure 14), alors qu'on a enlevé toute la végétation sur le talus opposé à la route, comme prescrit par la méthode. Seul le site n° 11 fait exception, la végétation ayant été complètement enlevée des deux côtés pour des raisons pratiques.



**Figure 14 : Nettoyage du site n° 10 à l'aide de la méthode traditionnelle en laissant la végétation sur la moitié du talus du côté de la route (30 mai 2005)**

Dans les fossés nettoyés à l'aide de la méthode du tiers inférieur bonifiée, des seuils en pierres ont été installés dans le but de diminuer l'énergie de l'eau afin de réduire l'érosion. Le nombre de seuils requis pour chacun des sites dépend

du profil transversal initial du fossé et de la pente de celui-ci. Ainsi, plus le fossé est profond, plus il est possible d'augmenter la hauteur des seuils, les éloignant ainsi les uns des autres. Les seuils ont été installés conformément à la façon de faire montrée à la figure 2 (voir section 2.3).

Les sites ont été sélectionnés dans les zones où la formation meuble est le till. Les analyses granulométriques réalisées sur quatre échantillons par site ont permis de valider cette sélection. On note une présence de moyenne à forte de gravier dans les échantillons récoltés ainsi qu'un pourcentage important de silt et d'argile, caractéristique des tills estriens (tableau 2). Les résultats sont classés par numéro de site ainsi que par la position des échantillons.



**Tableau 2 : Résultats en pourcentage des analyses granulométriques**

N° de site	Mètre 50								Mètre 150							
	Fond				Talus				Fond				Talus			
	Grav.	Sab.	Silt	Arg.	Grav.	Sab.	Silt	Arg.	Grav.	Sab.	Silt	Arg.	Grav.	Sab.	Silt	Arg.
1	21	38	33	8	22	49	26	3	18	38	34	10	17	34	39	10
2	16	36	39	9	19	27	44	10	12	28	49	11	12	24	50	14
3	7	28	57	8	5	34	50	11	18	30	41	11	12	33	46	9
4	18	30	38	14	13	32	41	14	19	30	40	11	23	29	38	10
5	28	28	36	8	9	8	68	15	16	40	39	5	10	32	51	7
6	14	32	46	8	18	28	45	9	13	33	48	6	16	35	40	9
7	10	24	53	13	23	17	52	8	9	22	63	6	14	26	52	8
8	11	30	47	12	10	32	49	9	21	40	27	12	18	42	29	11
9	38	21	31	10	23	22	43	12	28	42	26	4	8	25	56	11
10	14	57	21	8	25	33	39	3	7	41	43	9	10	45	37	8
11	14	38	43	5	12	43	40	5	9	37	45	9	20	39	33	8
12	14	40	38	8	20	37	31	12	9	40	43	8	13	37	41	9
14	9	37	45	9	11	31	46	12	8	30	50	12	9	28	52	11

On ne constate pas de différence marquée dans les échantillons du fond du fossé par rapport à ceux prélevés sur les talus. Par contre, il y a quelques sites où la proportion de gravier est plus élevée dans le fond du fossé. Il est probable qu'une partie de ce gravier provient de l'accotement ou du ruissellement dans le fossé. Il faut mentionner que les échantillons ont été récoltés avant que le nettoyage des fossés n'ait lieu.

#### **4.1. Site no 1 : 5 % de pente, méthode traditionnelle**

Le site n° 1 est localisé sur le versant ouest du lac Massawippi, dans la municipalité de Sainte-Catherine-de-Hatley. Il est situé du côté droit de la route 108 (RTS 108-01-070 D), c'est-à-dire du côté sud, entre les chaînages 0 + 0621 et 0 + 0808. L'amont du site est limité par un ponceau par lequel passe la majeure partie de l'eau circulant dans le fossé. En effet, l'essentiel du bassin de drainage de ce site se trouve sur le côté opposé à la route. L'eau provenant du bassin de drainage qui se trouve du même côté de la route que le fossé à l'étude, dévie à environ 30 m en amont du site en évacuant l'eau vers l'intérieur d'un boisé. La pente du fossé est de 5 % (figure 15).

L'aval du fossé est limité par une rupture de pente importante, correspondant à la présence d'un second ponceau par où arrive l'eau provenant du côté opposé à la route, tout comme c'est le cas en amont. Entre ces deux ponceaux, il y a 187 m. C'est donc sur cette distance qu'a été nettoyé le fossé.

Le bassin de drainage, situé du côté opposé de la route, est principalement boisé. Il y a une seule habitation et les terres déboisées sont recouvertes d'un tapis végétal. Aussi, le fossé ouest du chemin de l'Université draine une partie du terrain où se trouve l'habitation.

Au moment de la sélection de ce site, il était prévu que le fossé serait nettoyé à l'ide de la méthode traditionnelle à cause de l'accumulation de sédiments en amont du ponceau (figure 16A). Les profils transversal et longitudinal de ce fossé devaient être reconstruits sur les 30 m en amont du ponceau. Il est possible que l'accumulation de sédiments ait été due justement à la présence de ce ponceau qui aurait fait obstruction à la circulation de l'eau à cet endroit.

Le fossé a été nettoyé le mercredi 25 mai 2005. Lors du nettoyage des 25 m en amont du ponceau situé au mètre 30, il a été impossible de reconstruire le même profil transversal du fossé que celui dans la portion aval du ponceau et de la partie plus en amont de la zone de sédimentation. En effet, la profondeur du fossé à cet endroit est moins grande en raison de la présence du ponceau au mètre 30. D'autre part, le talus du côté opposé à la route est presque absent à cause de la faible profondeur du fossé à cet endroit (figure 16B).

ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE ET ÉCONOMIQUE DE LA MÉTHODE DU TIERS INFÉRIEUR POUR  
L'ENTRETIEN DES FOSSÉS ROUTIERS

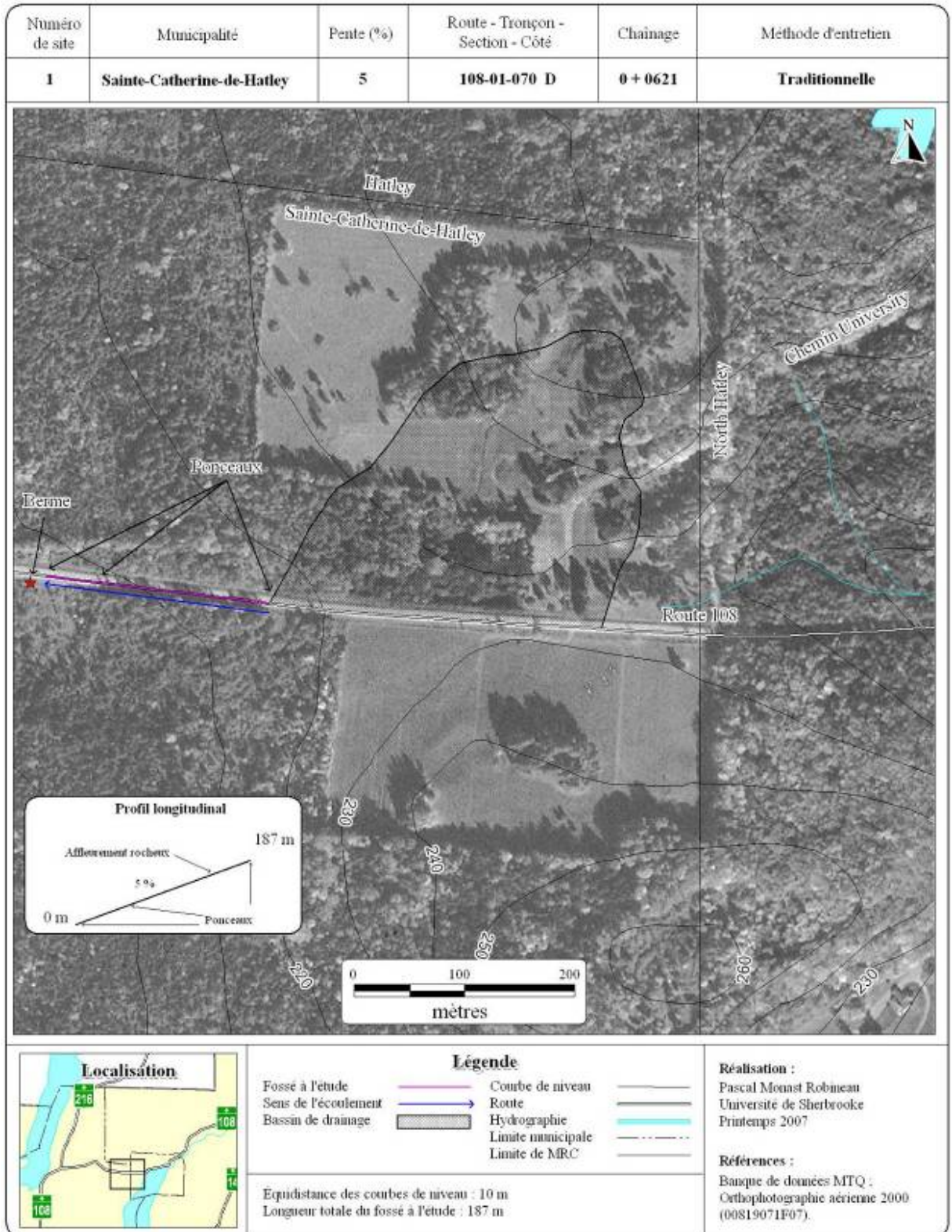


Figure 15 : Localisation du fossé du site n° 1



**Figure 16 : Portion en amont du ponceau dans le fossé du site n° 1 : A) état du fossé avant le nettoyage (26 avril 2005); B) nettoyage de la zone d'accumulation où le talus opposé à la route est de faible hauteur (25 mai 2005)**

Avant de nettoyer le site, la partie aval a été améliorée, au moyen d'une décharge vers un replat humide, pour permettre une meilleure évacuation de l'eau (figure 17). Cette section du fossé évacue l'eau recueillie dans le bassin de drainage du site à l'étude, ainsi que celle provenant du fossé situé de l'autre côté de la route 108. Ainsi, la végétation qui se situe autour de la décharge agit comme une berme filtrante supplémentaire à celle qui a été installée.



**Figure 17 : Décharge aménagée en aval du fossé du site n° 1 (25 mai 2005)**

Une seule berme a été installée près de la limite aval du fossé car il n'y avait pas assez de place pour la disposer plus loin (figure 18). En effet, la distance entre la limite aval du fossé et le ponceau est d'à peine 5 m, de sorte que l'accumulation de sédiments en amont de la berme se fait jusqu'au mètre 10 à l'intérieur du site.



**Figure 18 : Berme filtrante au site n° 1 (25 mai 2005) : A) berme installée près de la limite du site marquée par un piquet orange; B) portion en aval de la berme améliorée pour favoriser la sédimentation par la création d'un bassin naturel avec la végétation**

#### **4.2. Site no 2 : 5 % de pente, méthode traditionnelle avec seuils**

Le site n° 2 est localisé sur le versant sud de la rivière Massawippi, dans la municipalité de Hatley, près des limites des municipalités de Compton et de Waterville. Il est situé du côté droit de la route 143 (RTS 143-01-110 D), c'est-à-dire du côté sud, entre les chaînages 5 + 516 et 5 + 716. Le fossé, d'une longueur de 200 m, se trouve sur une pente presque continue d'environ 5 %. Dans les 30 m supérieurs du site, la pente est de 4 %. Aucun ponceau ne traverse le fossé (figure 19).

Le bassin de drainage se situe au sud du site, du côté du fossé entretenu. Ce bassin permet un débit comparable à celui des autres sites du même groupe et l'essentiel de l'eau provient du drainage de la terre agricole adjacente qui est labourée annuellement. Ce site a tout de même été retenu car, entre le fossé et la terre agricole, une bande surélevée de végétation empêche l'apport de sédiments vers le fossé (figure 20).

Un drain agricole, situé au mètre 140, a été découvert à l'occasion du nettoyage. Ce drain apporte une bonne quantité d'eau dans le fossé, favorisant les processus d'érosion (figure 21).

ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE ET ÉCONOMIQUE DE LA MÉTHODE DU TIERS INFÉRIEUR POUR L'ENTRETIEN DES FOSSÉS ROUTIERS

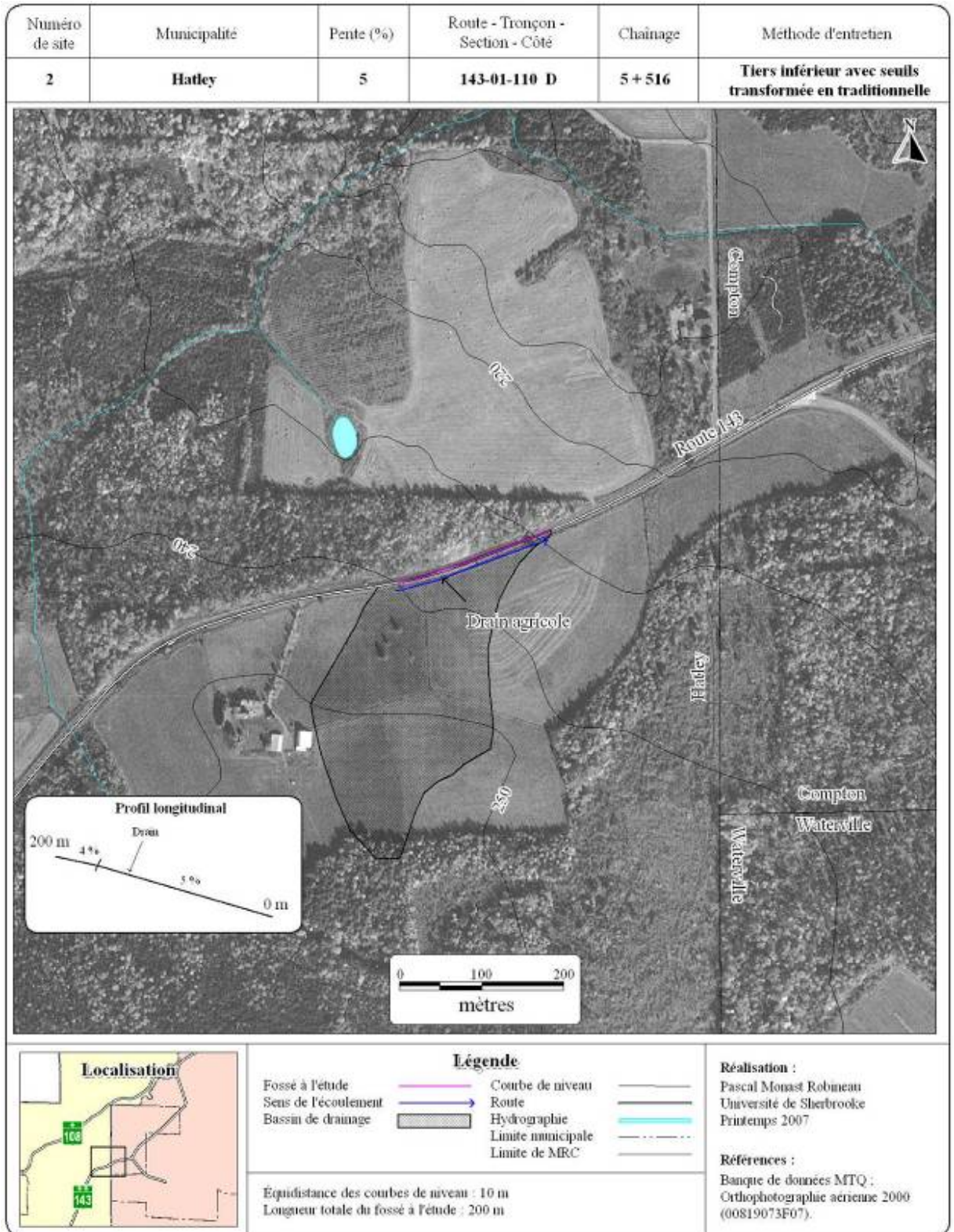


Figure 19 : Localisation du fossé du site n° 2



**Figure 20 : Bande de végétation bordant le site n° 2 (26 mai 2005)**



**Figure 21 : Effets érosifs de l'eau sortant d'un drain agricole au mètre 140 du site n° 2 (8 juin 2005)**

Le fossé a été nettoyé le jeudi 26 mai 2005 sous une faible pluie constante. L'utilisation d'une excavatrice de trop grande dimension (bras et godet) de marque *John Deer 590* pour le nettoyage de ce site a transformé la méthode du tiers inférieur avec huit seuils en pierres en une méthode presque traditionnelle (figure 22). Il a été décidé de poursuivre le nettoyage de ce fossé de cette façon qui s'apparente à la méthode traditionnelle.

Ce site a donc été conservé, car il est le seul site nettoyé au moyen de la méthode traditionnelle avec des seuils en pierres pour diminuer la vitesse de l'eau et donc réduire son pouvoir érosif (figure 22B). Ainsi, on a dû installer huit seuils entre les mètres 14 et 187. C'est au moment de la mise en place des seuils qu'il a été décidé de mettre un seuil supplémentaire en aval du site car, pour reconstruire le profil transversal, cette zone avait aussi été dégagée de sa végétation.



**Figure 22 : État du fossé du site n° 2 au moment du nettoyage (26 mai 2005) : A) nettoyage manqué à l'aide de la méthode du tiers inférieur au mètre 30; B) fossé avec les seuils en pierres au mètre 40**

### **4.3. Site no 3 : 3 % de pente, méthode du tiers inférieur**

Le site n° 3 est localisé sur le versant est du lac Massawippi, dans la municipalité de Hatley, près de la jonction de la route 143 avec la route 208 qui se dirige vers Compton. Il est situé du côté gauche de la route 143 (RTS 143-01-100 G), c'est-à-dire du côté sud-est, entre les chaînages 1 + 851 et 2 + 051. La pente moyenne du fossé, d'une longueur de 200 m, est de 3 % sans variation significative. Aucun ponceau ne traverse le fossé (figure 23).

Le profil transversal du fossé varie entre les moitiés aval et amont (figure 24). En effet, le profil de la moitié aval (A) du fossé diffère de la moitié amont (B) par le talus du côté de la route qui est nettement plus élevé que le talus opposé à la route dans la moitié amont.

Le bassin de drainage de ce site se localise uniquement du côté ouest de la route, donc du côté gauche. La parcelle agricole bordant le site est labourée annuellement, mais il y a une bande de végétation surélevée, de faible largeur, qui la sépare du fossé (figure 25A).

Une habitation se trouve dans le bassin de drainage du fossé. Celle-ci n'a aucun impact sur la quantité d'eau qui parvient au fossé. C'est par un drain agricole situé au mètre 168 que presque toute l'eau arrive au fossé (figure 25B).



ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE ET ÉCONOMIQUE DE LA MÉTHODE DU TIERS INFÉRIEUR POUR  
L'ENTRETIEN DES FOSSÉS ROUTIERS

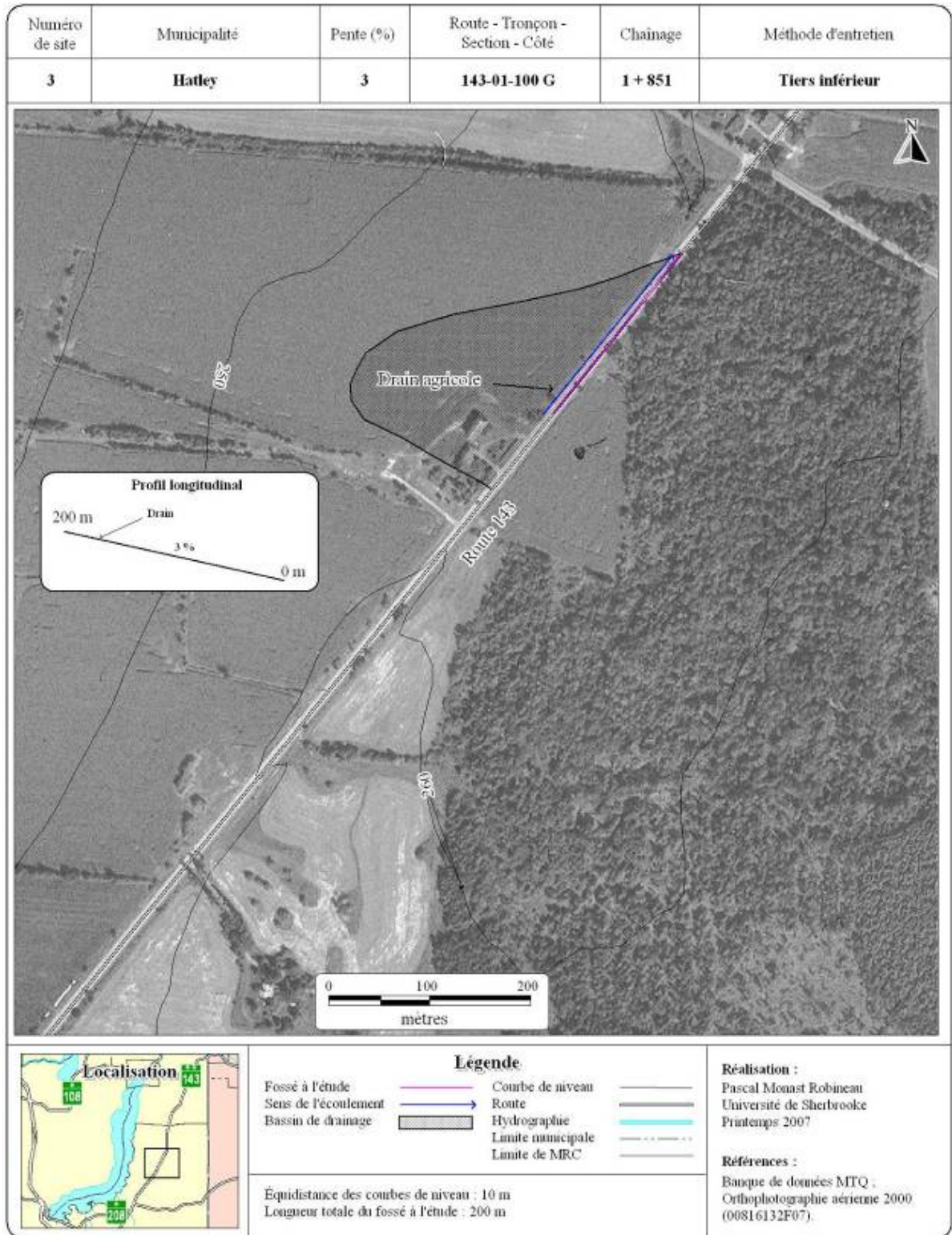


Figure 23 : Localisation du fossé du site n° 3



**Figure 24 : Différence entre les profils transversaux du fossé du site no 3 : A) talus du côté de la route plus élevé que celui opposé au mètre 37,5 (11 novembre 2005); B) talus d'égale hauteur dans la moitié amont du fossé, au mètre 175 (13 juin 2005)**



**Figure 25 : Fossé du site no 3 : A) parcelle agricole labourée (11 novembre 2005); B) deux drains agricoles au mètre 170 (13 juin 2005)**

Le fossé a été nettoyé le lundi 13 juin 2005. En effet, comme il a été le dernier site nettoyé, trois semaines après le premier, la végétation avait eu le temps de se développer (figure 26). Il n'y a eu aucune difficulté particulière au cours du nettoyage de ce fossé.

#### **4.4. Site no 4 : 7 % de pente, méthode du tiers inférieur bonifiée**

Le site n° 4 est localisé sur le versant est du lac Massawippi, dans la municipalité de Hatley, en direction de Compton et à la jonction de la route 143 avec la route 208. Il est situé sur le côté droit de la route 208 (RTS 208-01-060 D), c'est-à-dire du côté sud, entre les chaînages 0 + 034 et 0 + 234. La pente moyenne du fossé, d'une longueur de 200 m, est de 7 %, mais les 30 m supérieurs du site ont une pente moyenne de 5 %. Un ponceau traverse le fossé au mètre 75 (figure 27).



**Figure 26 : Présence d'une végétation bien développée au moment du nettoyage du site no 3 à l'aide de la méthode du tiers inférieur (13 juin 2005)**

Le ponceau (figure 28) n'est pas utilisé, mais il ne pouvait pas être enlevé puisqu'un poteau gênait la manœuvre. Il a donc été laissé en place vu qu'il ne dérange en rien l'écoulement à l'intérieur du fossé. Aussi, la suppression de ce ponceau aurait ajouté une zone dénudée de végétation, ce qui va à l'encontre de la méthode du tiers inférieur.

La superficie du bassin de drainage de ce site est plus faible comparativement à celle de la plupart des sites sélectionnés, ce qui engendre un plus faible débit. Ce bassin est essentiellement constitué de terres agricoles où du fourrage est cultivé. Il n'y a pas eu de labour en 2005. L'épaisseur de till dans ce secteur est très faible : le substratum rocheux est parfois visible sur les côtés du fossé. Le temps de réponse de ce bassin de drainage à une précipitation est donc rapide.

En raison de la faible épaisseur de till ainsi que d'affleurements du substratum rocheux mis à nu à quelques endroits au fond du fossé, la seule méthode d'entretien indiquée pour ce fossé était la méthode du tiers inférieur avec seuils. Le fossé a été nettoyé en un après-midi, le lundi 6 juin 2005. Le nettoyage de ce fossé a été difficile à cause des nombreux affleurements rocheux qui n'avaient pas tous été repérés, surtout dans la moitié amont du site (figure 29).

ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE ET ÉCONOMIQUE DE LA MÉTHODE DU TIERS INFÉRIEUR POUR  
L'ENTRETIEN DES FOSSÉS ROUTIERS

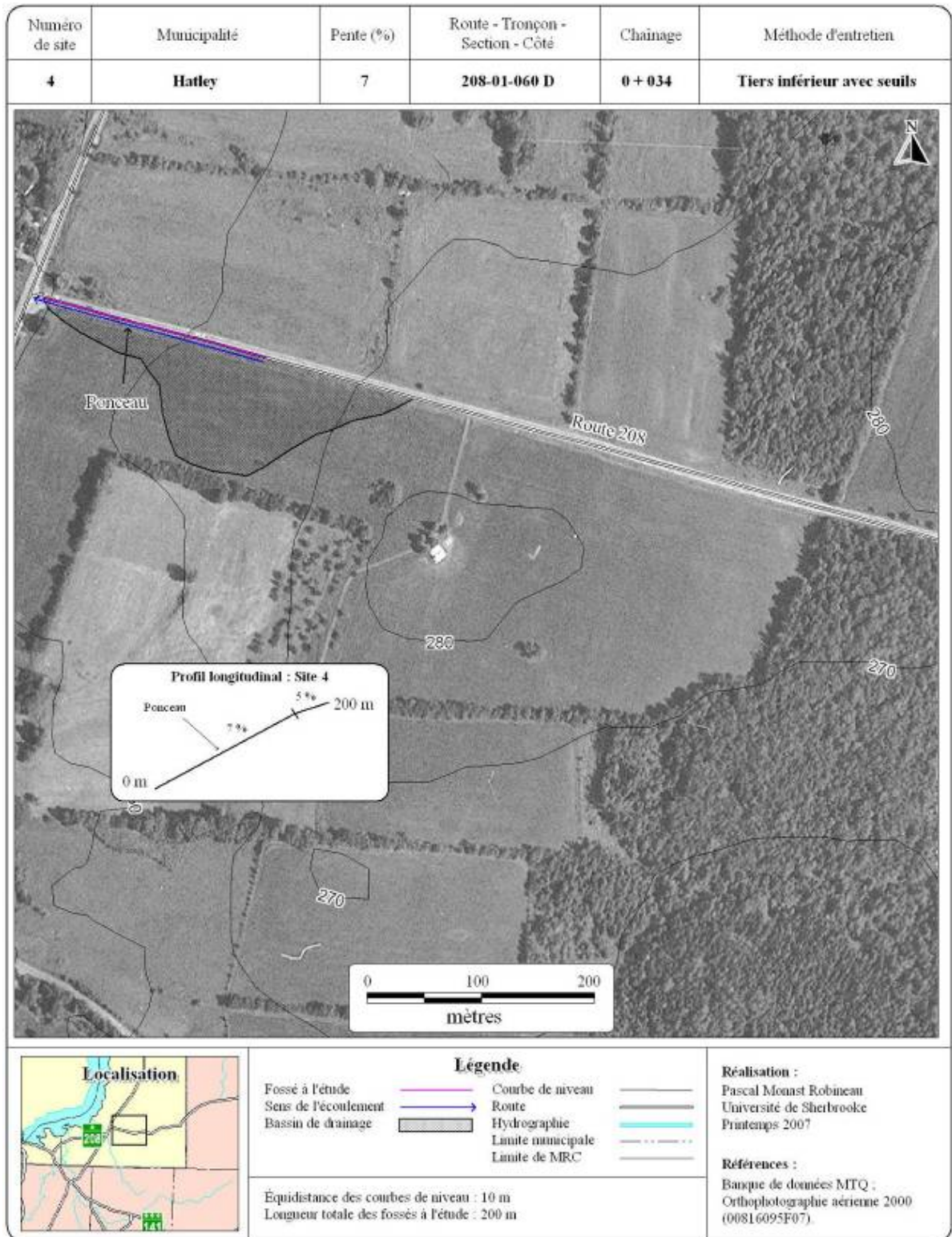


Figure 27 : Localisation du fossé du site n° 4



**Figure 28 : Ponceau de l'entrée privée au mètre 75 du site no 4 (11 novembre 2005)**

Dès la sélection du site, la présence de seuils était prévue, entre autres, aux endroits où le substratum rocheux devait être mis à nu par le nettoyage du fossé. La répartition des 13 seuils s'est faite en tenant compte non seulement de la pente du fossé, mais aussi en fonction des endroits où le substratum rocheux était mis à nu. En effet, lorsqu'un seuil se trouve à un endroit où l'affleurement rocheux est mis à nu, il est installé de façon à ce que l'affleurement serve de tablier en aval du seuil (figure 29B).



**Figure 29 : Affleurements rocheux apparus dans le fossé du site no 4 au moment du nettoyage (6 juin 2005) : A) affleurement rocheux en fond de fossé et sur le talus opposé à la route au mètre 137; B) seuil en pierres au mètre 141**

#### **4.5. Site no 5 : 10 % de pente, méthode du tiers inférieur bonifiée**

Le site n° 5 est localisé sur le versant ouest de la rivière Coaticook, dans la municipalité de Compton. Il est situé sur le côté droit de la route 208 (RTS 208-01-080 D), c'est-à-dire du côté sud, entre les chaînages 6 + 813 et 7 + 013. Le fossé a une pente moyenne de 10 %, sauf sur les 25 m en amont où la pente moyenne est de 7 %. Aucun ponceau ne traverse ce fossé, sauf celui qui sert de limite aval (figure 30).

L'occupation des terres du bassin de drainage de ce fossé est essentiellement agricole. Le fossé du chemin Robert, en haut du bassin, agrandit ce dernier en drainant la terre agricole en amont de cette route. La majorité des parcelles agricoles du bassin n'ont pas été labourées, sauf la parcelle drainée par le fossé du chemin Robert, qui a été labourée à l'automne 2005 et à l'automne 2006.

Le profil transversal du fossé est variable. C'est du côté de la route qu'on constate la plus grande différence de profil. Dans le tiers aval du site, les talus du fossé sont d'égale hauteur avec une pente approximativement équivalente. Dans le deuxième tiers du fossé, il y a une très forte différence entre les deux talus, alors que le talus du côté de la route est beaucoup plus élevé que celui du côté opposé. Dans le tiers supérieur du fossé, les talus redeviennent d'égale hauteur et le fossé a une profondeur moindre qu'en aval. Lors du nettoyage, on a découvert un bloc d'environ 3 m de diamètre qui provoquait un changement de direction de l'écoulement dans le fossé. Ce bloc se situe au mètre 90 et fait bifurquer l'écoulement de l'eau de plus de 1 m vers le côté opposé de la route (figure 31).

Sur ce site, on pouvait remarquer quelques marques d'érosion avant le nettoyage (figure 32). Par contre, celles-ci n'étaient pas importantes et semblaient être le résultat d'un ancien entretien au moyen d'une méthode qui s'apparente à la méthode traditionnelle. Ce constat est évident en examinant la figure 31 où l'on observe une ancienne limite d'érosion par un changement dans le type et dans la densité de la végétation. La méthode du tiers inférieur avec seuils en pierres a été choisie pour ce site parce que le débit d'eau semblait important. Il est comparable à celui du site n° 10, autre site à 10 % où la méthode traditionnelle était requise à certains endroits pour reconstruire le profil transversal du fossé.

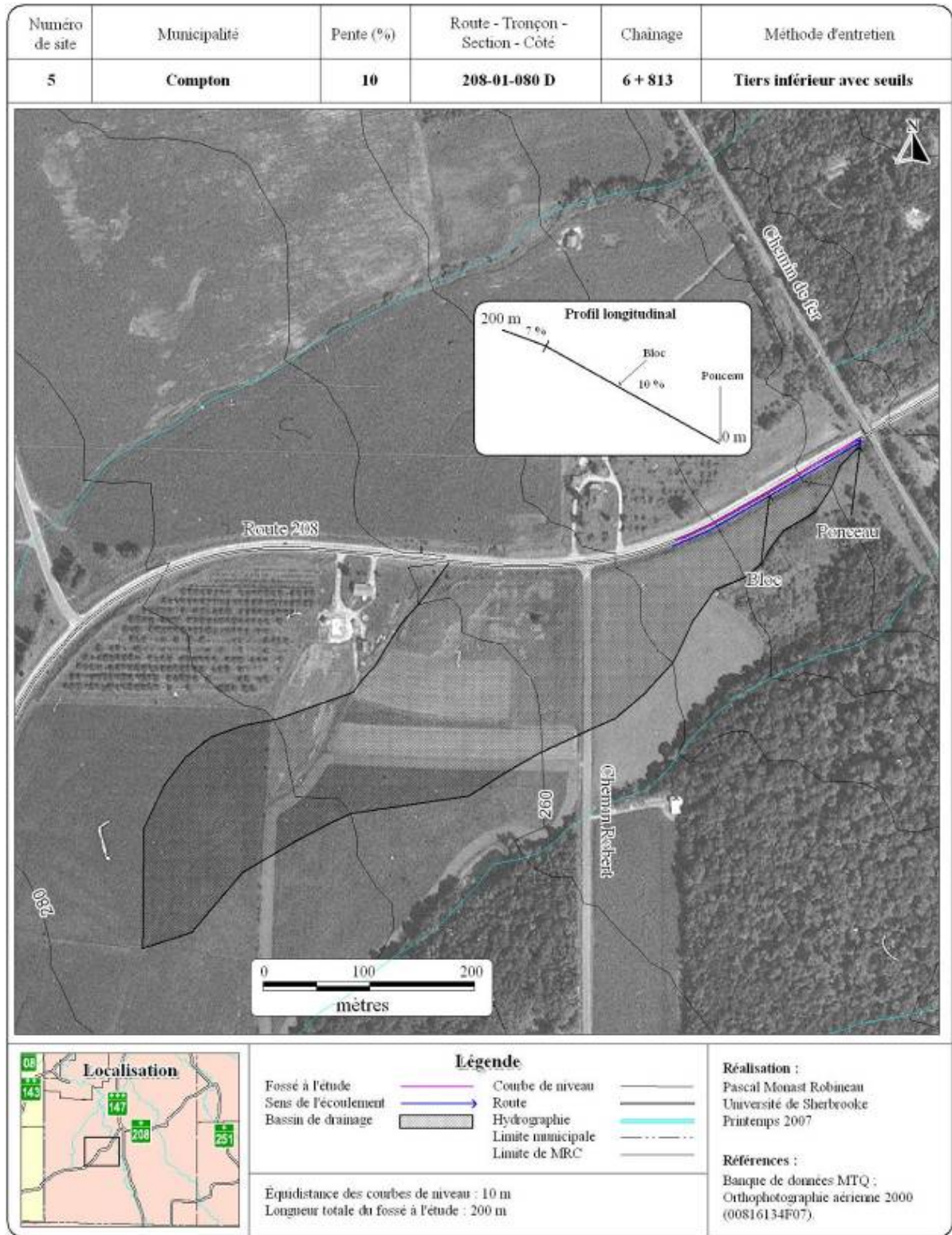


Figure 30 : Localisation du fossé du site n° 5



**Figure 31 : Bloc de taille importante déviant le cours de l'eau au mètre 90 du site no 5 avant le nettoyage (26 avril 2005)**



**Figure 32 : Marques d'érosion aux mètres 15 à 20 du site no 5 avant le nettoyage (26 avril 2005)**

Le fossé a été nettoyé le mercredi 1<sup>er</sup> juin 2005. C'est à partir de cette date qu'une nouvelle excavatrice de plus petite dimension (bras et godet) a été utilisée pour le nettoyage des sites et ainsi permettre d'effectuer la véritable méthode du tiers inférieur (figure 33). Lors du nettoyage de ce site, une bonne quantité d'eau circulait dans le fossé.

Avant même la mise en place des 16 seuils en pierres, quelques indices de ravinement étaient déjà visibles à certains endroits du fossé. Le bloc de forte taille qui provoquait la déviation de l'écoulement de l'eau vers le côté opposé à la route ne pouvait être enlevé. On a préféré l'enterrer dans le talus du fossé, du côté de la route (figure 34A). Par contre, ce travail a créé une zone sensible avec un risque de glissement du bloc vers le centre du fossé. Cet endroit a donc été stabilisé au moyen d'un seuil en pierres (figure 34B).





**Figure 33 : Écoulement de l'eau dans le fossé lors du nettoyage du site no 5 (1er juin 2005)**



**Figure 34 : Bloc de très grande dimension exhumé, au mètre 90, dans le fossé du site no 5 lors du nettoyage (1er juin 2005) : A) bloc enterré dans le talus du côté de la route; B) seuil installé pour stabiliser le bloc**

Enfin, avec la figure 35, on peut illustrer la façon dont les seuils doivent être disposés : la limite supérieure d'un seuil doit correspondre à la limite inférieure du seuil qui se trouve en amont de ce dernier.



**Figure 35 : Disposition normale des seuils en pierres vus de l'aval au site no 5 (1er juin 2005)**

#### **4.6. Site no 6 : 5 % de pente, méthode du tiers inférieur**

Le site n° 6 est localisé sur le versant nord de la rivière Niger, dans la municipalité de Barnston-Ouest, à l'ouest de la ville de Coaticook. Il est situé du côté droit de la route 141 (RTS 141-01-100 G), c'est-à-dire du côté sud-ouest, entre les chaînages 1 + 073 et 1 + 273. Le fossé, de 200 m de longueur, a une pente moyenne de 5 % et une rupture de pente se situe dans sa partie amont. La pente baisse à 4 % pour les 40 m supérieurs. Aucun ponceau ne traverse le fossé (figure 36).

Il y a deux types d'affectation des terres dans le bassin de drainage : une parcelle agricole et une zone boisée de faible dimension à l'extrémité sud du bassin. Au printemps 2006, la parcelle agricole a été labourée (figure 37). La bande de végétation séparant le fossé de la parcelle empêche l'apport de sédiments dans le fossé et il n'y a aucun drain provenant de la parcelle agricole dans la portion excavée. L'eau provient donc principalement de l'amont ainsi que du ruissellement de surface et du drainage souterrain.

Avant le nettoyage, on pouvait remarquer un petit glissement résultant du sapement basal (figure 38). Sur cette même figure, on peut aussi apercevoir une traverse de cerfs de Virginie entre deux cèdres. Dans cette traverse, le passage répété des cerfs engendre de l'érosion. On a sélectionné la méthode du tiers inférieur pour l'entretien de ce fossé.

ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE ET ÉCONOMIQUE DE LA MÉTHODE DU TIERS INFÉRIEUR POUR  
L'ENTRETIEN DES FOSSÉS ROUTIERS

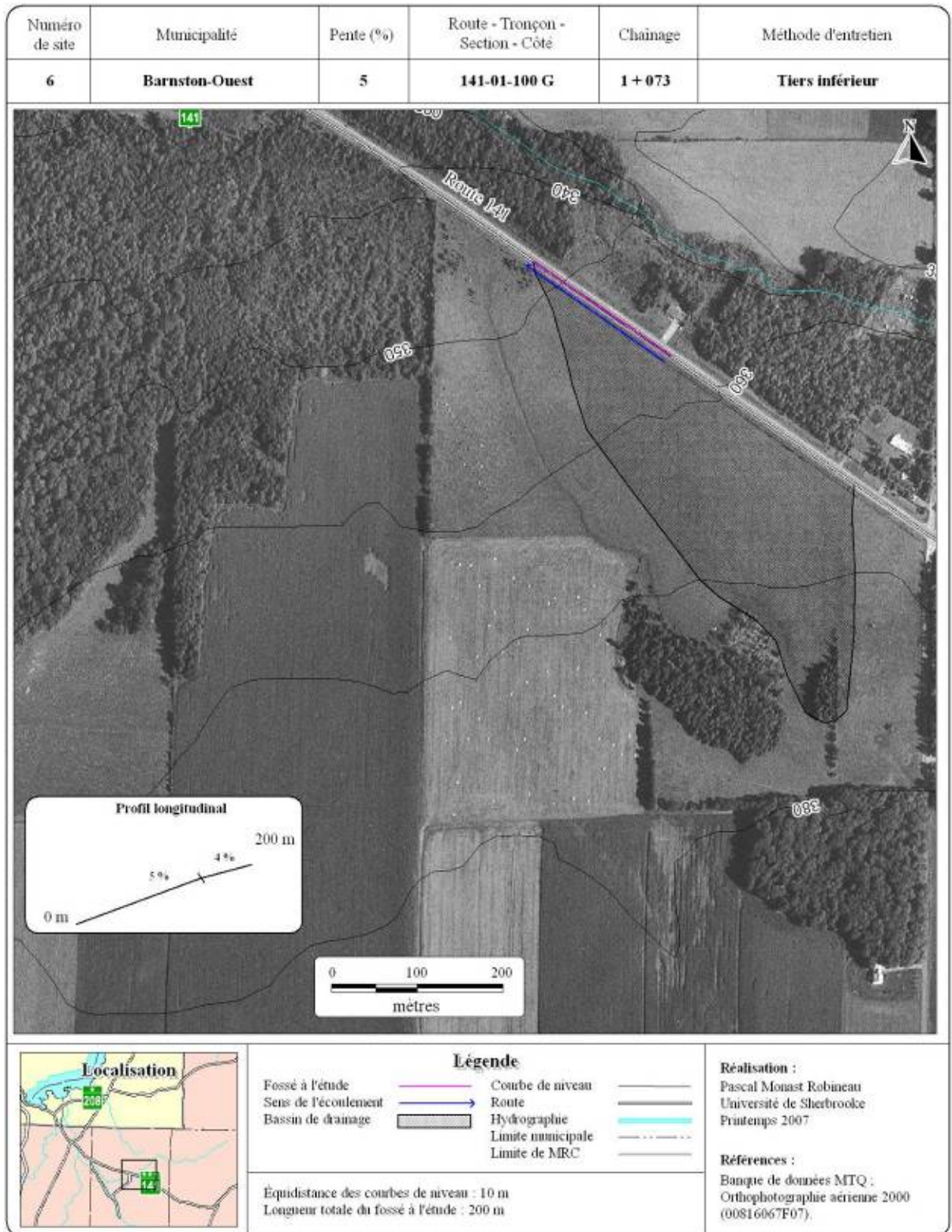


Figure 36 : Localisation du fossé du site n° 6



**Figure 37 : Bande de végétation entre le fossé et la parcelle agricole adjacente au mètre 170 du site no 6 avant le nettoyage (26 avril 2005)**



**Figure 38 : Glissement résultant du sapement basal dans la partie aval du fossé du site no 6 avant le nettoyage (2 mai 2005)**

Le fossé a été nettoyé le mercredi 8 juin 2005 (figure 39). Aucune difficulté particulière n'est survenue lors du nettoyage. Au bas de la photographie de la figure 39, on peut observer la fragilité du côté opposé à la route du fossé, qui résulte d'une cicatrice d'érosion précédant le nettoyage.



**Figure 39 : Zone aval plus sensible à l'érosion que la zone amont au site n° 6 après le nettoyage (8 juin 2005)**

#### **4.7. Site no 7 : 7 % de pente, méthode traditionnelle**

Le site n° 7 est localisé sur le versant sud du lac Massawippi, dans la municipalité de Hatley, à l'ouest de la route 143, près de la municipalité de Ayer's Cliff. Le fossé est situé sur le côté droit de la route 208 (RTS 208-01-040 D), c'est-à-dire du côté sud, entre les chaînages 1 + 968 et 2 + 158 (figure 40).

Le fossé, d'une longueur de 190 m, est limité par deux ponceaux : l'un servant d'entrée à une habitation en aval du site et l'autre servant d'accès à une parcelle agricole en amont. Il y a deux ruptures de pente dans le profil longitudinal du fossé. La première se situe à approximativement 30 m de la limite amont du fossé, là où il y a une pente de 4 % qui se change en pente de 5 %, et la seconde se situe 10 m plus loin, là où on passe à une pente moyenne de 7 % jusqu'à la limite aval du fossé.

Le bassin de drainage de ce site est essentiellement constitué de parcelles agricoles. Ces parcelles ont été labourées au printemps 2006, mais la distance qui les sépare du fossé est trop grande pour qu'elles aient un impact sur ce dernier. Entre le fossé et la parcelle agricole au nord du bassin se trouve une zone de friche.

ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE ET ÉCONOMIQUE DE LA MÉTHODE DU TIERS INFÉRIEUR POUR  
L'ENTRETIEN DES FOSSÉS ROUTIERS

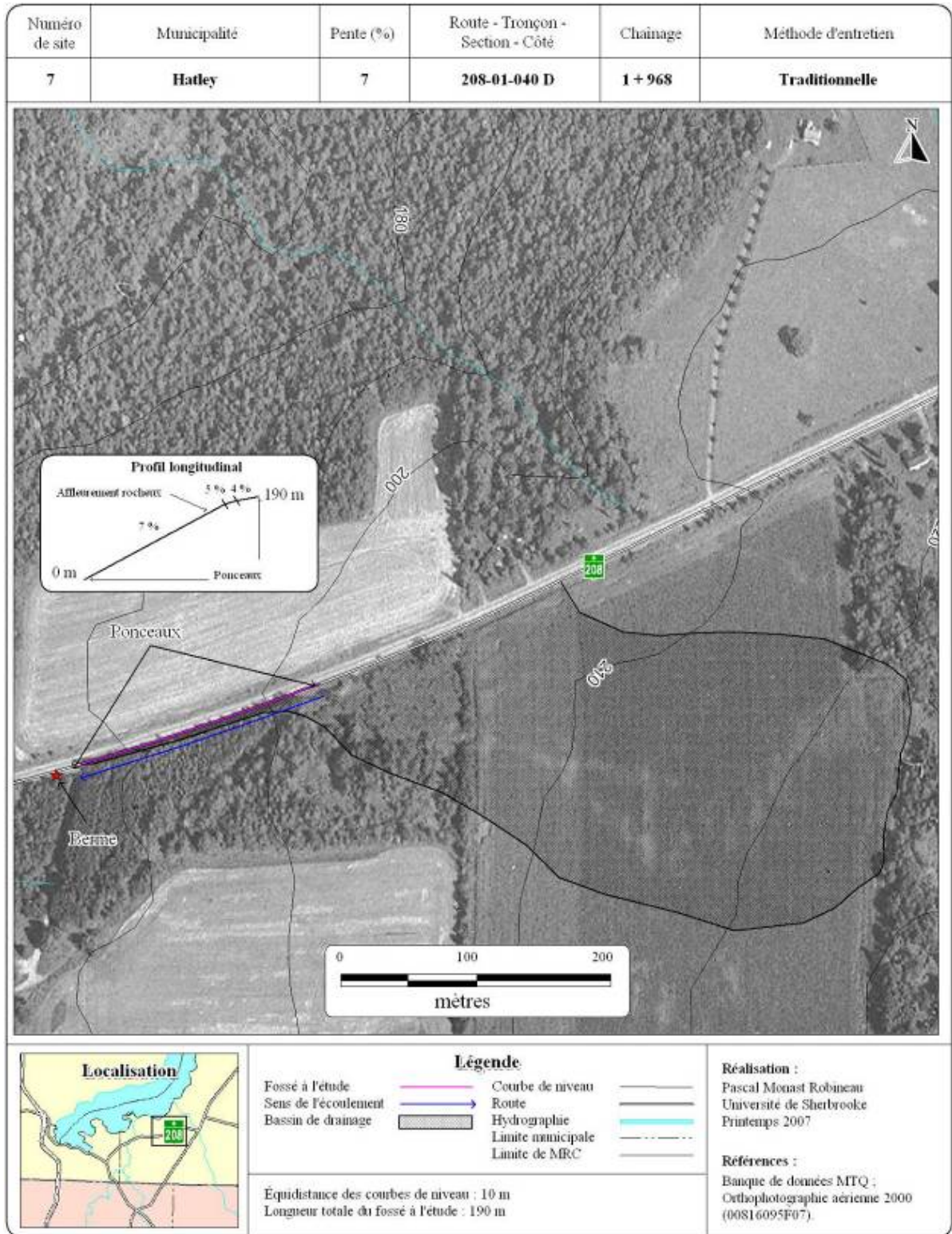


Figure 40 : Localisation du fossé du site n° 7

La méthode traditionnelle a été choisie pour ce site puisque le profil du fossé devait être refait sur une longueur d'au moins 25 m à cause d'un glissement qui entravait l'écoulement dans la partie amont du fossé (figure 41).



**Figure 41 : Zone d'érosion pelliculaire entre les mètres 127 et 152 dans le fossé du site no 7 (2 mai 2005)**

Le fossé a été nettoyé le mardi 24 mai 2005. Cependant, le nettoyage qui y a été fait est inadéquat car de la végétation a été conservée par inadvertance au sommet du talus opposé à la route et une bande de végétation a été conservée volontairement au sommet du talus du côté de la route pour en préserver la stabilité et ainsi éviter des coûts supplémentaires (figure 42). Cela a eu pour conséquence de favoriser une reprise de la végétation herbacée dans les 30 m en aval du fossé. Au mètre 130, lors du nettoyage, un affleurement rocheux a été mis à nu (figure 43). Son emplacement correspond à la limite aval du glissement mentionné précédemment.

#### **4.8. Site no 8 : 7 % de pente, méthode du tiers inférieur**

Le site n° 8 est situé sur le versant est du lac Massawippi dans la municipalité de Hatley. Le fossé est situé sur le côté droit de la route 208 (RTS 208-01-060 D), c'est-à-dire du côté sud, entre les chaînages 1 + 117 et 1 + 317. Ce fossé, d'une longueur de 200 m, comporte deux ruptures de pente : une à 30 m de sa limite amont, là où la pente moyenne passe de 3 à 5 %, et une autre 20 m plus loin, là où la pente moyenne passe de 5 à 7 % pour les 150 m suivants. Aucun ponceau ne traverse le fossé (figure 44).



**Figure 42 : Variantes de la méthode traditionnelle réalisée au site n° 7 lors du nettoyage (24 mai 2005) : A) végétation conservée par inadvertance au sommet du talus opposé à la route au mètre 87; B) bande de végétation conservée volontairement au sommet du talus du côté de la route lors du nettoyage au mètre 150 pour en préserver la stabilité**



**Figure 43 : Affleurement rocheux mis à nu au mètre 130 du site n° 7 lors du nettoyage (24 mai 2005)**

Le bassin de drainage de ce fossé est complexe. Un apport d'eau provient d'abord de la parcelle agricole adjacente ainsi que de celle où se trouve une habitation en amont. Ensuite, dans les 30 m en amont du fossé, un apport d'eau provient de l'habitation. En somme, la plus grande partie de l'eau qui circule dans le fossé provient du ruissellement des terres adjacentes. La parcelle agricole a été labourée à l'automne 2005, mais il ne peut y avoir d'apport en sédiments provenant de cette parcelle grâce à la bande de végétation qui la sépare du fossé.

Pour les 100 m en aval, le fond du fossé est presque dénudé (figure 45A). Les 25 premiers m sont, par endroits, marqués par un nettoyage d'entretien plus radical que celui provenant de la méthode du tiers inférieur. Au mètre 12,5, on aperçoit une faible érosion par sapement basal près de la clôture bordant la



parcelle agricole (figure 45B). ). À cet endroit, l'érosion peu visible sur la figure 44B, se produit sous la végétation de couleur jaunâtre. Pour les 100 m amont du fossé, la situation est différente car la végétation au fond du fossé est bien en place et aucune marque d'érosion n'est visible (figure 45C). La méthode sélectionnée pour l'entretien du site est la méthode du tiers inférieur.

ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE ET ÉCONOMIQUE DE LA MÉTHODE DU TIERS INFÉRIEUR POUR  
L'ENTRETIEN DES FOSSÉS ROUTIERS

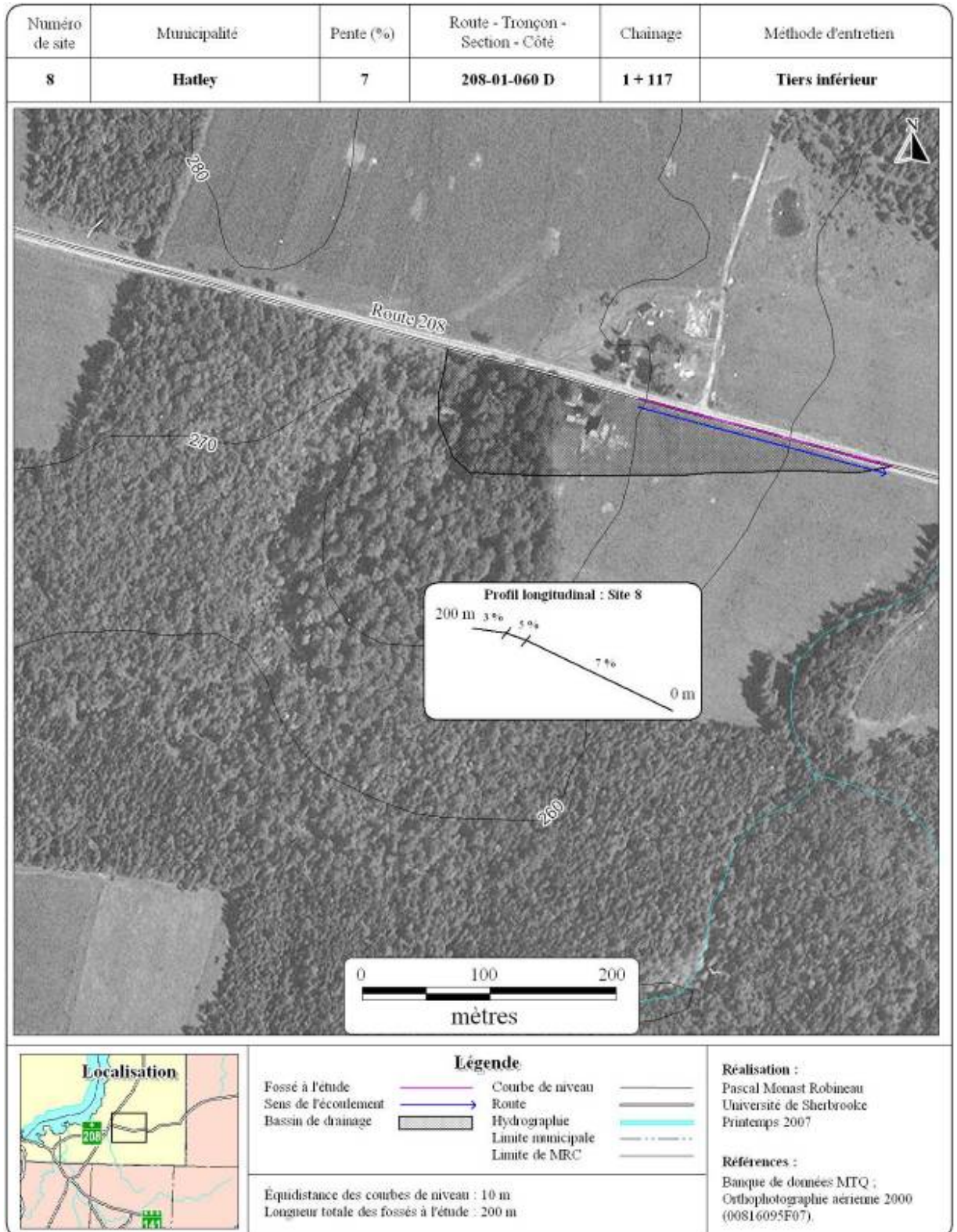


Figure 44 : Localisation du fossé du site n° 8



**Figure 45 : Différence de densité de végétation dans le fond du site n° 8 avant le nettoyage (6 juin 2005) : A) faible densité de la végétation au mètre 87,5; B) végétation absente et érosion par sapement basal au mètre 12,5; C) végétation présente au mètre 162,5**

Le fossé a été nettoyé pendant la matinée du lundi 6 juin 2005. Comme près de 100 m de fossé n'étaient pas végétalisés, il n'était pas nécessaire de faire un nettoyage profond pour enlever les racines. Au mètre 120, un bloc de forte taille déviait le cours de l'eau vers la route et aurait pu créer de l'érosion (figure 46). Une fois ce bloc enlevé, le profil transversal à cet endroit a pu être reconstruit.



**Figure 46 : Emplacement d'un bloc qui a été enlevé au mètre 87 du site n° 8 (6 juin 2005)**

Enfin, de nombreux affleurements rocheux sont présents au fond du fossé, dans la partie amont de la rupture de pente (figure 47). Dans cette section du fossé, la pente étant plus faible, les affleurements rocheux forment à quelques endroits des micro-bassins de sédimentation.



**Figure 47 : Affleurement rocheux mis à nu au mètre 162 au site n° 8 (6 juin 2005)**

#### **4.9. Site no 9 : 10 % de pente, méthode du tiers inférieur**

Le site n° 9 est localisé sur le versant est de la rivière Moe, dans la municipalité de Compton. Il est situé sur le côté droit de la route 208 (RTS 208-01-115 D), c'est-à-dire du côté sud, entre les chaînages 3 + 886 et 4 + 086. Ce site fait face au site n° 10, qui est situé du côté gauche de la route. La pente moyenne du fossé, d'une longueur de 200 m, est de 10 %. Il y a une rupture de pente à 30 m de la limite amont, là où la pente moyenne est réduite à 8 %. Aucun ponceau ne traverse le fossé (figure 48).

La superficie du bassin de drainage est comparable à celle des autres sites de son groupe. L'occupation des terres est uniquement agricole. Du côté opposé à la route, la bande de végétation surélevée entre le fossé et la parcelle agricole crée une barrière empêchant l'apport de sédiments dans le fossé (figure 49). C'est le cas pour les 30 m en aval du fossé, là où la parcelle agricole adjacente a été labourée au printemps et à l'automne 2005, et où aucun apport de sédiments n'a été constaté.

ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE ET ÉCONOMIQUE DE LA MÉTHODE DU TIERS INFÉRIEUR POUR  
L'ENTRETIEN DES FOSSÉS ROUTIERS

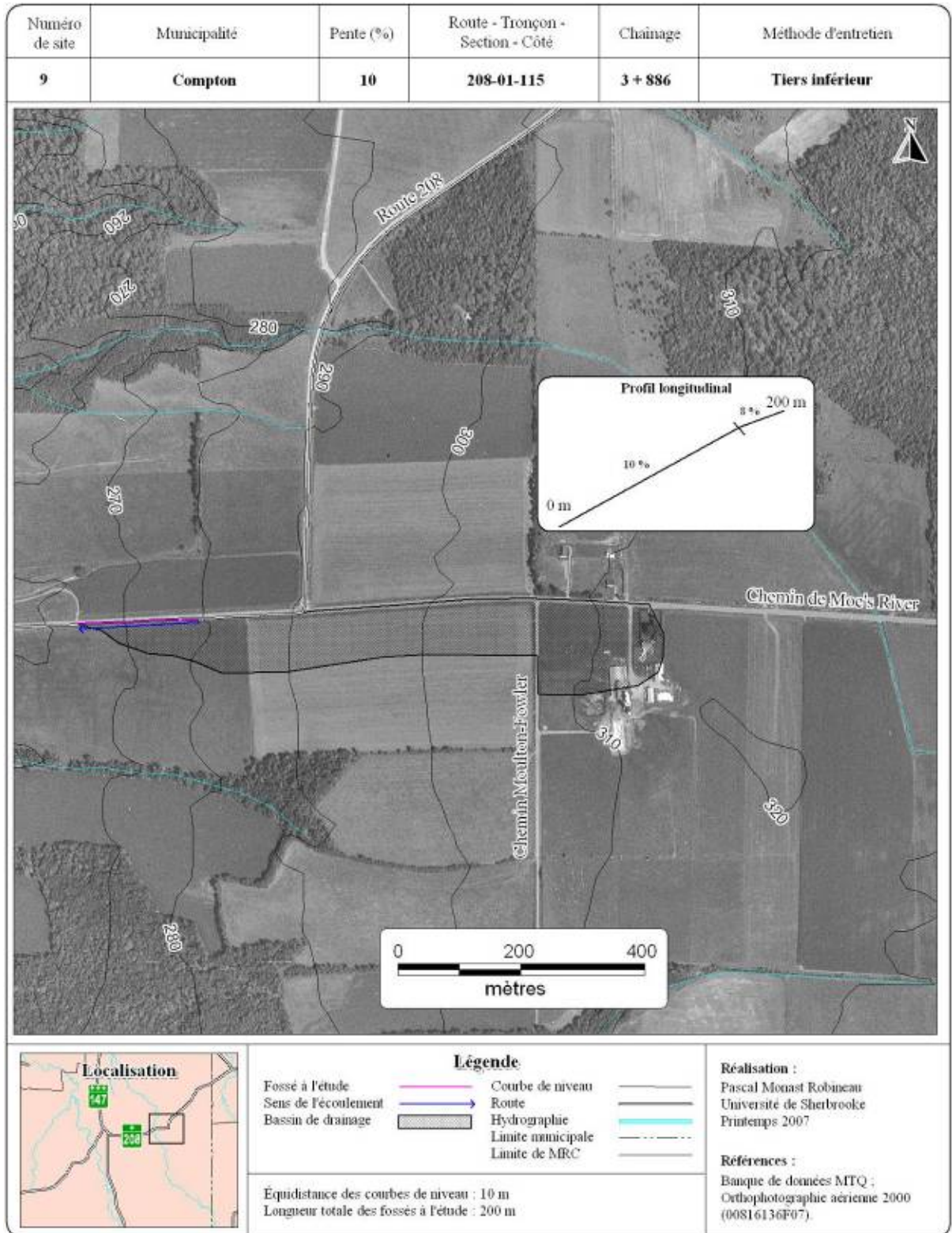


Figure 48 : Localisation du fossé du site n° 9

Le bassin de drainage du fossé s'étend à plus de 500 m vers l'amont et reçoit l'eau du drainage des parcelles agricoles situées au sud du chemin de Moe's River. Aussi, un apport d'eau supplémentaire provient du fossé est du chemin Moulton-Fowler.



**Figure 49 : Site no 9 avant le nettoyage et vue d'une partie de son bassin de drainage (2 mai 2005)**

Tout comme c'est le cas pour le site n° 10 de l'autre côté de la route, l'agriculteur à qui appartiennent les terres des deux côtés de la route 208 a empierré le fossé au cours des années. Voulant éviter qu'il y ait trop d'érosion causée par l'eau circulant à l'intérieur du fossé, il y a jeté de nombreux blocs provenant de l'épierrement de ses champs. La plupart des blocs se trouvent donc au fond du fossé, recouverts par une mince couche de sédiments et de végétation. Vers la limite amont du fossé, entre les mètres 187 et 192, un amoncellement d'asphalte provoque une faible déviation du cours de l'eau vers la route (figure 50). Cet amoncellement a causé une difficulté pour le positionnement du transect qui a dû être légèrement déplacé vers l'aval.

La méthode d'entretien choisie pour ce site est celle du tiers inférieur. Cette méthode convient très bien à ce fossé où le couvert végétal est bon et où les profils transversaux et longitudinaux n'étaient pas à refaire.

Le fossé a été nettoyé le mardi 31 mai 2005 avec une excavatrice surdimensionnée. Par contre, grâce à une bonne surveillance des travaux, la méthode du tiers inférieur a pu être respectée la plupart du temps (figure 51). Il a été possible de réaliser cette méthode car le fossé était large et permettait la plupart du temps de positionner adéquatement le godet malgré l'équipement inadéquat. La présence de nombreux blocs de faible dimension a rendu le nettoyage plus difficile.



**Figure 50 : Amoncellement d'asphalte dans le fond du fossé au mètre 187 du site n° 9 (20 juillet 2005)**



**Figure 51 : Nettoyage du site no 9 au mètre 160 (31 mai 2005)**

#### **4.10. Site no 10 : 10 % de pente, méthode traditionnelle**

Le site n° 10 est localisé sur le versant est de la rivière Moe dans la municipalité de Compton et il fait face au site n° 9. Il est situé sur le côté droit de la route 208 (RTS 208-01-115 G), c'est-à-dire du côté nord, entre les chaînages 3 + 886 et 4 + 086. La longueur du fossé est de 200 m, sa pente est de 10 % et il y a une rupture de pente à 30 m en amont, là où la pente moyenne est réduite à 8 %. Aucun ponceau ne traverse le fossé, mais un ponceau sert de limite aval (figure 52).

ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE ET ÉCONOMIQUE DE LA MÉTHODE DU TIERS INFÉRIEUR POUR  
L'ENTRETIEN DES FOSSÉS ROUTIERS

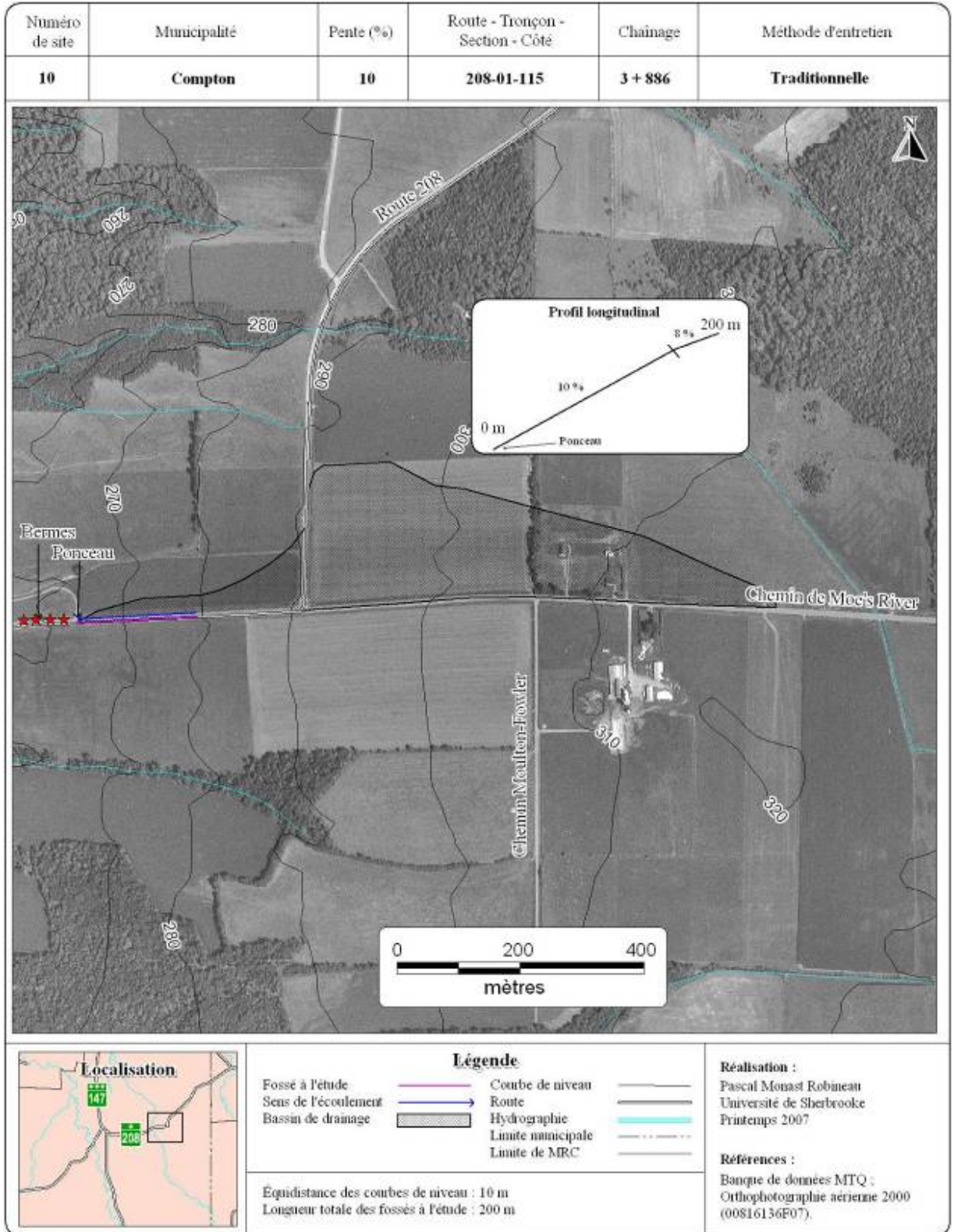


Figure 52 : Localisation du fossé du site n° 10



La superficie du bassin de drainage de ce fossé est un peu supérieure à celle des deux autres fossés à 10 %. Tout comme c'est le cas pour le site n° 9, le bassin de drainage s'étend jusqu'à environ 500 m vers l'amont. La différence avec les autres fossés provient du drainage supplémentaire des terres le long de la route 208.

On constate qu'il y a une zone de contact entre deux formations meubles au mètre 20, où celle qui est située en aval est un dépôt glacio-lacustre beaucoup plus sableux que le till. La majeure partie du bassin de drainage est constituée de parcelles agricoles. La plupart de ces parcelles ne sont pas labourées (figure 53). Comme mentionné pour le site n° 9, de nombreux blocs provenant de l'épierrement des champs ont été déversés dans le fossé et ceux-ci favorisent la formation de chutes et de déviations tout au long de ce dernier. Sur la figure 53, on constate aussi la présence d'alluvions sur le talus du côté opposé à la route indiquant le niveau atteint par l'eau lors de forts débits.



**Figure 53 : Site n° 10 vu de l'aval avant le nettoyage et sédiments déposés à l'occasion de crues (2 mai 2005).**

Aussi, sur la figure 54, prise lors du nettoyage du site n° 10, on peut constater la quantité de blocs qui pouvaient se trouver tout au fond du fossé. À cause de tous ces blocs, déformant le profil transversal et longitudinal du fossé, il était inévitable d'utiliser la méthode dite traditionnelle dans le but de refaire le profil initial à certains endroits. Afin de retenir les sédiments, quatre bermes filtrantes ont été installées en aval du site.

Le fossé a été nettoyé sur deux journées, soit les lundi 30 et mardi 31 mai 2005. Contrairement au nettoyage des fossés des sites n° 1 et 7, le talus du fossé opposé à la route a été nettoyé de la façon présentée à la figure 1, c'est-à-dire complètement dénudé de végétation. Du côté de la route, la pente du profil ne permettait pas toujours de nettoyer cette portion de toute végétation, car cette pente aurait été nettement trop abrupte, ce qui aurait pu provoquer l'affaissement de la route (figure 14). Par contre, il y a plusieurs endroits où cette végétation aurait quand même pu être enlevée.



**Figure 54 : Grande quantité de blocs découverts au moment du nettoyage du site n° 10 (30 mai 2005)**

La première journée de travail a permis de nettoyer les 130 premiers mètres. Aussitôt le fossé nettoyé, l'érosion par ravinement puis par sapement basal dans le dépôt sablonneux de la partie aval a été rapide (figure 55). La seconde journée, les 70 m restants ont pu être convenablement nettoyés et des bermes filtrantes ont été installées.

#### **4.11. Site no 11 : 3 % de pente, méthode traditionnelle**

Le site n° 11 est localisé dans la municipalité de Stanstead-Est, soit sur le versant est du ruisseau Sleeper, qui se jette à plus de 4 kilomètres vers l'est dans la rivière Tomifobia. Ce site est localisé sur le côté droit de la route 143 (RTS 143-01-050 D), c'est-à-dire du côté sud-est, entre les chaînages 3 + 031 et 3 + 231. Ce fossé, d'une longueur de 200 m, a une pente moyenne de 3 % orientée vers le sud-ouest. Contrairement à la majorité des fossés, ce dernier ne présente pas de rupture de pente. Aucun ponceau ne traverse le fossé (figure 56).



**Figure 55 : Érosion rapide au mètre 9 du site n° 10 au cours de la journée du nettoyage du fossé (30 mai 2005) : A) photographie prise à 11 h 50; B) photographie prise à 15 h 55**

La partie du bassin de drainage bordant le fossé a une pente moyennement forte, approximativement de 8 %, et l'orientation de cette pente est perpendiculaire au fossé (figure 57). Le reste du bassin possède une pente tout aussi forte, puisqu'il est sis sur un monticule rocheux, mais il se draine vers la section amont du fossé. La conséquence de ces fortes pentes est que l'eau ruisselle rapidement vers le fossé à la suite des précipitations (figure 58). Enfin, l'occupation des terres dans ce bassin de drainage est uniquement agricole : la partie amont du monticule rocheux est un pâturage et le reste sert pour la culture du fourrage.

La méthode traditionnelle a été choisie pour l'entretien de ce fossé. La raison pour laquelle cette méthode a été préférée à la méthode du tiers inférieur est que la végétation à l'intérieur de ce fossé n'avait pas un système racinaire profond. En effet, la végétation est uniquement herbacée et il y aurait eu des risques de glissement de la végétation par décrochement sur le talus opposé à la route.

Le fossé a été nettoyé le mardi 7 juin 2005. Contrairement aux autres fossés nettoyés à l'aide de la méthode traditionnelle, ce site a été nettoyé avec une excavatrice de plus petite dimension. Aussi, à l'inverse des trois autres sites de fossés nettoyés à l'aide de la méthode traditionnelle, aucune bande de végétation n'a été laissée sur le côté de la route. Le fait d'avoir enlevé la végétation sur tout le profil intérieur du fossé permet par contre d'obtenir une meilleure estimation de la quantité de matériel enlevé lorsque cette méthode est appliquée de façon intégrale (figure 59A).

ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE ET ÉCONOMIQUE DE LA MÉTHODE DU TIERS INFÉRIEUR POUR  
L'ENTRETIEN DES FOSSES ROUTIERS

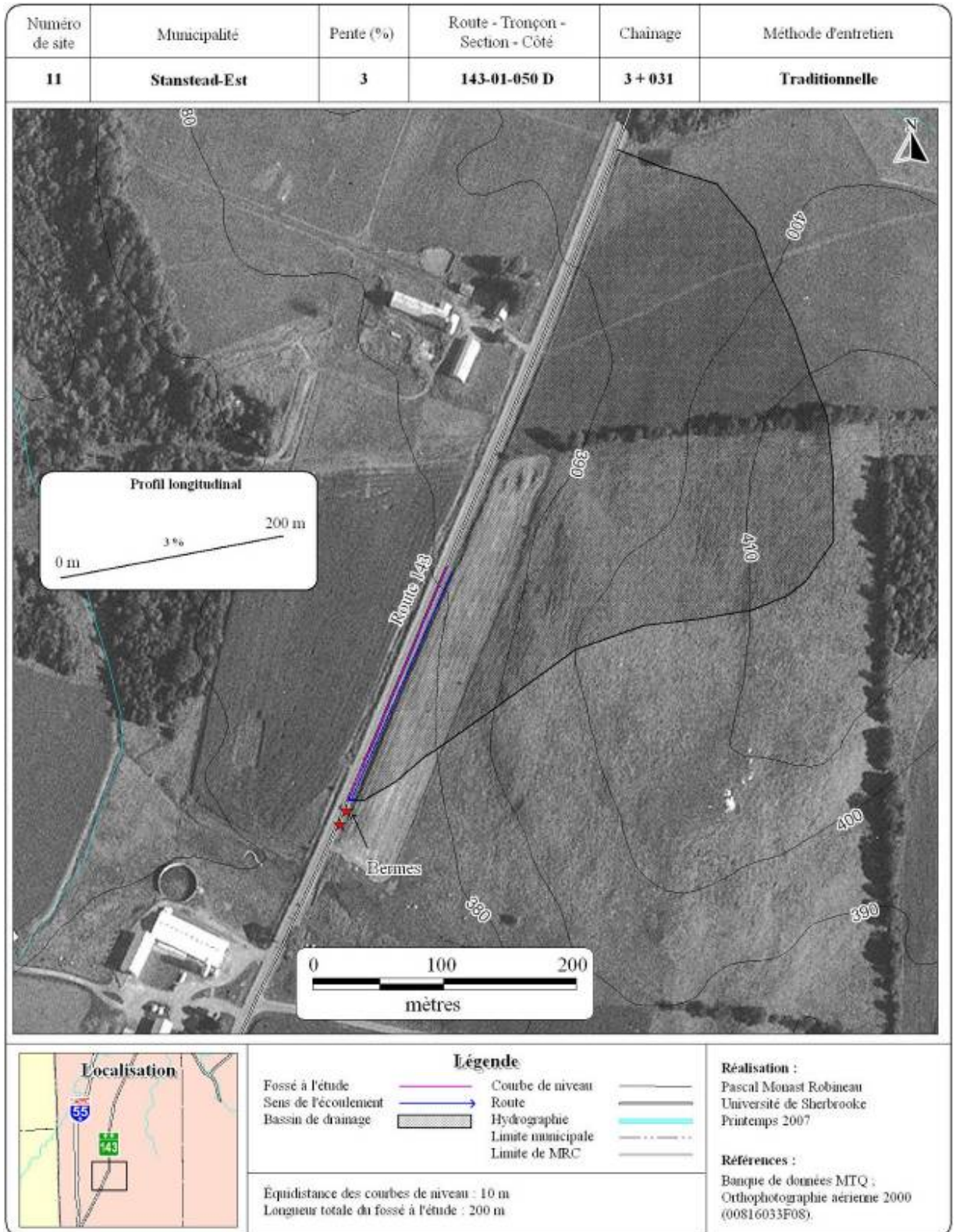


Figure 56 : Localisation du fossé du site n° 11



**Figure 57 : Pente de moyenne à forte du bassin de drainage du site n° 11. Pente orientée perpendiculairement au fossé (7 juin 2005)**



**Figure 58 : Eau circulant dans le site n° 11 avant le nettoyage, à la suite de précipitations survenues quelques heures auparavant (2 mai 2005)**

La couche de till présente à l'intérieur du fossé est parfois très mince car, à quelques endroits, des affleurements rocheux ont été mis à nu sur le talus opposé à la route (figure 59B). Enfin, il n'y a eu aucune difficulté supplémentaire durant le nettoyage de ce fossé. Étant donné que ce fossé a été nettoyé au moyen de la méthode traditionnelle, il fallait mettre en place des bermes filtrantes en aval du site afin de retenir les sédiments. Le manque d'espace pour installer les bermes vers l'aval à cause de la présence d'un ponceau à environ 10 m de la limite aval du site a entraîné l'obligation de disposer la première berme à 3 m de la limite. La seconde berme a été disposée quelques mètres plus loin et la végétation entre ces deux bermes a été laissée en place pour favoriser l'effet de filtre (figure 60).



**Figure 59 : Fossé du site n° 11 après le nettoyage à l'aide de la méthode traditionnelle (7 juin 2005) : A) profil transversal vu de l'aval du fossé; B) affleurements rocheux sur le talus du côté opposé à la route au mètre 37**



**Figure 60 : Bermes filtrantes installées en aval du site n° 11 (7 juin 2005)**

#### **4.12. Site no 12 : 5 % de pente, méthode du tiers inférieur bonifiée**

Le site n° 12 est le dernier des sites sélectionnés ayant une pente moyenne de 5 %. Celui-ci se trouve sur le versant nord de la rivière Niger, dans la municipalité de Barnston-Ouest. Il est situé du côté droit de la route 141 (RTS 141-01-100 G), c'est-à-dire du côté nord, entre les chaînages 5 + 475 et 5 + 675. Le fossé a une longueur de 200 m. Il y a une rupture de pente située au mètre 160 où la pente moyenne de la section amont est de 7 %. Aucun ponceau ne traverse le fossé (figure 61).

La superficie du bassin de drainage de ce fossé est légèrement inférieure à celle du bassin des autres fossés ayant une pente moyenne de 5 %. La presque totalité de l'eau qui circule dans ce fossé provient de la parcelle agricole qui le borde. Une petite partie de l'eau provient du drainage du terrain où se situe une habitation, en haut de bassin. La pente générale de ce bassin est approximativement de 5 %, orientée vers la limite aval du fossé. Ainsi, la pente du bassin de drainage est oblique au fossé, ce qui implique qu'il y a une

plus grande quantité d'eau de ruissellement qui arrive dans le fossé vers l'aval que vers l'amont.

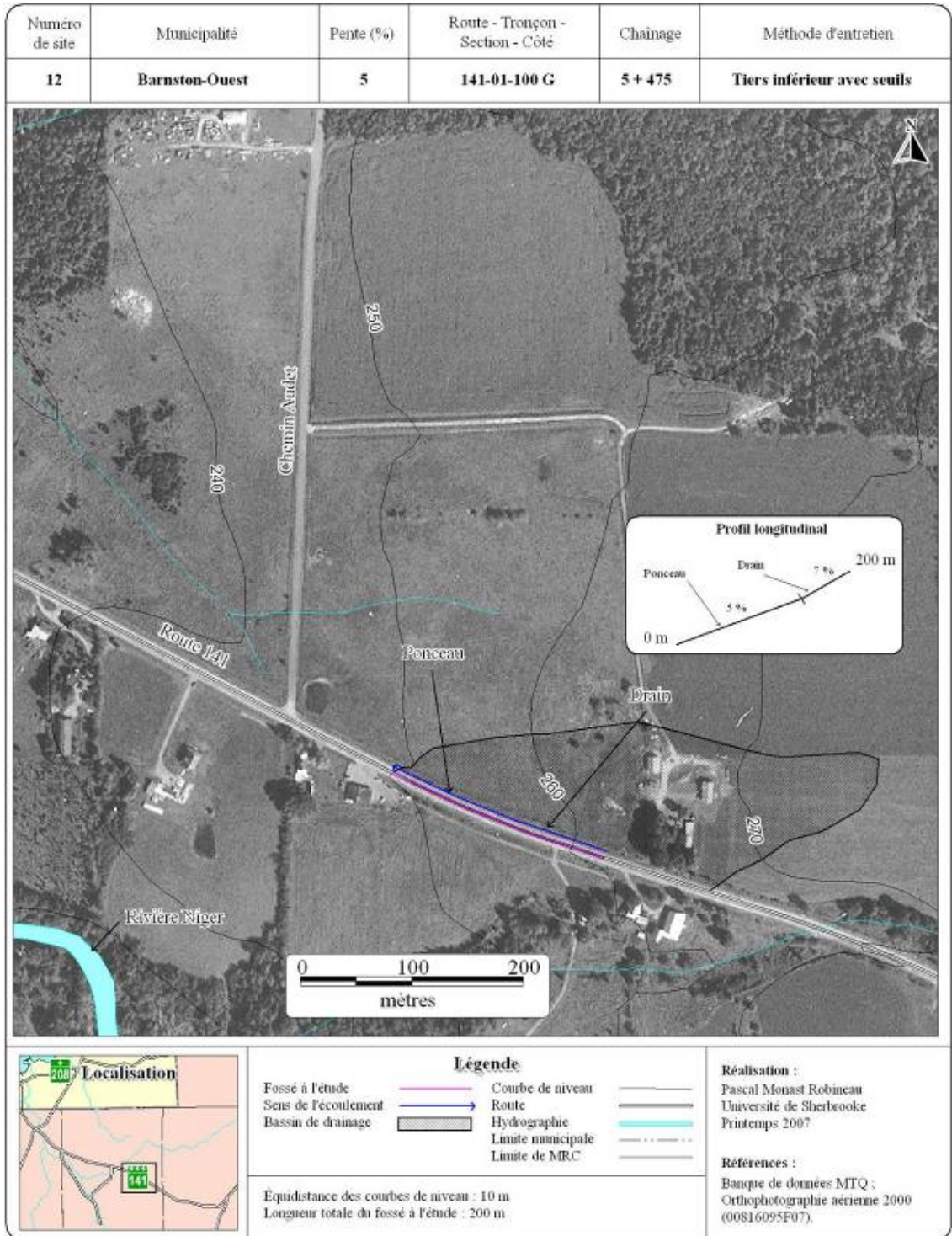


Figure 61 : Localisation du fossé du site n° 12

La parcelle agricole qui borde le fossé a été labourée au printemps et à l'automne 2005. Par contre, une bande de végétation se situe entre le champ et le fossé, empêchant l'apport de sédiments dans le fossé (figure 62). Aussi, au mètre 125, un drain agricole apporte un supplément d'eau au fossé, mais le faible apport en eau de ce drain a peu d'incidence sur l'écoulement dans le fossé. Ce drain a d'ailleurs été recouvert par un seuil en pierres à l'occasion du nettoyage du site.

La méthode d'entretien choisie pour ce site est la méthode du tiers inférieur avec 12 seuils en pierres. Ce site a donc été sélectionné en remplacement du site n° 2 qui a été nettoyé avec une excavatrice inadéquate.



**Figure 62 : Partie du bassin de drainage du site n° 12. Une bande de végétation sépare un champ du fossé. (13 juin 2005)**

Le fossé a été nettoyé sur deux journées, soit le jeudi 9 juin et le lundi 13 juin 2005. Les 50 premiers mètres ont été nettoyés le jeudi et, au moment de la reprise du nettoyage le lundi, on a constaté qu'un petit glissement avait eu lieu dans la zone déjà nettoyée (figure 63), affectant la partie du fossé bordant la route. Le talus du fossé a été réparé et un seuil a été disposé à cet endroit pour le stabiliser. Aucune autre difficulté particulière n'est survenue au cours du nettoyage de ce fossé.



**Figure 63 : Seuil installé au mètre 28 du site n° 12 pour stabiliser l'endroit à la suite d'un petit glissement (13 juin 2005)**



Par la suite, des seuils en pierres ont été mis en place tout au long du fossé en suivant la méthode montrée sur la figure 2. À cause de la faible profondeur du fossé, 12 seuils ont été aménagés. Le fossé étant moins large et moins profond, la hauteur des seuils a dû être réduite ainsi que l'espacement entre deux seuils pour assurer l'horizontalité entre la crête du seuil en aval et la base du seuil en amont (figure 64).



**Figure 64 : Exemple d'espacement des seuils à partir du mètre 37 au site n° 12 (13 juin 2005)**

#### **4.13. Site no 13 : 3 % de pente, méthode du tiers inférieur bonifiée**

Le site n° 13 est localisé sur le versant ouest du ruisseau Ménard qui se jette dans la rivière Niger à plus de 3,5 kilomètres vers le sud. Ce site se trouve dans la municipalité de Barnston-Ouest, sur le côté gauche de la route 141 (RTS 141-01-100 G), c'est-à-dire du côté sud-ouest, entre les chaînages 0 + 245 et 0 + 445. D'une longueur de 200 m, le fossé a une pente moyenne de 3 % et n'a aucune rupture de pente. Un ponceau, donnant accès à un boisé, se situe au mètre 86 (figure 65).

La superficie du bassin de drainage de ce fossé est supérieure à celle des autres sites avec une pente de 3 %. La zone drainée couvre en partie trois parcelles agricoles ainsi qu'une zone forestière dans des proportions équivalentes. Le terrain se draine de deux façons : par le chemin Buckland, à l'est, et par la zone boisée qui sépare les parcelles agricoles du fossé. Ainsi, la quantité d'eau circulant dans ce fossé est plus importante que celle des autres fossés du même groupe. La zone bordant le site est uniquement d'affectation forestière : il n'y a donc pas d'apports importants de sédiments possibles vers le fossé.

La méthode du tiers inférieur avec six seuils en pierres a été choisie en raison de l'apport d'eau important dans ce fossé. Aussi, le profil initial du fossé ne comportait aucune anomalie et n'exigeait pas d'entretien de reconstruction. Le fossé a été nettoyé le jeudi 9 juin 2005 (figure 66). Au cours du nettoyage, aucune difficulté particulière n'a surgi.

Après son aménagement, le 9 juin 2005, ce fossé a été, par erreur, nettoyé de nouveau par le Centre de services de Cookshire entre le 15 juillet et le 15 août 2005. La méthode utilisée pour nettoyer ce fossé a consisté à enlever entièrement la végétation sur les talus du fossé (figure 67). Ainsi, le site n° 13 ne convenant plus à l'étude, il a été abandonné et le site n° 14 a été choisi pour compléter le groupe de sites à 3 % de pente.

ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE ET ÉCONOMIQUE DE LA MÉTHODE DU TIERS INFÉRIEUR POUR  
L'ENTRETIEN DES FOSSÉS ROUTIERS

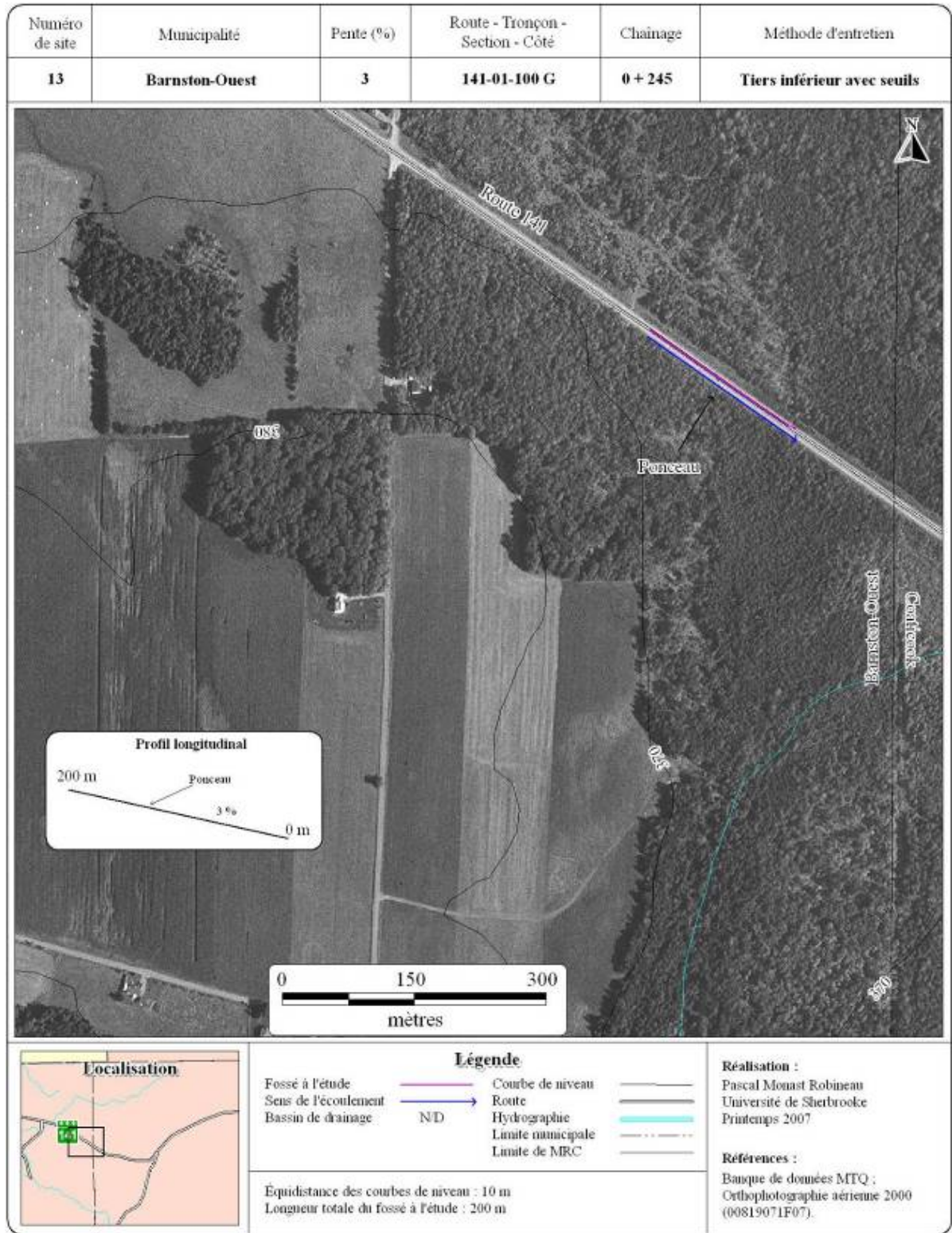


Figure 65 : Localisation du fossé du site n° 13



Figure 66 : État du site n° 13 au moment du nettoyage au mètre 128 (9 juin 2005)



Figure 67 : Comparaison des méthodes de nettoyage au site n° 13 : A) fossé nettoyé à l'aide de la méthode du tiers inférieur au mètre 170 (9 juin 2005); B) même fossé nettoyé à l'aide de la méthode se rapprochant de la méthode traditionnelle et où les talus sont complètement dénudés (15 août 2005)

#### 4.14. Site no 14 : 3 % de pente, méthode du tiers inférieur bonifiée

Le site n° 14 est localisé sur le versant ouest de la rivière aux Saumons, dans la municipalité de Martinville, et la limite amont du fossé est à moins de 200 m des limites administratives de Compton. Le fossé est situé sur le côté gauche de la route 208 (RTS 208-01-130 G), c'est-à-dire du côté nord-ouest, entre les chaînages 1 + 133 et 1 + 333. La pente moyenne de ce site est de 3 % et un ponceau permettant l'accès à une parcelle agricole se trouve au mètre 110 (figure 68). Cependant, entre les mètres 60 et 85, la pente diminue à 2 % approximativement. Ce fait est observable par l'accumulation de l'eau entre les seuils en pierres (figure 69).

ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE ET ÉCONOMIQUE DE LA MÉTHODE DU TIERS INFÉRIEUR POUR  
L'ENTRETIEN DES FOSSÉS ROUTIERS

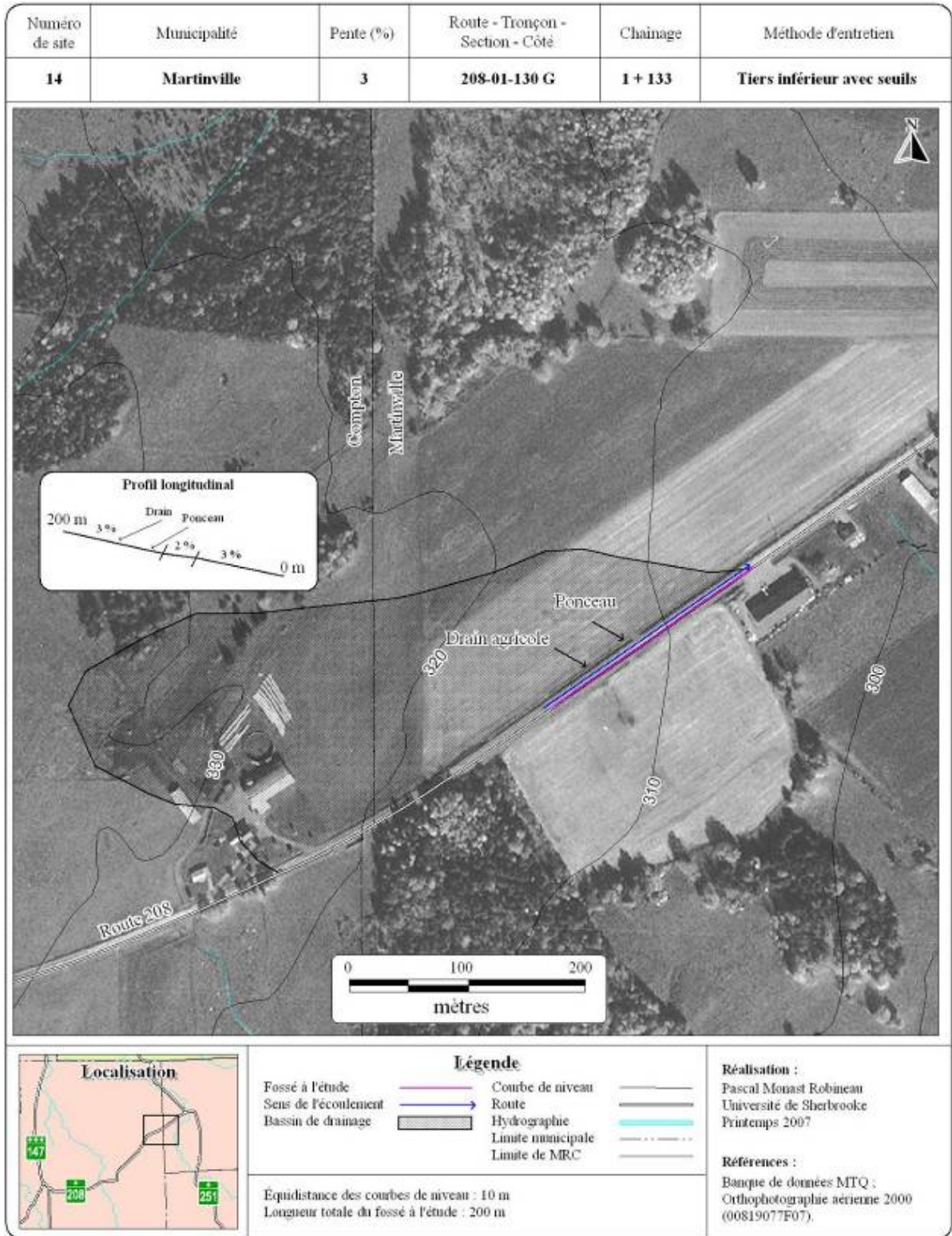


Figure 68 : Localisation du fossé du site n° 14



**Figure 69 : Fossé de pente de moins de 3 % au site n° 14 entre les mètres 60 et 85 (21 novembre 2005)**

Le bassin de drainage de ce site est uniquement couvert de parcelles agricoles (figure 70). Ces parcelles ont été labourées à l'automne 2005. Par contre, une bande de végétation les sépare du fossé, réduisant de beaucoup la possibilité d'un apport sédimentaire dans ce dernier. Aussi, un drain agricole se trouve au mètre 140 et assure un faible apport supplémentaire d'eau dans le fossé.



**Figure 70 : Bassin de drainage du site n° 14 après un labourage (21 novembre 2005)**

Ce fossé a été nettoyé à l'aide de la méthode du tiers inférieur bonifiée avec six seuils en pierres car ce fossé remplace celui du site n° 13. Il fallait nettoyer le site n° 14 avant la période hivernale, ce qui s'est fait le 19 septembre 2005, pour permettre la meilleure comparaison possible entre les sites de pente moyenne de 3 %. Le nettoyage devait donc être fait à l'aide de la méthode du tiers inférieur avec seuils; par contre, l'excavatrice utilisée étant inadéquate, comme c'était le cas pour le site n° 2, on n'a pas respecté exactement les limites d'un tiers inférieur (figure 71A).

Aussi, la localisation du site ayant été mal évaluée, on a découvert du filage de Bell Canada au mètre 15 (figure 71B). Cette portion de fossé a cependant pu être nettoyée sans aucun problème avec un peu plus de précautions. Enfin, la mise en place des six seuils en pierres a été faite convenablement (figure 2).



**Figure 71 : Fossé du site n° 14 après le nettoyage montrant les effets d'une excavatrice surdimensionnée : A) talus du côté opposé à la route à moitié dénudé de végétation (21 novembre 2005); B) filage de Bell Canada découvert au cours du nettoyage dans la partie aval du fossé (19 septembre 2005)**

#### **4.15. Installation de panneaux**

Des panneaux de signalisation ont été installés, en 2005, à la limite aval de chacun des sites pour éviter des interventions non prévues dans les fossés faisant partie de l'étude et aussi pour sensibiliser la population au projet (figure 72). La décision d'installer de tels panneaux avait été prise dès le début du projet, mais leur mise en place n'a été faite qu'après une intervention imprévue et non autorisée dans le site n° 13 au cours de l'été 2005.



**Figure 72 : Panneau indiquant la présence des sites expérimentaux**

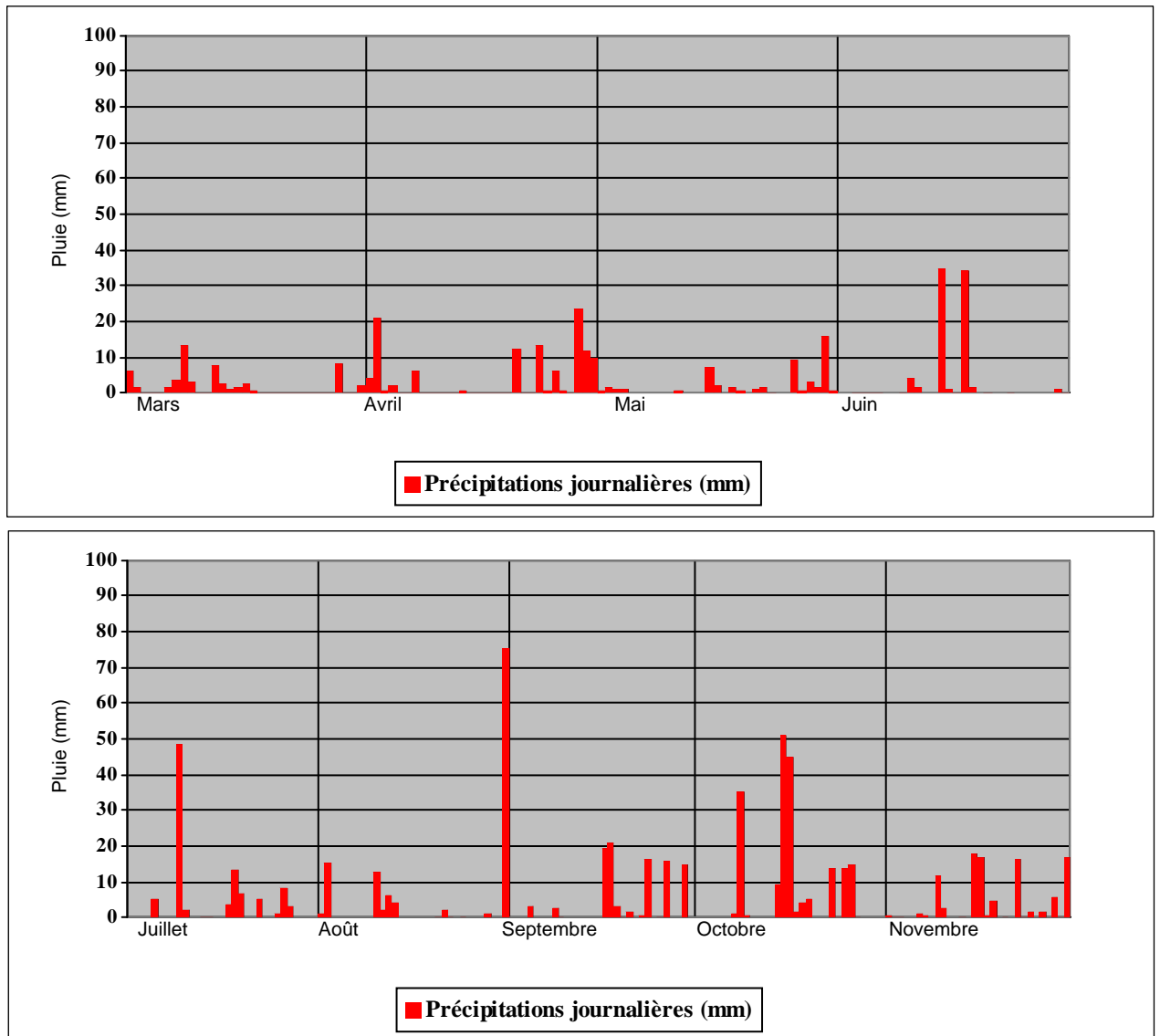
#### **4.16. Données météorologiques**

En 2005, on note cinq événements météorologiques importants qui ont affecté l'ensemble du territoire (figure 73). Premièrement, entre le 26 et le 30 mai, des précipitations d'intensité moyenne sont tombées sur le territoire avec un total dépassant les 32 mm de pluie.

Ensuite, au mois de juin, le lendemain de la finalisation du nettoyage des 13 premiers sites, il y a eu deux journées de fortes précipitations, soit les 14 et 17 juin, avec 35 mm de pluie chaque jour. Les précipitations des 9 juillet et 31 août ont totalisé respectivement 50 et 75 mm. À l'automne 2005, deux précipitations importantes ont eu lieu sur le territoire, soit celle des 16 et 17 septembre, avec plus de 40 mm, et celle des 15 et 16 octobre, avec près de 100 mm. Les premières précipitations constantes sous forme de neige se sont produites au début du mois de décembre.

En 2006, la fonte des neiges a eu lieu au début du mois d'avril. Au cours de cette année, quatre événements météorologiques importants ont eu lieu (figure 74). Premièrement, des précipitations importantes sont tombées pendant six jours consécutifs, du 16 au 21 mai, apportant plus de 60 mm de pluie.

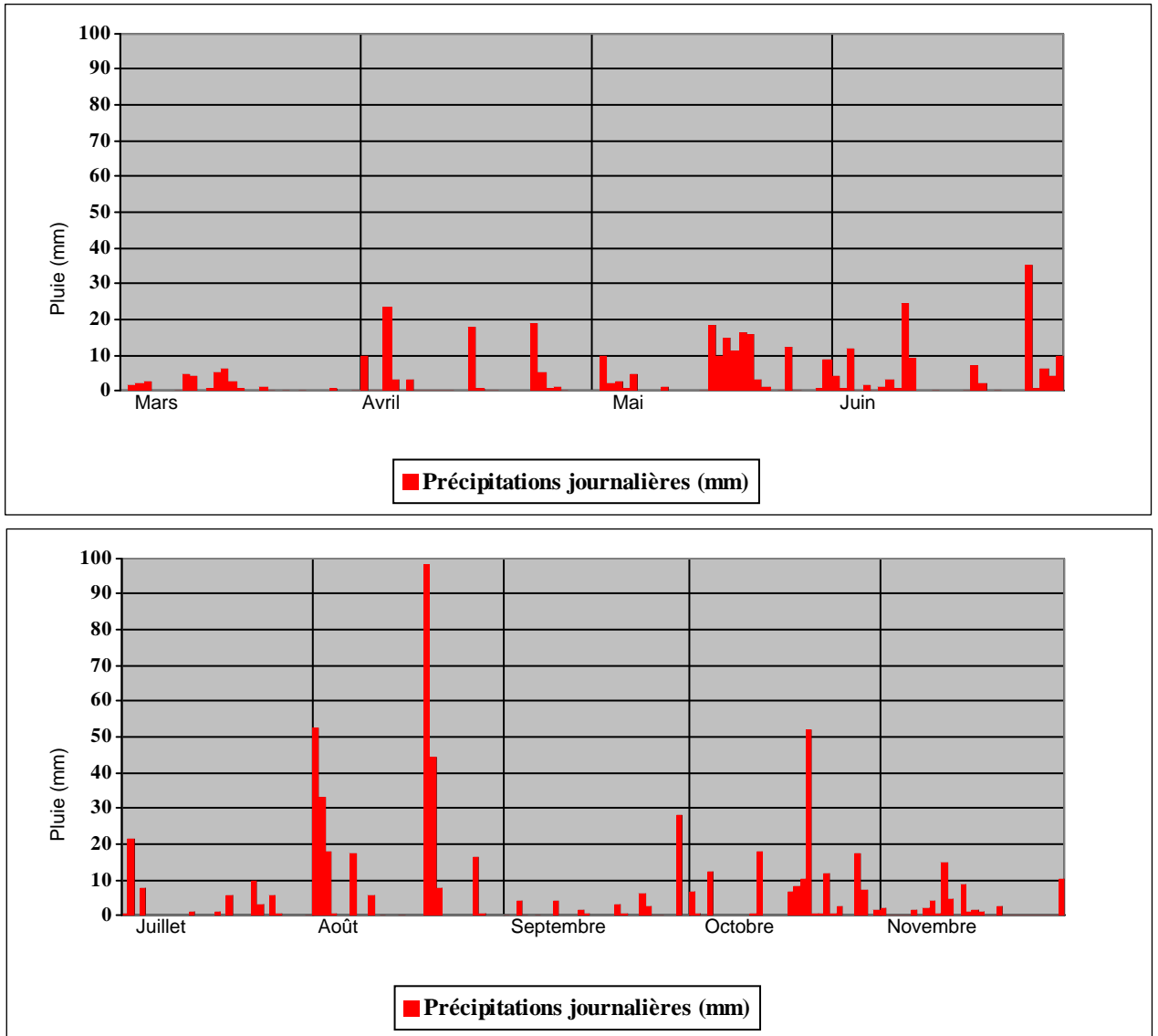




Source : [http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/climateData/canada\\_f.html](http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/climateData/canada_f.html) (2005)

**Figure 73 : Données météorologiques des précipitations, en 2005, à l'aéroport de Sherbrooke**

Ensuite, deux précipitations importantes sont survenues, soit entre les 1<sup>er</sup> et 3 août, avec plus de 90 mm de pluie, ainsi que les 19 et 20, avec plus de 140 mm. Enfin, les précipitations des 18 et 20 octobre ont apporté plus de 72 mm de pluie. Les premières précipitations constantes sous forme de neige se sont produites au début du mois de décembre.



Source : [http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/climateData/canada\\_f.html](http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/climateData/canada_f.html) (2006)

**Figure 74 : Données météorologiques des précipitations, en 2006, à l'aéroport de Sherbrooke**

## 5. RÉSULTATS : SUIVI DES SITES

Dans cette section, on présente les résultats au chapitre de l'environnement et de l'économie. Les données environnementales se rapportent, pour la plupart, à l'estimation du volume de matériaux érodés, basée sur les profils transversaux réalisés entre le nettoyage au printemps 2005 et la fin des relevés à l'automne 2006. Une description de l'évolution de chacun des sites est faite pour permettre d'interpréter les données dans la section 6. Dans la présentation des résultats concernant l'érosion, on ne fait pas mention du site n° 13, qui a été remplacé par le site n° 14 en septembre 2005. Par contre, les données économiques recueillies au moment du nettoyage de ce site sont comptabilisées. Celles-ci découlent des temps calculés au cours du nettoyage des sites ainsi que pendant les interventions subséquentes qui ont été nécessaires dans certains fossés, surtout pour corriger des cicatrices d'érosion qui ont affecté la stabilité de l'accotement de la route.

### 5.1. Évolution des sites

La description de l'évolution des sites permet de mieux comprendre comment l'érosion s'est produite dans les fossés et comment s'est faite la reprise de la végétation. Pour chacun des sites, on présente l'évolution de l'érosion, la reprise de la végétation et on fait état des événements ponctuels qui sont survenus dans les fossés.

C'est à partir d'un graphique montrant l'évolution de chacun des transects que l'évolution des fossés est décrite. Cependant, le lecteur doit être attentif en comparant ces graphiques car l'échelle des valeurs (axe des y) varie d'un graphique à l'autre.

#### 5.1.1. Site n° 1 : 5 % de pente, méthode traditionnelle

Le fossé du site n° 1 a été nettoyé à l'aide de la méthode traditionnelle le 25 mai 2005 et on a observé que le fossé était gorgé d'eau, à cause de la fonte des neiges. Le fossé a une longueur de 187 m car il est délimité par deux ponceaux. Ainsi, il n'y a que sept sections dans ce fossé, où la section n° 7, située en amont, a 37 m de longueur. Comme mentionné dans la section 4, le nettoyage des fossés à l'aide de la méthode traditionnelle s'est fait de façon à laisser une bande de végétation sur le talus du côté de la route (figure 75A).

On a mesuré de l'érosion très tôt dans ce fossé. En effet, les profils transversaux ont été mesurés la journée même du nettoyage du fossé et huit jours plus tard. Le volume total de matériaux érodés est de 11 m<sup>3</sup> (figure 76). Peu après le nettoyage, entre le 26 et le 28 mai, une courte période de précipitations a affecté l'ensemble du territoire à l'étude avec un peu plus de 14 mm de pluie (figure 73). Sur le talus du côté de la route, on a constaté quelques indices importants d'érosion qui ont été mesurés le 2 juin. La majeure partie de l'érosion s'est produite sur la portion du fossé en amont du

mètre 125. L'érosion est plus importante dans les sections n<sup>os</sup> 6 et 7 où le talus du côté de la route a été affecté par du fluage (figure 75B).



**Figure 75 : Nettoyage du fossé du site n<sup>o</sup> 1 : A) bande de végétation laissée sur le talus du côté de la route au moment du nettoyage du fossé (25 mai 2005); B) érosion par fluage sur le talus du côté de la route (29 mai 2005)**

Par la suite, on a constaté une réduction importante de l'érosion au cours de l'été 2005. La végétation a repris de façon clairsemée sur la portion nettoyée. Dans la section n<sup>o</sup> 3, on constate une accumulation de sédiments dès la troisième mesure des profils réalisée le 25 juillet 2006 (figure 76). Cette section se trouve en amont du ponceau qui cause une réduction de la vitesse de l'eau (figure 77A).

Au mois de juillet 2005, on constate une accumulation soudaine de sédiments dans la section n<sup>o</sup> 1, suivie d'une reprise importante de l'érosion. L'accumulation dans cette section est due à la présence d'une berme filtrante qui a permis la formation d'un bassin de sédimentation (figure 77B). La berme est située à proximité de la limite aval du site (section 4.1.) et la quantité de matériaux accumulés dans le bassin de sédimentation était très importante. L'accumulation dans le bassin de sédimentation a été mesurée le 26 juillet 2005. L'érosion a repris après le nettoyage des bassins de sédimentation, le 15 août 2005.

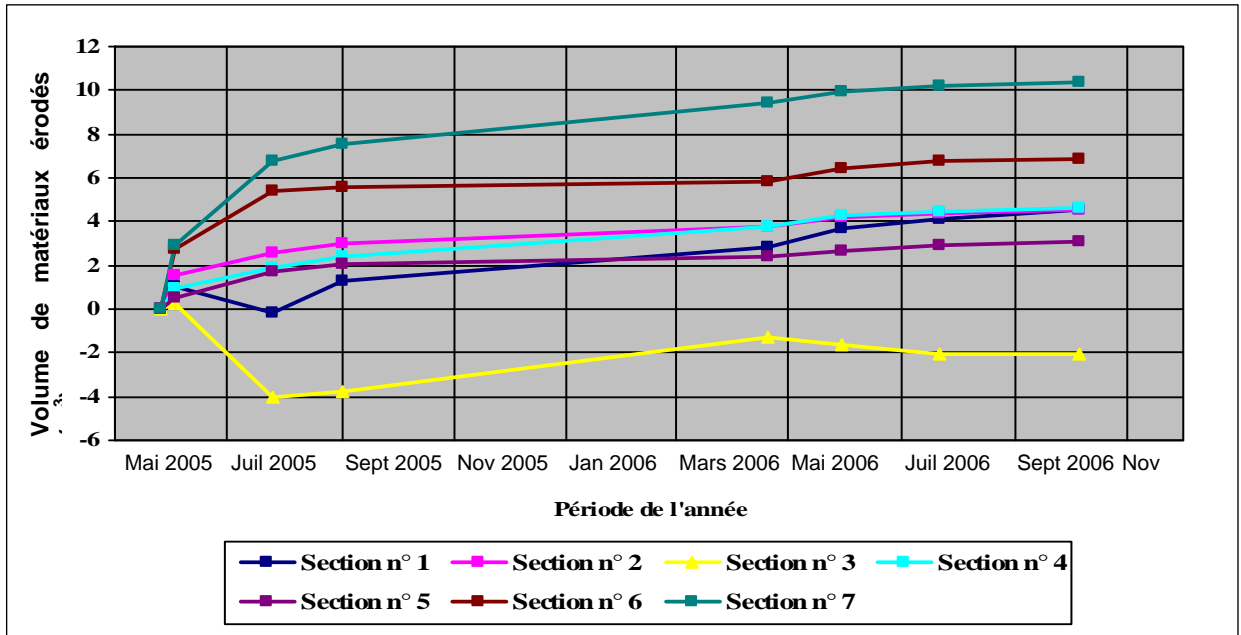


Figure 76 : Évolution des transects dans le fossé du site n° 1 nettoyé à l'aide de la méthode traditionnelle



Figure 77 : Accumulation de sédiments dans le fossé du site n° 1 : A) en amont du ponceau (26 juillet 2005); B) accumulation causée par le bassin de sédimentation (15 août 2005)

En 2006, on a constaté deux marques d'érosion importantes dans la portion amont du fossé. Premièrement, le 19 avril, entre les mètres 122 et 127, on a d'abord observé une cicatrice à la limite de l'accotement résultant d'un fluage à la base du talus (figure 78A). Cette cicatrice s'est accentuée au cours du printemps puis, lorsque l'accotement a été égalisé à l'aide d'une niveleuse, elle a été remplie et le talus est demeuré stable depuis.

On a constaté le même phénomène entre les mètres 152 et 158 à la fin du printemps 2005 et au début du printemps 2006 (figure 78B). À cet endroit, l'inclinaison de l'affleurement rocheux provoque une déviation de l'écoulement vers le talus du côté de la route, ce qui favorise l'érosion par fluage. Le fluage à la base du talus a causé une cicatrice à la limite de l'accotement. Tout comme pour la cicatrice entre les mètres 122 et 127, lorsque le nivellement de l'accotement a été réalisé à la fin du printemps 2005, la cicatrice a été comblée. Au printemps 2006, on a constaté un autre cisaillement dans l'accotement. Cette cicatrice n'a pas exigé d'intervention par une équipe du ministère des Transports car, au cours de l'été, avec l'assèchement du sol, le talus s'est stabilisé.



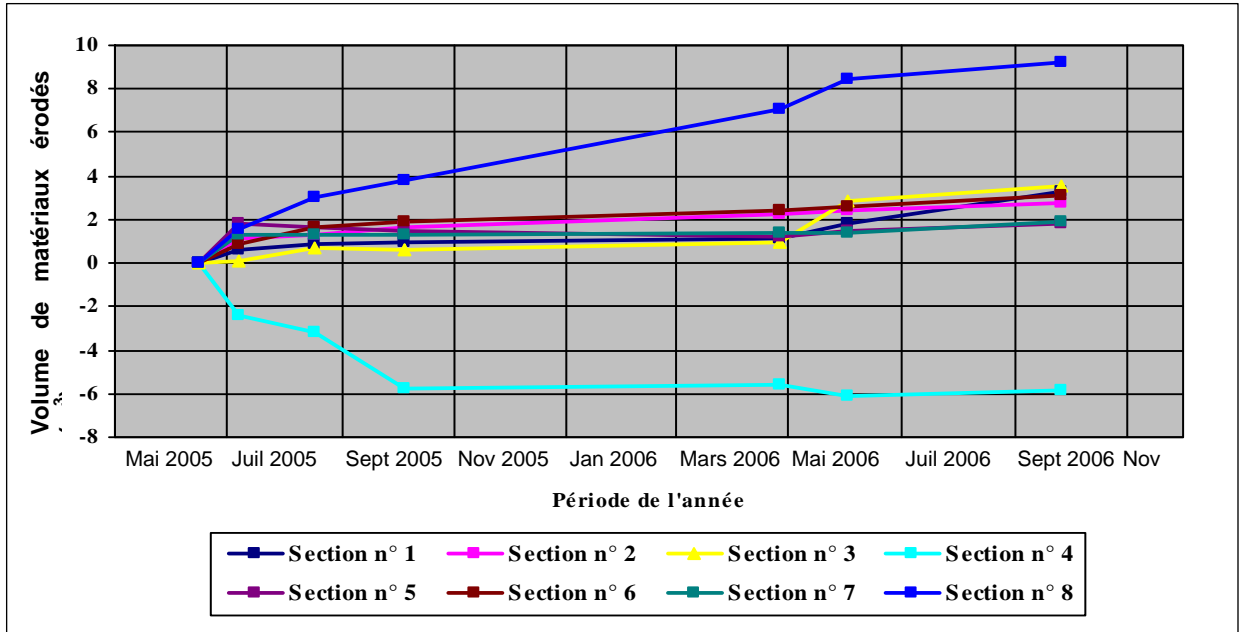
**Figure 78 : Érosion par fluage dans le fossé du site n° 1 : A) cicatrice à la limite de l'accotement entre les mètres 122 et 127 (23 mai 2006); B) déviation de l'écoulement vers le talus du côté de la route (19 avril 2006)**

Enfin, on a estimé à près de 21 m<sup>3</sup> le volume de matériaux érodés dans le fossé du site n° 1 en 2005. Au cours de la période hivernale 2005-2006, un volume de près de 10 m<sup>3</sup> de sédiments a été érodé. On a mesuré une baisse de l'érosion dans ce fossé au cours de l'été 2006, avec uniquement 6 m<sup>3</sup> de matériaux érodés. On constate cependant que l'érosion a été nettement plus importante dans les sections n<sup>os</sup> 6 et 7. Le volume total de matériaux érodés est de plus de 36 m<sup>3</sup> en 18 mois. La reprise de la végétation s'est faite lentement sur la portion du fossé qui a été excavée. C'est sur le talus du côté de la route qu'on a constaté que la végétation herbacée repoussait plus rapidement, étant donné qu'une bande de végétation a été conservée dans la portion supérieure.

### **5.1.2. Site no 2 : 5 % de pente, méthode traditionnelle avec seuils**

Le fossé du site n° 2 a été nettoyé le 26 mai 2005, sous une pluie fine et constante. La précipitation n'a pas affecté la stabilité du fossé pendant le nettoyage. Moins d'un mois après celui-ci, on a constaté d'importantes

cicatrices d'érosion dans le fond du fossé, le volume de matériaux érodés représentant près de 5 m<sup>3</sup> (figure 79). En 2005, les zones d'érosion majeures se situent entre le mètre 0 et le mètre 110. On a observé de fortes accumulations de sédiments en amont des seuils. Par exemple, la section n° 4 correspond à une zone d'accumulation car le transect se situe un peu en amont d'un seuil.



**Figure 79 : Évolution des transects dans le fossé du site n° 2 nettoyé à l'aide de la méthode traditionnelle avec seuils**

La dimension moyenne des pierres utilisées pour la conception des seuils est de 200 à 300 mm. Rapidement, on a observé une zone d'accumulation de sédiments en amont des seuils. Étant donné que les seuils servent à réduire la vitesse de l'eau, les matériaux les plus grossiers s'y sont accumulés. À l'automne 2005, les feuilles mortes qui sont tombées dans le fossé se sont aussi accumulées en amont des seuils en pierres, ce qui a favorisé le colmatage des interstices, et la sédimentation a été plus importante par la suite.

Les seuils ont donc créé des bassins de sédimentation, et l'absence de tablier en pierres à l'aval des seuils a favorisé l'érosion (figure 80). L'érosion importante en aval des seuils a créé des zones instables, comme c'est le cas au transect de la section n° 8 qui est situé à un mètre en aval d'un seuil. Dans la section n° 8, on constate une érosion plus importante que dans les autres sections. En effet, dans cette section, après 18 mois de mesures des profils transversaux, le volume total de matériaux érodés estimé est de 9 m<sup>3</sup>, ce qui correspond à la moitié du volume total pour le fossé.



**Figure 80 : Érosion importante du talus opposé à la route du fossé du site n° 2 au mètre 187 (11 novembre 2006)**

On observe le même problème avec le seuil situé peu en amont du transect n° 1, là où l'écoulement de l'eau s'est fait entre le seuil et le talus du côté opposé à la route (figure 81). Entre les mois d'avril et de septembre 2006, l'érosion estimée dans la section n° 1, dont le transect se trouve à 1 m en aval du premier seuil, a augmenté de plus de 2 m<sup>3</sup>. On a remarqué qu'en amont du seuil, l'écoulement de l'eau a bifurqué sous le talus du côté opposé à la route et a contourné ce seuil (figure 81). Il y a donc eu de l'érosion sous la bordure du talus et, à partir de juin 2006, on a constaté un début d'affaissement de celui-ci. En septembre 2006, il y a eu cisaillement d'une portion du talus, ce qui a provoqué un affaissement localisé.



**Figure 81 : Érosion sous le talus du côté opposé à la route dans le fossé du site n° 2 entre les mètres 12 et 15 (2 juin 2006)**



Enfin, on a estimé à près de 6 m<sup>3</sup> le volume de matériaux érodés dans le fossé du site n° 2 en 2005. Au cours de la période hivernale 2005-2006, un volume de 5 m<sup>3</sup> de matériaux a été érodé. On a constaté une augmentation de l'érosion dans ce fossé au cours de l'été 2006, avec 9 m<sup>3</sup> de matériaux érodés. La reprise de la végétation s'est faite lentement sur la portion du fossé qui a été excavée. Certaines portions du talus opposé à la route sont encore dénudées de végétation à l'automne 2006 et on a constaté l'absence totale de végétation dans le chenal d'écoulement de l'eau. Le volume total de matériaux érodés est de 20 m<sup>3</sup> en 18 mois.

### 5.1.3. Site no 3 : 3 % de pente, méthode du tiers inférieur

Le fossé du site n° 3 a été nettoyé le 13 juin 2005. Lors de l'intervention, on a constaté que c'est sur ce site qu'on a enlevé la plus grande quantité de matériaux au cours du nettoyage des sites effectué à l'aide de la méthode du tiers inférieur, avec 6,75 chargements de camion. Au cours des deux années d'observation, l'érosion dans ce fossé n'a pas été très importante. En effet, l'érosion s'est produite en deux temps. Premièrement, après le nettoyage, on a mesuré de faibles taux d'érosion dans les huit sections (figure 82). Ensuite, jusqu'au printemps 2006, on a remarqué une relative stabilisation du fossé, avec une reprise de la végétation dans les 50 m en aval. Entre avril et juin 2006, on a mesuré une reprise de l'érosion dans les six sections en amont. C'est dans la section n° 5 qu'on a constaté le plus grand volume de matériaux érodés pour la deuxième année de prise de données.

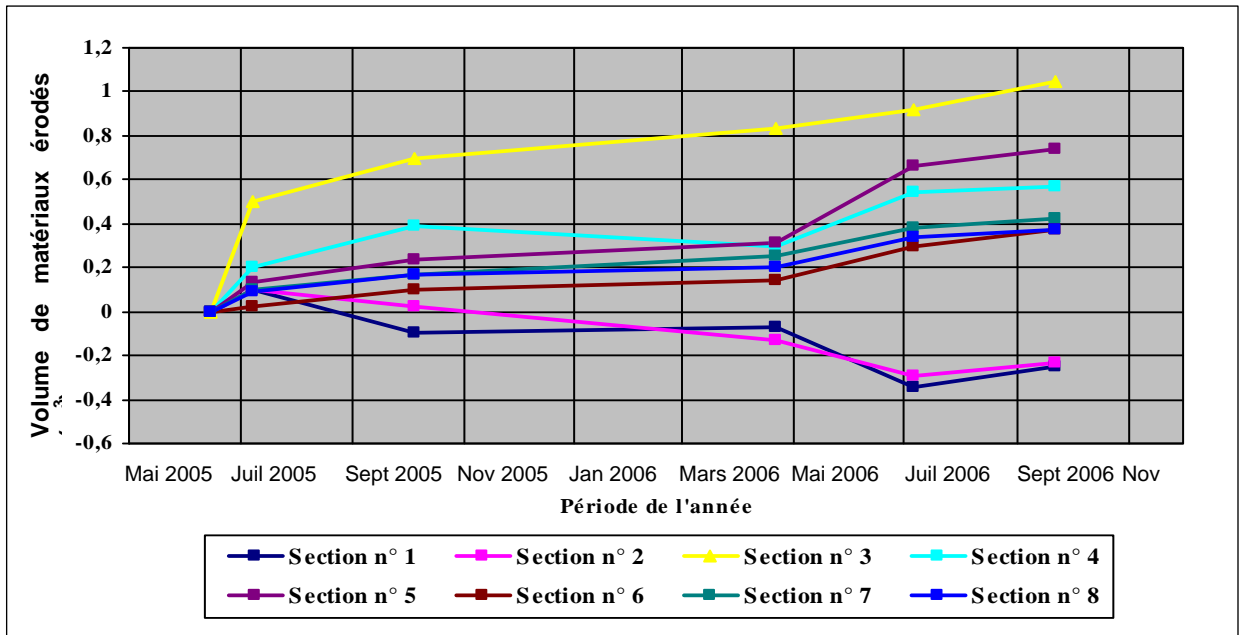


Figure 82 : Évolution des transects dans le fossé du site n° 3 nettoyé à l'aide de la méthode du tiers inférieur

Un incident anthropique s'est produit dans ce fossé. Il s'agit du talus du côté de la route qui a été défait entre les mètres 164 et 166 au début du mois de novembre 2005, après la tempête de neige du 25 octobre. On a constaté qu'une roue de camion avait défoncé l'accotement de la route (figure 83). Les mesures des profils transversaux n'ont pas été modifiées par cet événement.

La reprise de la végétation dans les sections n<sup>os</sup> 1 et 2 s'est faite rapidement, et on a mesuré une faible accumulation de sédiments sur les deux transects. En 2005, le volume de matériaux érodés est de 2 m<sup>3</sup>. Au cours de la période hivernale 2005-2006, l'érosion est très peu importante. Enfin, en 2006, l'érosion a faiblement repris avec un volume de 1 m<sup>3</sup> de matériaux érodés. Au total, le volume de matériaux érodés dans le site n<sup>o</sup> 3 est de 3 m<sup>3</sup> pour les 18 mois. L'érosion s'est produite à l'intérieur du chenal d'écoulement de l'eau, ce qui veut dire que les talus du fossé n'ont pas été endommagés par l'érosion.



**Figure 83 : Défoncement du talus du côté de la route du site no 3 (11 novembre 2005)**

#### **5.1.4. Site no 4 : 7 % de pente, méthode du tiers inférieur bonifiée**

Le fossé du site n<sup>o</sup> 4 a été nettoyé le 6 juin 2005. Pendant l'intervention, on a mis à nu plusieurs affleurements rocheux qui réduisent la possibilité d'érosion dans le fond du fossé. On a constaté peu d'érosion au cours des deux années de prise de données avec un volume total de matériaux érodés de 2 m<sup>3</sup> (figure 84). En effet, l'épaisseur de la formation meuble dans ce fossé est très faible par endroits (section 4.4).

De plus, entre les mètres 20 et 190, donc sur plus de 170 mètres de longueur, une couche de gravier atteignant 10 cm a été enlevée de l'accotement de la route et projetée à l'intérieur du fossé par un chasse-neige, lors de la première neige le 25 octobre 2005 (figure 85A). Le dernier profil transversal mesuré en 2005 a été effectué après l'incident pour permettre de suivre l'érosion de ce gravier.

Sur la figure 84, on peut voir l'effet de l'apport de gravier dans certaines sections. Au printemps 2006, on a observé que la végétation repoussait rapidement au travers de la couche de gravier qui recouvrait le talus du côté de la route (figure 85B).

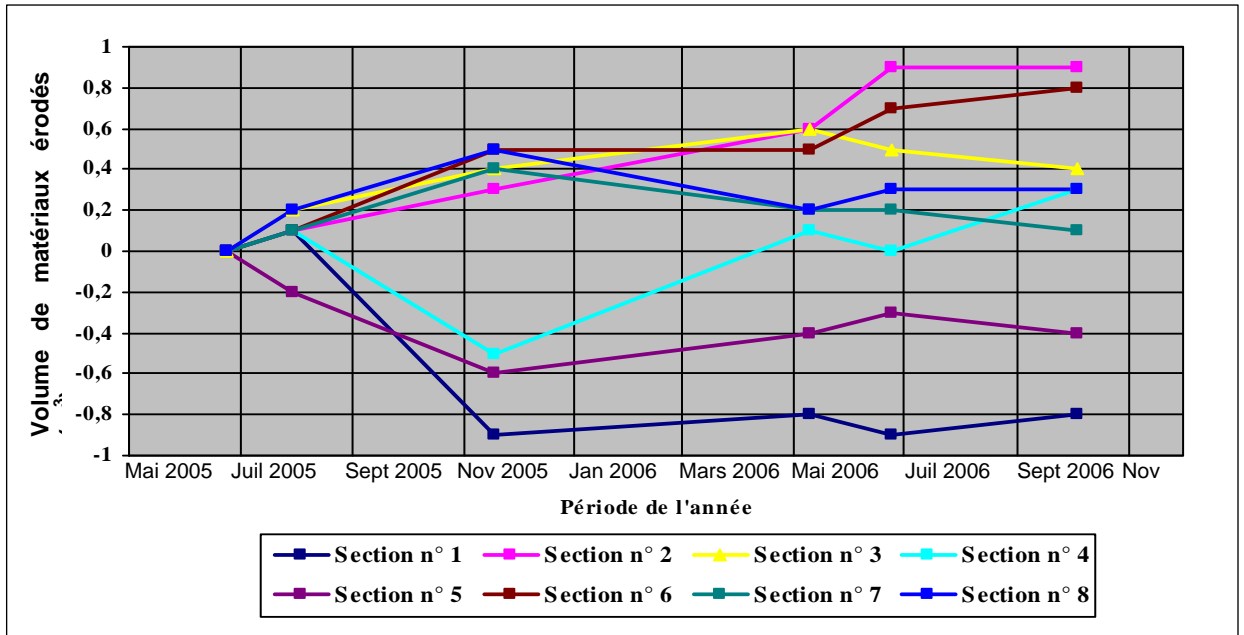


Figure 84 : Évolution des transects dans le fossé du site n° 4 nettoyé selon la méthode du tiers inférieur bonifiée



Figure 85 : Évolution du fossé du site no 4 : A) couche de gravier enlevée par un chasse-neige sur l'accotement en octobre 2005 (11 novembre 2005); B) végétation qui repousse au travers de la couche de gravier sur le talus du côté de la route (23 mai 2006)

Toutes les mesures des profils transversaux des sections du site ont été affectées par cet événement. En effet, on a constaté une augmentation du volume de matériaux érodés dans les sections n<sup>os</sup> 2, 3, 6, 7 et 8 ainsi qu'une accumulation notable dans les autres sections. Par contre, l'érosion qu'on a mesurée se situe essentiellement sur l'accotement (annexe 3, site n<sup>o</sup> 4). Avec le profil de la section n<sup>o</sup> 6, on observe que l'érosion s'est faite uniquement sur l'accotement et, au fond du fossé, on constate une accumulation de sédiments.

Dans les sections n<sup>os</sup> 1, 4 et 5, là où on a mesuré une accumulation de sédiments, les transects sont situés à moins de 5 m en amont d'un seuil. L'accumulation de sédiments a donc été causée par le ralentissement de l'eau provoqué par les seuils.

En 2006, avec les mesures des profils transversaux, on observe une érosion du gravier accumulé sur le talus du côté de la route ainsi qu'au fond du fossé. Par contre, l'accumulation de gravier à la limite du talus du côté de la route favorise un ruissellement de l'eau sur l'accotement, ce qui cause de l'érosion par ravinement (figure 86). Au total, le volume de matériaux érodés pour 18 mois est de 2 m<sup>3</sup>.

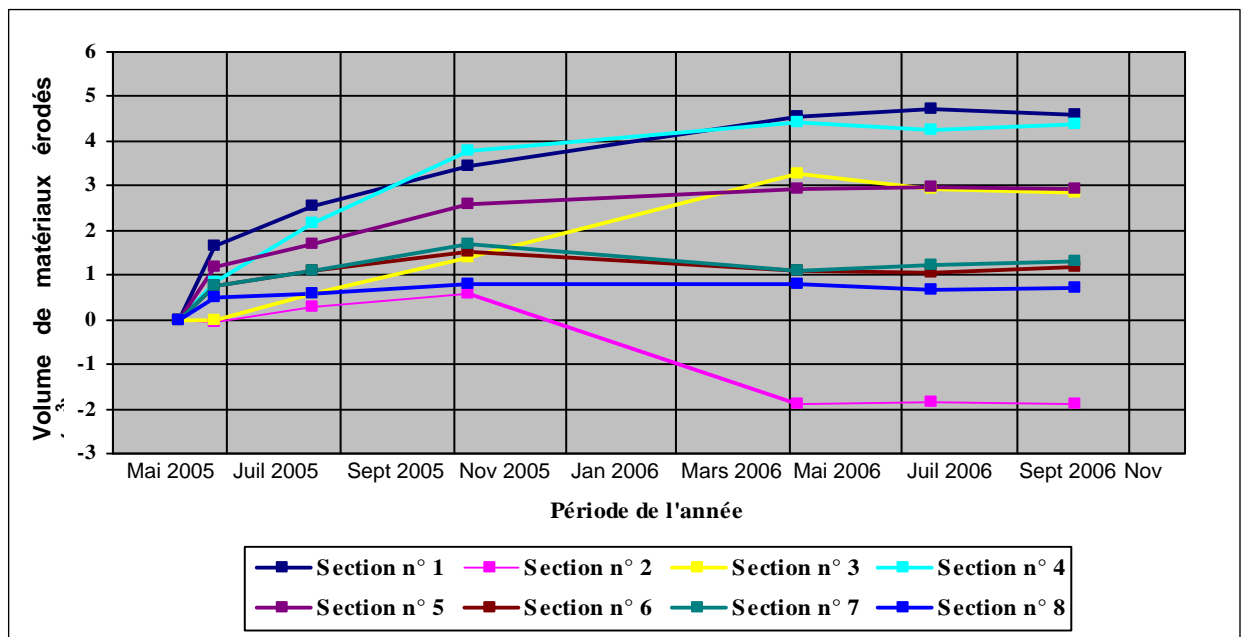


**Figure : 86 Érosion par ravinement sur l'accotement de la route dans le fossé du site no 4 (23 mai 2006)**

À l'automne 2006, la végétation a repris dans la majorité de la zone nettoyée et le fossé s'est stabilisé.

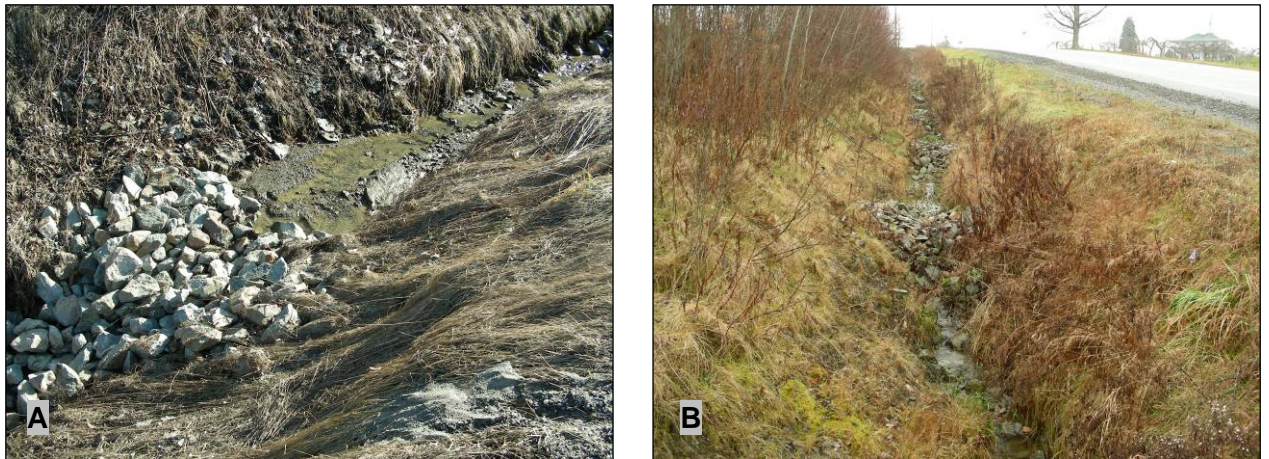
### 5.1.5. Site no 5 : 10 % de pente, méthode du tiers inférieur bonifiée

Le fossé du site n° 5 a été nettoyé le 1<sup>er</sup> juin 2005. Au cours de l'intervention, on a constaté que l'écoulement dans le fond du fossé était important. Le sol était gorgé d'eau à cause de la fonte des neiges. On a mesuré une augmentation rapide de l'érosion à la suite du nettoyage du fossé, puis un ralentissement au cours de l'été et de l'automne (figure 87). Au cours de l'été 2005, on a constaté qu'il y avait un début d'accumulation de sédiments en amont de la majorité des seuils en pierres (figure 88A). À l'occasion de la seconde mesure des profils transversaux, en juin 2005, l'accumulation en amont des seuils n'était pas très importante. Les 240 mm de pluie qui sont tombés sur le territoire entre la fin de juin et le début d'août ont affecté le fossé et le volume de matériaux érodés a été de plus de 4 m<sup>3</sup>. Les plus importantes marques d'érosion dans le fossé ont été observées dans les portions aval des seuils.



**Figure 87 : Évolution des transects dans le fossé du site no 5 nettoyé à l'aide de la méthode du tiers inférieur bonifiée**

Le colmatage des interstices entre les pierres des seuils a accentué la sédimentation en amont. N'ayant pas de tablier en pierres pour réduire l'impact de l'eau qui chute en aval des seuils, de fortes marques d'érosion par surcreusement localisé ont été observées (figure 89). Dans la plupart des cas, l'érosion latérale a affecté la stabilité des talus en aval des seuils. Aussi, lorsque la hauteur de l'accumulation de sédiments en amont des seuils atteint la hauteur de la crête de ce dernier, on a constaté de l'érosion latérale provoquant un début de méandrement.



**Figure 88 : Évolution du fossé du site n° 5 : A) accumulation de sédiments en amont des seuils en pierres (27 mars 2006); B) reprise de la végétation dans le fossé en 2006 (28 novembre 2006)**



**Figure 89 : Formation d'un méandre en amont d'un seuil et érosion par surcreusement localisé en aval du seuil n° 2 dans le fossé du site n° 5 (27 mars 2006)**

Le transect de la section n° 2 se trouve à 2 m en amont d'un seuil. Ainsi, dès la seconde mesure des profils transversaux, on a observé un début d'accumulation de sédiments, puis une faible érosion au cours de l'été 2005. C'est en 2006 qu'on a pu mesurer une importante accumulation de sédiments sur ce transect. Le colmatage des interstices des seuils a été accentué avec la chute des feuilles à l'automne 2005. Les transects des sections n<sup>os</sup> 1 et 4 se trouvent respectivement à 1 m et 2,5 m en aval d'un seuil. Sur ces transects, on a pu mesurer les effets par érosion latérale et par surcreusement localisé.

Au printemps 2006, le fossé tend à se stabiliser et au cours de l'été, on observe une reprise de la végétation. On a mesuré une diminution de l'érosion

et une accumulation de sédiments plus ou moins importante pour les sections n<sup>os</sup> 2, 6, 7 et 8.

Le fossé a été principalement affecté par l'érosion en 2005 avec un volume de matériaux érodés de près de 16 m<sup>3</sup>. Au cours de la période hivernale 2005-2006, on a mesuré un volume inférieur à 1 m<sup>3</sup>. Enfin, en 2006, de l'érosion est observée à quelques endroits, sans avoir une incidence significative sur le volume total d'érosion. Pour ce fossé, on a un volume total de matériaux érodés pour 18 mois de 16 m<sup>3</sup>. La végétation qui a poussé en 2006 occupe presque entièrement la zone nettoyée du tiers inférieur. C'est uniquement l'espace requis pour l'écoulement de l'eau dans le fond du fossé qui demeure dénudé (figure 88B).

#### **5.1.6. Site no 6 : 5 % de pente, méthode du tiers inférieur**

Le fossé du site n<sup>o</sup> 6 a été nettoyé le 8 juin 2005. Le sol était gorgé d'eau et l'écoulement dans le fond du fossé était faible mais constant. On a constaté qu'il y a eu peu d'érosion au cours des deux années de prises de données (figure 90).

À la fin de l'automne 2005, entre les mètres 4 et 8, sur le talus du côté opposé à la route, on a observé un décrochement d'une portion du talus d'approximativement 6 m<sup>2</sup> (figure 91A). À cet endroit, on avait constaté quelques marques d'érosion qui précédaient le nettoyage du fossé et qui auraient pu causer un décrochement sur le talus (figure 38).

Aussi, au transect de la section n<sup>o</sup> 1, on a observé un léger affaissement du talus au cours de l'année 2006. Cet affaissement s'est produit à la suite de l'érosion à la base du talus du côté de la route (figure 91B). On attribue l'érosion à la présence d'un bloc de dimension importante dans le fond du fossé, bloc qui a fait dévier l'écoulement vers le talus. Sur la figure 91B, on a tracé la limite de l'affaissement qui s'est produit à la fin de l'été 2006. Étant donné que l'affaissement se situe sur le profil transversal, on a pu en mesurer le résultat, et l'augmentation du volume de matériaux érodés est de 2 m<sup>3</sup> entre juin et octobre 2006 (annexe 3, site n<sup>o</sup> 6, transect n<sup>o</sup> 1).

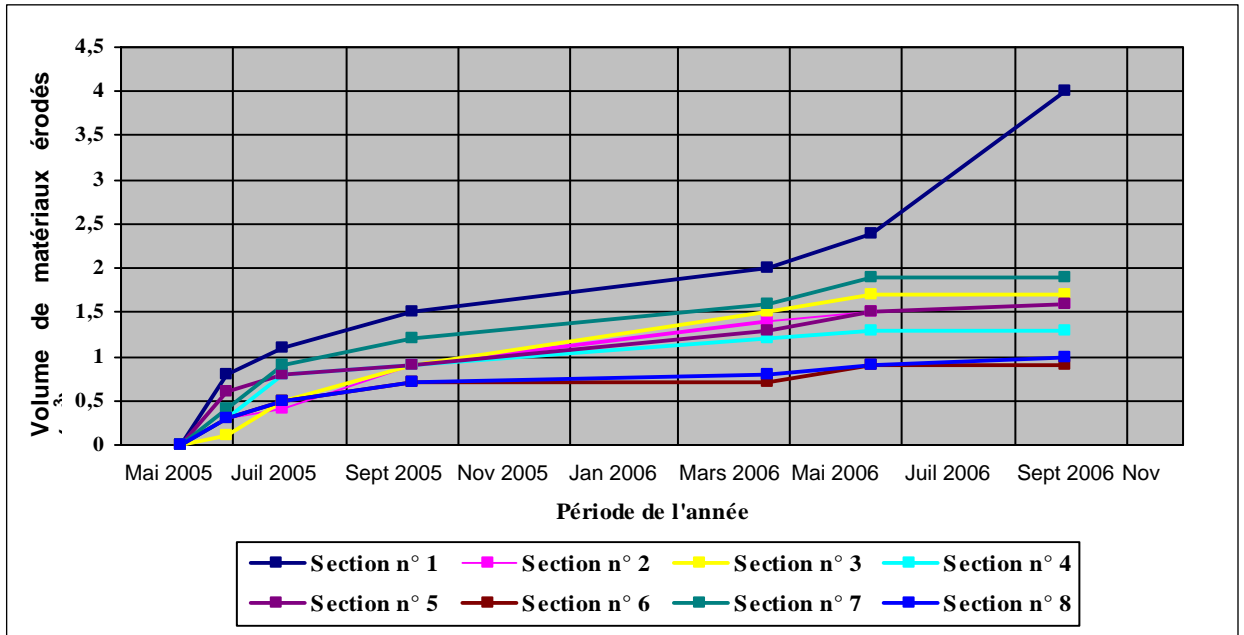


Figure 90 : Évolution des transects dans le fossé du site no 6 nettoyé à l'aide de la méthode du tiers inférieur



Figure 91 : Marques d'érosion dans le fossé du site n° 6 : A) décrochement sur le talus du côté opposé à la route entre les mètres 4 et 8 (23 mai 2006); B) affaissement d'une portion du talus du côté de la route à la suite de l'érosion sous le talus causée par la déviation de l'écoulement (14 juin 2006)

Certaines zones du fossé sont plus soumises à l'érosion que d'autres. Cela est le résultat d'une intervention antérieure à l'étude, où certaines portions du talus du côté opposé à la route, avaient été excavées à l'aide de la méthode traditionnelle. Ainsi, on trouve des zones où la végétation est très peu dense et où le talus a une pente très forte (figure 92). Aussi, avant le nettoyage, on avait



constaté que les 20 premiers mètres du fossé étaient instables, à l'endroit où il y avait quelques marques d'érosion. Le décrochement observé entre les mètres 4 et 8 est donc le résultat de l'instabilité du fossé à cet endroit (figure 91A).

On a mesuré un volume de 8 m<sup>3</sup> de matériaux érodés pour l'année 2005 et de 4 m<sup>3</sup> pour l'année 2006. Au cours de la période hivernale 2005-2006, le volume de matériaux érodés est de 2 m<sup>3</sup>. On n'a pas observé de reprise de végétation importante sur la portion du fossé qui a été excavée (figure 91). Ainsi, à l'automne 2006, le fossé était encore soumis à l'érosion linéaire, surtout dans la moitié aval. Au total, on a un volume de matériaux érodés de 14 m<sup>3</sup> pour 18 mois.



**Figure 92 : Absence de végétation sur le talus du côté opposé à la route au mètre 64 du fossé du site no 6 (13 octobre 2006)**

#### **5.1.7. Site no 7 : 7 % de pente, méthode traditionnelle**

Le fossé du site n° 7 a été nettoyé le 24 mai 2005 sur une longueur totale de 190 m. On a observé un fort taux d'érosion dans ce fossé au cours des deux années de prises de données. En 2006, il y a eu deux cicatrices d'érosion dans la moitié aval du fossé, ce qui a exigé l'intervention d'une équipe du Centre de services de Sherbrooke du MTQ. Rapidement après le nettoyage, en juin 2005, l'érosion a affecté chacune des sept sections avec un total de plus de 24 m<sup>3</sup> de matériaux érodés (figure 93). Les précipitations de 34 mm reçues les 10 et 11 juin, combinées au sol gorgé d'eau, ont provoqué de l'érosion tout le long du fossé. On a observé du ravinement dans le fossé, tôt après le nettoyage puis, avant qu'il y ait stabilisation, on a constaté de très fortes marques d'érosion latérales qui ont été répertoriées dans les 150 premiers mètres (figure 94).

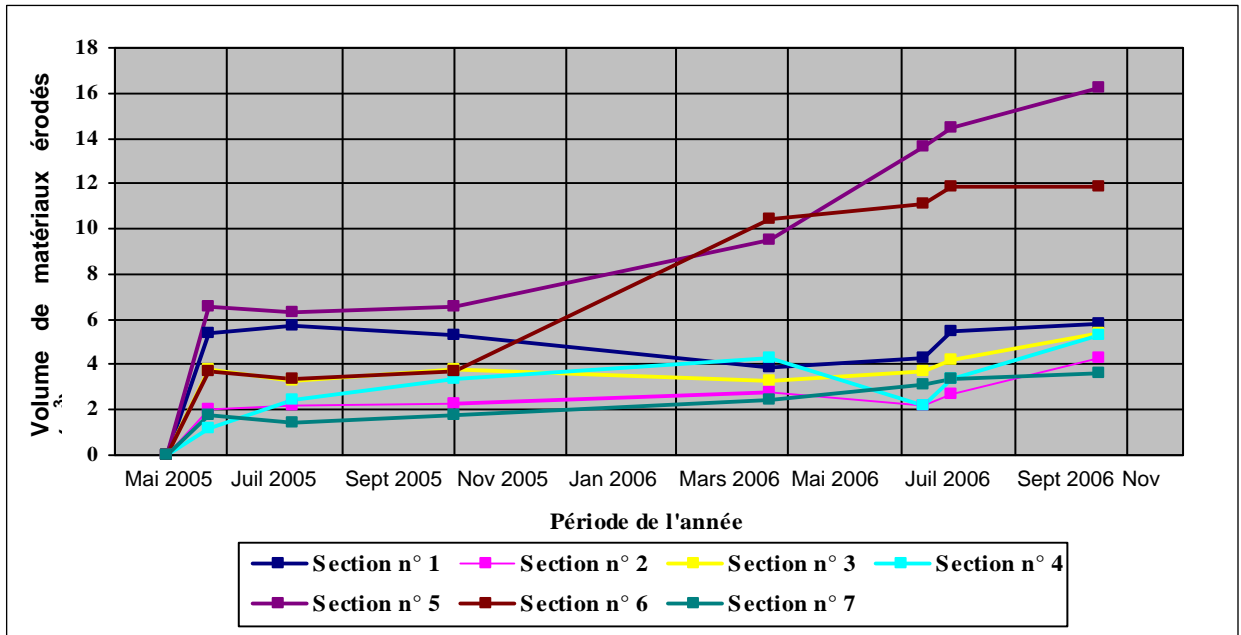


Figure 93 : Évolution des transects dans le fossé du site n° 7 nettoyé selon avec la méthode traditionnelle



Figure 94 : Érosion régressive et latérale dans le fossé du site no 7 (15 août 2005)

L'orientation particulière du fossé du site n° 7 et la présence de végétation coniférienne du côté sud de ce fossé provoquent une diminution du temps d'ensoleillement printanier et automnal pendant une grande partie de la journée (figure 95). En effet, le sol a plus de difficulté à s'assécher, comparativement aux autres sites sélectionnés pour l'étude. Ainsi, cette

variable, combinée à l'utilisation de la méthode traditionnelle, a provoqué des décrochements par fluage à plusieurs endroits au printemps 2006. La végétation en place sur les talus du fossé est uniquement herbacée et son système racinaire ne peut empêcher de tels décrochements.



**Figure 95 : Ombrage de la végétation arborescente au-dessus du fossé du site no 7 (20 avril 2006)**

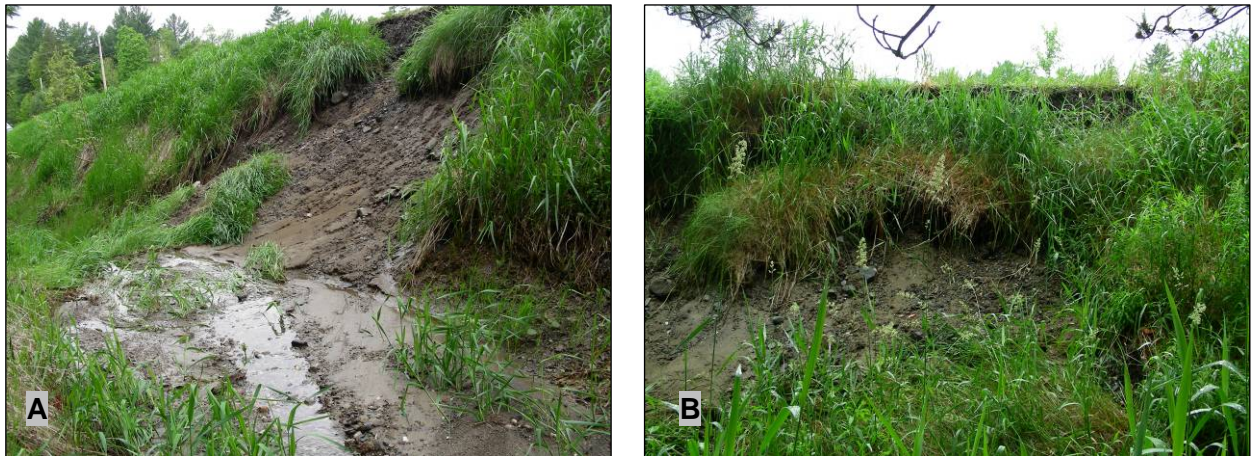
La première mesure de profil en 2006 a permis de constater une reprise de l'érosion, principalement par décrochement et ravinement. C'est sur le transect de la section n° 6 qu'on a mesuré la plus forte érosion avec plus de 6 m<sup>3</sup> de matériaux érodés entre octobre 2006 et avril 2007.

Le fluage a causé deux décrochements sur le talus du côté de la route au cours du printemps 2006. Les premières cicatrices de fluage ont été constatées le 23 mai 2006 (figure 96). Entre les mètres 67 et 72, il y a eu un décrochement à la limite supérieure de l'accotement de la route. Une superficie de près de 15 m<sup>2</sup> de végétation a glissé vers le fond du fossé (figure 97A) et l'accumulation de sédiments en amont de cet obstacle s'étend sur près de 10 m de longueur. La stabilité de l'accotement étant devenue précaire, une demande a été faite au Centre de services de Sherbrooke pour corriger la situation.

Le 12 juin 2006, on a constaté un second décrochement de la végétation entre les mètres 27 et 32, partant aussi d'un cisaillement à la limite de l'accotement (figure 97B). Il s'agit du même endroit où on avait déjà constaté un décrochement dans la partie inférieure du talus du côté de la route (figure 96B). Dans ce cas, la surface de la végétation affectée est de près de 16 m<sup>2</sup>. Dans les deux sections touchées par ce type de décrochement, il était important d'intervenir en vue de stabiliser le talus du côté de la route afin d'éviter qu'il y ait un décrochement supplémentaire qui aurait pu affecter la route 208. En effet, à la limite de l'accotement, les décrochements ont causé des dépressions de plus de 80 cm sur une distance minimale de 1,8 m.



**Figure 96 : Marques de décrochement dans la portion aval du fossé du site n° 7 (23 mai 2006) : A) entre les mètres 9 et 11; B) entre les mètres 27 et 30**



**Figure 97 : Décrochements sur le côté de la route du site n° 7 : A) entre les mètres 67 et 72 (23 mai 2006); B) entre les mètres 27 et 32 (28 juin 2006)**

La demande de réparation de l'accotement avait été transmise au Centre de services de Sherbrooke le 26 mai 2006, avant le second décrochement. Après le constat du deuxième décrochement, le 12 juin 2006, la demande a été réitérée.

Avant que la réparation des deux portions de talus ne se fasse, on a mesuré les profils transversaux du fossé car, à deux endroits, il y a eu de l'accumulation de sédiments. En effet, cette accumulation s'est faite jusqu'à 8 m en amont du glissement, entre les mètres 27 et 32, et à plus de 10 m en amont du glissement, entre les mètres 67 et 72. Les matériaux qui ont glissé ont obstrué le fond du fossé, favorisant l'accumulation de sédiments en amont.

Ces zones d'accumulation ont donc affecté les profils transversaux des sections n<sup>os</sup> 2 et 4 mesurés le 13 juillet 2006 (figure 93).

Le 20 juillet 2006, une équipe du MTQ est venue régler le problème. Pour reconstruire les deux portions de talus, on a utilisé des pierres de taille moyenne de 200 à 300 mm. Les pierres étaient tassées contre le talus et, afin de favoriser le plus rapidement possible une reprise de la végétation, les sédiments accumulés dans le fond du fossé ont été étendus sur les pierres, de façon à les recouvrir sur plus de la moitié inférieure du talus (figure 98).



**Figure 98 : Réparation du fossé du site n<sup>o</sup> 7 entre les mètres 27 et 32 (20 juillet 2006) : A) mise en place des pierres; B) utilisation des sédiments accumulés dans le fond du fossé pour couvrir les pierres et favoriser la reprise de la végétation**

À la suite de cette dernière réparation, une autre mesure des profils transversaux a été réalisée le 28 juillet 2006. Au moment de la réparation, on a constaté que les deux zones d'accumulation étaient gorgées d'eau. De plus, avant la mesure des profils du 28 juillet, soit les 22 et 23, il y a eu une précipitation de 13 mm. On a donc observé une forte reprise de l'érosion dans la portion aval du fossé avec un volume de matériaux érodés de plus de 3 m<sup>3</sup> pour les 100 premiers mètres. On peut expliquer cette hausse subite de l'érosion par le nettoyage des zones d'accumulation par l'eau de pluie. En ce qui concerne les profils transversaux des sections n<sup>os</sup> 1 et 3, le ruissellement de l'eau chargée de sédiments a provoqué de l'érosion latérale dans le fond du fossé.

Lors du nettoyage, on a mis à nu une portion d'un affleurement rocheux au mètre 129, à 8 m en aval du transect de la section 6 (figure 99). À cet endroit, on a observé un décrochement d'une portion du talus du côté de la route. L'orientation de l'affleurement a fait dévier l'écoulement de l'eau vers la route, provoquant ainsi de l'érosion latérale. Au printemps 2006, après la fonte des neiges, un faible décrochement a été observé, couvrant une surface

approximative de 2 m<sup>2</sup>. À l'été 2006, la surface du décrochement a doublé sans qu'il soit nécessaire que le MTQ intervienne pour stabiliser le talus.



**Figure 99 : Érosion sur le talus du côté de la route au mètre 129 du fossé du site n° 7 : A) début d'érosion au printemps 2006 (23 mai 2006); B) décrochement de la végétation (23 août 2006)**

Entre les mètres 112 et 115 (section n° 5), on a observé de très fortes marques d'érosion. À la suite de l'érosion mesurée un mois après le nettoyage, sur le transect de cette section, on ne remarque pas de reprise de l'érosion. À l'automne 2005, des fils de Bell Canada ont été déterrés et l'érosion n'affectait pas de façon très importante le transect de cette section (figure 100A). C'est au printemps 2006 que l'érosion affecte le fossé à ce transect (figure 100B). À chaque mesure prise en 2006, on constate une évolution constante de l'érosion, pour atteindre un volume total de matériaux érodés de 16 m<sup>3</sup>, en 18 mois, dans la section n° 5 (figure 100C).



**Figure 100 : Érosion importante entre les mètres 112 et 115 du fossé du site no 7 : A) les fils de Bell Canada sont dénudés au mètre 114 (17 novembre 2005) ; B) érosion plus importante entre les mètres 113 et 115 (23 mai 2006); C) décrochement d'une portion du talus entre les mètres 112 et 115 (28 novembre 2006)**

Enfin, en 2005, le volume total de matériaux érodés est de  $27 \text{ m}^3$ . L'érosion s'est poursuivie au cours de la période hivernale 2005-2006 avec un volume de  $10 \text{ m}^3$ . En 2006, le volume de matériaux érodés est de  $15 \text{ m}^3$ . À l'automne 2006, malgré une réduction de l'érosion, on ne constate pas de reprise de la végétation dans le fond du fossé. Dans la moitié aval du fossé, ainsi que pour les 30 m en amont, la végétation herbacée sur les talus est moyennement dense. Pour le reste du fossé, la végétation est quasi absente (figure 101). Au total, on a un volume de matériaux érodés de  $52 \text{ m}^3$  pour 18 mois.



**Figure 101 : Faible reprise de la végétation dans le fossé du site n° 7 (28 novembre 2006)**

### 5.1.8. Site no 8 : 7 % de pente, méthode du tiers inférieur

Le fossé du site n° 8 a été nettoyé le 6 juin 2005. Le sol était humide, mais l'écoulement de l'eau dans le fond du fossé était peu important. Le fossé a subi peu d'érosion au cours des deux années et s'est rapidement stabilisé (figure 102). On a constaté que la stabilisation du fossé a été plus rapide dans les deux sections en amont, où la pente moyenne est inférieure à 7 %. En effet, la pente est de 3 % pour les 30 m en amont et de 5 % entre les mètres 150 et 170. L'érosion est donc très faible dans ces deux sections.

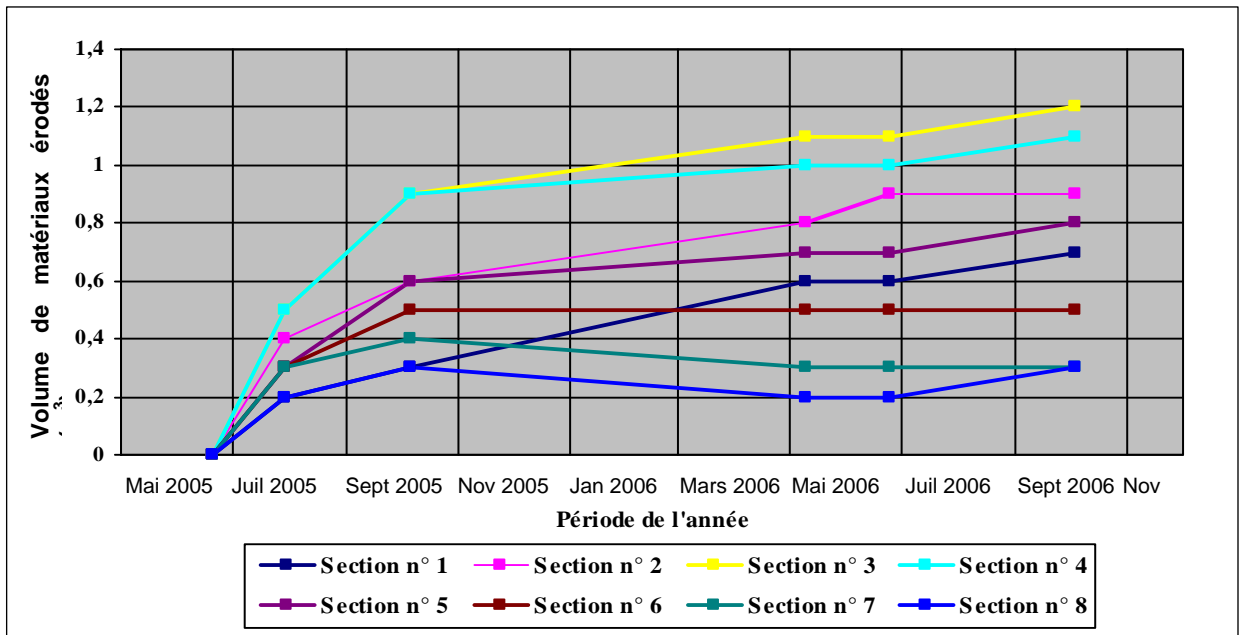


Figure 102 : Évolution des transects dans le fossé du site n° 8 nettoyé à l'aide de la méthode du tiers inférieur

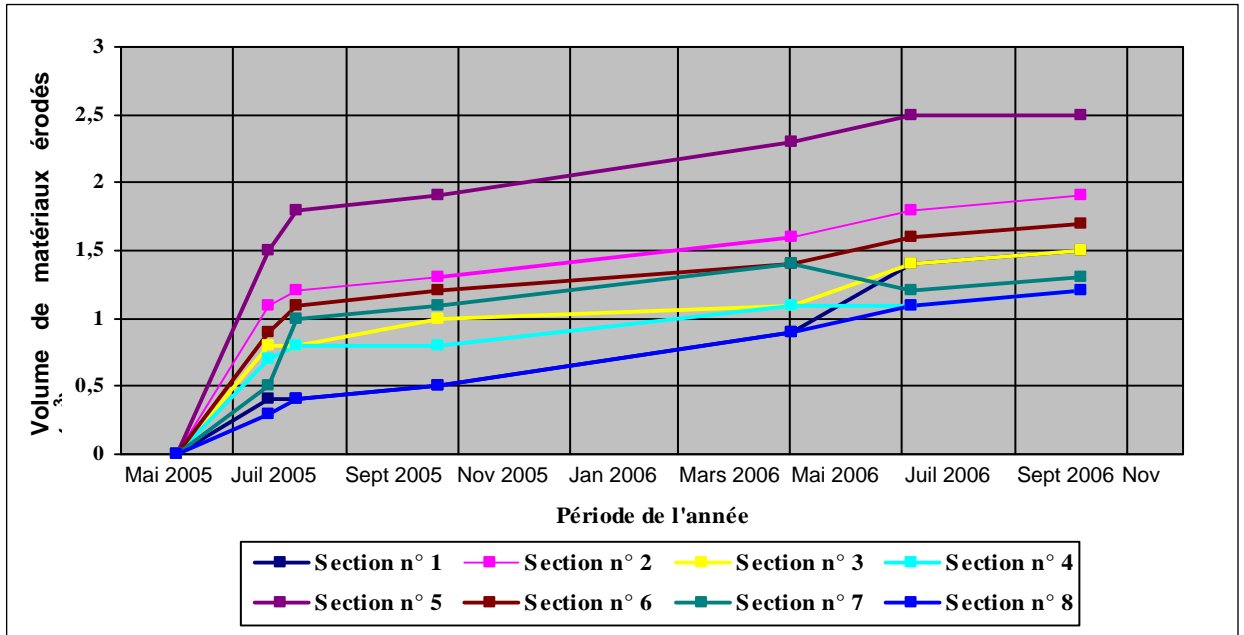
On a mesuré une érosion faible et constante au cours de l'année 2005 avec un total de 4 m<sup>3</sup> de matériaux érodés. Au cours de la période hivernale 2005-2006, on a mesuré un volume de matériaux érodés de 1 m<sup>3</sup>. En 2006, le fossé s'est stabilisé et on a estimé à un peu moins de 1 m<sup>3</sup> l'érosion entre octobre 2005 et octobre 2006. La végétation a repris rapidement dans les 30 m en amont, là où la pente moyenne est de 3 %. Dans la moitié aval, le fond du fossé est encore à nu, mais l'érosion est peu importante. Au total, on a un volume de matériaux érodés de 6 m<sup>3</sup> pour 18 mois.

### 5.1.9. Site no 9 : 10 % de pente, méthode du tiers inférieur

Le fossé du site n° 9 a été nettoyé le 31 mai 2005. Le sol était humide, mais il n'y avait pas d'écoulement d'eau important dans le fond du fossé au moment de l'intervention. L'érosion s'est produite au cours des deux années. En 2005,



deux mois après le nettoyage, on estime le volume de matériaux érodés à un peu plus de 7 m<sup>3</sup> (figure 103). Ensuite, on constate une réduction évidente de l'érosion dans le fossé, suivie d'une légère hausse après l'hiver 2005-2006.



**Figure 103 : Évolution des transects dans le fossé du site n° 9 nettoyé à l'aide de la méthode du tiers inférieur**

À la suite du nettoyage, on a observé qu'il y avait de l'érosion par ravinement. Dans le fond du fossé, comme c'est le cas pour le site n° 10 situé de l'autre côté de la route, on remarque de nombreux blocs de moins de 200 mm de diamètre. Une fois que l'érosion par ravinement a atteint ces blocs, il y a stabilisation du fond du fossé et on constate que l'érosion se fait ensuite latéralement (figure 104).

Aucune marque d'érosion majeure n'a affecté le fossé. En effet, l'érosion a été limitée à la zone du tiers inférieur qui a été nettoyée. Avec l'évolution de l'érosion, de nombreux blocs de faible dimension ont été mis à nu et de l'érosion par effet de chute a pu être observée (figure 105A).



**Figure 104 : Stabilisation et reprise de la végétation dans le fossé du site n° 9 au mètre 85 : A) la présence de blocs favorise la stabilisation du fossé et l'érosion se fait latéralement (1<sup>er</sup> mai 2006); B) reprise rapide de la végétation sur les talus en 2006 (23 mai 2006)**

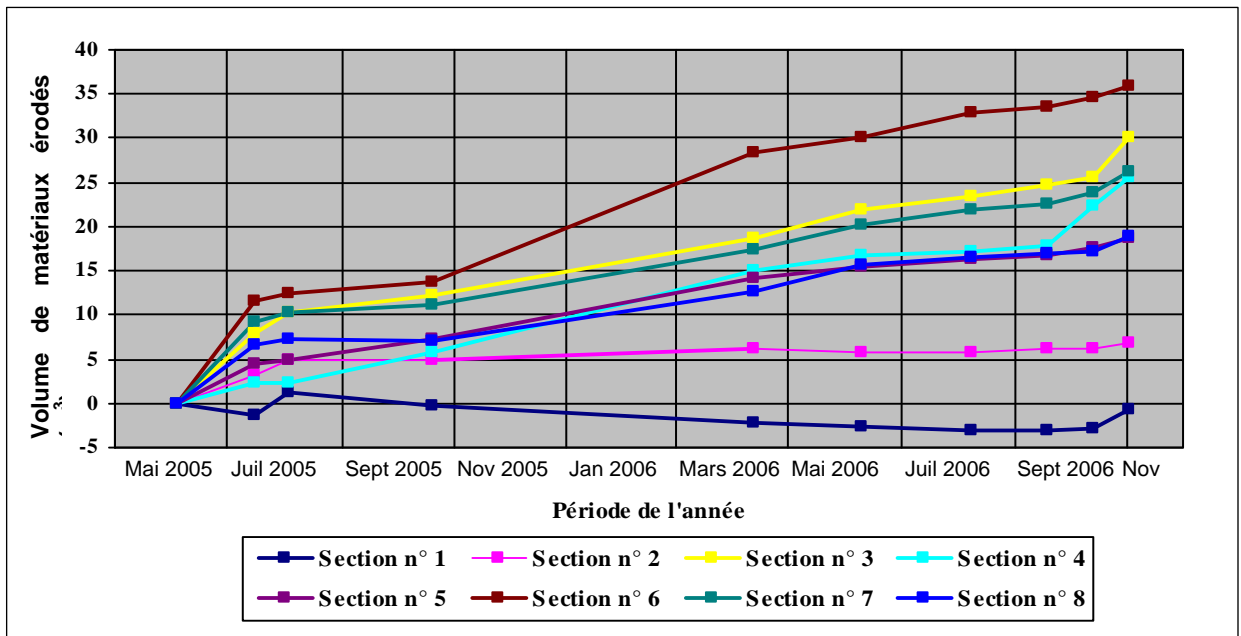
En 2005, le volume total de matériaux érodés est de 8 m<sup>3</sup>. Au cours de la période hivernale 2005-2006, le volume de matériaux érodés est de 3 m<sup>3</sup>. C'est au cours de l'été 2006 qu'on a pu apercevoir une reprise de la végétation sur la portion qui avait été excavée (figure 105B). Ainsi, en 2006, le volume de matériaux érodés diminue à 2 m<sup>3</sup>, démontrant une stabilisation du fossé. À l'exception de la zone où l'eau ruisselle après une précipitation, à l'automne 2006, le fossé est complètement végétalisé. Au total, on a mesuré un volume de 13 m<sup>3</sup> de matériaux érodés dans ce fossé pour 18 mois.



**Figure 105 : Évolution du fossé du site n° 9 : A) érosion linéaire et présence de blocs dans le fond du fossé créant de l'érosion par effet de chute (21 novembre 2005); B) importante reprise de la végétation dans la portion excavée du fossé (17 octobre 2006)**

### 5.1.10. Site no 10 : 10 % de pente, méthode traditionnelle

Le fossé du site n° 10 a été nettoyé les 30 et 31 mai 2005. Au moment de l'intervention, le sol était humide et on a constaté qu'il y avait un écoulement d'eau faible, mais constant. Le fossé a été soumis à de très fortes marques d'érosion au cours des deux années d'observation et le volume de matériaux érodés a été de plus de 161 m<sup>3</sup> (figure 106).



**Figure 106 : Évolution des transects dans le fossé du site n° 10 nettoyé à l'aide de la méthode traditionnelle**

Deux semaines après le nettoyage du fossé, soit le 14 juin 2005, des précipitations de plus de 35 mm sont tombées (figure 73). Une visite du site pendant les précipitations a permis d'observer que le débit dans le fossé était très important, mais sensiblement le même que pour le site n° 9 de l'autre côté de la route (figure 107A et B). À ce moment, les traces d'érosion étaient peu significatives et on pouvait remarquer quelques marques d'érosion par ravinement.

Par contre, les précipitations ont continué faiblement les 15 et 16 juin, puis 35 mm additionnels de pluie sont tombés le 17 juin. C'est à ce moment qu'on a pu constater qu'il y avait de très fortes marques d'érosion dans le fossé du site n° 10. De nombreux blocs ont déboulé la forte pente et se sont amassés dans les 20 premiers mètres du site, en amont du ponceau donnant accès à une parcelle agricole (figure 107C). Cette fois-ci, on a remarqué que le débit dans le fossé du site n° 10 était supérieur à celui du site n° 9 (figures 107C et D).



**Figure 107 : Écoulement de l'eau et érosion dans le fossé des sites n<sup>os</sup> 9 et 10 :  
A) débit moyen dans le fossé du site n<sup>o</sup> 10 (14 juin 2005); B) débit moyen dans le  
fossé du site n<sup>o</sup> 9 (14 juin 2005); C) fort débit et érosion dans le fossé du site n<sup>o</sup>  
10 (17 juin 2005); D) débit moyen et stabilité du fossé du site n<sup>o</sup> 9 (17 juin 2005)**

Avant la seconde mesure des profils transversaux qui a été faite le 15 juillet 2005, une seule autre journée a connu des précipitations importantes, soit celle du 9 juillet, avec 48 mm de pluie. Ainsi, un mois et demi après le nettoyage du fossé, on estimait déjà à 44 m<sup>3</sup> le volume de matériaux érodés dans le fossé. Par contre, le transect de la section n<sup>o</sup> 1 se trouve dans une zone d'accumulation de sédiments causée par la présence du ponceau qui brise la vitesse de l'eau et qui permet l'accumulation de sédiments grossiers (sable, gravier et blocs). À la suite de la mesure prise le 15 juillet, plus de 1 m<sup>3</sup> de sédiments s'y était accumulé. Malgré le fort volume de matériaux érodés, aucune intervention de stabilisation du fossé n'a été nécessaire en 2005.

Pour les six sections en amont du fossé, on a observé une réduction importante de la quantité de matériaux érodés au cours de l'été 2005. L'assèchement du sol dans le bassin de drainage et dans le fossé favorise une stabilisation des talus. Étant donné qu'on a nettoyé les fossés au printemps, le sol était gorgé d'eau et il était plus facilement affecté par l'érosion. Lorsque le

sol est sec, les fortes précipitations estivales ont moins d'impact car le sol absorbe davantage l'eau. On a mesuré les profils transversaux à la suite des précipitations importantes des 15 et 16 octobre 2005, où plus de 100 mm d'eau sont tombés, et on n'a pas remarqué d'érosion majeure dans le fossé.

À l'été 2005, au mètre 90, on a constaté la présence d'un bloc de grande dimension (plus de 700 mm) (figure 108A). Au cours de l'hiver 2006, on a observé qu'il y avait un écoulement continu sous la surface glacée couvrant le fossé. À l'hiver, avec la présence d'eau, une glace épaisse s'est formée au-dessus de ce bloc (figure 108B). Au printemps 2006, l'écoulement de l'eau a été dévié vers le talus opposé à la route étant donné qu'il y avait toujours présence de glace au-dessus du bloc (figure 108C). L'érosion à l'hiver a été importante à cet endroit car, entre les mesures d'octobre 2005 et d'avril 2006 du profil de la section n° 5, qui se situe quelques mètres en aval, on a mesuré un volume de matériaux érodés de plus de 7 m<sup>3</sup>. Au cours de l'été 2006, le bloc a été complètement déterré (figure 108D).

Dans les sections n<sup>os</sup> 3 à 8, on a mesuré une hausse de l'érosion au printemps 2006, suivie d'une stabilisation, moins prononcée qu'en 2005, de toutes les sections au cours de l'été. En effet, jusqu'à la mesure des profils transversaux prise le 9 juin 2006, l'érosion est constante dans le fossé étant donné que le sol est humide. Durant les mois de juillet et d'août, le total des précipitations sur le territoire atteint 226 mm en 2005 et 358 mm en 2006. L'assèchement du sol était donc moins prononcé en 2006 que l'année précédente, ce qui a pu favoriser l'érosion même en été.

À la mi-octobre 2006, une nouvelle hausse rapide de l'érosion dans toutes les sections fait augmenter de 15 m<sup>3</sup> le volume de matériaux érodés au cours de l'année 2006. Dans les sections n<sup>os</sup> 1 et 2, on a constaté une accumulation de sédiments. Dans le cas de la section n° 1, située à l'aval, l'accumulation est de 1 m<sup>3</sup>.



**Figure 108 : Évolution de l'érosion au mètre 90 du fossé du site n° 10 : A) état de la situation le 15 juillet 2005 (15 juillet 2005); B) formation d'une couche de glace importante sur le bloc (10 mars 2006); C) déviation de l'écoulement vers le talus opposé à la route (27 mars 2006); D) érosion sur le talus opposé à la route (12 avril 2006)**

Malgré le fait que le fossé du site n° 10 soit celui qui a été le plus touché par l'érosion, c'est seulement à l'automne 2006 qu'une intervention de reconstruction a été nécessaire, soit le 17 novembre 2006. En octobre, une forte tempête a compromis/réduit la stabilité du fossé. L'événement météorologique déclencheur a été celui du 20 octobre 2006.

La forte précipitation a apporté une grande quantité d'eau à l'intérieur du fossé, ce qui a provoqué l'érosion des talus. Entre les mesures des profils transversaux des 17 octobre et 1<sup>er</sup> novembre 2006, on constate qu'il y a eu près de 15 m<sup>3</sup> de matériaux érodés (figure 106). Ainsi, trois réparations ont été nécessaires dans le fossé, les premières dans les deux sections du talus du fossé ayant été fortement érodées et l'autre sur un poteau d'Hydro-Québec qu'il a fallu stabiliser.

En effet, au mètre 130, un poteau d'Hydro-Québec a été déstabilisé (figure 109). Le poteau a donc penché approximativement de 10° vers la zone de faiblesse, c'est-à-dire l'intérieur du fossé fortement érodé. La déstabilisation du poteau serait le résultat de la combinaison d'un affouillement à sa base, d'un

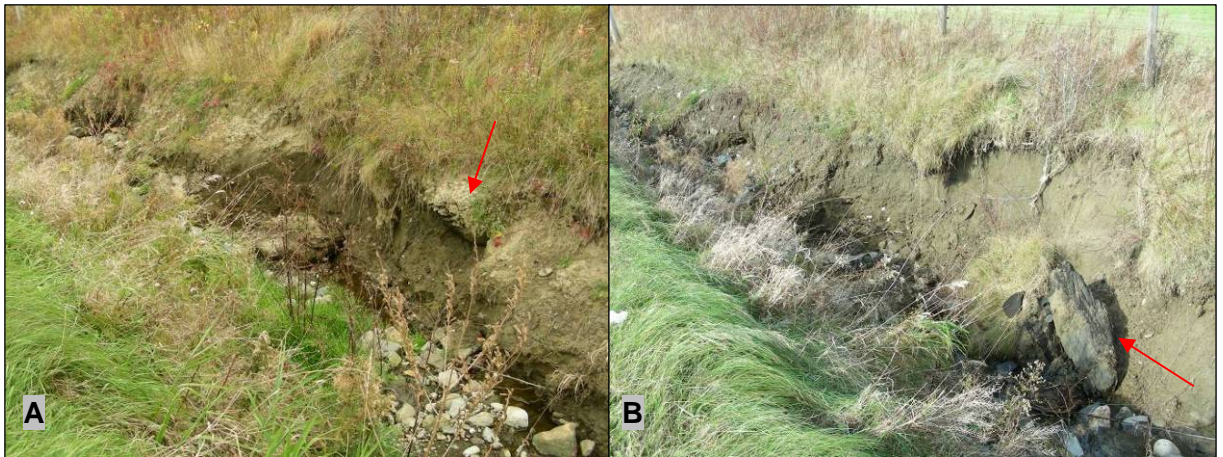
fluage sur le talus et de l'effet des rafales de vent en provenance du nord-est. Un indice qui démontre la force des rafales de vent à cet endroit est l'arrachement du panneau de signalisation du site expérimental qui est situé à 70 m en amont. Le panneau du site n° 9, situé à 200 m en aval du panneau arraché, en bas de pente, n'a cependant pas été touché. On peut donc prétendre que la force des rafales aurait pu contribuer au décrochement par l'oscillation du poteau.



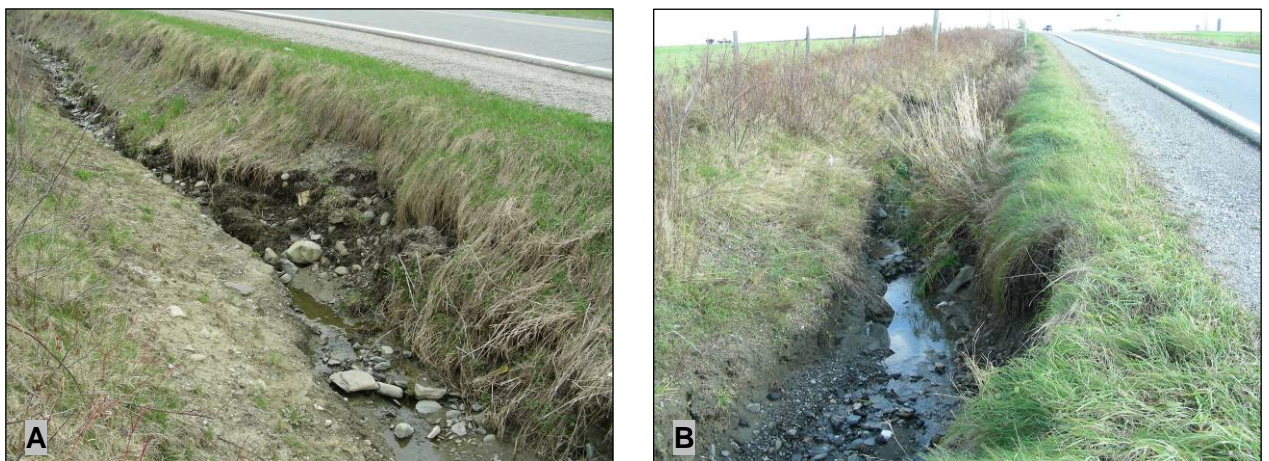
**Figure 109 : Poteau d'Hydro-Québec penché de 10° à cause de l'érosion dans le fossé du site n° 10 : A) poteau au mètre 130 (31 octobre 2006); B) érosion à la base du poteau (17 octobre 2006); C) décrochement (1<sup>er</sup> novembre 2006)**

Ensuite, entre les mètres 146 et 151 ainsi qu'entre les mètres 165 et 168, d'importants décrochements ont affecté les talus. Dans le premier cas, le décrochement s'est produit sur le talus opposé à la route. Le 17 octobre 2006, l'érosion à cet endroit était déjà importante à cause d'une déviation de l'écoulement de l'eau dans le fossé vers le talus opposé à la route provoquée par la présence de gros blocs dans le fond du fossé (figure 110A). À la fin du mois d'octobre 2006, l'érosion latérale a augmenté pour finalement causer l'affaissement d'un bloc de grande dimension qui a chuté à la suite de l'érosion latérale (figure 110B).

Le décrochement entre les mètres 165 et 168 s'est produit durant la même période que les deux marques d'érosion majeures déjà mentionnées. Dans cette section, l'écoulement est dévié vers le talus du côté de la route en raison de la présence de blocs de grande dimension dans le fond du fossé. Ainsi, l'érosion a affecté le talus du côté de la route, là où la végétation a été arrachée jusqu'à la limite de l'accotement (figure 111).



**Figure 110 : Décrochement entre les mètres 146 et 151 du site n° 10 : A) bloc en place dans le talus et érosion latérale (17 octobre 2006); B) chute du bloc et décrochement (1<sup>er</sup> novembre 2006)**



**Figure 111 : Décrochement entre les mètres 165 et 168 du site n° 10 : A) déviation de l'écoulement causant de l'érosion sur le talus (17 octobre 2006); B) décrochement jusqu'à la hauteur de l'accotement (1<sup>er</sup> novembre 2006)**

Enfin, le débit dans le fossé à la suite de la précipitation du 20 octobre 2006 devait être très important. En effet, au moment de la dernière mesure des profils transversaux, réalisée à la suite de l'événement, on a observé qu'une bonne proportion des sédiments accumulés dans les sections n<sup>os</sup> 1 et 2 avaient été transportés.

Pour stabiliser le talus à l'emplacement du poteau d'Hydro-Québec, on a utilisé des pierres de grande dimension (de 600 à 900 mm) qui ont été recouvertes de pierres de taille moyenne de 200 à 300 mm. Le talus affecté par l'érosion



ainsi que le fond du fossé ont été remplis de pierres. Le procédé employé était le même que pour la construction des seuils lors du nettoyage des sites. On s'est assuré de la présence d'une dépression d'au moins 15 cm au centre du seuil pour éviter qu'il y ait de l'érosion latérale en cas de débordement de l'eau (figure 112A).

Dans le but de contrer l'érosion entre les mètres 146 et 151, on a installé un seuil pour stabiliser le talus opposé à la route et ainsi éviter la reprise de l'érosion dans cette section. Tout d'abord, on a disposé des pierres de grande dimension pour faire la forme du seuil, ainsi qu'un tablier pour éviter l'effet de chute au moment du passage de l'eau. Une fois le seuil construit, on a déposé des pierres de taille moyenne de 200 à 300 mm dans la portion amont, accotées sur les pierres de plus grande dimension (figure 112B).

Enfin, entre les mètres 165 et 168, l'accotement a été stabilisé uniquement avec des pierres de taille moyenne de 200 à 300 mm. Les pierres ont été tassées dans le talus où la végétation avait décroché pour faciliter le passage de l'eau au centre du fossé et ainsi enrayer l'érosion dans cette section du talus (figure 110C).

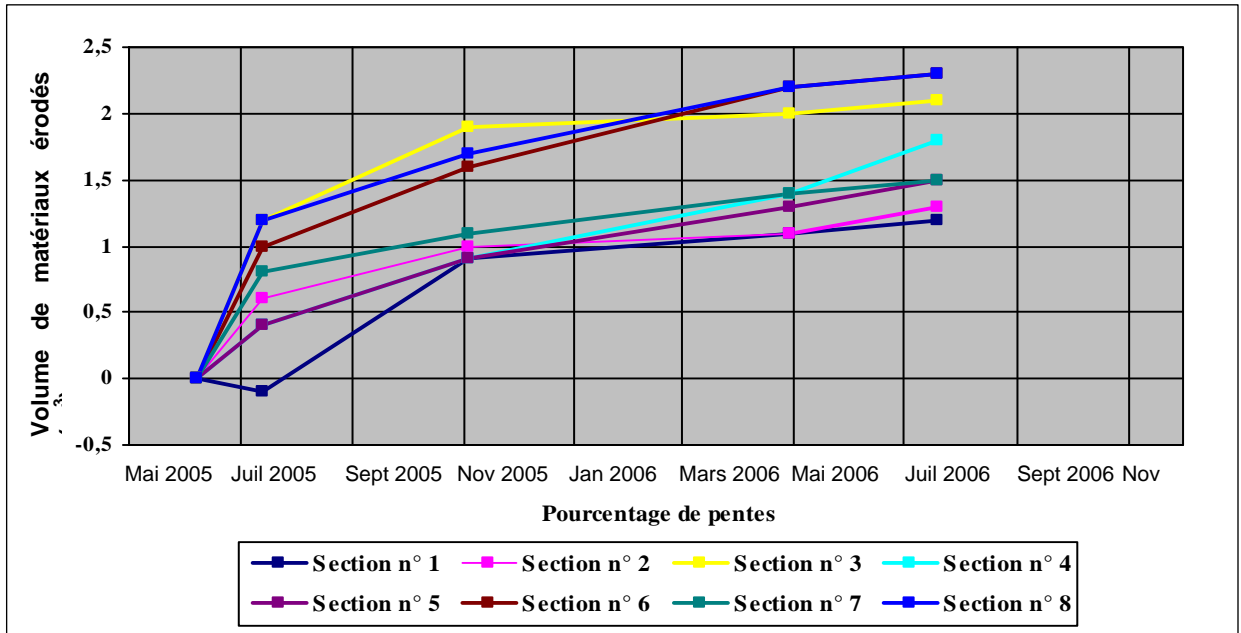


**Figure 112 : Réparation de trois sections du site n° 10 (17 novembre 2006) : A) stabilisation du talus au mètre 130; B) installation d'un seuil entre les mètres 146 et 151; C) stabilisation de l'accotement entre les mètres 165 et 168**

Finalement, en 2005, le volume total de matériaux érodés est de 62 m<sup>3</sup>. Au cours de la période hivernale 2005-2006, ce volume est de 48 m<sup>3</sup>. En 2006, l'érosion n'a pas diminué dans le fossé. En effet, on a un volume total de matériaux érodés de 51 m<sup>3</sup>, ce qui donne un volume total de 161 m<sup>3</sup> au cours des 18 mois de l'étude.

#### **5.1.11. Site no 11 : 3 % de pente, méthode traditionnelle**

Le fossé du site n° 11 a été nettoyé le 7 juin 2005. Le sol était humide et l'écoulement de l'eau dans le fossé était plus facile à la suite de l'enlèvement de la végétation. Le fossé a été affecté par l'érosion en 2005 sur presque toute sa longueur (figure 113).



**Figure 113 : Évolution des transects dans le fossé du site no 11 nettoyé à l'aide de la méthode traditionnelle**

Au mois de juillet 2005, on constate une accumulation soudaine de sédiments dans la section n° 1 du fossé, suivie d'une reprise de l'érosion (figure 113). L'accumulation dans cette section est due à la présence d'une berme filtrante en aval, laquelle a permis la formation d'un bassin de sédimentation en amont (figure 114A). La berme était à proximité de la limite aval du site (section 4.11.) et la quantité de sédiments accumulés dans le bassin de sédimentation était importante. L'accumulation s'est faite jusqu'au mètre 12,5 et la mesure du 13 juillet 2005 en a été affectée. Après le nettoyage des bassins de sédimentation, le 15 août 2005, l'évolution normale du fossé a repris.

Les mesures des profils transversaux sur le site n° 11 ont dû être arrêtées avant l'automne 2006. En effet, en septembre 2006, au moment de prendre la dernière mesure des profils, des travaux d'asphaltage étaient en cours (figure 115). Ils ont recouvert tant des points pour ancrer la chaîne de mesure que des points de repère. Le talus du côté de la route a aussi été endommagé par ces travaux. En effet, le nivellement de l'accotement précédant la pose de revêtement a créé un apport très important de matériaux, modifiant le profil du talus sur toute la longueur du fossé. La comparaison avec les sites ayant la même pente moyenne est encore possible en se servant de la dernière mesure des profils transversaux pour ce site, soit celle du 19 juillet 2006.



**Figure 114 : Évolution du fossé du site n° 11 (15 août 2005); A) accumulation de matériaux au transect 1; B) reprise de la végétation sur les talus**



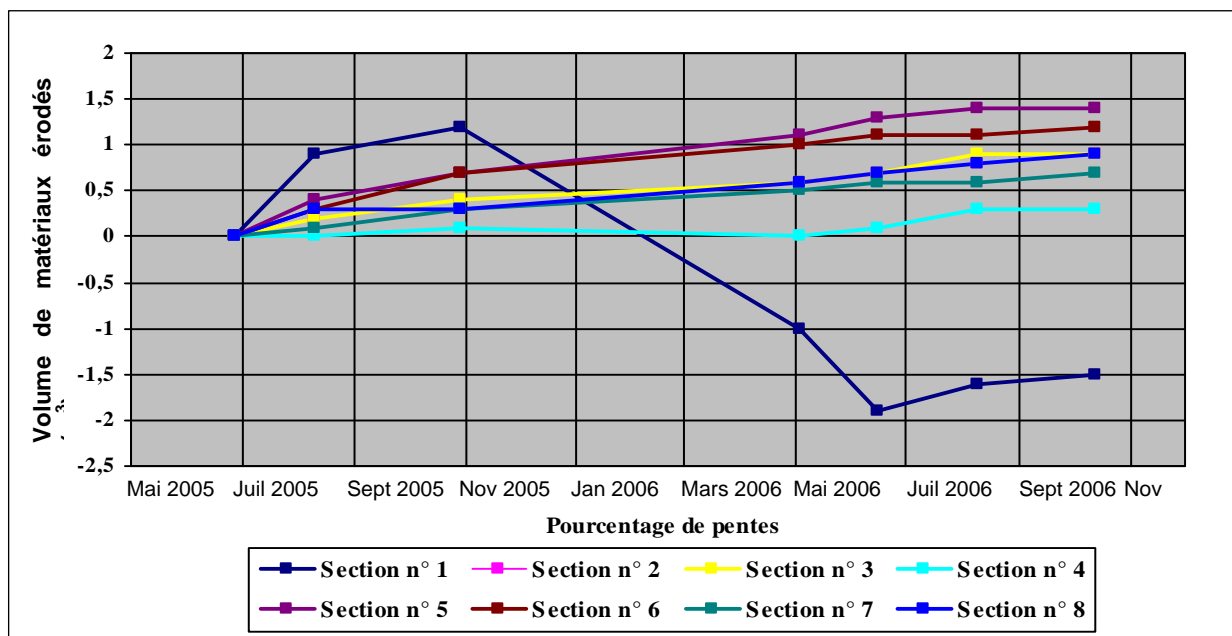
**Figure 115 : Asphaltage de la route bordant le fossé du site n° 11 (13 octobre 2006)**

En 2005, le volume total de matériaux érodés était de 10 m<sup>3</sup>. Ensuite, on a mesuré un volume de matériaux érodés de 3 m<sup>3</sup> au cours de l'hiver et observé une stabilisation des talus en 2006. À l'automne 2006, la végétation était dense sur les talus et ne laissait dénudée que la zone d'écoulement. Au total, on a estimé à 14 m<sup>3</sup> le volume de matériaux érodés dans le fossé au cours des 14 mois de l'étude.

#### **5.1.12. Site no 12 : 5 % de pente, méthode du tiers inférieur bonifiée**

Le fossé du site n° 12 a été nettoyé les 9 et 13 juin 2005. Le fossé a été très peu affecté par l'érosion au cours des deux années (figure 116). En amont de chacun des seuils, on a noté qu'il y a eu une accumulation importante de sédiments. C'est dans ces zones d'accumulation que de la végétation a

repoussé plus rapidement. À l'automne 2006, le fond du fossé est entièrement végétalisé et peu soumis à l'érosion.



**Figure 116 : Évolution des transects dans le fossé du site n° 12 nettoyé à l'aide de la méthode du tiers inférieur bonifiée**

La plus grande partie de l'érosion dans les sections n° 2 à 8 du fossé s'est produite entre juin 2005 et mai 2006, avec un volume de matériaux érodés de 5 m<sup>3</sup>. Ensuite, on a observé une reprise très importante de la végétation dans la totalité du fossé, et le volume de matériaux érodés est de 1 m<sup>3</sup> pour la période estivale 2006.

La présence de seuils dans le fossé a favorisé l'accumulation de matériaux dans la portion en amont de ceux-ci. À cause de l'écoulement de l'eau au-dessus des seuils, on a constaté, en aval de ces derniers, quelques cicatrices d'érosion par ravinement et par surcreusement. L'érosion a affecté uniquement la portion nettoyée à l'aide de la méthode du tiers inférieur.

Au mois de mars 2006, on a remarqué une importante cicatrice d'érosion par ravinement sur l'accotement près du seuil n° 2. Au même endroit, un décrochement de la végétation avait eu lieu au cours du nettoyage du site et avait été immédiatement réparé (section 4.12.). On avait donc installé un seuil à cet endroit pour tenter de consolider l'accotement et ainsi prévenir un autre glissement. En raison de la configuration des lieux, dont la pente favorise l'écoulement de l'eau sur l'accotement et non en direction du fossé, un ravinement s'est formé puisque c'était une zone de faiblesse (figure 117A). Le

gravier érodé s'est accumulé en amont du premier seuil, dans la partie aval du site (figure 116).

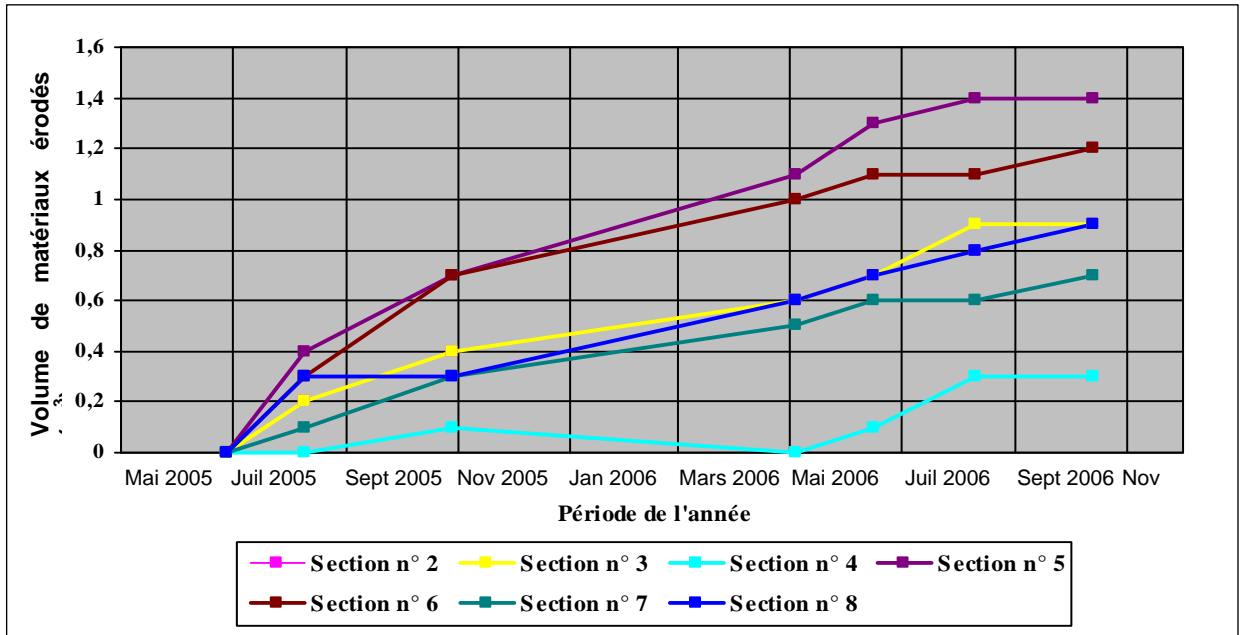
Une demande a été faite au ministère des Transports dans la semaine du 6 mars 2006 pour réparer cette cicatrice d'érosion. La demande spécifiait qu'on devait être présent sur le site au moment de la réparation pour s'assurer que celle-ci ne vienne pas modifier le déroulement de l'étude. Le 22 mars 2006, en faisant une visite des sites pour vérifier l'écoulement avec la fonte de la neige, on a constaté qu'un piquet avait été planté sur l'accotement (figure 117B). Le ravinement était de plus en plus important et la demande de réparation a été réitérée au Ministère le 28 mars 2006. Enfin, le 23 mai 2006, on s'est aperçu que le travail avait été réalisé incorrectement et que le seuil n° 2 avait été tassé dans l'accotement puis recouvert de gravier (figure 117C).

Étant donné que le seuil n° 2 se situe au mètre 28, la réparation du ravinement ainsi que la destruction du seuil n'affectent que le profil transversal de la section que le profil transversal de la section n° 1, localisé au mètre 12,5, où on remarque une accumulation de sédiments (figure 116).



**Figure 117 : Ravinement sur l'accotement de la route au seuil n° 2 du site n° 12 : A) première constatation de la présence du ravinement (10 mai 2006); B) ravinement plus important et présence d'un piquet indiquant qu'il y aura une intervention (22 mars 2006) : C) réparation de l'accotement et destruction du seuil (23 mai 2006)**

Pour permettre une meilleure visualisation de l'érosion dans les sections qui n'ont pas été affectées par un événement non désiré, on reproduit le graphique de l'évolution des transects en tenant compte uniquement des sections n°s 2 à 8 (figure 118).



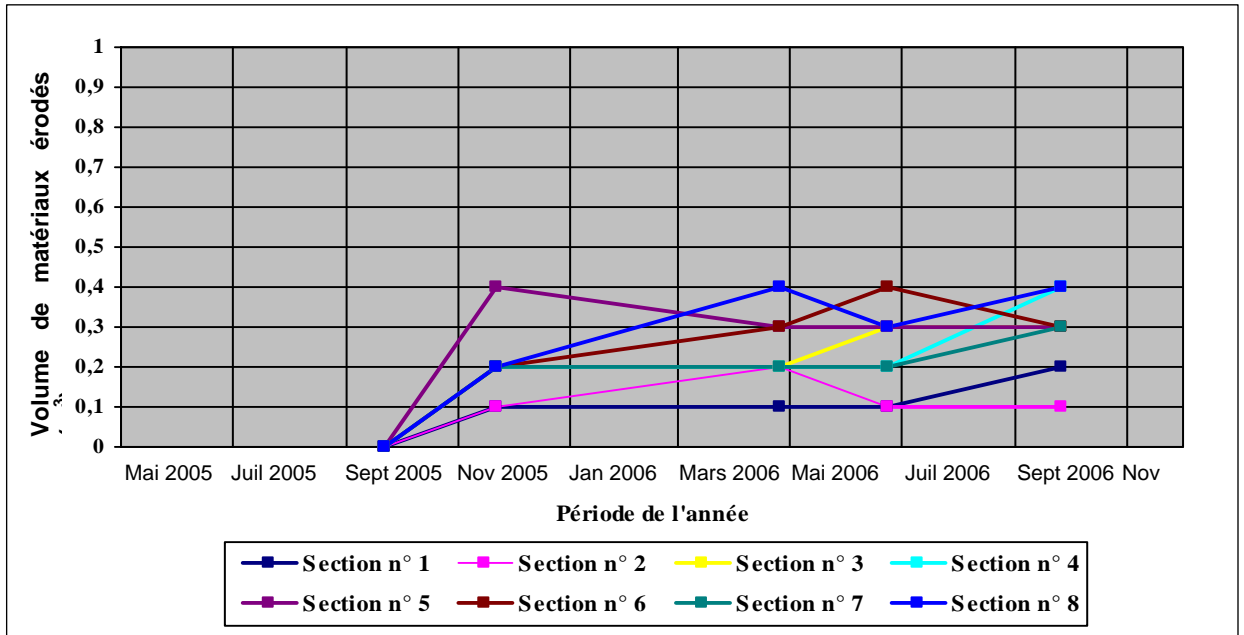
**Figure 118 : Évolution des transects n°s 2 à 8 du fossé du site n° 12 nettoyé à l'aide de la méthode du tiers inférieur bonifiée**

En 2005, le volume de matériaux érodés est de 4 m<sup>3</sup>. Au cours de la période hivernale 2005-2006, on a constaté qu'il y a eu très peu d'érosion dans le fossé. L'estimation de matériaux érodés est négative étant donné la présence de la zone d'accumulation de sédiments en amont du premier seuil, situé à 1 m du transect de la section n° 1. En 2006, le volume de matériaux érodés est de 1 m<sup>3</sup>. On estime le volume total d'érosion à 5 m<sup>3</sup> pour les 18 mois de l'étude.

### **5.1.13. Site no 14 : 3 % de pente, méthode du tiers inférieur bonifiée**

Le fossé du site n° 14 remplace le fossé du site n° 13, qui avait été nettoyé de nouveau par une équipe du Centre de services de Cookshire du MTQ à l'été 2005. Le fossé a donc été nettoyé le 19 septembre 2005. On a constaté que le sol était sec, comparativement aux autres sites où le nettoyage a été fait peu après la fonte des neiges. La première mesure des profils transversaux a été réalisée immédiatement après le nettoyage, soit le 19 septembre 2005.

On a constaté une stabilisation rapide du fossé, où uniquement une petite portion du fond du fossé était soumise à l'érosion. Deux mois après le nettoyage du fossé, on estime à 1 m<sup>3</sup> le volume de matériaux érodés (figure 119). Pour l'année 2006, le volume d'érosion mesuré est inférieur à 1 m<sup>3</sup>, pour un volume total de 2 m<sup>3</sup> après 13 mois.



**Figure 119 : Évolution des transects dans le fossé du site n° 14 nettoyé à l'aide de la méthode du tiers inférieur bonifiée**

La reprise de la végétation s'est faite rapidement dans le fossé du site n° 14. Dès le printemps 2006, une végétation de type aquatique repoussait dans les portions en amont des seuils (figure 120). À l'automne 2006, la presque totalité du fond du fossé était végétalisée.



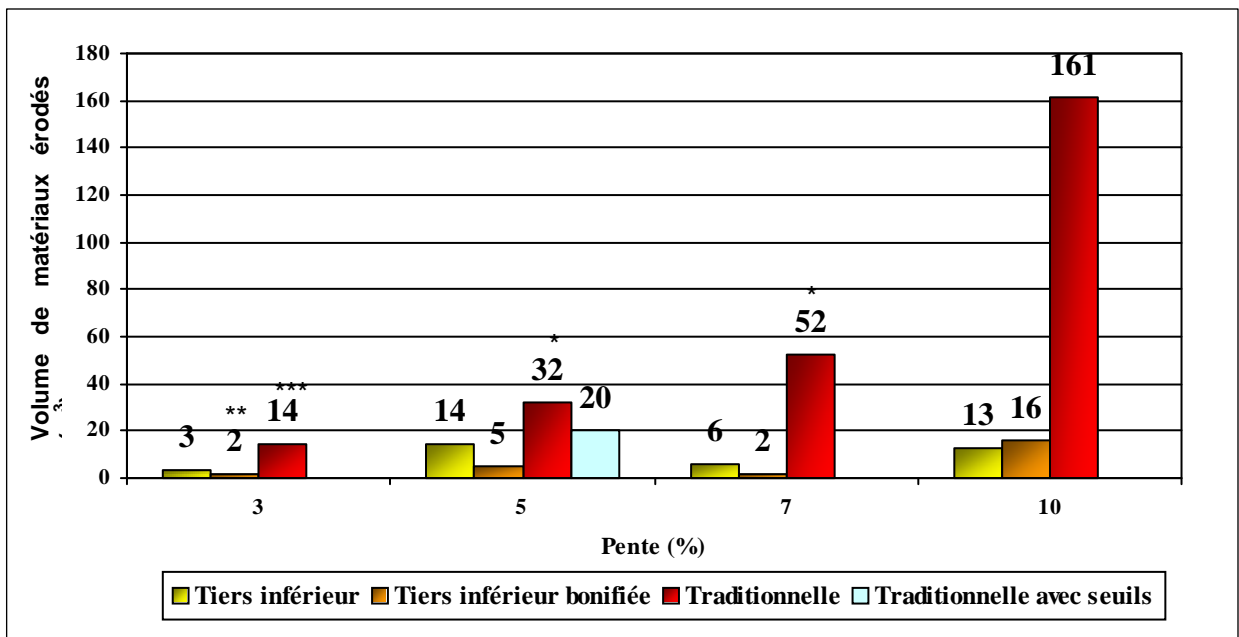
**Figure 120 : Reprise de la végétation dans le fossé du site n° 14 (20 septembre 2006)**

## 5.2. Volume brut de matériaux érodés

Les résultats présentés sur la figure 121 correspondent à la différence entre les mesures des profils initiaux avec ceux mesurés à l'automne 2006. Sur cette figure, on a une quatrième colonne pour les sites ayant une pente moyenne de 5 %. En effet, le site n° 2 est le fossé nettoyé à l'aide de la méthode traditionnelle mais où on a installé des seuils en pierres.

Avec l'utilisation de la méthode du tiers inférieur par rapport à la méthode traditionnelle, on constate une réduction de l'érosion de l'ordre de 79 % pour les sites de 3 % de pente, de 60 % pour les sites de 5 % de pente, de 90 % pour les sites de 7 % de pente et de 92 % pour les sites de 10 % de pente.

On peut aussi observer qu'il y a une réduction du volume de matériaux érodés avec l'utilisation de la méthode du tiers inférieur bonifiée par rapport à la méthode du tiers inférieur, et ce, pour les trois classes de pentes les plus faibles. Ainsi, on a une réduction de l'ordre de 21 % pour les sites de 3 % de pente, de 55 % pour les sites de 5 % de pente et de 70 % pour les sites de 7 % de pente. On constate que dans le cas des sites de 10 % de pente, il y a une augmentation de l'ordre de 25 % du volume de matériaux érodés.



\* Fossés avec 7 sections plutôt que 8

\*\* Données recueillies sur une période de 15 mois plutôt que 18

\*\*\* Données recueillies sur une période de 14 mois plutôt que 18

Figure 121 : Volume total brut de matériaux érodés dans les fossés de 200 m sur une période de 18 mois



### 5.3. Données économiques

Les résultats des données économiques proviennent des temps calculés au moment du nettoyage des sites ainsi que des interventions subséquentes qui ont été nécessaires dans certains fossés. Pour le bilan de ces données, on conserve le temps de nettoyage requis pour le fossé du site n° 13, ainsi que les données d'installation des seuils. Aussi, on présente le temps et le matériel nécessaires à la réparation des sites n<sup>os</sup> 7 et 10.

#### 5.3.1. Temps de nettoyage et nombre de chargements de camion

Les données concernant le temps de nettoyage ainsi que le nombre de chargements de camion ont été calculés pendant l'entretien des fossés en 2005 (tableau 3).

**Tableau 3 : Temps et nombre de chargements de camion nécessaires à l'entretien des fossés**

N° de site	Pente (%)	Méthode utilisée	Date	Temps total net (heures)	Temps par mètre linéaire (min)	Nombre de chargements de camion*
1	5	Traditionnelle	25 mai 2005	4 : 07	1 : 14	12,00
2	5	Traditionnelle	26 mai 2005	3 : 33	1 : 04	11,00
3	3	Tiers inférieur	13 juin 2005	2 : 48	0 : 50	6,75
4	7	Tiers inférieur avec seuils	6 juin 2005	2 : 23	0 : 43	1,75
5	10	Tiers inférieur avec seuils	1 <sup>er</sup> juin 2005	3 : 41	1 : 06	5,50
6	5	Tiers inférieur	8 juin 2005	3 : 15	0 : 58	5,00
7	7	Traditionnelle	24 mai 2005	4 : 20	1 : 18	11,00
8	7	Tiers inférieur	6 juin 2005	3 : 05	0 : 56	3,00
9	10	Tiers inférieur	31 mai 2005	2 : 25	0 : 44	5,50
10	10	Traditionnelle	30 et 31 mai 2005	5 : 35	1 : 40	22,00
11	3	Traditionnelle	7 juin 2005	5 : 37	1 : 41	17,00
12	5	Tiers inférieur avec seuils	9 et 13 juin 2005	2 : 45	0 : 49	6,50
13	3	Tiers inférieur avec seuils	9 juin 2005	2 : 11	0 : 39	4,50
14	3	Tiers inférieur avec seuils	19 sept. 2005	2 : 51	0 : 51	6,15

Source : Données de terrain entre le 24 mai et le 13 juin 2005 ainsi que le 19 septembre 2005

\* Approximativement 15 t métriques de matériel par chargement

À partir du tableau 3, il est possible de calculer le temps moyen de nettoyage par mètre linéaire de fossé en fonction de la méthode utilisée. Ainsi, le temps requis pour nettoyer un mètre linéaire de fossé est de 1 min 24 s à l'aide de la méthode traditionnelle, pour un temps moyen par site de 4 h 38 min. Il est de 51 s à l'aide de la méthode du tiers inférieur (avec ou sans seuils), pour un temps moyen par site de 2 h 49 min. On peut aussi constater que le nombre de chargements de camion requis pour effectuer la méthode traditionnelle, soit 14,6, est largement supérieur à celui pour effectuer la méthode du tiers inférieur, soit 4,9 chargements.

Enfin, sur la figure 122, on présente graphiquement le temps de nettoyage et le nombre de chargements de camion pour chaque site.

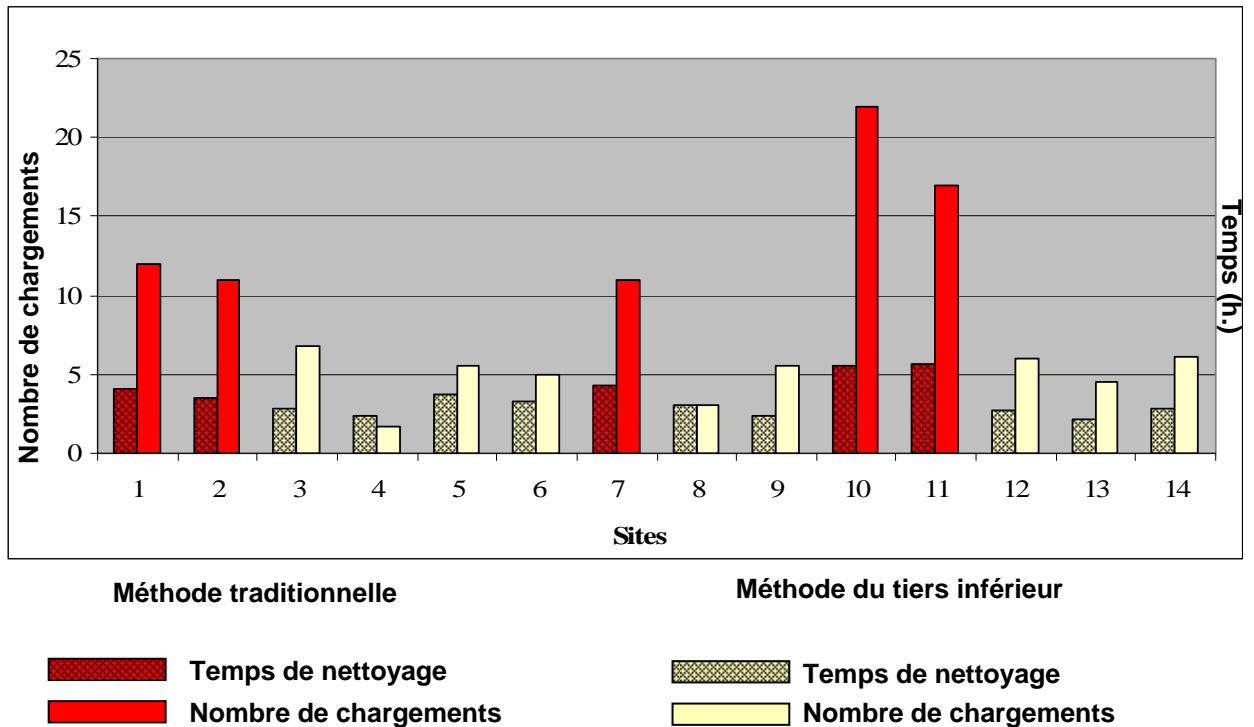


Figure 122 : Temps de nettoyage des sites et nombre de chargements

### 5.3.2. Installation des seuils

Dans le tableau 4, on rapporte les informations prises au cours de la mise en place des seuils en pierres. On constate que le temps minimal pour installer un seuil est de 3 min, et que le temps maximal est de 8 min. Le temps moyen requis pour installer un seuil est de 4 min en utilisant approximativement 2,1 t de pierres.

### 5.3.3. Réparation des sites

Le temps nécessaire pour réparer les deux décrochements survenus dans le site n° 7 a été de 27 min et la quantité de pierres utilisées de 11 t (tableau 5).

En ce qui concerne le fossé du site n° 10, on a utilisé 3 t de pierres de taille moyenne de 200 à 300 mm et 7 t de pierres de grande dimension (de 600 à 900 mm), ce qui a exigé 39 min de travail (tableau 6).

**Tableau 4 : Données sur l'installation des seuils en pierres**

Seuils							
N° de site	Nombre de seuils	Pente (%)	Date	Pierres		Temps	
				Taille (mm)	Poids (t)	Total (min)	Moyen (min)
2	8	5	26 mai 2005	200-300	27,00	65	8
4	13	7	6 juin 2005	200-300	15,10	36	3
5	16	10	1 <sup>er</sup> juin 2005	200-300	29,90	95	6
12	12	5	13 juin 2005	200-300	15,53	37	3
13	6	3	9 juin 2005	200-300	15,44	35	6
14	6	3	19 sept. 2005	200-300	14,97	25	4

Source : Données de terrain entre le 26 mai et le 13 juin 2005, ainsi que le 19 septembre 2005

**Tableau 5 : Réparation des talus du fossé du site no 7 le 20 juillet 2006**

	Réparation des talus		
	Mètres 27 à 32	Mètres 67 à 72	Total
Temps total (min)	14	13	27
Quantité de pierres de 200 à 300 mm nécessaire (t)	5	6	11

Source : Données de terrain, 20 juillet 2006

**Tableau 6 : Réparation des talus du fossé du site no 10 le 17 novembre 2006**

	Réparation des talus			
	Mètre 130	Mètres 146 à 151	Mètres 165 à 168	Total
Temps total (min)	16	15	8	39
Quantité de pierres de 200 à 300 mm nécessaire (t)	0,5	0,5	2	3
Quantité de pierres de 600 à 900 mm nécessaire (t)	3	4	0	7

Source : Données de terrain, 17 novembre 2006



## 6. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

L'interprétation des résultats permet de mettre en relation l'évolution des fossés avec des variables telles que les conditions météorologiques et les actions anthropiques non désirées. Lorsqu'une section d'un site doit être mise de côté parce qu'elle n'est pas représentative de la réalité, on s'assure que les résultats sont représentés pour 200 m en extrapolant les résultats des autres sections du fossé.

Dans cette section, on pondère, au besoin, les résultats bruts d'estimation du volume de matériaux érodés, on compare les trois méthodes d'entretien en fonction de la pente ainsi qu'à partir de la reprise de la végétation et on dresse un bilan économique attribuable à chacune des méthodes.

### 6.1. Pondération des résultats

La pondération des résultats permet de faire une comparaison plus juste entre les méthodes d'entretien utilisées. Lorsqu'une cicatrice d'érosion se produit au transect d'une section, il est possible que l'estimation du volume total d'érosion dans le fossé soit modifiée. On s'assure donc que tous les sites ont des données comparables et les résultats obtenus sont recalculés pour une longueur totale de 200 m. En ce qui a trait aux sites n<sup>os</sup> 1, 7 et 10, la bande de végétation laissée par le MTQ sur le talus du côté de la route au moment de l'entretien à l'aide de la méthode traditionnelle fait en sorte que les valeurs sont sous-évaluées.

Cette façon de pondérer suppose que l'érosion est linéaire, c'est-à-dire qu'elle a la même intensité tout le long du fossé.

#### 6.1.1. Site no 1 : 5 % de pente, méthode traditionnelle

Au mètre 40, un ponceau permettant l'accès à un boisé avait causé une accumulation de sédiments antérieure à la sélection du site. Cette accumulation a fait en sorte qu'on a utilisé la méthode traditionnelle pour reconstruire le profil transversal du fossé sur 30 m. Au moment du nettoyage de celui-ci, le ponceau a été laissé en place et la profondeur du fossé en amont du ponceau était réduite par rapport à l'ensemble du fossé (figure 123A). La largeur du fossé est aussi considérablement plus faible par la présence du ponceau et cette situation provoque une réduction de la vitesse de l'eau à l'amont de ce dernier. Sur la figure 123A, on peut voir qu'il y avait déjà une accumulation de sédiments en amont du ponceau, seulement quatre jours après le nettoyage du fossé.



**Figure 123 : Accumulation en amont du ponceau au mètre 40 du site n° 1 : A) faible accumulation quatre jours après le nettoyage (29 mai 2005); B) accumulation de matériaux sur plus de 30 m (26 sept. 2006)**

Les mesures des profils transversaux dans la section n° 3 permettent de suivre l'évolution de l'importante accumulation de sédiments dans cette section du fossé (annexe 3, site n° 1, transect 3). La plus forte accumulation a été mesurée dans le cas du profil réalisé le 25 juillet 2005, ce qui correspond aussi à de plus forts volumes de matériaux érodés dans les sections n° 6 et 7 (section 5.2.1.).

Dans le calcul du volume de matériaux érodés, la section n° 3 ne devrait pas être comptabilisée puisqu'elle ne reflète pas la réalité de l'entretien d'un fossé à l'aide de la méthode traditionnelle. Ainsi, étant donné qu'on n'avait que sept sections, puisque la longueur du site n'est que de 187 m, on n'obtient donc que six sections valables pour permettre une comparaison adéquate de ce site par rapport aux autres. En ce qui a trait aux sections retenues, équivalant à 150 m de longueur, on obtient un volume total de matériaux érodés de 34 m<sup>3</sup>. Afin de rapporter ce volume sur une longueur de 200 m, on doit le multiplier par 8/6. On obtient un volume total de matériaux érodés estimé de 45 m<sup>3</sup> pour ce fossé.

### **6.1.2. Site no 2 : 5 % de pente, méthode traditionnelle avec seuils**

Dans la section n° 8, on constate que l'érosion est plus importante que dans les autres sections. Le volume total estimé est de 9 m<sup>3</sup>, ce qui correspond à la moitié du volume total pour le fossé. La raison pour laquelle l'érosion est plus importante à cet endroit est que le transect de la section n° 8 se situe en aval d'un seuil, ce qui favorise l'érosion du talus opposé à la route. Cette section ne doit pas être comptabilisée dans l'estimation du volume de matériaux érodés.

Aussi, dans la section n° 4, on constate une accumulation de sédiments importante et non représentative par rapport aux autres sections. Le transect est situé à 2 m en amont d'un seuil et l'accumulation de sédiments causée par

ce dernier fait en sorte que le volume total estimé est de  $6 \text{ m}^3$ . On ne doit donc pas considérer cette section dans l'estimation du volume de matériaux érodés.

En ce qui concerne les sections retenues, équivalant à 150 m de longueur, on obtient un volume total de matériaux érodés de  $16 \text{ m}^3$ . Afin de rapporter ce volume sur une longueur de 200 m, on doit le multiplier par  $8/7$ . On obtient un volume total de matériaux estimé de  $21 \text{ m}^3$  pour ce fossé.

#### **6.1.3. Site no 3 : 3 % de pente, méthode du tiers inférieur**

Les données calculées pour le fossé du site n° 3 n'ont pas besoin d'être modifiées. On considère donc que le volume total de matériaux érodés est de  $3 \text{ m}^3$ .

#### **6.1.4. Site no 4 : 7 % de pente, méthode du tiers inférieur bonifiée**

En ce qui concerne le fossé du site n° 4, la faible épaisseur du till, la présence de nombreux affleurements rocheux ainsi qu'un apport imprévu de gravier provenant d'un chasse-neige en octobre 2005 font en sorte que la comparaison de ce site avec les autres sites est impossible. En effet, les données qu'on a récoltées ne sont pas attribuables à la méthode d'entretien du fossé, mais plutôt à l'évolution d'un fossé à la suite de l'apport imprévu de gravier.

#### **6.1.5. Site no 5 : 10 % de pente, méthode du tiers inférieur bonifiée**

En ce qui a trait au fossé du site n° 5, on conserve intégralement les données mesurées à l'aide des huit profils transversaux pour le calcul du volume total de matériaux érodés, et ce, même si on constate une faible accumulation de sédiments dans la section n° 2. Les données provenant des profils transversaux permettent de bien rapporter la réalité de l'évolution observée dans le fossé. On considère donc que le volume total de matériaux érodés est de  $16 \text{ m}^3$ .

#### **6.1.6. Site no 6 : 5 % de pente, méthode du tiers inférieur**

Dans le fossé du site n° 6, l'affaissement d'une portion du talus au transect de la section n° 1 n'est pas représentatif de l'état de la situation dans le reste de la section. En effet, on obtient un volume total de matériaux érodés de  $4 \text{ m}^3$ , comparativement à une moyenne de  $1,4 \text{ m}^3$  dans les autres sections du fossé.

Afin de permettre une comparaison de ce fossé avec les fossés des autres sites, on ne doit pas comptabiliser la section n° 1 dans le volume total de matériaux érodés dans le fossé. Dans les sections retenues, équivalant à 175 m de longueur, on obtient un volume total de  $10 \text{ m}^3$ . Afin de rapporter ce volume sur une longueur de 200 m, on doit le multiplier par  $8/7$ . On considère donc un volume total de matériaux érodés de  $11 \text{ m}^3$  pour ce fossé.

### **6.1.7. Site no 7 : 7 % de pente, méthode traditionnelle**

Le fossé du site n° 7 a une longueur de 190 m avec seulement sept sections, ce qui équivaut à 175 m en fonction de la division des fossés en sections de 25 m. Aussi, le transect de la section n° 7 se trouve dans la portion du fossé qui a une pente se situant entre 4 et 5 %. On a mesuré un volume de matériaux érodés moins important dans cette section et celle-ci n'est donc pas représentative. Cette section ne doit pas faire partie de l'estimation du volume de matériaux érodés. Ainsi, pour une longueur de 150 m, on obtient un volume total de 49 m<sup>3</sup>. Afin de rapporter ce volume sur une longueur de 200 m, on doit le multiplier par 8/6. On considère un volume total de matériaux érodés de 65 m<sup>3</sup> pour ce fossé.

Aussi, à 150 m de la limite aval du site, l'eau traverse la route par un ponceau et s'achemine vers le lac Massawippi. Ce site présente donc un exemple de l'impact que pourrait avoir un entretien de fossé inadéquat sur l'apport en sédiments dans un lac.

### **6.1.8. Site no 8 : 7 % de pente, méthode du tiers inférieur**

Le fossé du site n° 8 comprend deux ruptures de pente, ce qui change le pourcentage de pente moyen du fossé. Pour les 30 m en amont, la pente est de 3 % puis, pour les mètres 150 à 170, elle est de 5 %. Afin de permettre une comparaison de la méthode du tiers inférieur avec la méthode traditionnelle, on doit conserver les données provenant des mesures des profils transversaux des sections n<sup>os</sup> 1 à 6 où la pente moyenne est de 7 %. Ainsi, pour les 150 premiers mètres, on obtient un volume total de matériaux érodés de 5 m<sup>3</sup>. Afin de rapporter ce volume sur une longueur de 200 m, on doit le multiplier par 8/6. On considère un volume total de matériaux érodés de 7 m<sup>3</sup> pour ce fossé.

### **6.1.9. Site no 9 : 10 % de pente, méthode du tiers inférieur**

Les données calculées pour le fossé du site n° 9 n'ont pas besoin d'être modifiées. On considère donc que le volume total de matériaux érodés est de 13 m<sup>3</sup>.

### **6.1.10. Site no 10 : 10 % de pente, méthode traditionnelle**

En ce qui concerne le fossé du site n° 10, l'accumulation totale de sédiments dans la section n° 1 est de 3 m<sup>3</sup> en 2006 (figure 84). Aussi, en 2005, on constate que la section n° 2 s'est rapidement stabilisée et en 2006 on note qu'il y a accumulation de sédiments. L'érosion au transect de la section n° 2 est plus faible étant donné que la vitesse de l'eau est réduite à cet endroit et qu'elle y laisse s'accumuler les sédiments les plus grossiers.



Pour comparer les résultats mesurés dans le fossé du site n° 10 avec ceux des autres fossés, on ne doit pas tenir compte des deux premières sections où il y a eu accumulation de sédiments. On considère uniquement les six sections en amont, équivalant à 150 m de longueur. Ainsi, pour une longueur de 150 m, on obtient un volume total de matériaux érodés de 155 m<sup>3</sup>. Afin de rapporter ce volume sur une longueur de 200 m, on doit le multiplier par 8/6. On considère donc un volume total de matériaux érodés de 207 m<sup>3</sup> pour ce fossé.

#### **6.1.11. Site no 11 : 3 % de pente, méthode traditionnelle**

En ce qui concerne le fossé du site n° 11, les mesures se sont terminées le 19 juillet 2006 en raison de l'asphaltage de la route, qui a empêché la prise de données à l'automne à cause de la perte des repères pour les mesures. On ne peut donc pas extrapoler les résultats obtenus afin d'avoir une estimation du volume de matériaux érodés pour octobre 2006. On ne considère donc que les données mesurées, soit un volume minimal total de matériaux érodés de 14 m<sup>3</sup> sur 200 m pour ce fossé.

#### **6.1.12. Site no 12 : 5 % de pente, méthode du tiers inférieur bonifiée**

Le transect de la section n° 1 se trouve à 2 m en amont du premier seuil. À la suite de l'érosion de l'accotement sur la portion fragilisée au cours du nettoyage, le gravier érodé s'est accumulé en grande partie en amont du seuil. Dans cette section, à l'automne 2005, on estimait le volume de matériaux érodés à 1 m<sup>3</sup> puis, au moment de la première mesure au printemps 2006, on avait plutôt une accumulation de 1 m<sup>3</sup>. On ne doit donc pas tenir compte de cette section pour l'évolution du fossé, étant donné que l'incident n'est pas relié directement à la méthode d'entretien de celui-ci.

On estime donc que le volume de matériaux érodés est de 6 m<sup>3</sup> pour les sept sections considérées dans ce fossé, soit pour une longueur de 175 m. Pour comparer le fossé de ce site avec les autres fossés, on doit multiplier ce résultat par 8/7 afin d'obtenir une estimation pour une longueur de 200 m. On considère donc un volume total de matériaux érodés de 7 m<sup>3</sup> pour ce fossé.

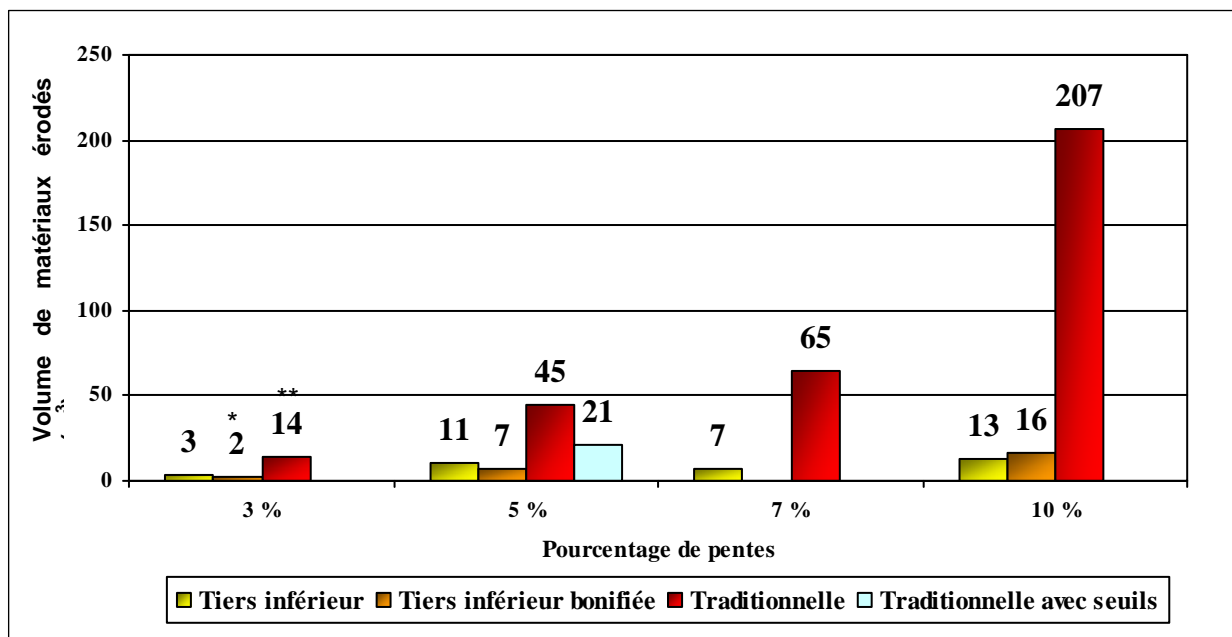
#### **6.1.13. Site no 14 : 3 % de pente, méthode du tiers inférieur bonifiée**

Le fossé du site n° 14 a été nettoyé en septembre 2005, soit plus de trois mois après le nettoyage des autres sites. On ne peut extrapoler les résultats pour à la période manquante. On ne considère donc que les données mesurées, soit un volume total de 2 m<sup>3</sup> sur 200 m pour ce fossé.

#### **6.1.14. Volumes nets de matériaux érodés**

En procédant à l'ajustement des résultats obtenus dans les sites n°s 1, 6, 7, 8, 10 et 12, on peut refaire le graphique de l'évolution des fossés (figure 121) avec les volumes nets de matériaux érodés (figure 124). La différence de

volume de matériaux érodés est ainsi accentuée entre les fossés nettoyés à l'aide de la méthode du tiers inférieur et ceux nettoyés à l'aide de la méthode traditionnelle.



\* Données recueillies sur une période de 15 mois plutôt que 18

\*\* Données recueillies sur une période de 14 mois plutôt que 18

**Figure 124 : Volume total net de matériaux érodés dans les fossés de 200 m sur une période de 18 mois**

Dans le groupe de fossés de 3 % de pente, aucune donnée n'a été modifiée. Ainsi, on conserve un gain de 79 % avec l'utilisation de la méthode du tiers inférieur par rapport à la méthode traditionnelle. L'utilisation de la méthode du tiers inférieur bonifiée n'entraîne pas une réduction considérable de l'érosion, celle-ci s'établissant à moins de 1 m<sup>3</sup> par rapport à la méthode du tiers inférieur.

En ce qui concerne le groupe de fossés de 5 % de pente, la réduction de l'érosion en utilisant la méthode du tiers inférieur est de 75 % par rapport à la méthode traditionnelle. Dans le cas du fossé du site n° 12 nettoyé à l'aide de la méthode du tiers inférieur bonifiée, la réduction de l'érosion augmente à 84 %. L'utilisation de seuils avec la méthode du tiers inférieur permet donc de réduire le volume de matériaux érodés de 4 m<sup>3</sup> par rapport à la méthode du tiers inférieur. Enfin, l'utilisation de seuils avec la méthode traditionnelle permet de réduire de 53 % le volume de matériaux érodés (24 m<sup>3</sup>) par rapport à la méthode traditionnelle sans seuils.

Dans le groupe de sites de 7 % de pente, on ne peut pas faire l'analyse comparative avec le fossé nettoyé à l'aide de la méthode du tiers inférieur

bonifiée, car les modifications constatées à la suite d'un apport imprévu de gravier dans le fossé du site n° 4 ont eu une influence sur les résultats. Par contre, les mesures indiquent que l'utilisation de la méthode du tiers inférieur permet une réduction de l'érosion de 88 % par rapport à la méthode traditionnelle.

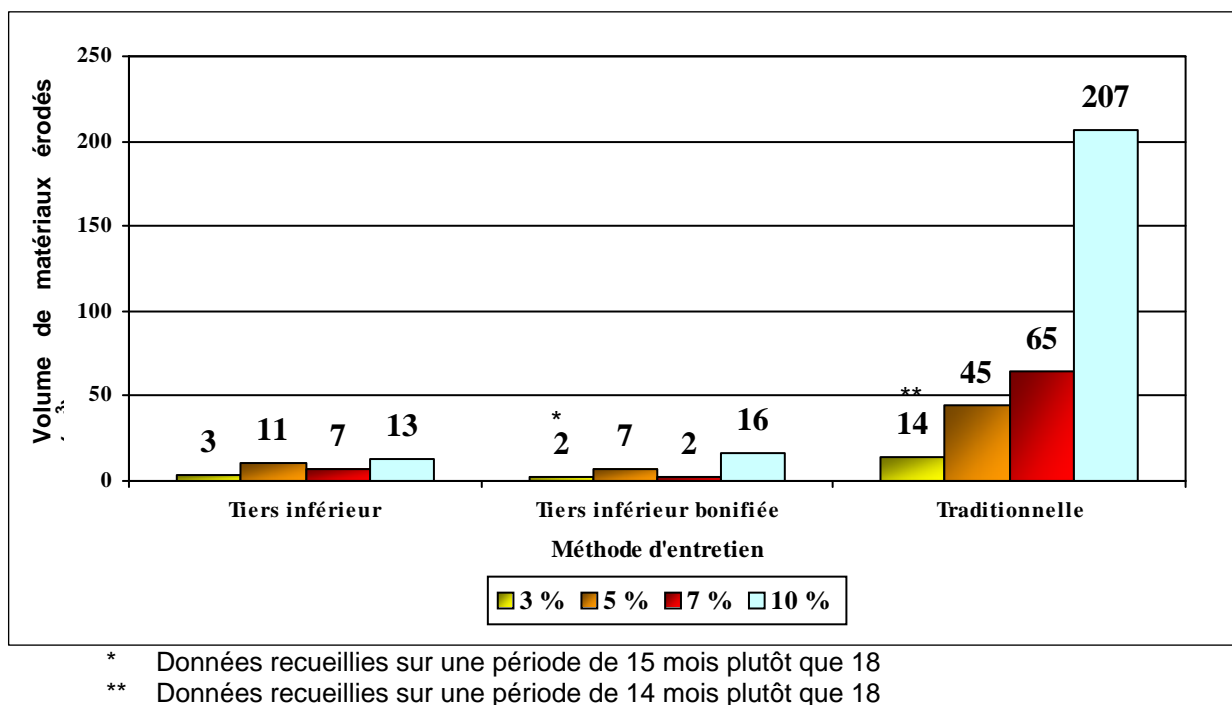
En ce qui concerne les sites à pente moyenne de 10 %, la réduction de l'érosion avec l'utilisation de la méthode du tiers inférieur est de 94 % par rapport à la méthode traditionnelle. Contrairement à ce qui se produit dans les autres groupes de sites, l'utilisation de la méthode du tiers inférieur bonifiée ne réduit pas le volume de matériaux érodés dans le fossé. En effet, on constate plutôt une augmentation du volume de 3 m<sup>3</sup> par rapport à la méthode du tiers inférieur. La configuration des seuils provoque plutôt une augmentation de l'érosion dans ce fossé. La dimension des pierres utilisées (de 200 à 300 mm) est trop faible pour laisser passer les sédiments et les débris, ce qui crée une accumulation importante de sédiments et de débris végétaux en amont. Aussi, en aval des seuils, il n'y a pas de tablier en pierres, permettant de contrer l'effet de chute lorsque l'eau déborde des seuils.

Enfin, l'utilisation de la méthode traditionnelle dans un fossé de 10 % de pente cause de l'érosion importante et continue, celle-ci étant en moyenne d'environ 1 m<sup>3</sup> par mètre linéaire, pour un total de 207 m<sup>3</sup> pour 200 m de fossé. À titre d'exemple, pour le fossé du site n° 7, qui a 7 % de pente et qui a été nettoyé à l'aide de la méthode traditionnelle, on obtient une érosion moyenne de 0,3 m<sup>3</sup> par mètre linéaire.

## **6.2. Interprétation des résultats en fonction de la pente**

L'érosion est accentuée avec la pente. Ainsi, plus la pente augmente, plus l'érosion risque d'être importante. L'analyse des sites en fonction de la pente permet de confirmer ce constat puisqu'on remarque une différence marquée dans les volumes de matériaux érodés peu importe la méthode d'entretien (figure 125).

Dans le cas des sites nettoyés à l'aide de la méthode du tiers inférieur, on observe une croissance du volume de matériaux érodés avec l'augmentation de la pente moyenne. Par contre, le site ayant une pente de 5 % a un volume de matériaux érodés plus élevé que le site ayant une pente de 7 %. On peut expliquer cela par le fait que le fossé du site n° 6 comportait déjà quelques cicatrices d'érosion sur le talus du côté opposé à la route, résultat d'un entretien antérieur au projet d'étude.



**Figure 125 : Volume de matériaux érodés dans les fossés en fonction de la pente**

Pour les fossés nettoyés à l'aide de la méthode du tiers inférieur bonifiée, on constate la même croissance du volume d'érosion avec l'augmentation de la pente. Le fossé ayant une pente moyenne de 7 % ne doit pas faire partie de l'analyse étant donné l'apport imprévu de gravier à l'automne 2005.

Enfin, on constate que l'augmentation du volume de matériaux érodés liée à l'augmentation de la pente est plus importante lorsque la méthode traditionnelle est utilisée pour le nettoyage des fossés. En effet, l'absence de végétation sur les talus agrandit la surface soumise à l'érosion à la suite de l'entretien.

### 6.3. Reprise de la végétation

La reprise de la végétation est aussi un indicateur qui est lié à la stabilisation des fossés à la suite d'un nettoyage.

#### 6.3.1. Fossés de 3 % de pente

C'est dans les fossés des sites ayant une pente de 3 % que la végétation a repris le plus rapidement.

Le fossé du site n° 3, nettoyé à l'aide de la méthode du tiers inférieur, s'est stabilisé très rapidement. On a observé une reprise de la végétation tôt en 2005, ne laissant dénudé que le chenal d'écoulement de l'eau après une

précipitation. L'aval du fossé a été végétalisé plus rapidement et on observe même de la végétation dense dans le fond du fossé au transect des sections n<sup>os</sup> 1 et 2 au printemps 2006. C'est pour cette raison qu'on y a mesuré une très faible accumulation de sédiments car la végétation en place agissait comme une berme filtrante.

En ce qui concerne le fossé du site n<sup>o</sup> 11, nettoyé à l'aide de la méthode traditionnelle, la reprise de la végétation s'est faite rapidement sur les talus en 2005. À certains endroits, le talus du côté opposé à la route est moins végétalisé que le talus du côté de la route car un affleurement rocheux a été déterré. La végétation était toutefois peu dense et les processus d'érosion ont continué d'agir dans le fossé. C'est au cours de l'été 2006 que le fossé s'est relativement stabilisé car la végétation sur les talus était dense et empêchait l'érosion latérale.

Dans le cas du fossé du site n<sup>o</sup> 14, nettoyé à l'aide de la méthode du tiers inférieur bonifiée, la présence des seuils en pierres a empêché l'érosion dans le fossé et a créé des bassins de rétention d'eau qui ont favorisé une reprise rapide de la végétation aquatique en 2006.

### **6.3.2. Fossés de 5 % de pente**

Dans les fossés ayant une pente de 5 %, on a constaté que la végétation a repris de façon importante uniquement dans le fossé nettoyé à l'aide de la méthode du tiers inférieur. En ce qui a trait aux deux fossés nettoyés à l'aide de la méthode traditionnelle, la végétation a repoussé tardivement sur les talus.

Pour le fossé du site n<sup>o</sup> 6, nettoyé à l'aide de la méthode du tiers inférieur, à l'automne 2006, le fond est toujours dénudé de végétation et il est soumis à l'érosion linéaire. La végétation a faiblement repoussé sur les côtés de la zone correspondant au nettoyage du tiers inférieur. L'effet de l'érosion sur la portion nettoyée empêche la reprise de la végétation.

Dans le fossé du site n<sup>o</sup> 1, nettoyé à l'aide de la méthode traditionnelle, on constate que la végétation a repris plus rapidement sur le talus du côté de la route, étant donné qu'on a laissé une bande de végétation sur la portion supérieure du talus.

En ce qui concerne le fossé du site n<sup>o</sup> 12, nettoyé à l'aide de la méthode du tiers inférieur bonifiée, on a constaté une stabilisation très rapide du fond du fossé, favorisée par la présence des seuils en pierres. Les seuils ont provoqué une accumulation de sédiments dans les sections en amont. La végétation a repoussé plus rapidement dans le fond du fossé, en amont des seuils. Pour les portions en aval, où on a mesuré les plus fortes marques d'érosion, la végétation a repris plus tardivement en 2006.

### **6.3.3. Fossés de 7 % de pente**

Dans les fossés de 7 % de pente, on constate que la végétation repousse difficilement dans le fond du fossé, étant donné la vitesse à laquelle l'eau circule.

En ce qui concerne le fossé du site n° 8, nettoyé à l'aide de la méthode du tiers inférieur, on constate que la végétation reprend rapidement dans les 50 premiers mètres en amont, là où la pente est inférieure à 7 %. À l'automne 2006, dans les 150 m en aval, la portion nettoyée demeure dénudée de végétation.

Dans le cas du fossé du site n° 4, nettoyé à l'aide de la méthode du tiers inférieur bonifiée, on rappelle que ce site a été exclu de l'étude à la suite de l'apport imprévu de gravier dans le fond du fossé. En 2006, on constate toutefois que la végétation a repoussé rapidement dans la portion nettoyée.

Pour le fossé du site n° 7, nettoyé à l'aide de la méthode traditionnelle, on constate, au cours de l'été 2005, qu'il est stabilisé à cause de l'assèchement du sol et d'une réduction des précipitations. La végétation a repoussé faiblement sur la portion nettoyée et la bande laissée au haut du talus du côté de la route n'a pas permis de réduire efficacement l'érosion, tel que le prévoyait le Centre de services de Sherbrooke.

### **6.3.4. Fossés de 10 % de pente**

C'est dans les fossés à pente forte que la végétation a repris le moins rapidement. En effet, la pente est un facteur de contrainte pour la reprise de la végétation étant donné que l'eau s'écoule à plus grande vitesse. Ainsi, les zones nettoyées sont plus soumises à l'érosion, empêchant la végétation de repousser adéquatement. La végétation repousse difficilement dans le fond du fossé à cause de l'écoulement ainsi que de l'érosion régressive. Aussi, on constate que l'érosion latérale qui succède à l'érosion régressive réduit la possibilité que la portion nettoyée se végétalise.

En ce qui concerne le fossé du site n° 9, malgré la forte pente, avec l'utilisation de la méthode du tiers inférieur, l'érosion latérale a été peu importante. En effet, la présence de la végétation sur les talus stabilise le fossé et empêche que des décrochements importants se produisent dans les talus. En juin 2006, la plus grande partie de la zone nettoyée était végétalisée, ne laissant que le fond du fossé dénudé de végétation.

Dans le cas du fossé du site n° 10, nettoyé à l'aide de la méthode traditionnelle, l'absence de végétation sur les talus a aussi contribué à une érosion importante dans le fossé au cours de la période d'étude. En novembre 2006, on remarque que les endroits où la végétation a repoussé de façon

importante dans le fossé sont dans les sections n<sup>os</sup> 1 et 2, c'est-à-dire là où il y a eu accumulation de sédiments.

Ainsi, sur ce type de pente, l'absence de végétation favorise l'érosion, ce qui empêche une reprise de la végétation. Au cours de la période estivale 2005, on a remarqué que le sol était sec. Au printemps 2006, après le ressuyage des parcelles agricoles à la suite de la fonte des neiges, le fossé s'est stabilisé sans qu'on puisse remarquer une reprise de la végétation dans la portion nettoyée. Lorsque le sol est sec, les fortes précipitations estivales ont moins d'impact car le sol absorbe davantage l'eau. Cela peut expliquer pourquoi on n'a pas mesuré de fortes marques d'érosion à la suite des précipitations importantes de l'été et de l'automne 2005.

Pour le fossé du site n<sup>o</sup> 5, nettoyé à l'aide de la méthode du tiers inférieur bonifiée, c'est en 2006 qu'on a constaté un début de reprise de la végétation sur la portion du tiers inférieur excavée. En raison des précipitations importantes reçues au cours de l'été 2006, la végétation n'a pas repoussé dans le fond du fossé, où on a observé un écoulement d'eau quasi continu.

#### **6.4. Équipement et méthodes de nettoyage des fossés**

Au printemps et en septembre 2005, on a constaté la nécessité d'utiliser un équipement adéquat pour réaliser le nettoyage des fossés.

D'abord, l'excavatrice utilisée ne doit pas être de dimension trop grande pour permettre d'effectuer le nettoyage à l'aide de la méthode du tiers inférieur sans arracher la végétation stabilisatrice sur les talus. En effet, l'utilisation d'une excavatrice surdimensionnée (bras et godet) souvent ne permet pas de respecter les limites du tiers inférieur. Aussi, à quelques reprises, l'utilisateur de l'excavatrice n'a pas coupé la végétation sur le talus du côté de la route avant d'excaver à partir du côté opposé à celle-ci. Cela a eu pour effet de déchirer la végétation sur le talus du côté de la route et de dépasser les limites du tiers inférieur.

Ensuite, pour les fossés nettoyés au moyen de la méthode du tiers inférieur bonifiée, on a constaté que la distance entre les seuils proposée au départ était adéquate et permettait un bon fonctionnement de l'ensemble de ceux-ci dans le fossé. Par contre, l'utilisation de pierres de taille moyenne de 200 à 300 mm provoque une sédimentation trop importante en amont des seuils. Les interstices entre les pierres ont, pour la plupart, été comblés au cours de l'année 2005, ce qui a favorisé la formation de bassins de sédimentation. Une fois que les bassins sont comblés de sédiments, l'eau qui s'écoule dans le fossé passe au-dessus des seuils et provoque de l'érosion en aval par effet de chute. On suppose donc que l'installation d'un tablier en pierres en aval des seuils permettrait de réduire l'érosion localisée.

Finalement, on considère les données économiques attribuables à l'entretien des fossés ainsi qu'aux interventions subséquentes. Avec le temps de mise en place calculé, on démontre que l'utilisation de la méthode du tiers inférieur permet une réduction du coût moyen d'entretien de l'ordre de 40 % par rapport à celui de la méthode traditionnelle. En ce qui a trait à la quantité moyenne de déblais, on constate que la réduction est de plus de 65 %.

Le temps et le nombre de chargements de camion calculés lors du nettoyage des fossés à l'aide de la méthode traditionnelle des sites n<sup>os</sup> 1, 7 et 10 auraient été plus élevés si le nettoyage avait été effectué comme on le voit trop souvent le long des routes. En effet, dans le but d'éviter des coûts supplémentaires attribuables à d'importantes cicatrices d'érosion, le Centre de services de Sherbrooke a préféré conserver une bande de végétation sur une portion du talus du côté de la route. Si le nettoyage avait été conforme à la méthode traditionnelle, le temps de nettoyage et le nombre de chargements auraient augmenté pour les fossés des sites n<sup>os</sup> 1, 7 et 10.

Les sites n<sup>os</sup> 7 et 10 ont exigé une intervention au cours de l'année 2006 pour stabiliser des portions de fossé où on a constaté de l'érosion qui réduisait la stabilité de l'accotement. Le temps requis pour stabiliser les portions des fossés est de 27 min pour le site n<sup>o</sup> 7 et de 39 min pour le site n<sup>o</sup> 10. De plus, l'achat de pierres pour la stabilisation ajoute un coût supplémentaire à l'entretien du fossé. Ainsi, en ajoutant le temps requis pour faire les réparations nécessaires dans les deux sites nettoyés à l'aide de la méthode traditionnelle, on calcule un nouveau temps moyen de 4 h 51 min pour l'entretien d'un fossé d'une longueur de 200 m.



## 7. CONCLUSION

Dans cette étude, on démontre que l'utilisation de la méthode du tiers inférieur pour l'entretien des fossés routiers apporte des gains environnementaux et économiques indéniables par rapport à la méthode traditionnelle. En effet, la réduction du volume de matériaux érodés est au minimum de 75 % et cette proportion augmente avec l'accentuation de la pente moyenne des fossés, la réduction s'établissant à 94 % dans les fossés à pente forte.

Quant à la méthode du tiers inférieur bonifiée, son utilisation dans les fossés n'apporte pas de réduction évidente de l'érosion. En effet, la réduction est faible et, dans le cas du fossé de 10 % de pente, on observe même une augmentation de l'érosion qui est provoquée par la présence des seuils en pierres. Les seuils en pierres, tels que conçus pour l'étude, ne contribuent pas à réduire l'érosion. Des modifications doivent être apportées concernant la conception de ces seuils, ce qui permettrait sûrement d'en faire une méthode efficace.

On propose donc d'utiliser des pierres de plus grande taille laissant mieux passer les sédiments et les débris végétaux et de procéder à l'installation d'un tablier en pierres en aval du seuil afin d'éviter qu'il y ait de l'érosion par effet de chute lorsqu'il y a débordement. Aussi, les seuils requièrent un entretien pour assurer leur bon fonctionnement. L'accumulation en amont des seuils indique que les interstices entre les pierres sont comblés de sédiments et de débris. On devrait donc nettoyer la portion amont du seuil et remuer les pierres pour libérer les interstices.

En ce qui a trait aux gains économiques de la méthode du tiers inférieur, les résultats obtenus démontrent que l'économie est en moyenne de 40 % pour le temps de nettoyage et de 66 % pour la quantité de déblais. En réduisant le temps de nettoyage, il est possible d'entretenir une plus grande longueur de fossés par jour en recourant à cette méthode. Pour la méthode du tiers inférieur bonifiée, les coûts attribuables à l'installation des seuils sont peu élevés et ont un faible impact sur le coût total d'entretien d'un fossé. Par contre, la présence de seuils exigerait une surveillance et un entretien lorsque nécessaire pour s'assurer de leur bon fonctionnement.

La méthode du tiers inférieur exige aussi l'utilisation d'une excavatrice adéquate. On a observé qu'il était parfois impossible de respecter le tiers inférieur lorsque le bras et le godet de l'excavatrice sont surdimensionnés. La location d'une machinerie de plus petite taille réduit aussi les coûts d'entretien compte tenu de sa maniabilité par rapport aux excavatrices de plus grande taille habituellement utilisées. On rappelle qu'au moment du nettoyage à l'aide de la méthode du tiers inférieur, on doit respecter une méthode d'entretien permettant d'éviter qu'il y ait déchirement d'une portion de la végétation sur le talus du côté de la route. Tout d'abord, il faut s'assurer de bien couper la végétation à la limite supérieure du tiers inférieur sur le talus du côté de la

route. Ensuite, l'excavation se fait à partir du talus du côté opposé à la route jusqu'à la limite déjà coupée.

En ce qui a trait à la période de creusage, on a constaté que le temps idéal pour l'entretien des fossés routiers serait à la fin du printemps, après le ressuyage du sol à la suite de la fonte des neiges. Ainsi, un sol sec serait moins soumis à l'érosion après un nettoyage. On considère aussi ce moment dans le but de permettre une reprise de la végétation dans la portion nettoyée avant les précipitations d'automne.

L'étude environnementale et économique de la méthode du tiers inférieur a été réalisée en Estrie et les sites ont été choisis sur une formation meuble qui est la plus représentative de la région, le till. L'évolution de l'érosion dans les fossés aurait probablement été différente dans un autre environnement. Il serait donc important de reprendre cette méthodologie pour effectuer une étude similaire sur des formations meubles différentes. Nous suggérons donc trois études, soit une dans les terrasses sableuses sur argile champlainienne des basses-terres du Saint-Laurent, une dans les tills sableux du Bouclier canadien et une en plaine alluviale.

## 8. RÉFÉRENCES

ENVIRONNEMENT CANADA (2005). *Données climatologiques. Archives climatologiques nationales, Environnement Canada*, [http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/Welcome\\_f.html](http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/Welcome_f.html).

ENVIRONNEMENT CANADA (2006). *Données climatologiques. Archives climatologiques nationales, Environnement Canada*, [http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/Welcome\\_f.html](http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/Welcome_f.html).

ENVIRONNEMENT CANADA (2005 - 2006). *Radar météo McGill. Archives climatologiques nationales, Environnement Canada*, [http://www.weatheroffice.gc.ca/radar/index\\_f.html?id=WMN](http://www.weatheroffice.gc.ca/radar/index_f.html?id=WMN).

GOLDMAN, S.J., T.A. BURSZTYNSKY et K. JACKSON (1986). *Erosion & Sediment Control Handbook*, New York, McGraw-Hill Book Company, pagination multiple.

LAMBERT, M. et A. LAROCQUE (2002). *Méthode d'analyse granulométrique*. Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 38 p.

LANDRY, B. et M. MERCIER (1992). *Notions de géologie*. 3<sup>e</sup> édition, Mont-Royal, Modulo, 565 p.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC (2004). *Fiche de promotion environnementale : Entretien d'été, système de drainage, nettoyage des fossés*. Service des inventaires et du plan de la Direction de l'Estrie, Sherbrooke, 4 p.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC (2003). *Tome II — Construction routière*, coll. Normes — Ouvrages routiers, Québec, pagination multiple.

SERVICE DE LA GÉOINFORMATION (1983). *Compilation de la géologie du Quaternaire*. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, 1 : 50 000.

SERVICE DES INVENTAIRES FORESTIERS (1999). *Carte des dépôts de surface*. Ministère des Forêts, Québec, 1 : 50 000.



***ANNEXE 1 : BASSINS DE SÉDIMENTATION***

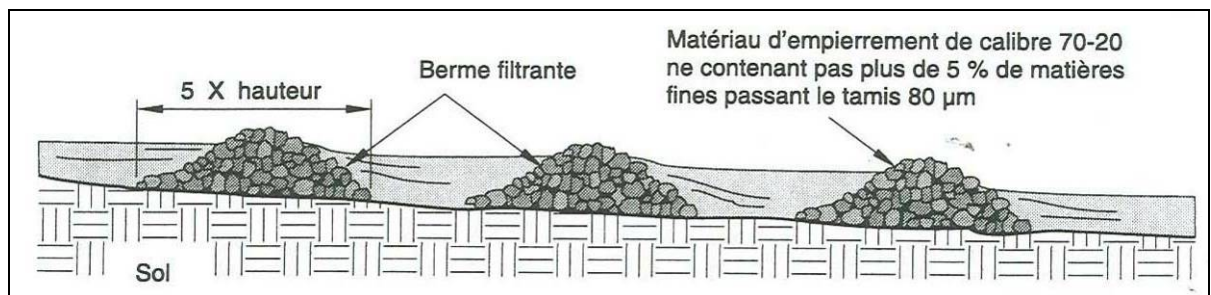
---

## Introduction

L'installation de bermes filtrantes a été faite en aval des sites nettoyés à l'aide de la méthode traditionnelle. Étant donné que la méthode du tiers inférieur est une norme au ministère des Transports du Québec, il fallait construire des installations permettant de retenir la majorité des sédiments érodés pour les sites nettoyés selon cette méthode. Pour ce faire, les bermes filtrantes ont donc été privilégiées par rapport aux autres types de barrières à sédiments comme les balles de foin ou les membranes géotextiles.

## Installation des bermes

L'installation de bermes crée des bassins de sédimentation qui retiennent la plupart des sédiments grossiers érodés (figure 1). Selon la norme du Ministère, la taille des matériaux à utiliser peut varier de 20 à 70 mm (de 1 à 3 po) (Ministère des Transports du Québec, 2003). Cependant, avant la période de nettoyage des sites, on a évalué que la taille de ces matériaux n'était pas suffisante pour résister aux débits connus dans les fossés. On a plutôt utilisé des pierres de taille moyenne de 100 à 200 mm (de 4 à 8 po). La distance entre les bermes est définie par l'espace disponible sur le terrain pour faire la mise en place des bassins de sédimentation.



Tiré de Ministère des Transports du Québec (2003)

**Figure 1 : Norme d'installation des bermes filtrantes**

Des bermes ont été aménagées en aval des sites n<sup>os</sup> 1, 7, 10 et 11. En ce qui concerne les sites n<sup>os</sup> 1 et 7, une seule berme a été installée à l'aval des fossés. Dans le cas du site n<sup>o</sup> 1, c'est le manque d'espace qui a fait en sorte qu'on a installé une seule berme. En aval, la décharge a été réaménagée pour former un second bassin de sédimentation. Dans le cas du site n<sup>o</sup> 7, on a installé une seule berme à la suite du nettoyage afin de former un bassin de sédimentation de 15 m de longueur. En aval de cette berme, une autre section a été légèrement nettoyée en vue de créer un second bassin de sédimentation, la végétation herbacée en place servant à la fois de filtre et de berme pour ralentir la vitesse de l'eau (figure 2). L'espace disponible en aval du site n<sup>o</sup> 11 a permis d'aménager deux bermes.



**Figure 2 : Berme filtrante installée pour le site n° 7 et zone nettoyée en aval de la berme pour créer un second bassin de sédimentation (24 mai 2005)**

En aval du site n° 10, quatre bermes filtrantes ont pu être mises en place puisqu'on prévoyait qu'il y aurait beaucoup d'érosion sur ce site à cause de la pente (10 %) et du débit de l'eau. Pour s'assurer de l'efficacité des bermes filtrantes et maximiser leur rôle, ces dernières ont été construites avec des pierres de deux tailles différentes. Le noyau des bermes a été fait selon pierres de taille variant de 20 à 70 mm (de 1 à 3 po) (figure 3A). Ce noyau a été recouvert de pierres variant de 100 à 200 mm (de 4 à 8 po) de diamètre (figures 3B et C).



**Figure 3 : Bermes filtrantes en aval du site n° 10 (31 mai 2005) : A) bermes avec des pierres de taille de 30 à 70 mm; B) bermes recouvertes de pierres de taille de 100 à 200 mm, vues de l'aval; C) bermes vues de l'amont**

Le temps moyen requis pour construire une berme filtrante est de 11 min lorsqu'il n'y a qu'une seule taille de pierres et d'approximativement 16 min pour les bermes où deux tailles de pierres sont nécessaires (tableau 1).

**Tableau 1 : Données sur l'installation des bermes filtrantes**

N° de site	Pente (%)	Nombre de bermes	Date	Pierres		Temps (min)
				Taille (mm)	Poids (t)	
1	5	1	25 mai 2005	100-200	12,0	<b>18</b>
7	7	1	24 mai 2005	100-200	5,0	<b>10</b>
10	10	4	31 mai 2005	30-70	10,0	25
				100-200	16,0	40
				Total	26,0	<b>65</b>
11	3	2	7 juin 2005	100-200	6,6	<b>16</b>

Source : Données de terrain entre le 24 mai et le 7 juin 2005

### **Nettoyage et reconstruction des bermes filtrantes**

Les bassins de sédimentation formés avec les bermes devaient être nettoyés au besoin. Les bermes devaient aussi être réparées si nécessaire. En 2005, un nettoyage a eu lieu. Une demande a été faite au Centre de services de Sherbrooke le vendredi 17 juin 2005 alors que les bassins des bermes du site n° 10 étaient comblés (figure 4).

Le nettoyage du bassin des bermes a finalement été effectué le 15 août 2005, mais trop tardivement pour tous les sites car les bassins étaient comblés. La végétation qui se trouve en aval des bermes des sites n<sup>os</sup> 1, 7 et 11 a agi elle aussi comme berme filtrante en retenant beaucoup de sédiments qui avaient passé par-dessus les bermes d'où les bassins étaient comblés. Pour ces sites, la section en aval des bermes a été nettoyée. À la suite de ce premier nettoyage, les bassins de ces trois sites ont bien fonctionné. À la fin de l'automne 2005, ces bermes fonctionnaient toujours bien et d'autant mieux que les interstices entre les pierres avaient été comblés en grande partie, ce qui avait réduit la possibilité que des sédiments passent au travers des pierres.





**Figure 4 : État des bermes filtrantes avant le nettoyage : A) bassin de la berme du site n° 1 comblé de sédiments (26 juillet 2005); B) bassin de la berme du site n° 7 avant son nettoyage (15 août 2005); C) bermes vues de l'amont au site n° 10 (15 juillet 2005); D) bassin d'une berme avant nettoyage au site n° 11 (15 août 2005).**

L'aménagement de bassins de sédimentation en aval du site n° 10 a été le premier des quatre aménagements créés en aval des sites nettoyés à l'aide de la méthode traditionnelle à être rempli. La semaine qui a suivi la mise en place du dernier site, c'est-à-dire celle du 13 au 17 juin 2005, a connu des précipitations abondantes. Une visite sur le terrain a été faite le mardi 14 juin et le site n° 10 était encore approximativement dans sa forme initiale à la suite du nettoyage. Les bermes étaient toujours fonctionnelles. Par contre, d'importantes précipitations se sont poursuivies de façon intermittente toute la semaine.

Le matin du 17 juin 2005, on a constaté qu'il y avait eu une importante érosion sur presque toute la longueur du fossé. Une très grande quantité de sédiments se sont donc rendus jusqu'aux bermes et certaines d'entre elles ont été éventrées. Les bermes n°s 3 et 4 qui se trouvent en aval des deux premières avaient été éventrées et devaient être reconstruites (figure 5). Les bermes n°s 1 et 2 sont les seules qui soient demeurées relativement intactes, malgré la quantité de sédiments accumulés en amont.



**Figure 5 : État des bermes du site n° 10 à l'occasion de fortes précipitations (17 juin 2005) : A) berme n° 4 éventrée; B) berme n° 1 peu éventrée avec une importante sédimentation en amont**

Le lundi 15 août 2005, les bassins des bermes ont été vidés et les bermes endommagées ont été reconstruites. La plupart des sédiments accumulés étaient grossiers. Il s'agissait de sable, de gravier, de galets et même de petits blocs.

En vue de reconstruire les bermes et d'éviter des coûts supplémentaires, on s'est servi des pierres disposées près des deux bermes éventrées, soit les bermes n° 3 et 4 (figure 6A). De même, on a récupéré quelques pierres qui avaient été délogées de chacune des bermes. Enfin, pour aider à stabiliser le tout, un chargement de 10,5 t de pierres, de taille de 200 à 300 mm (de 8 à 12 po), a servi à recouvrir les bermes afin de les rendre plus fonctionnelles et résistantes (figure 6B).



**Figure 6 : Reconstruction des bermes filtrantes au site n° 10 (15 août 2005) : A) berme n° 3 en reconstruction; B) berme n° 3 recouverte de nouvelles pierres pour augmenter sa résistance**

Enfin, à l'automne 2005, les bassins des bermes situés en aval du site n° 10 auraient eu besoin d'un nouveau nettoyage (figure 7). Par contre, les bermes

elles-mêmes sont demeurées presque intactes. Pour prévenir le transport d'une grande quantité de sédiments en aval des aménagements, il aurait fallu vider le bassin de sédimentation avant l'hiver 2005-2006 car les bermes n'étaient plus fonctionnelles en raison de l'érosion inévitable à la fonte des neiges au printemps 2006. Cependant, il n'a pas été possible de le faire. On a donc convenu qu'il fallait y remédier tôt en 2006.



**Figure 7 : Bassins des bermes du site n° 10 exigeant un nettoyage (21 novembre 2005)**

Une première demande a été effectuée le 8 mai 2006 et elle a été renouvelée les 23 mai et 10 juillet pour qu'il y ait un nettoyage des bassins de sédimentation en aval des sites n<sup>os</sup> 7 et 10. Les bassins de sédimentation des deux autres sites (n<sup>os</sup> 1 et 11) n'exigeaient cependant pas de nettoyage.

En ce qui concerne le site n° 7, au moment de la demande de nettoyage du 8 mai 2006, les bassins étaient comblés à plus de 75 % de leur capacité (figure 8A). Il était donc important de ne pas tarder pour s'assurer de leur efficacité. Peu après cette demande, les bassins débordaient de sédiments, à la suite de nombreux décrochements constatés sur le site (figure 8B). Une nouvelle demande a été faite le 23 mai 2006.

Les bassins ont finalement été vidés le 20 juillet, au même moment où le Centre de services de Sherbrooke est venu faire la réparation des deux décrochements sur le talus du côté de la route. À la fin de la réparation, on avait un surplus de près de 2 t de pierres de taille moyenne de 200 à 300 mm. On a donc mis en place une seconde berme à l'aval de la première, pour ajouter à l'efficacité de la végétation présente à cet endroit, ce qui permet même de filtrer l'eau qui y passe (figure 9).



**Figure 8 : Bassins de sédimentation en aval du site n° 7 : A) les bassins sont comblés à plus de 75 % (20 avril 2006); B) les bassins de sédimentation débordent (23 mai 2006)**



**Figure 9 : Mise en place d'une seconde berme en aval du site n° 7 (20 juillet 2006)**

L'ajout de pierres de taille moyenne de 200 à 300 mm sur les bermes situées en aval du site n° 10 au moment de la reconstruction le 15 août 2005 n'a été utile que pendant quelque temps car, au printemps 2006, on a remarqué qu'il y avait, encore une fois, un déplacement des pierres au centre des bermes. Plus de deux mois après la demande pour vidanger les bassins de sédimentation, une équipe du Centre de services de Cookshire est venue faire le travail en deux temps.

Le nettoyage des bassins a été commencé le 26 juillet et terminé le 27. Ce n'est finalement que le 31 juillet que l'équipe est revenue pour terminer le travail de reconstruction des bermes. Tout d'abord, on a remodelé les bermes existantes afin de leur redonner leur forme initiale. Ensuite, on a ajouté des pierres de gros calibre (de 600 à 900 mm de diamètre) (figure 10). La mise en place des pierres de gros calibre a permis aux bermes de demeurer en place et de former des bassins de sédimentation efficaces, malgré les intempéries ainsi que l'apport important de sédiments au cours de l'automne 2006.



**Figure 10 : Reconstruction des bermes en aval du site n° 10 (31 juillet 2006) : A) berme n° 4; B) bassins de sédimentation vus de l'amont**

#### Données économiques de l'entretien des bassins

Depuis le nettoyage des sites, les bassins de sédimentation ont été nettoyés à quelques reprises. Dans le cas du site n° 7, 2 t de pierres de 200 à 300 mm ont été nécessaires pour construire une seconde berme à l'été 2006 afin de contenir l'excédent de sédiments. La sédimentation importante dans les bassins de sédimentation en aval du site n° 10 a exigé trois nettoyages. Au cours des deux premiers nettoyages, on a retravaillé les bermes pour les solidifier avec des pierres de plus grande dimension (de 200 à 300 mm puis de 600 à 900 mm).

Dans le tableau 2, on rapporte le total du temps nécessaire au nettoyage et à la reconstruction des bermes ainsi que la quantité de pierres requises pour faire ces travaux.

**Tableau 2 : Données des interventions dans les bassins de sédimentation**

N° site	Nombre de bermes	Nombre d'interventions	Temps (min)			Pierres nécessaires		Nombre de chargements de camion*
			Nettoyage	Reconstruction	Total	Taille (mm)	Quantité (t)	
1	1	1	55	0	55			0,8
7	2	2	78	5	83	200 à 300	2	2,45
10	4	3	287	85	372	200 à 300	10,5	8,25
						600 à 900	10	
11	2	1	25	0	25			0,5

Source : Données de terrain, 2005-2006

\* Approximativement 15 t de matériaux par chargement de camion

### Conclusion

L'utilisation des bermes pour former des bassins de sédimentation en aval des fossés des sites nettoyés à l'aide de la méthode traditionnelle a permis de réduire l'apport de matériaux grossiers en aval. Par contre, pour assurer le bon fonctionnement des bermes, on doit veiller à effectuer le nettoyage des bassins de sédimentation lorsque nécessaire et en temps utile. Dans le cas des bassins en aval du fossé ayant une pente de 10 %, étant donné qu'il n'y a eu que trois interventions, seulement 8,25 chargements de camion ont été nécessaires pour récupérer les matériaux érodés. En utilisant les données mesurées dans ce même fossé, on estime le volume de matériaux érodés à plus de 11 chargements de camion. Ainsi, approximativement 45 m<sup>3</sup> de matériaux n'ont pu être récupérés par rapport au volume brut estimé. En consultant le tableau 2 du mémoire, on constate qu'il y a de 29 à 52 % de silt et d'argile qui ont pu être évacués en suspension. On a tout de même remarqué qu'une partie du sable et du gravier transporté n'a pas été récupérée.

L'utilisation de pierres de taille moyenne de 100 à 200 mm pour la conception des bermes était adéquate en ce qui a trait aux sites n<sup>os</sup> 1, 7 et 11. En effet, aux endroits où les bermes ont été installées, la pente du fossé était relativement faible, s'établissant à moins de 5 %. La vitesse de l'eau était donc réduite, ce qui a permis aux bermes de demeurer en place. Par contre, à l'aval du fossé du site n<sup>o</sup> 10, la pente est de 10 % et l'eau s'écoule à grande vitesse. La taille des pierres utilisées en vue de la conception des quatre bermes était trop faible pour assurer leur stabilité. Il en était de même pour les pierres utilisées à l'occasion de la première intervention en 2005 dans le but de les réparer alors qu'on a utilisé des pierres de taille moyenne de 200 à 300 mm. Afin d'assurer une meilleure stabilité des bermes installées dans un fossé à pente très forte, on doit recouvrir celles-ci de pierres de très gros calibre (plus de 600 mm).

Enfin, en ce qui a trait au nombre idéal de bermes, plus on installe de bermes, plus on a de chances de retenir les sédiments les plus fins. À titre d'exemple, sur une pente de 10 %, c'est au quatrième bassin de sédimentation qu'on a pu constater une accumulation des sédiments fins (sable, silt et argile).





## ***ANNEXE 2 : SUIVI PHOTOGRAPHIQUE DE L'ÉROSION ET DE LA VÉGÉTATION***

---

L'annexe 2 est présentée en une référence disponible en ligne uniquement. Vous pouvez y accéder en allant sur la Bibliothèque virtuelle du Centre de documentation du ministère des Transports du Québec en cliquant sur le lien suivant :

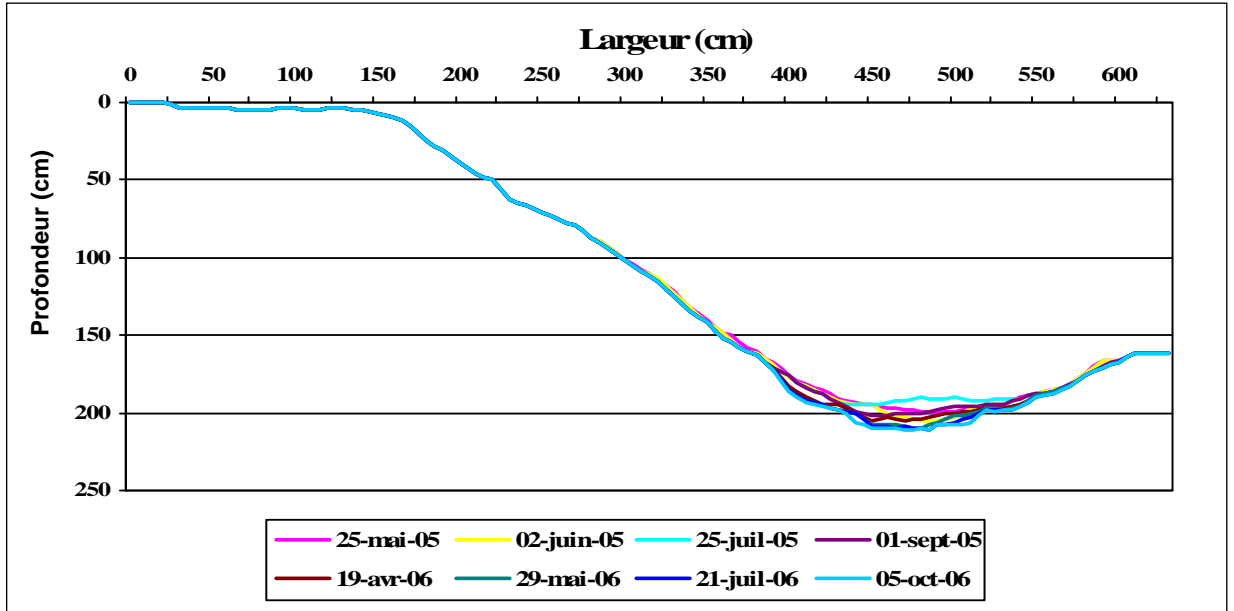
<http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/0969046/>



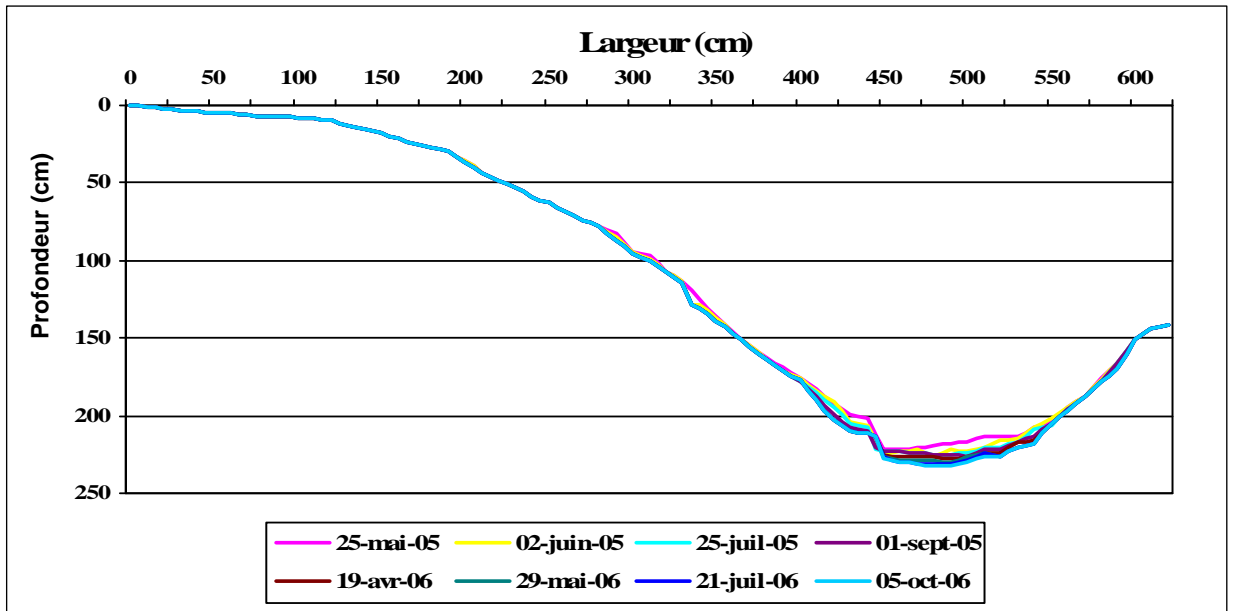
### ***ANNEXE 3 : ÉVOLUTION DES TRANSECTS***

---

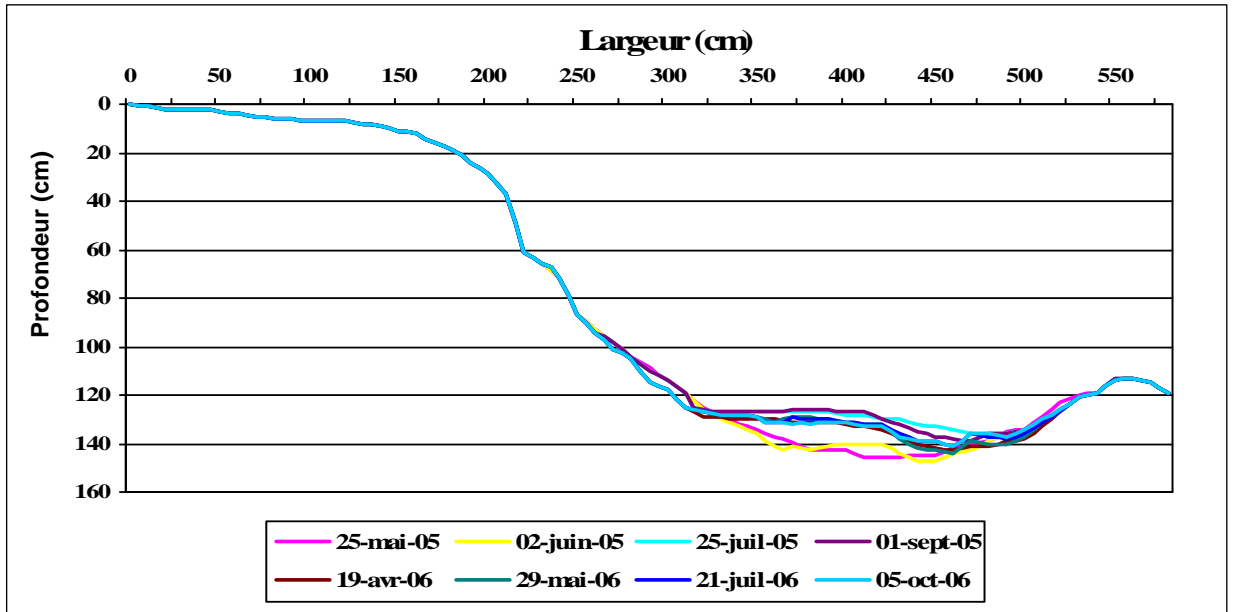
Site n° 1



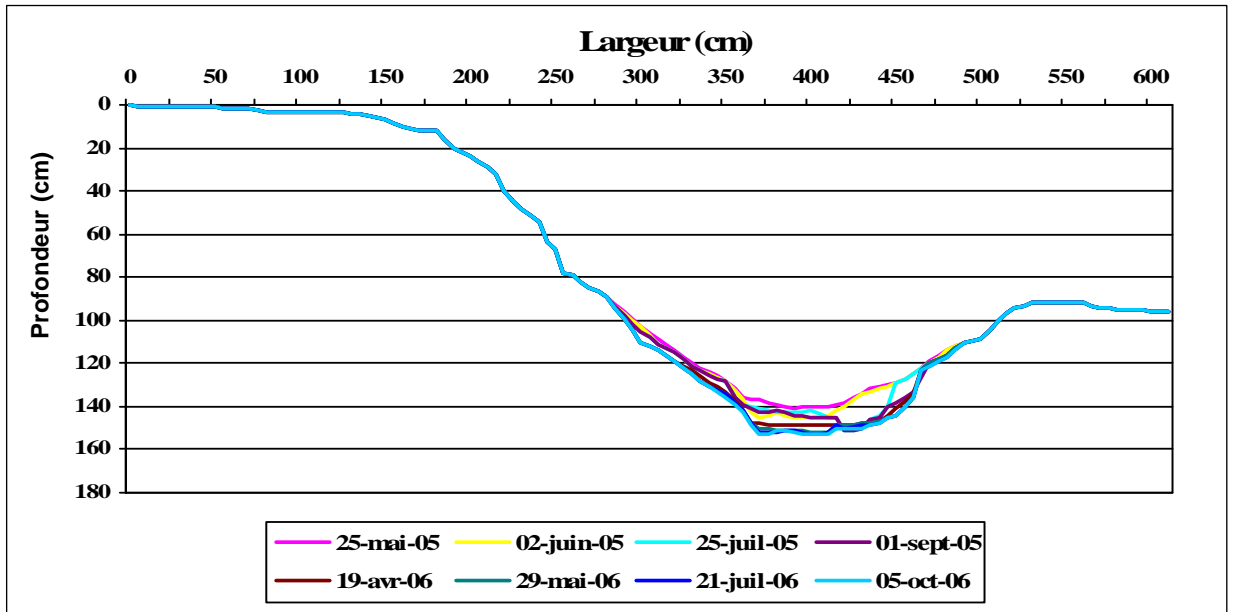
Évolution du transect n° 1 du fossé du site n° 1



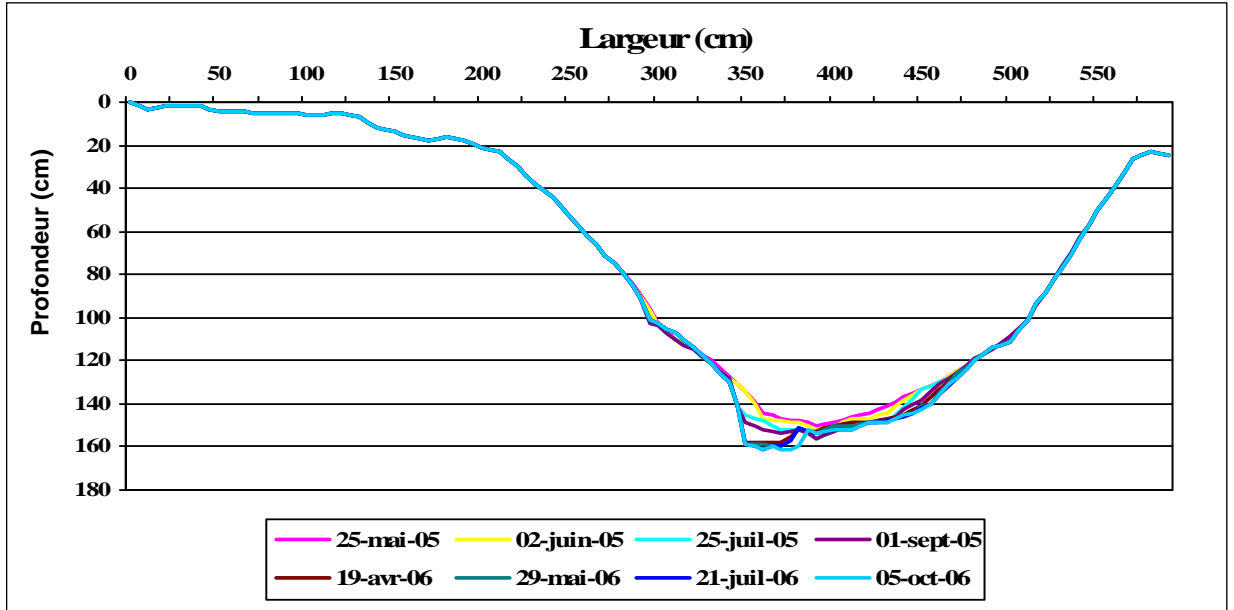
Évolution du transect n° 2 du fossé du site n° 1



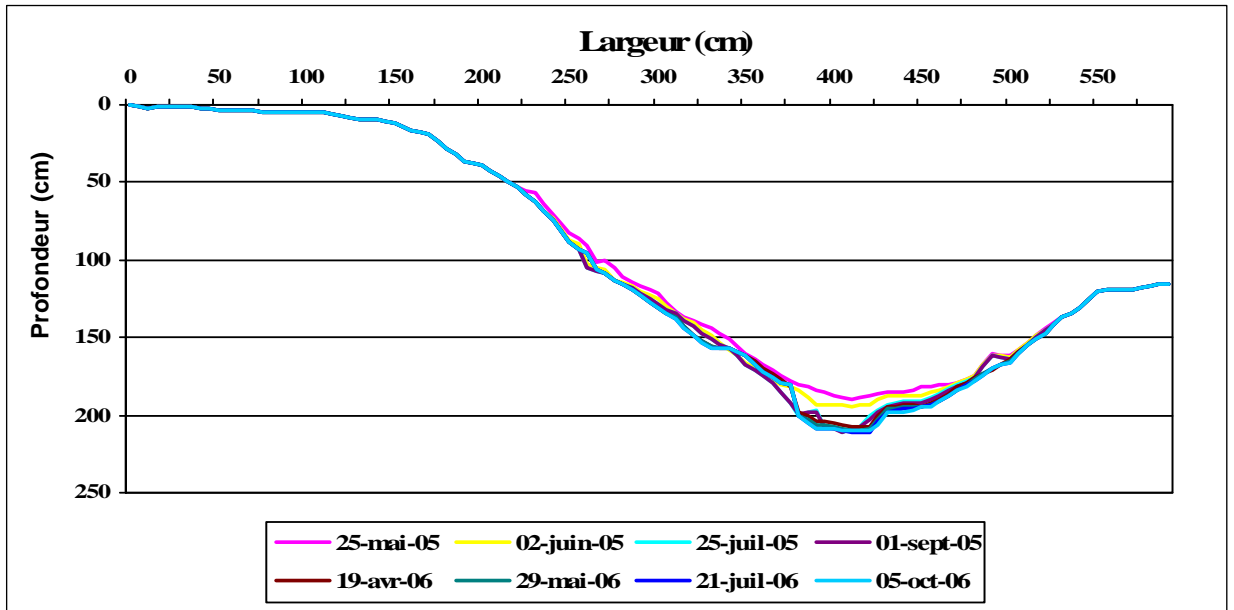
Évolution du transect n° 3 du fossé du site n° 1



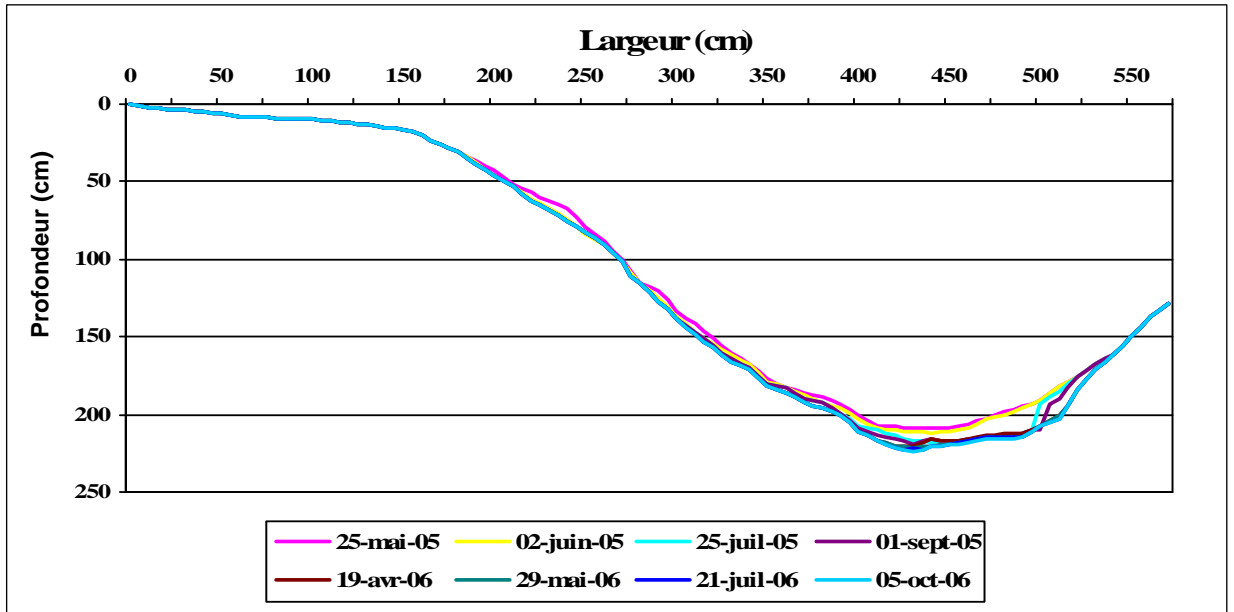
Évolution du transect n° 4 du fossé du site n° 1



Évolution du transect n° 5 du fossé du site n° 1

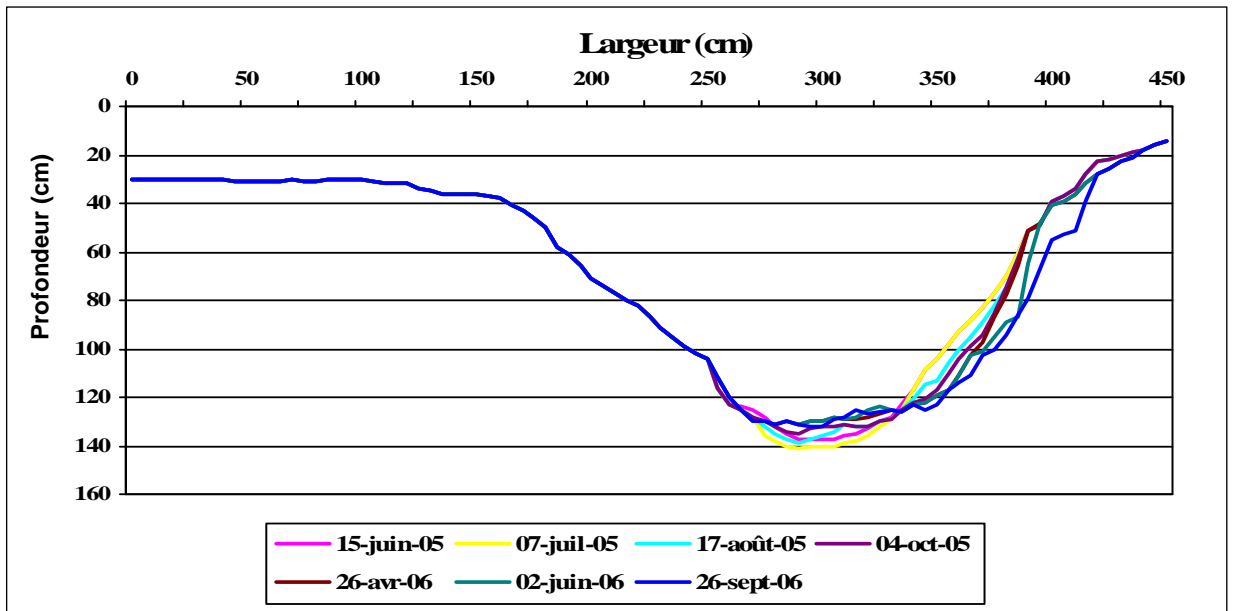


Évolution du transect n° 6 du fossé du site n° 1

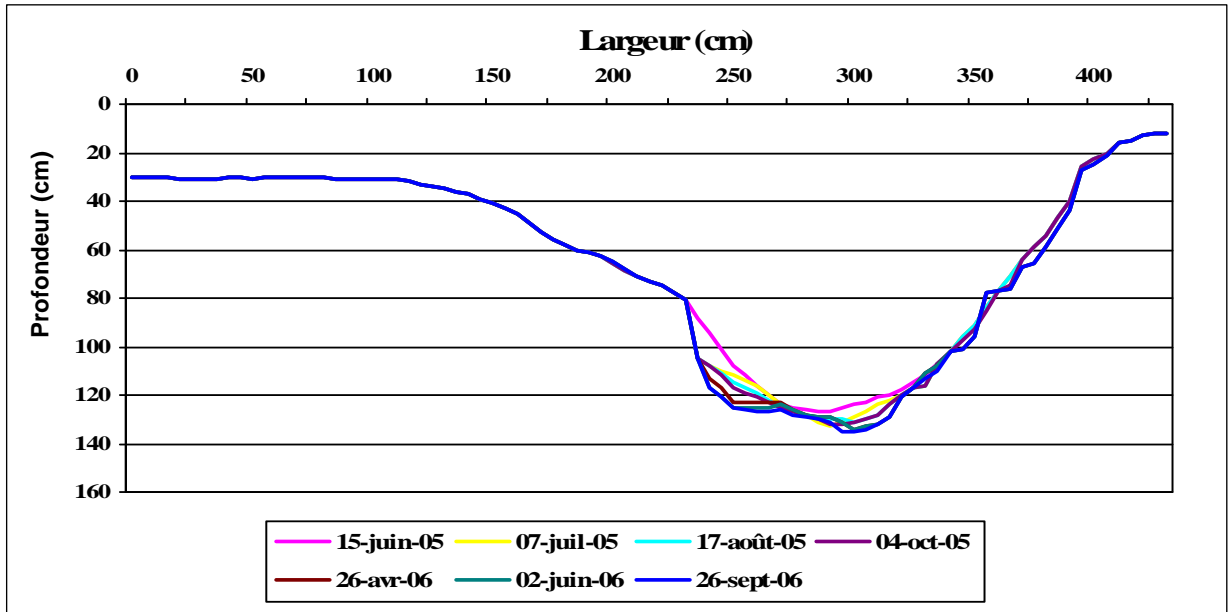


Évolution du transect n° 7 du fossé du site n° 1

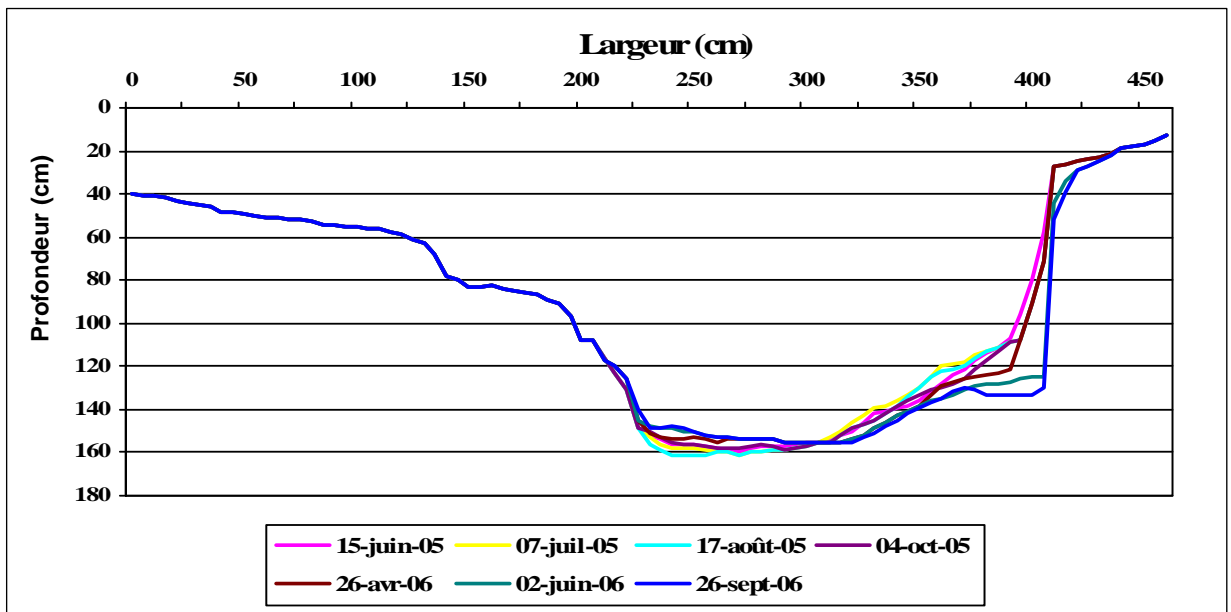
Site n° 2



Évolution du transect n° 1 du fossé du site n° 2

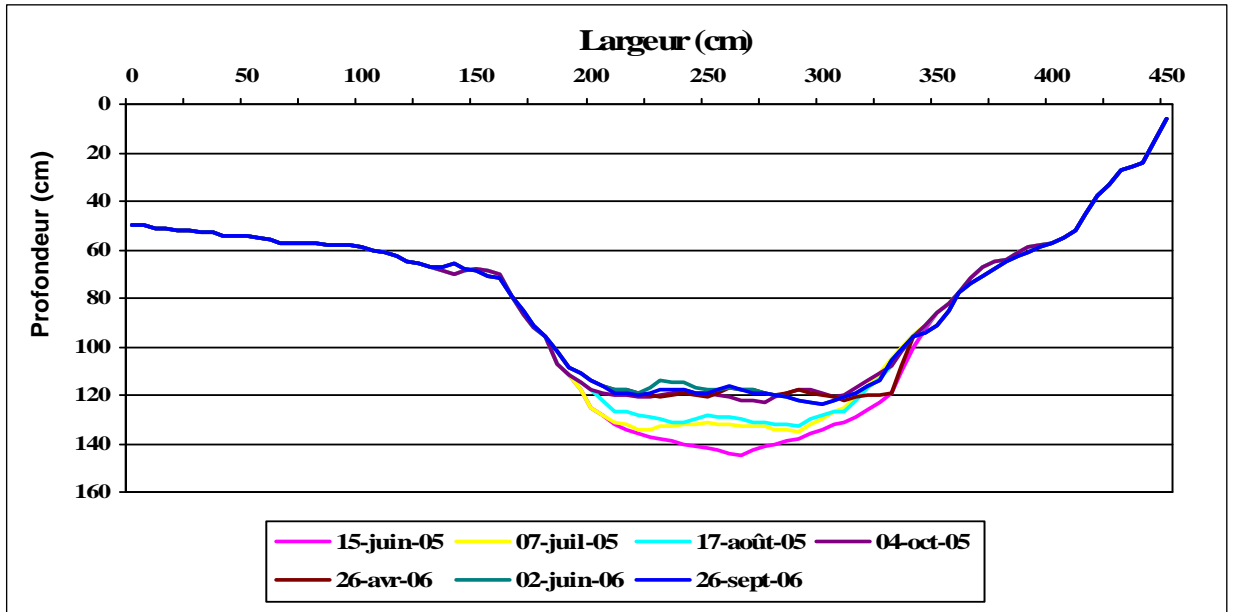


Évolution du transect n° 2 du fossé du site n° 2

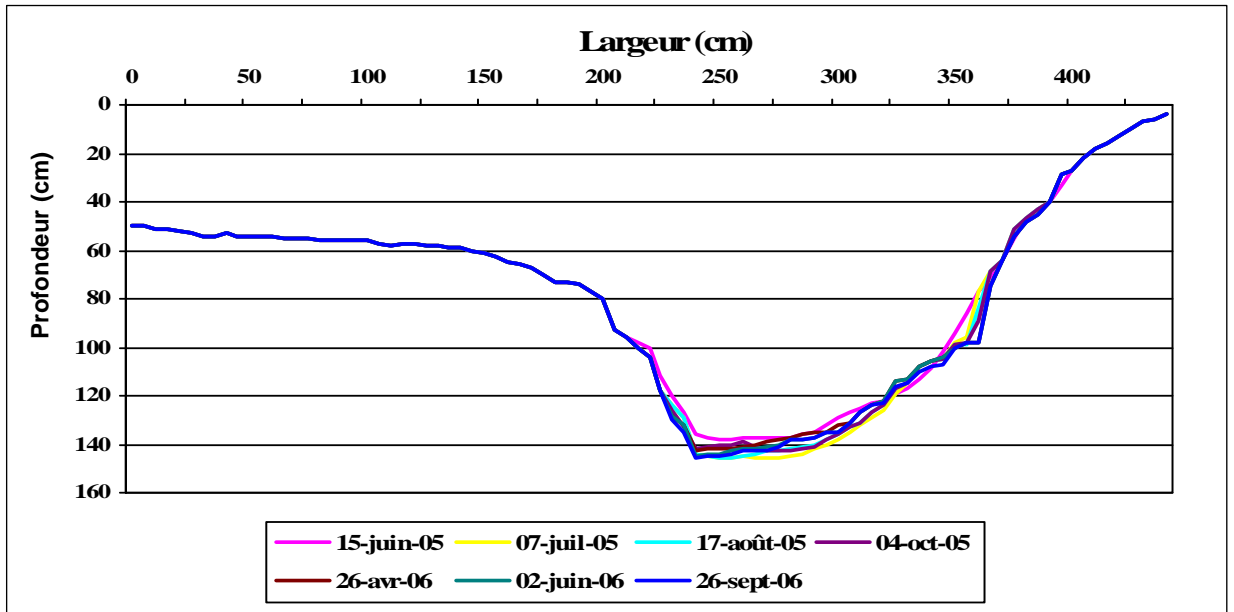


Évolution du transect n° 3 du fossé du site n° 2

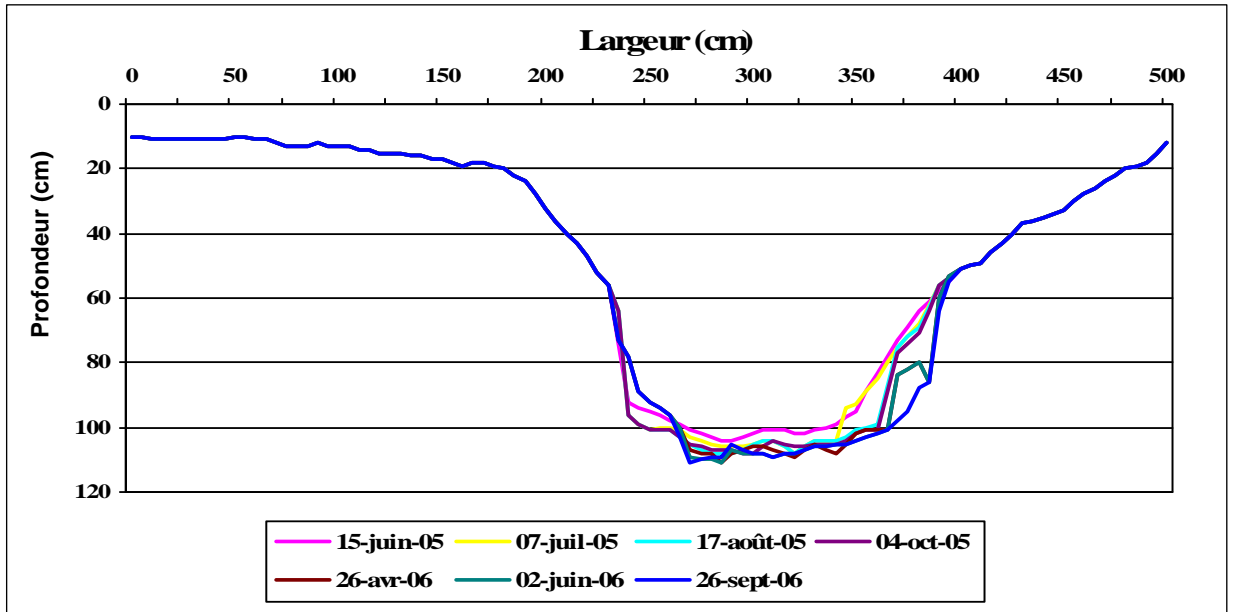




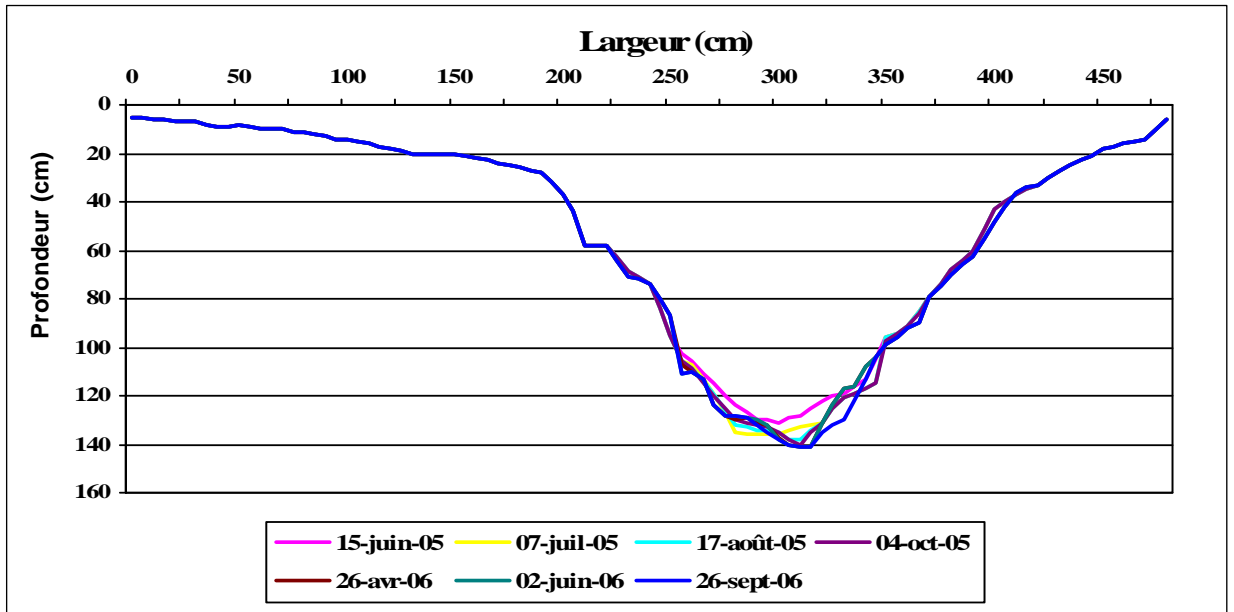
Évolution du transect n° 4 du fossé du site n° 2



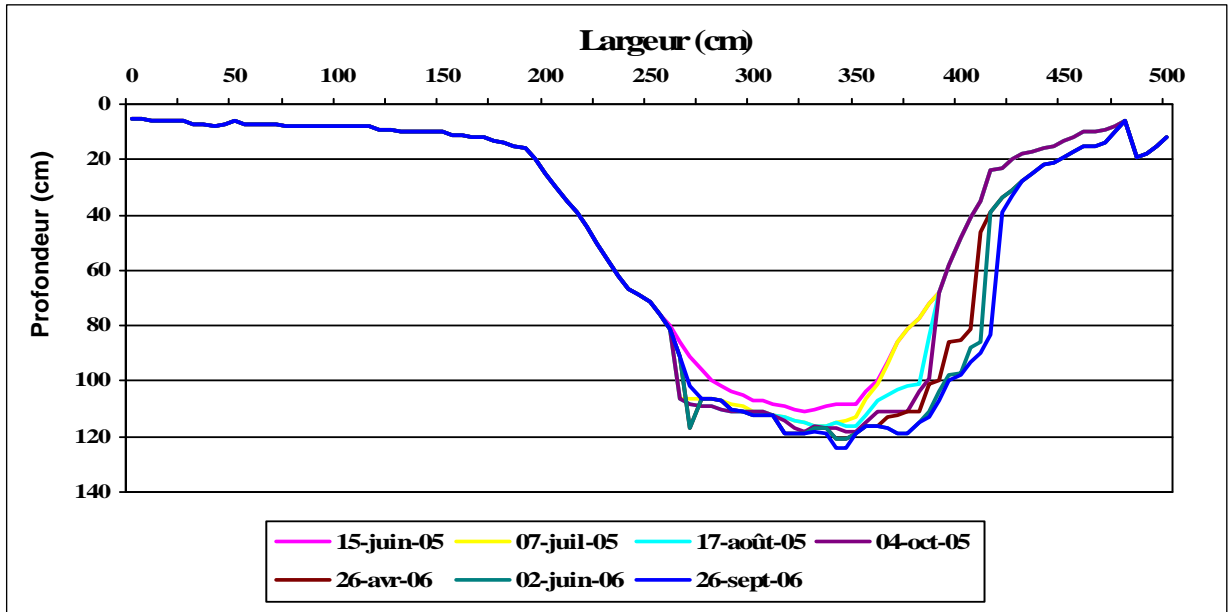
Évolution du transect n° 5 du fossé du site n° 2



Évolution du transect n° 6 du fossé du site n° 2

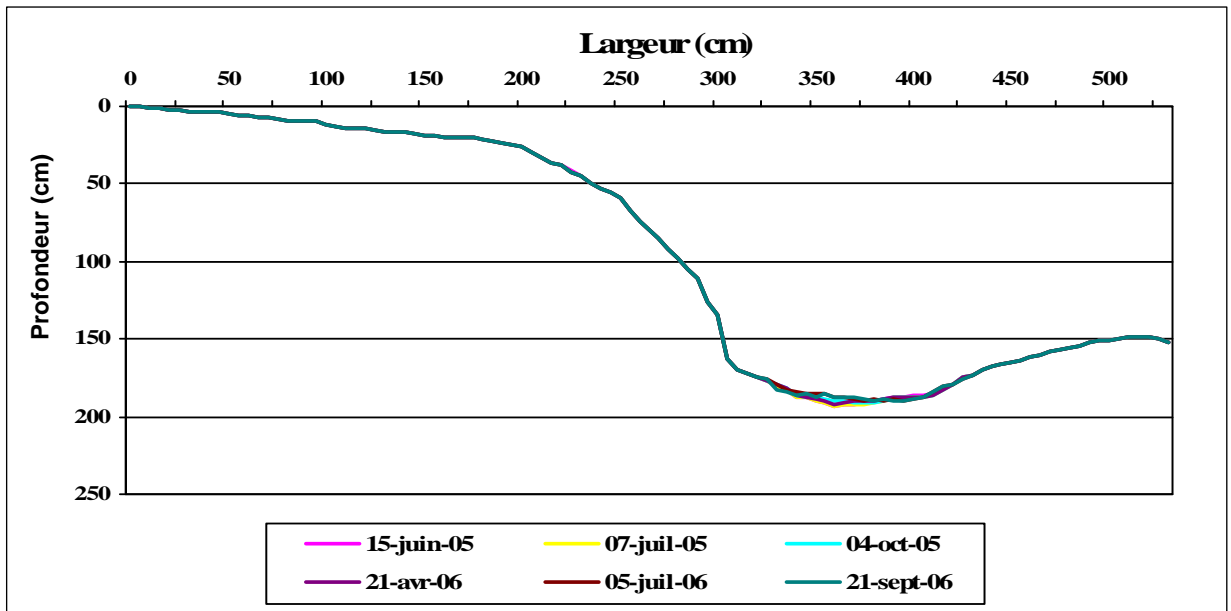


Évolution du transect n° 7 du fossé du site n° 2

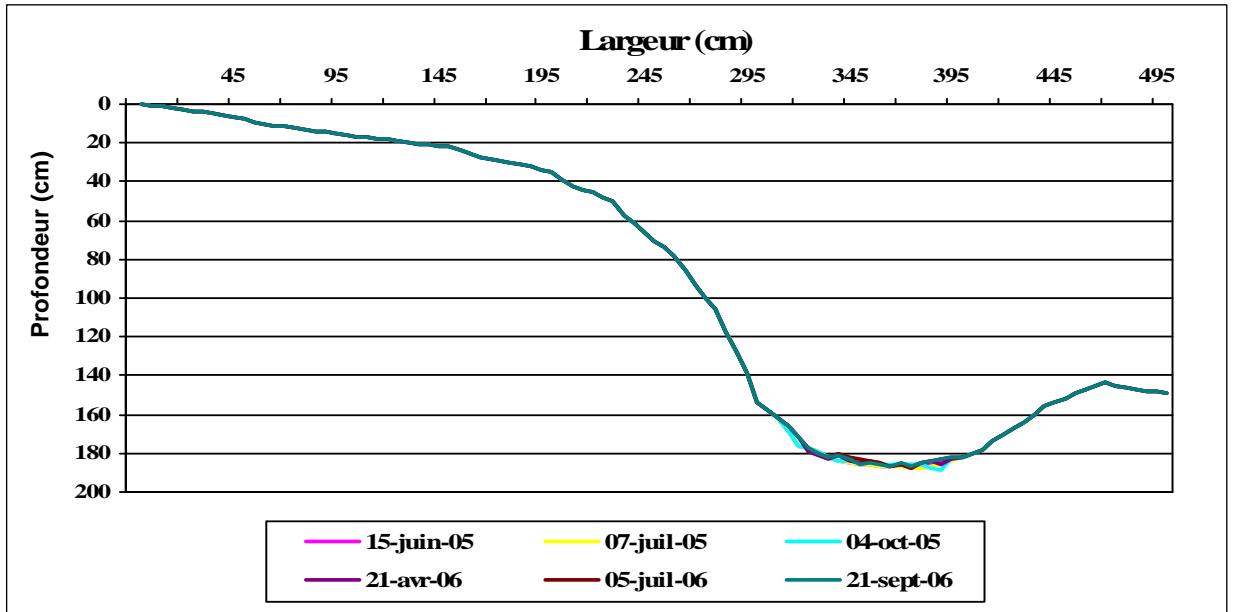


Évolution du transect n° 8 du fossé du site n° 2

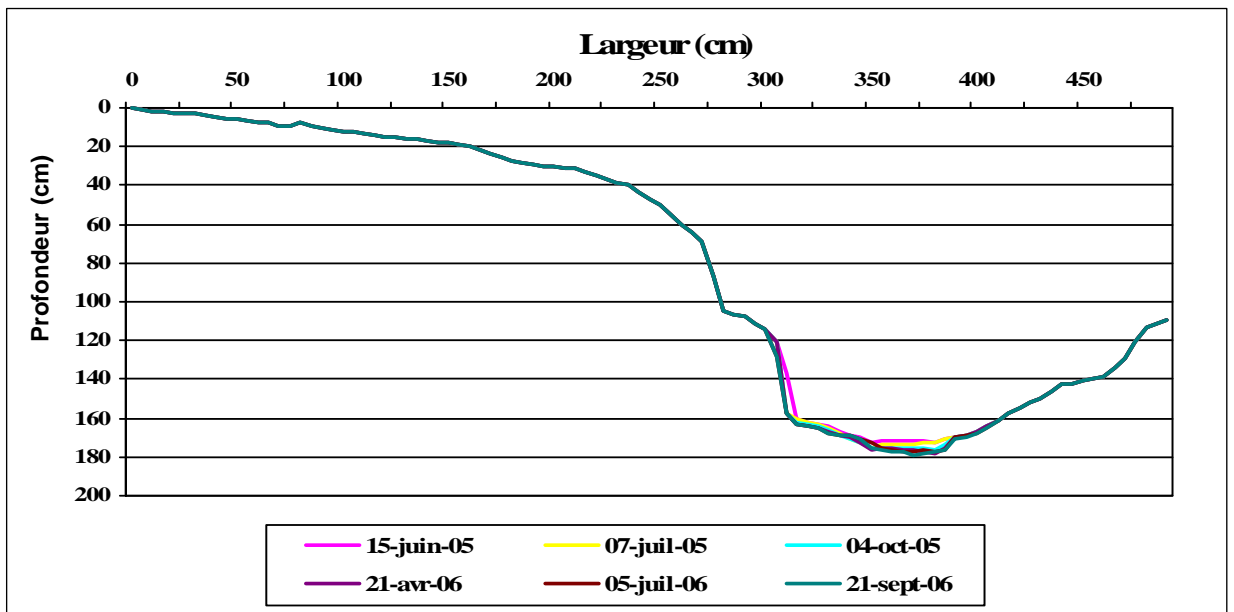
Site n° 3



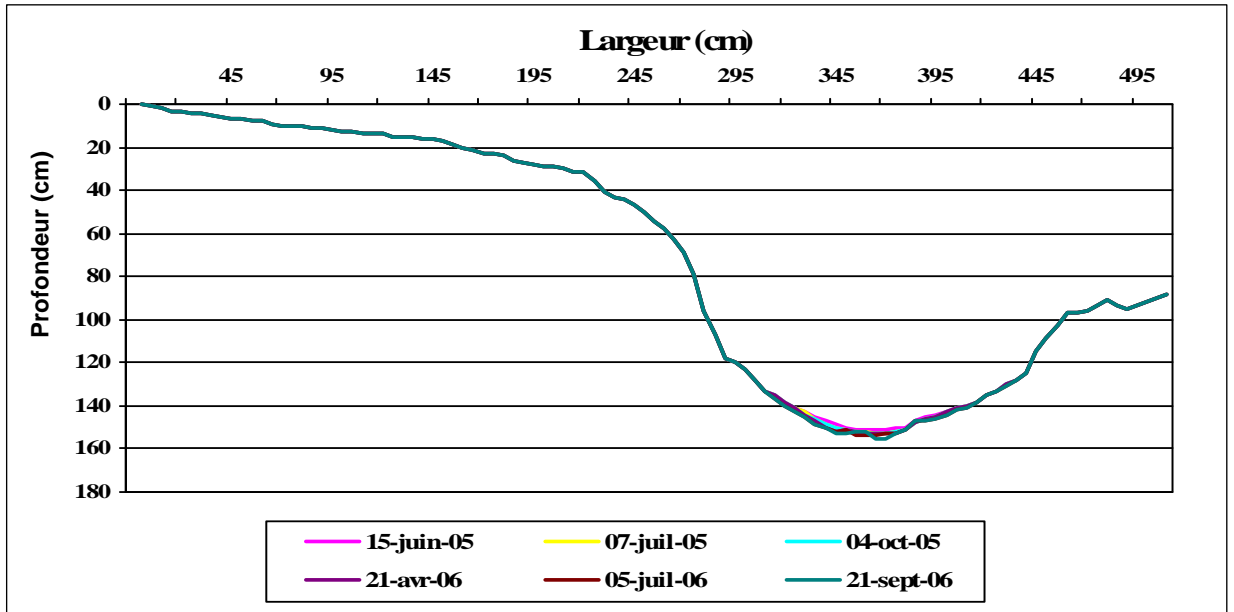
Évolution du transect n° 1 du fossé du site n° 3



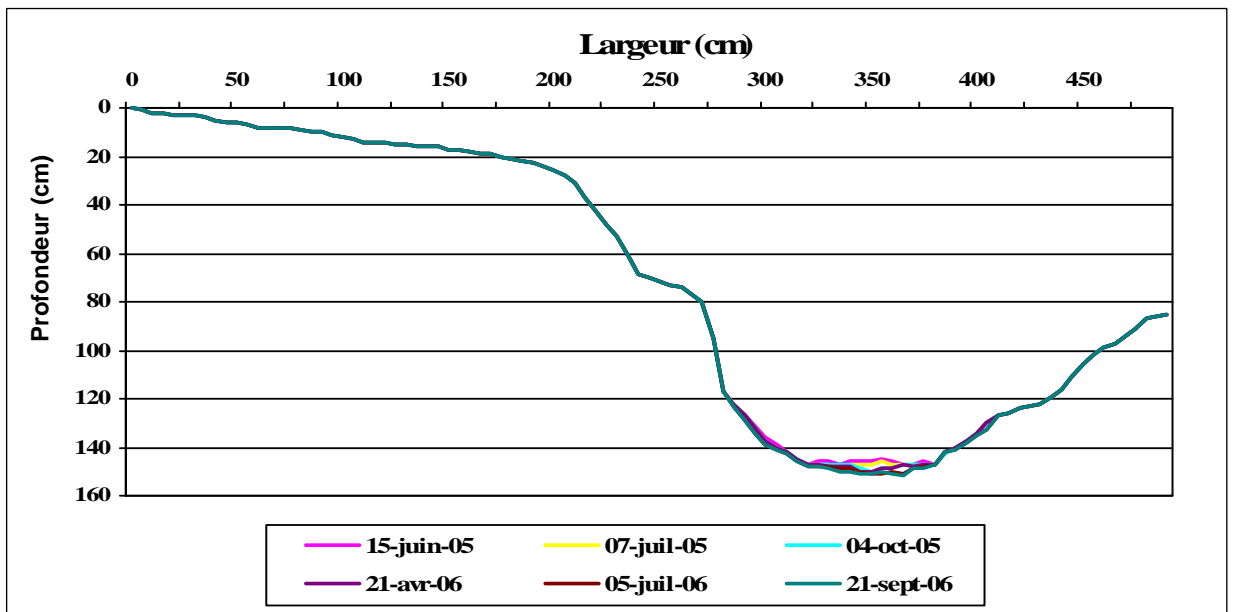
Évolution du transect n° 2 du fossé du site n° 3



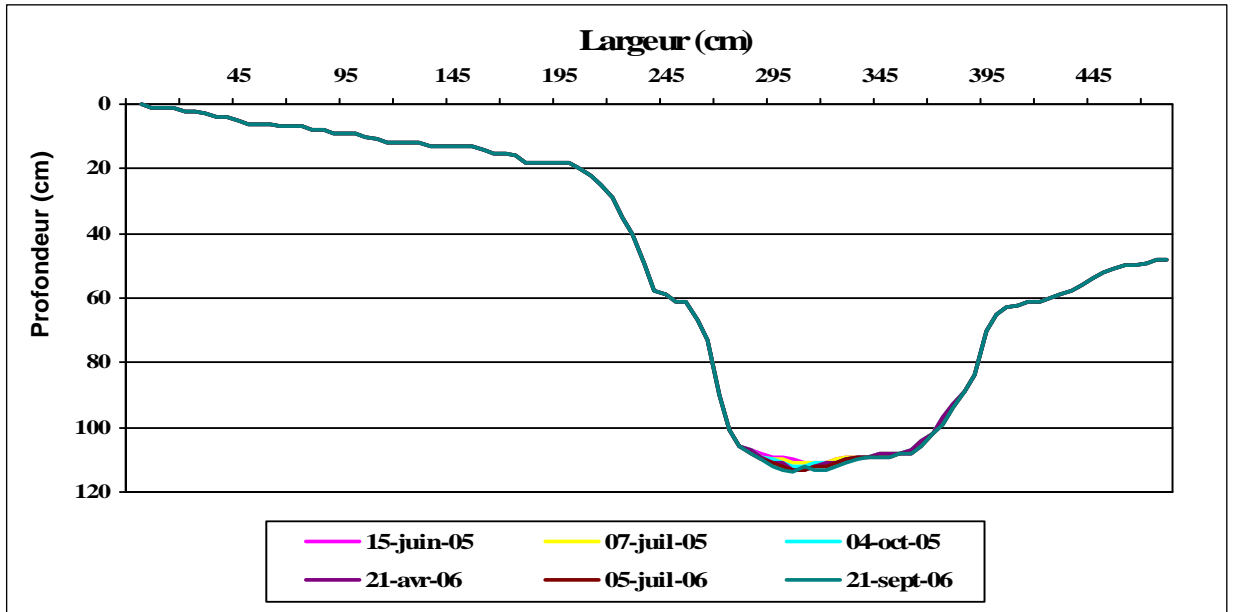
Évolution du transect n° 3 du fossé du site n° 3



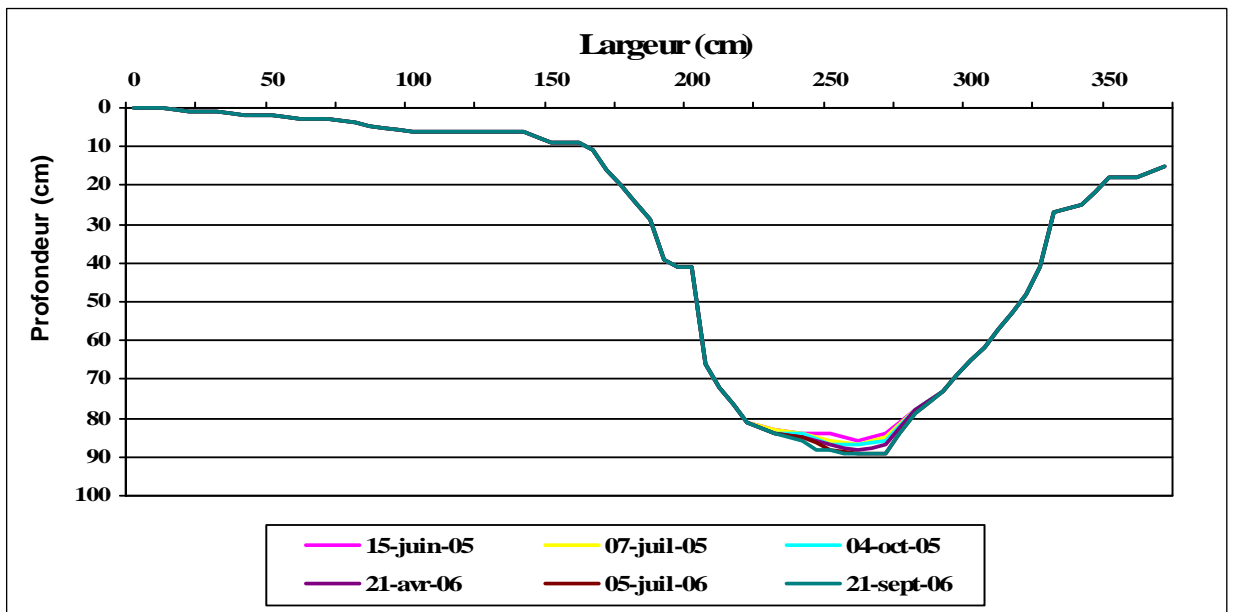
Évolution du transect n° 4 du fossé du site n° 3



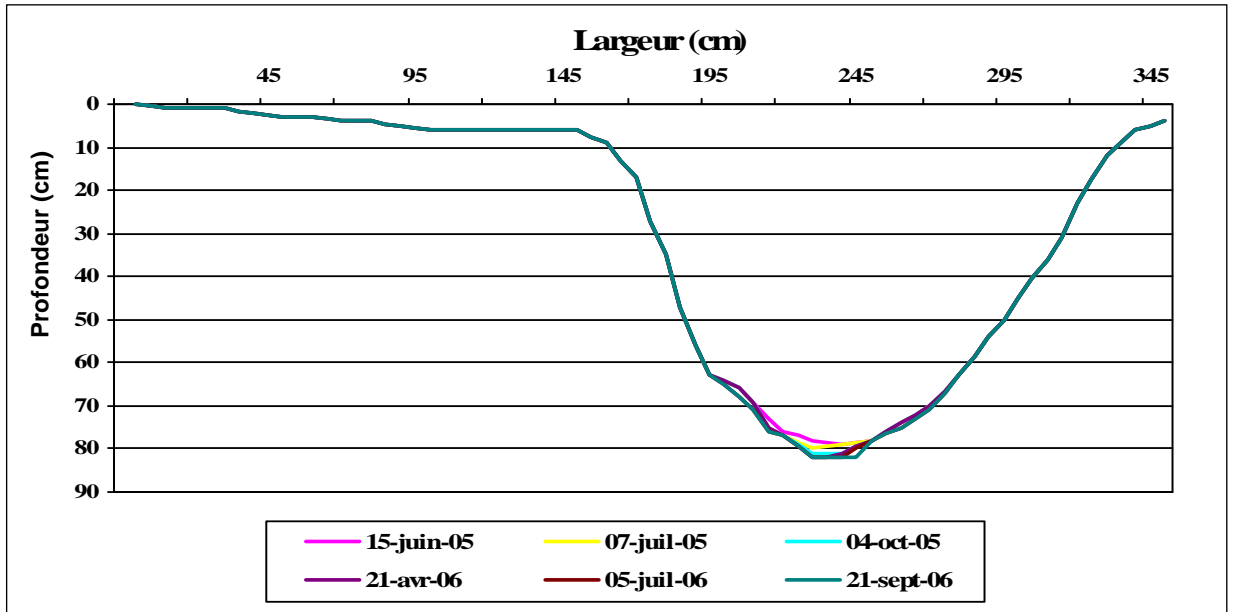
Évolution du transect n° 5 du fossé du site n° 3



Évolution du transect n° 6 du fossé du site n° 3

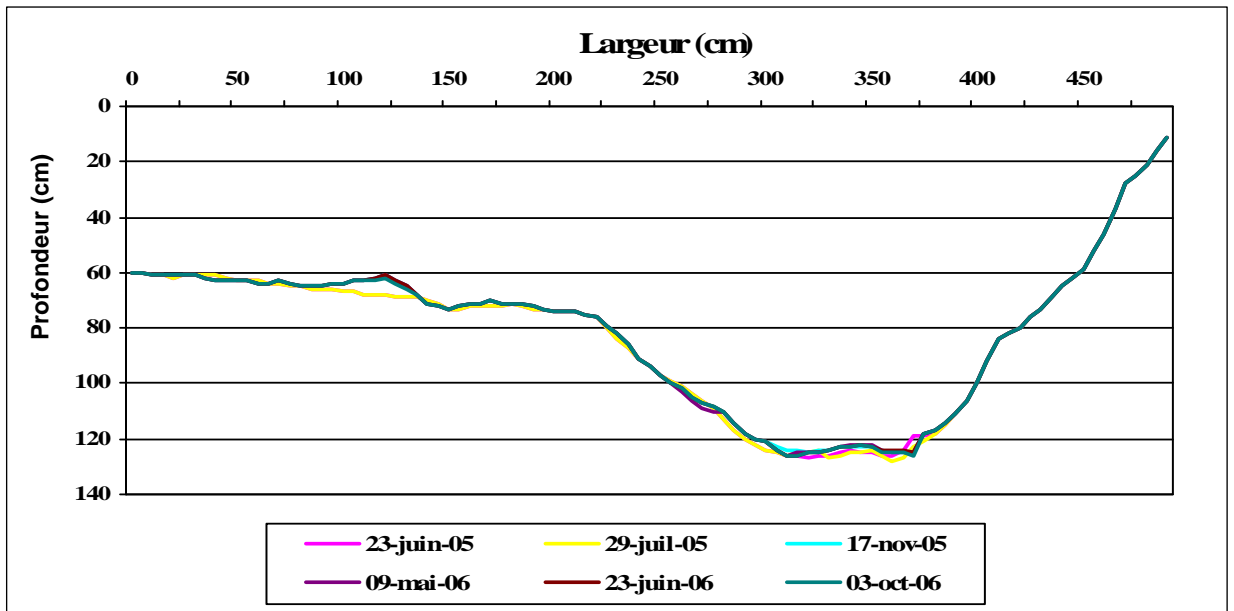


Évolution du transect n° 7 du fossé du site n° 3

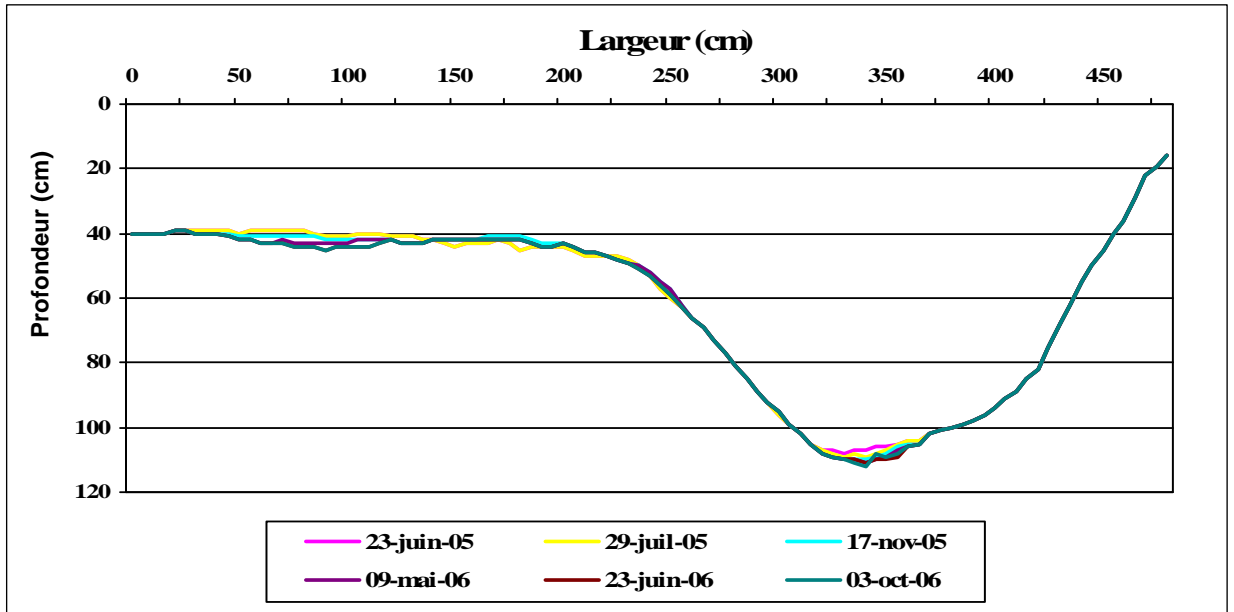


Évolution du transect n° 8 du fossé du site n° 3

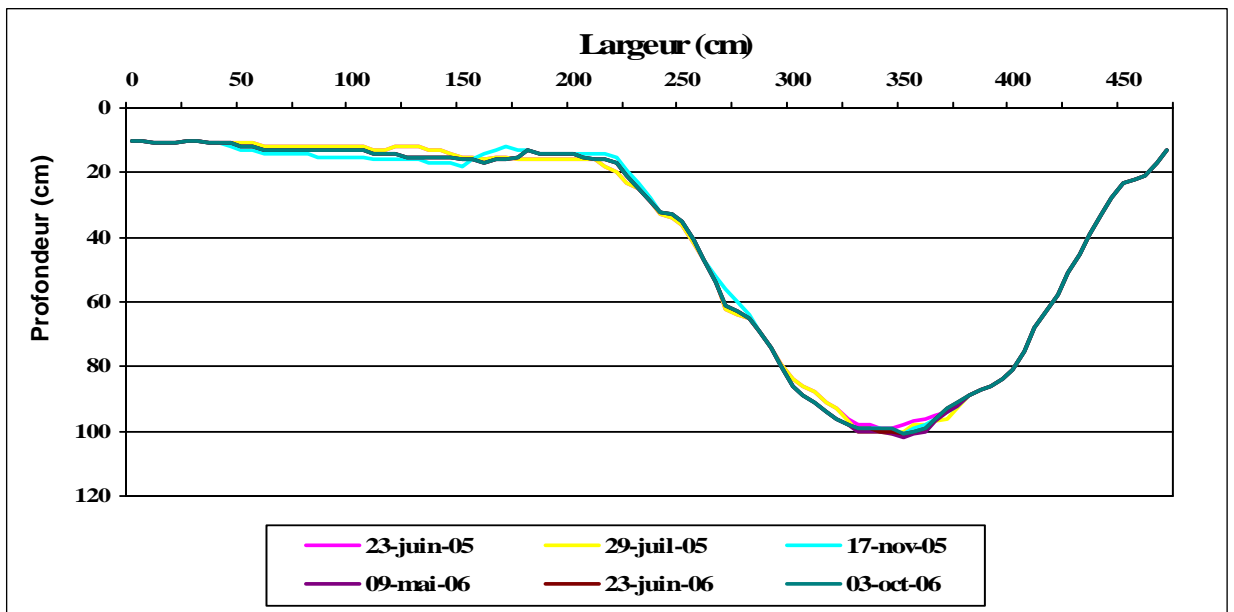
Site n° 4



Évolution du transect n° 1 du fossé du site n° 4

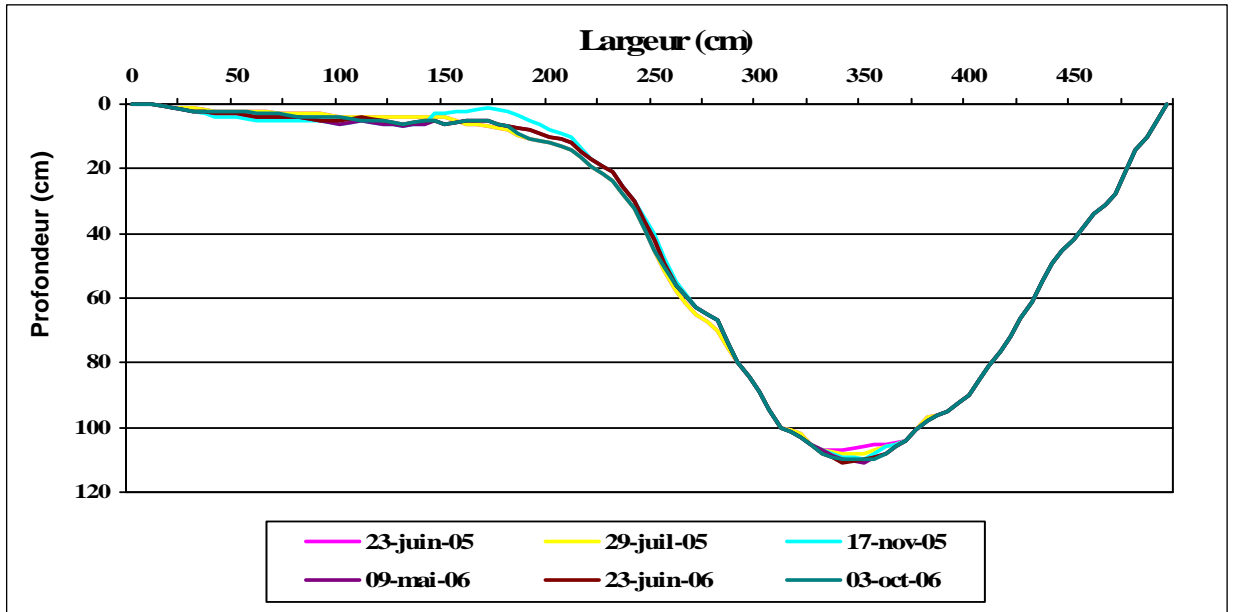


Évolution du transect n° 2 du fossé du site n° 4

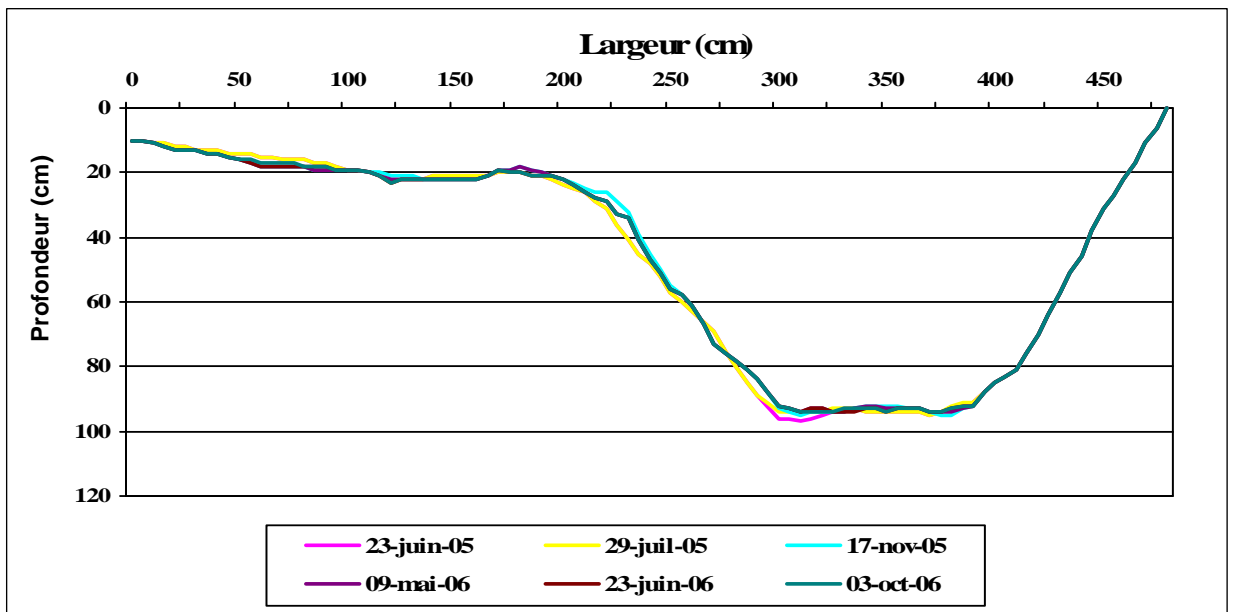


Évolution du transect n° 3 du fossé du site n° 4

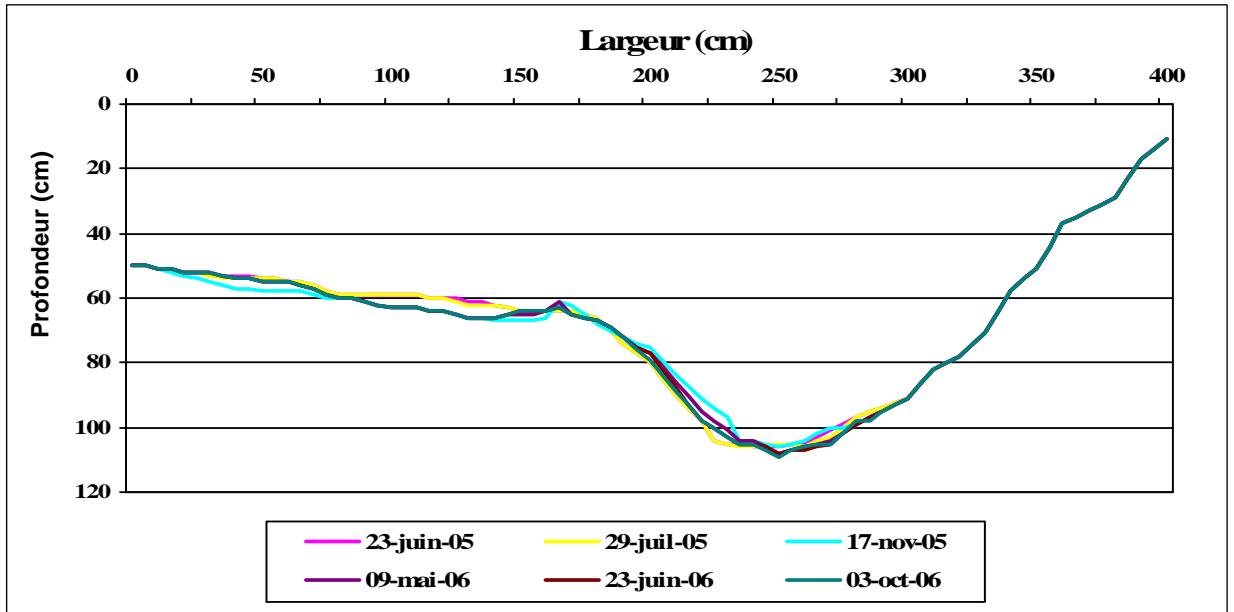




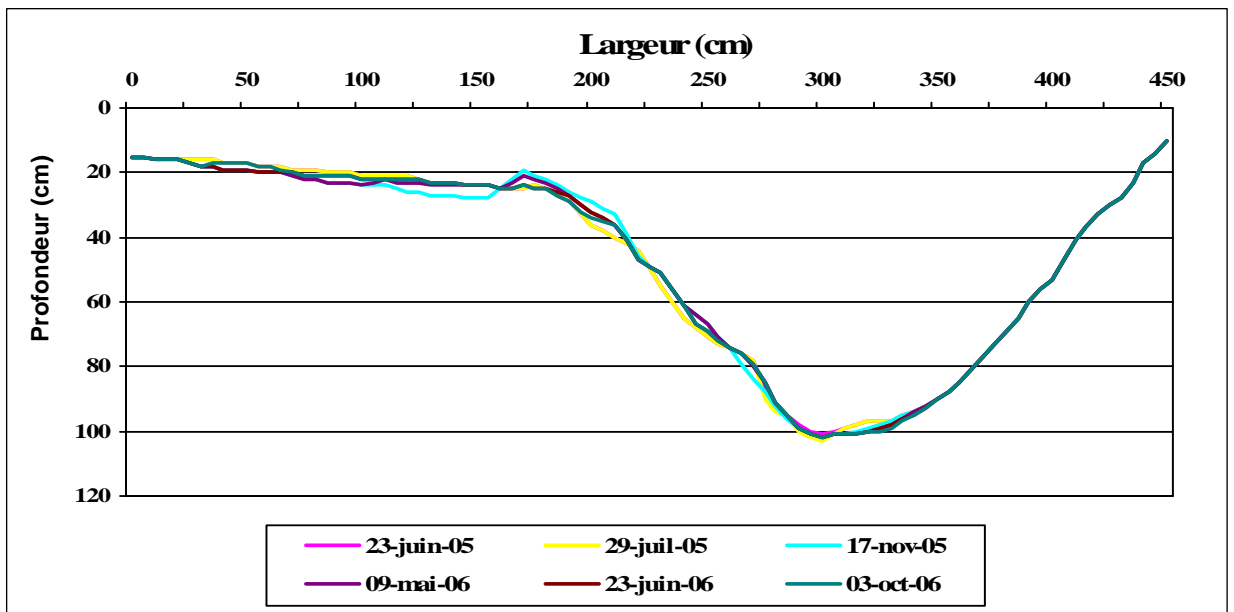
Évolution du transect n° 4 du fossé du site n° 4



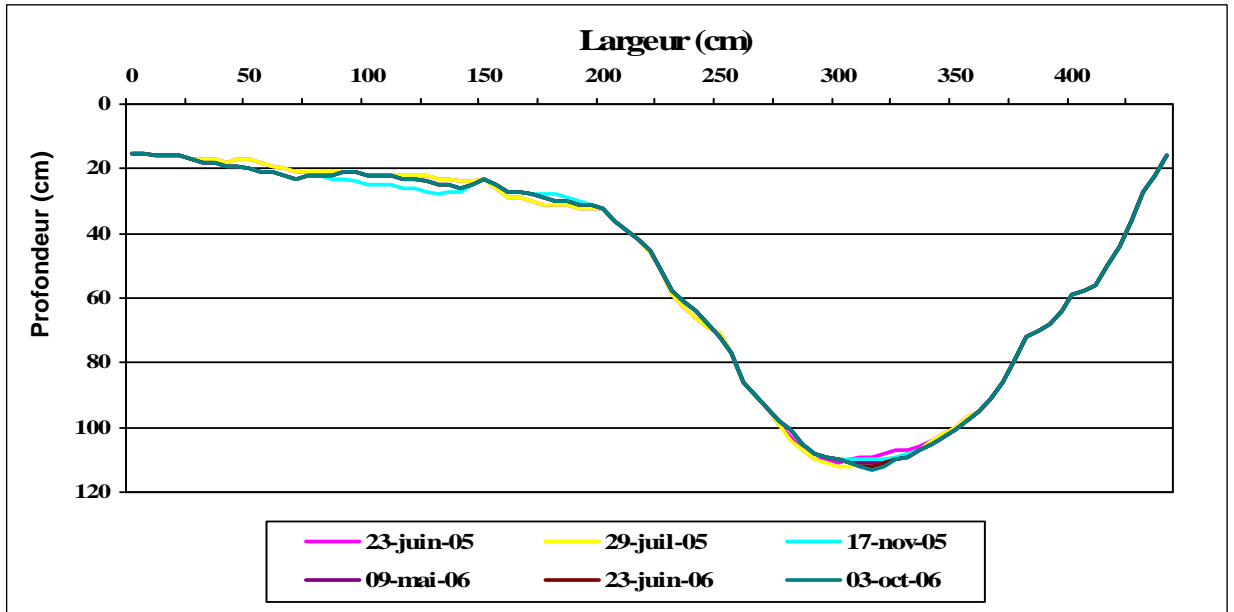
Évolution du transect n° 5 du fossé du site n° 4



Évolution du transect n° 6 du fossé du site n° 4

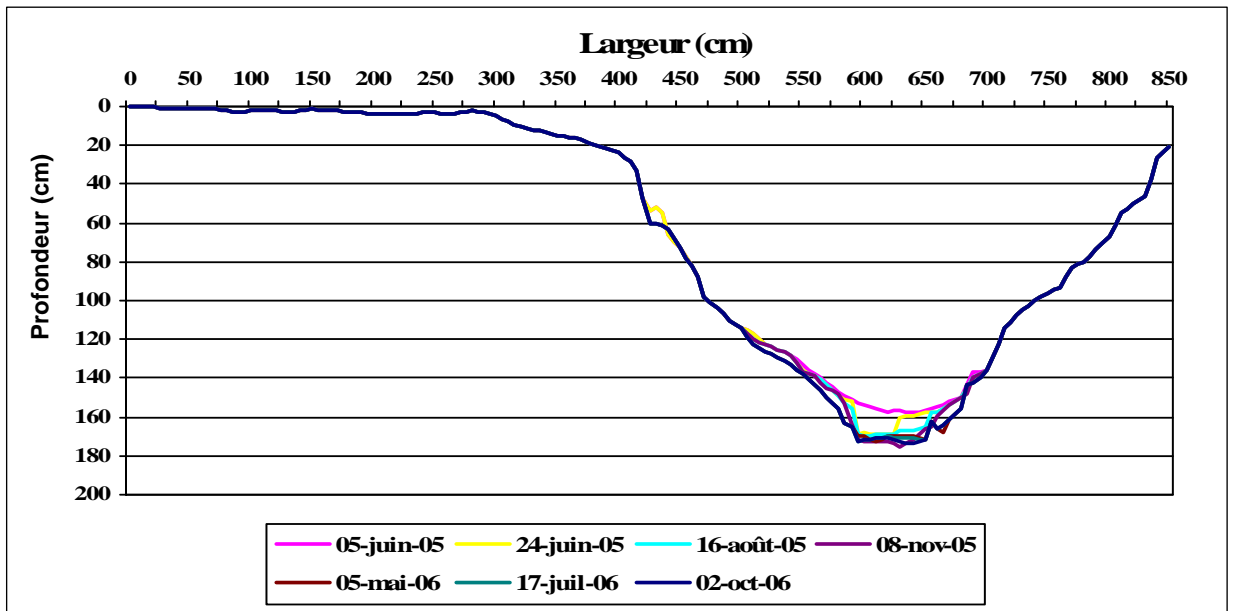


Évolution du transect n° 7 du fossé du site n° 4

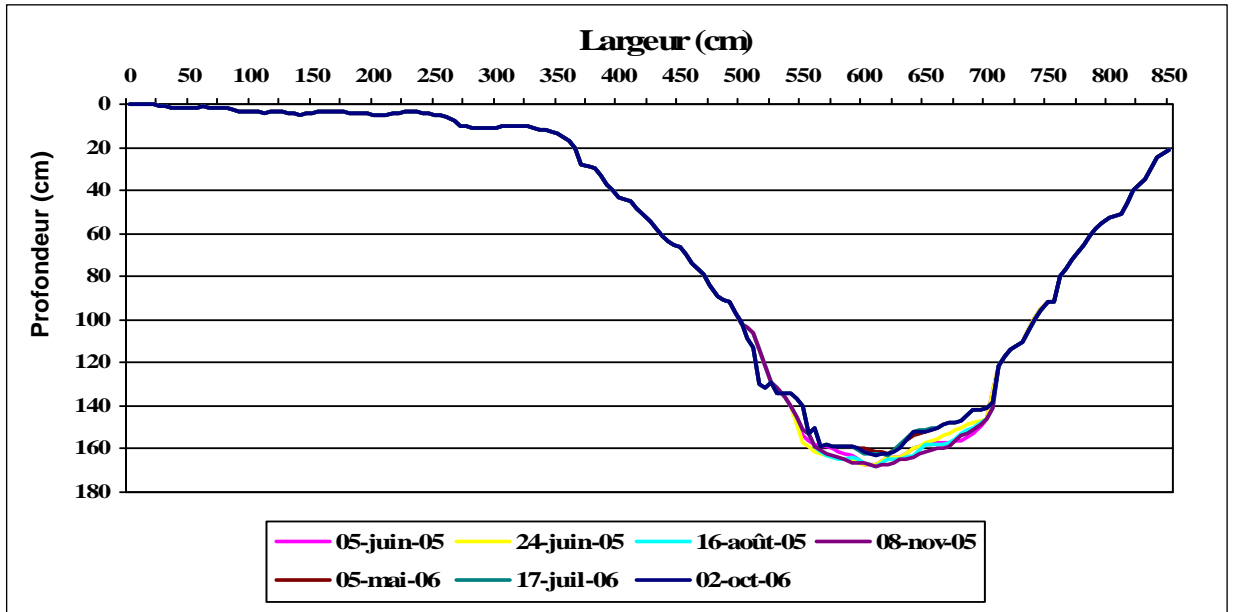


Évolution du transect n° 8 du fossé du site n° 4

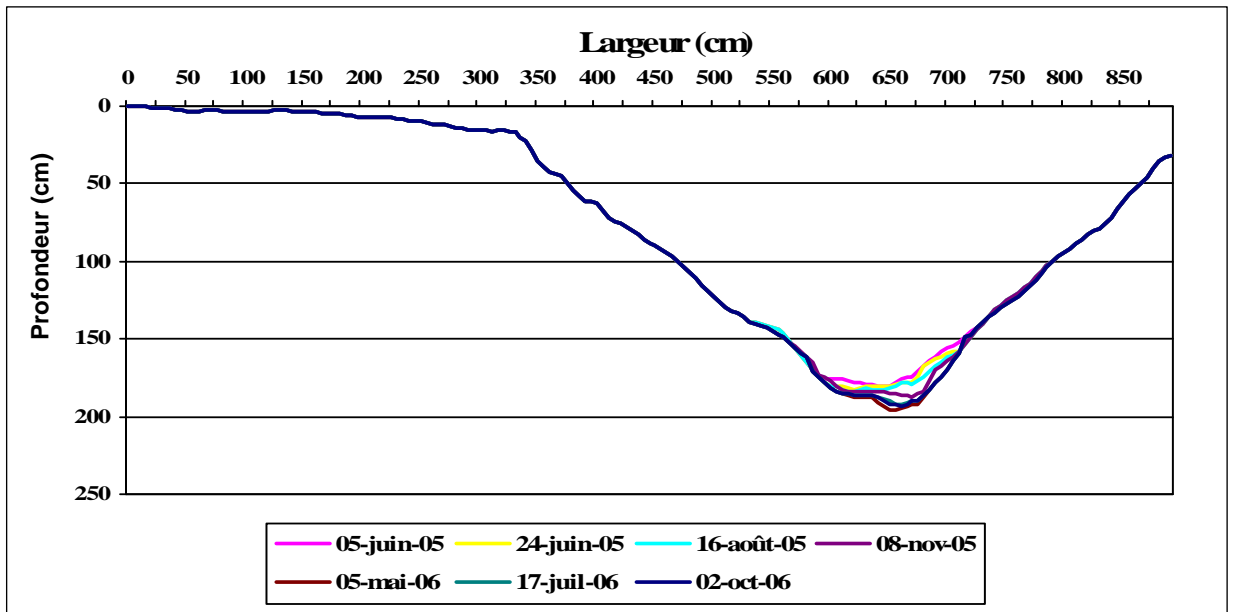
Site n° 5



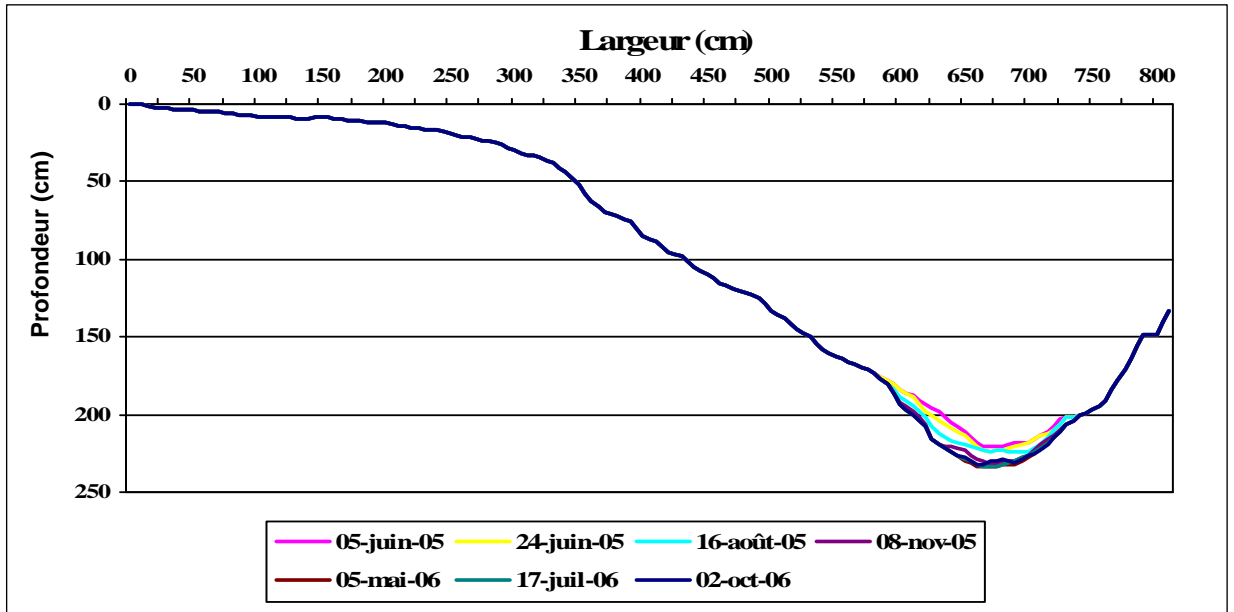
Évolution du transect n° 1 du fossé du site n° 5



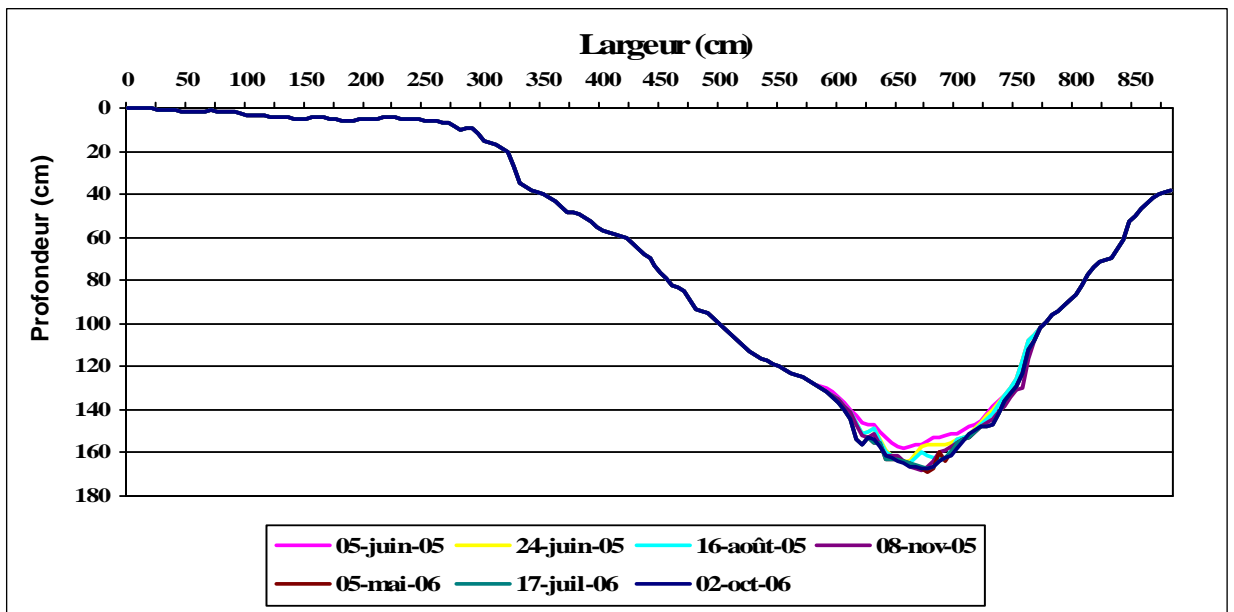
Évolution du transect n° 2 du fossé du site n° 5



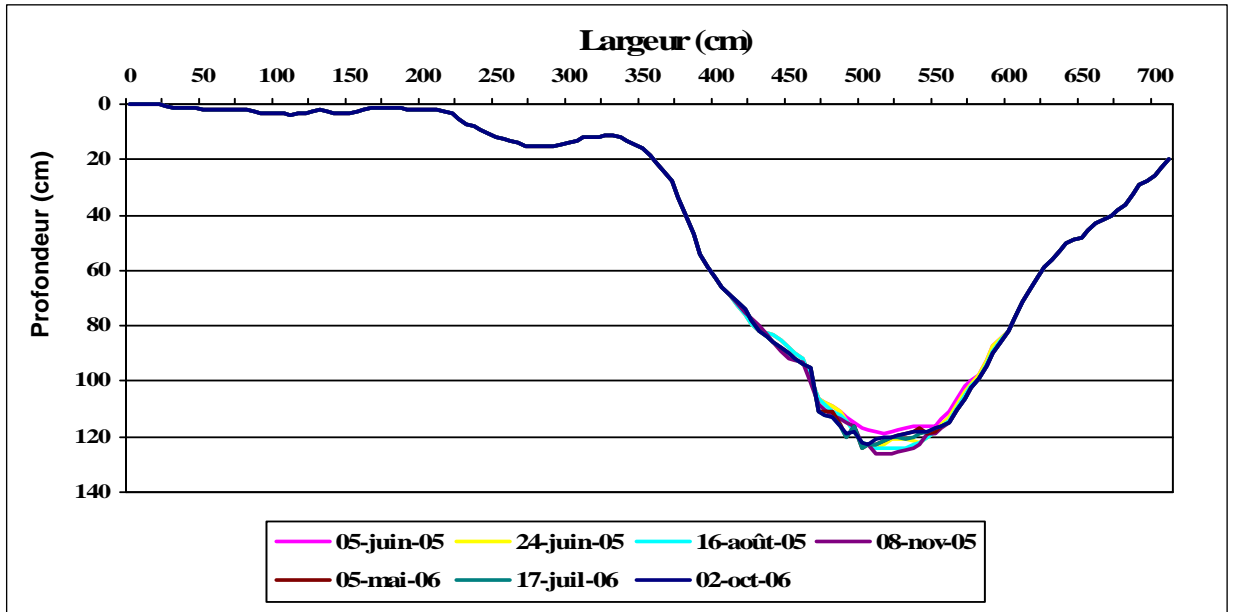
Évolution du transect n° 3 du fossé du site n° 5



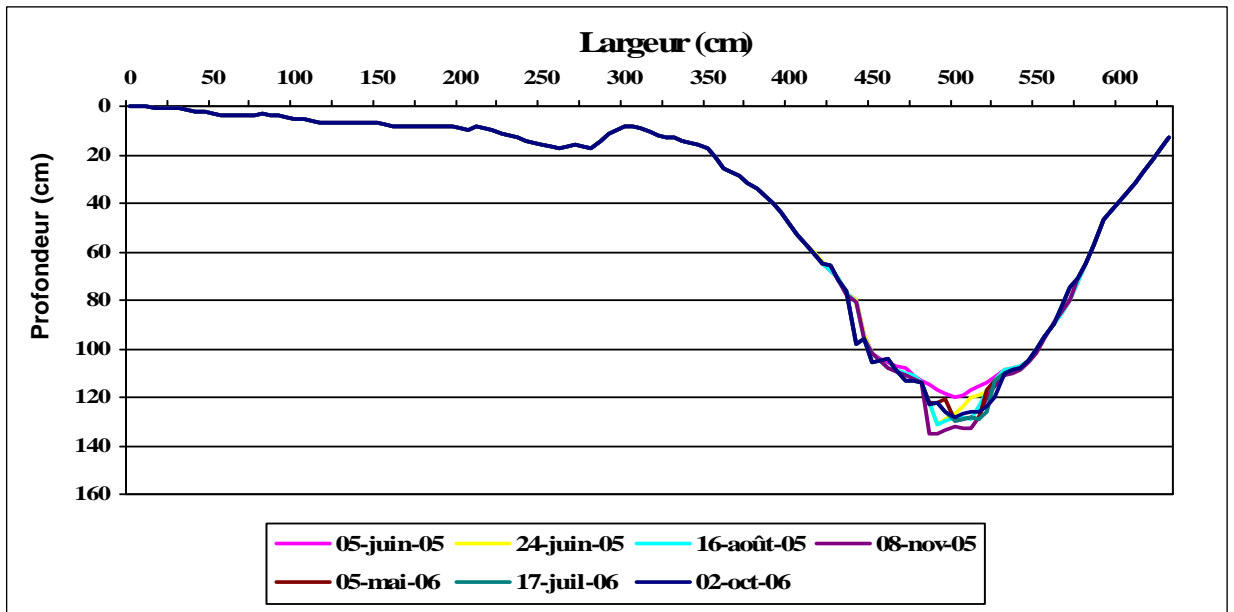
Évolution du transect n° 4 du fossé du site n° 5



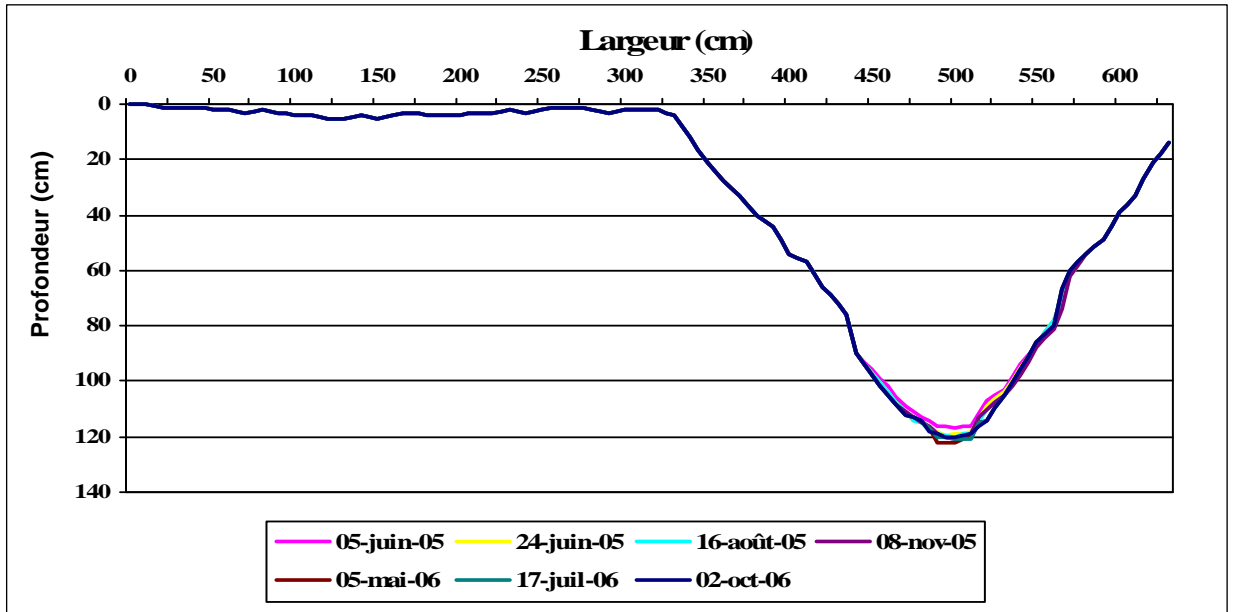
Évolution du transect n° 5 du fossé du site n° 5



Évolution du transect n° 6 du fossé du site n° 5

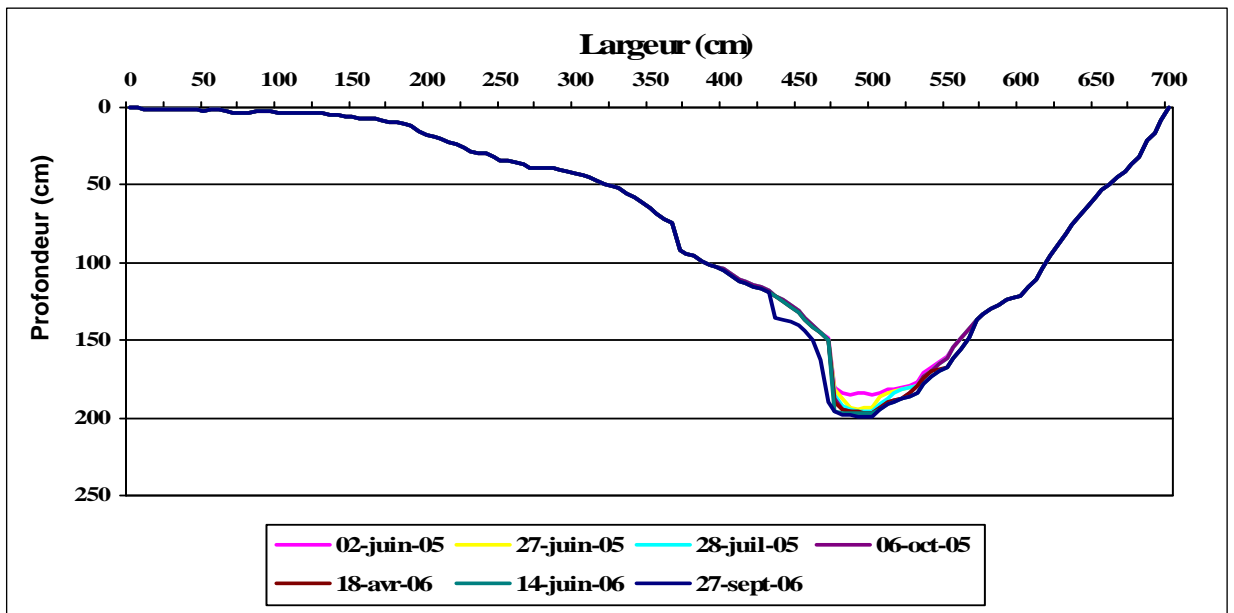


Évolution du transect n° 7 du fossé du site n° 5

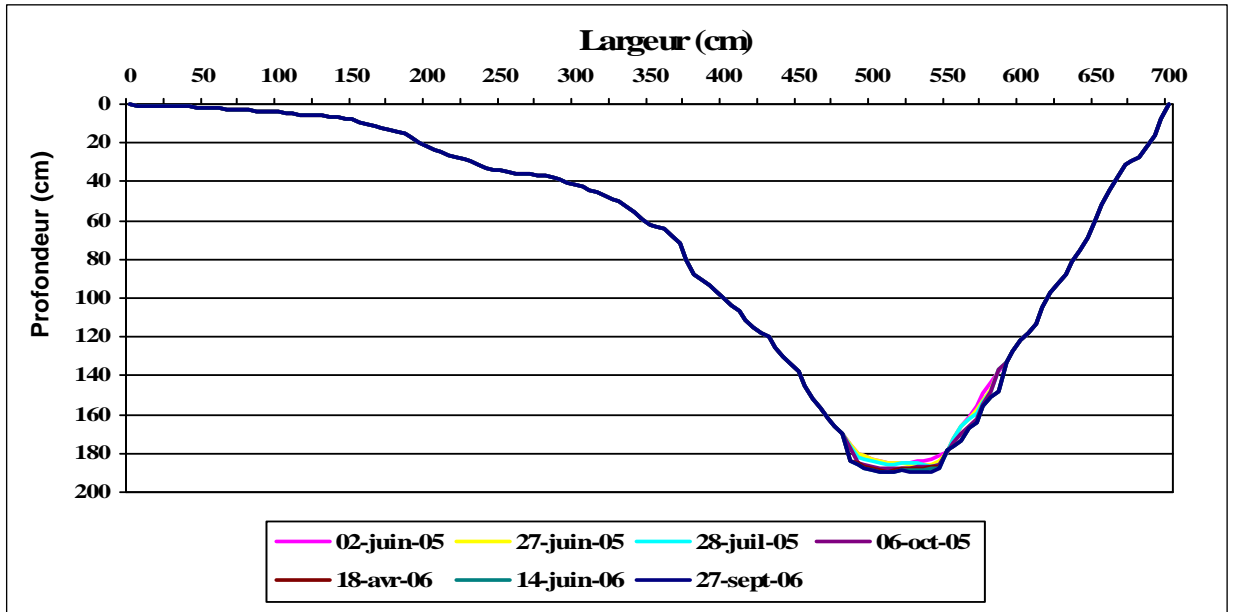


Évolution du transect n° 8 du fossé du site n° 5

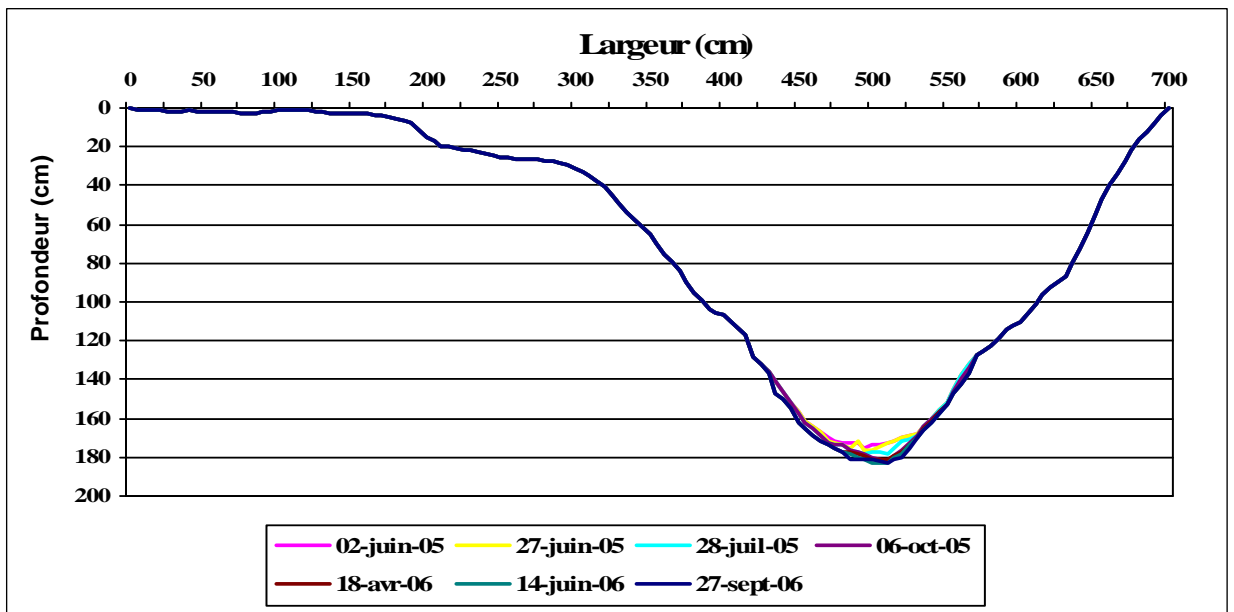
Site n° 6



Évolution du transect n° 1 du fossé du site n° 6

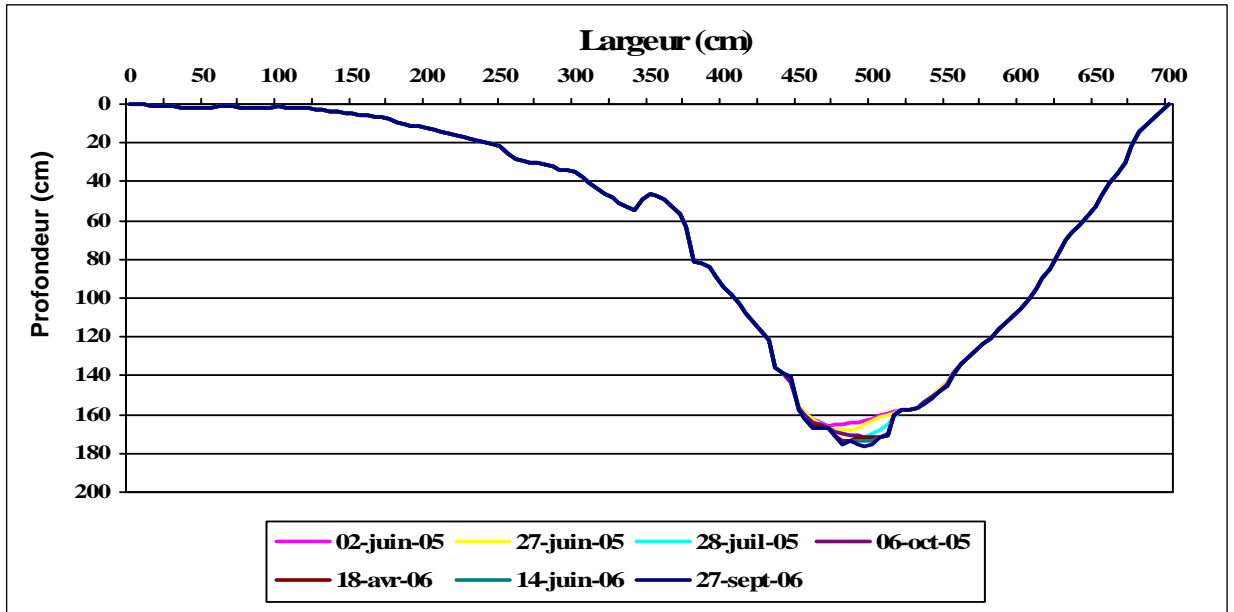


Évolution du transect n° 2 du fossé du site n° 6

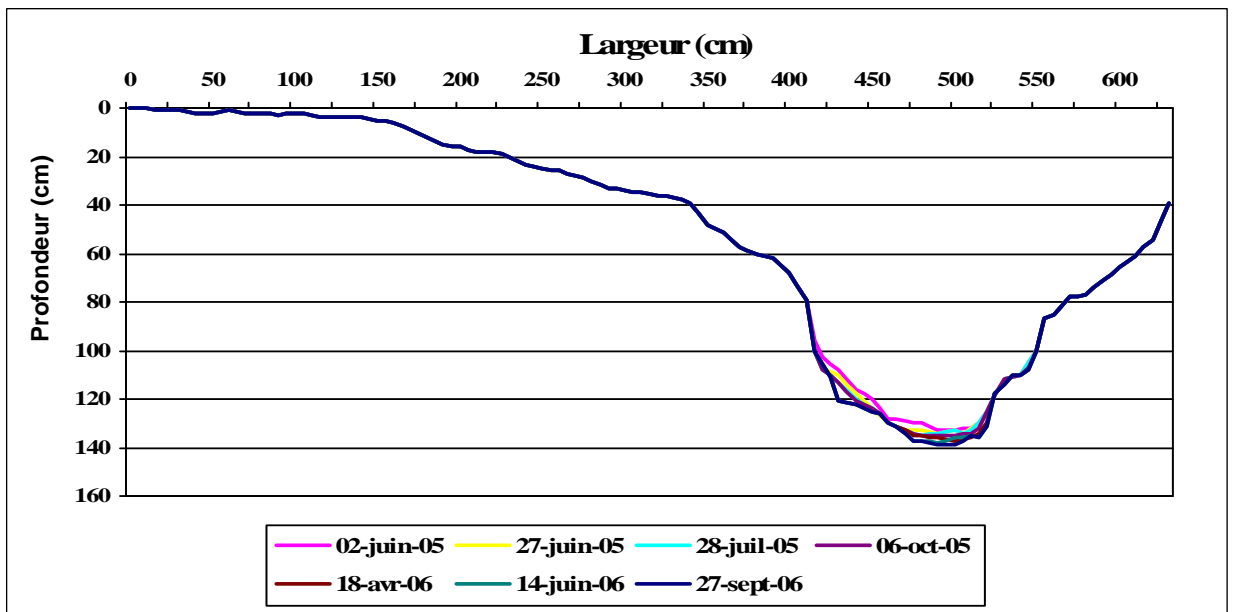


Évolution du transect n° 3 du fossé du site n° 6

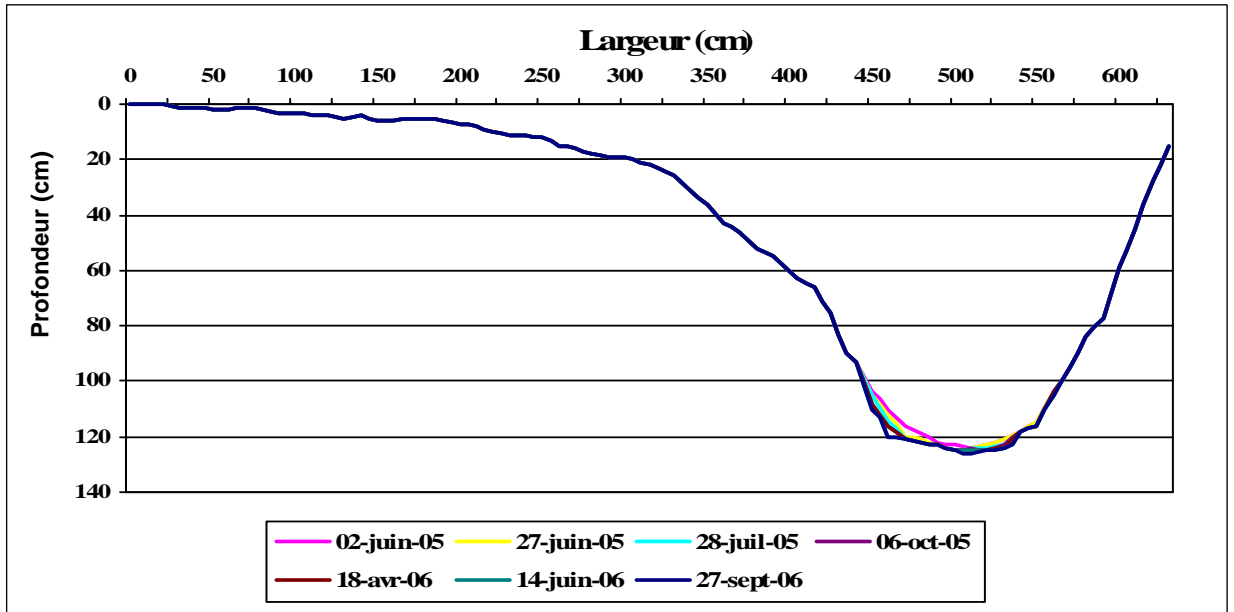




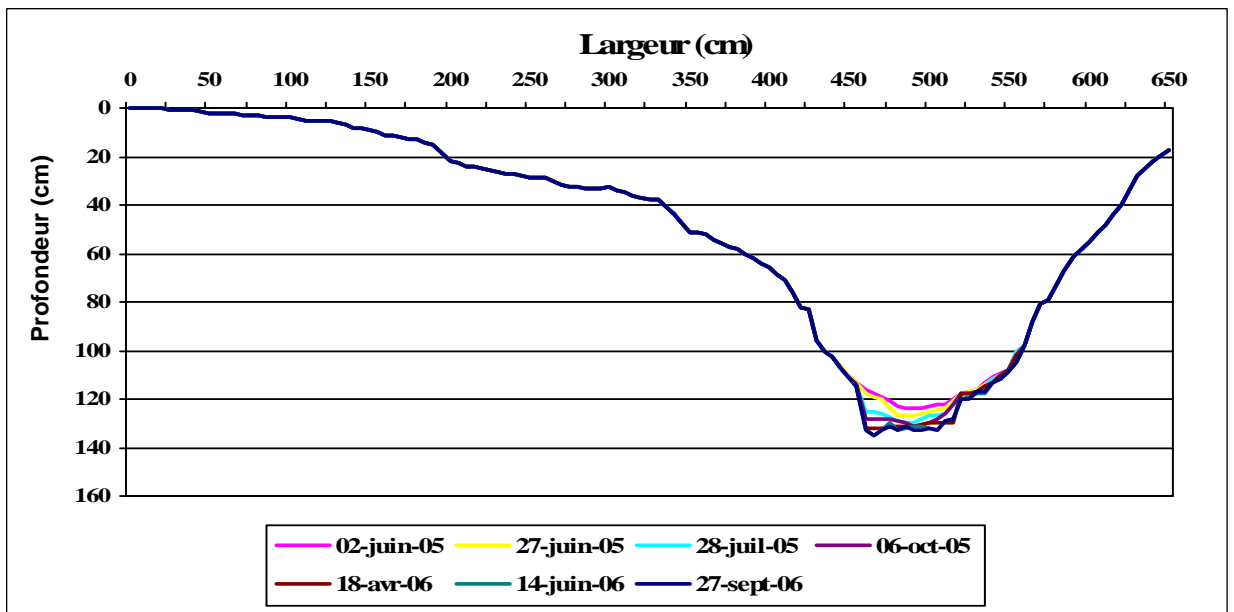
Évolution du transect n° 4 du fossé du site n° 6



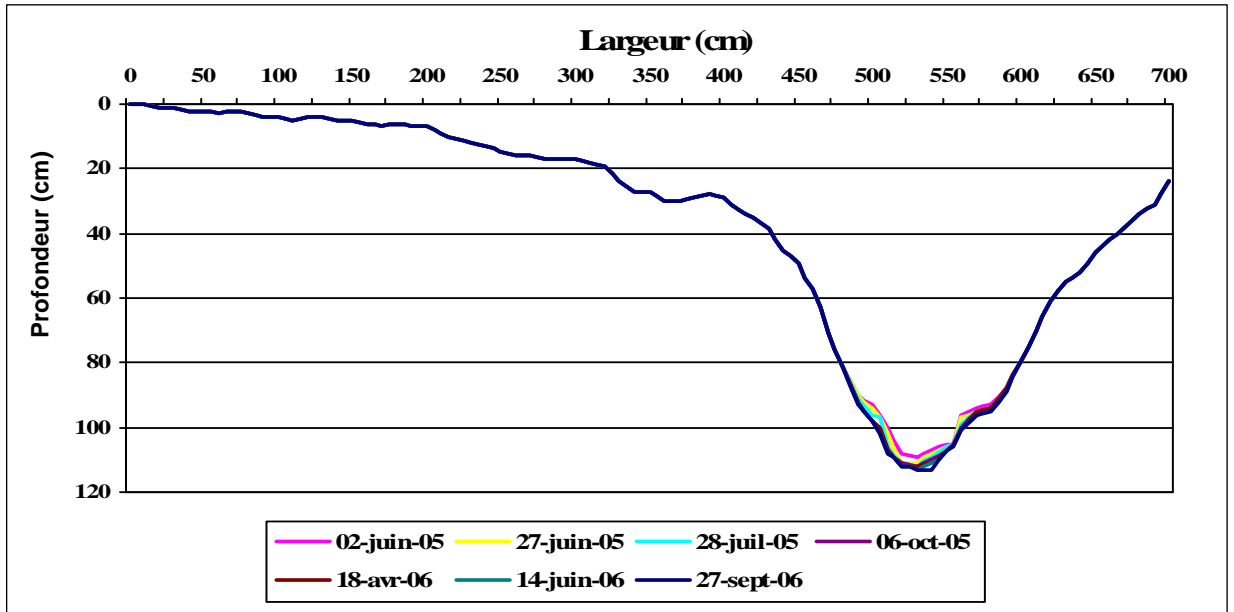
Évolution du transect n° 5 du fossé du site n° 6



Évolution du transect n° 6 du fossé du site n° 6

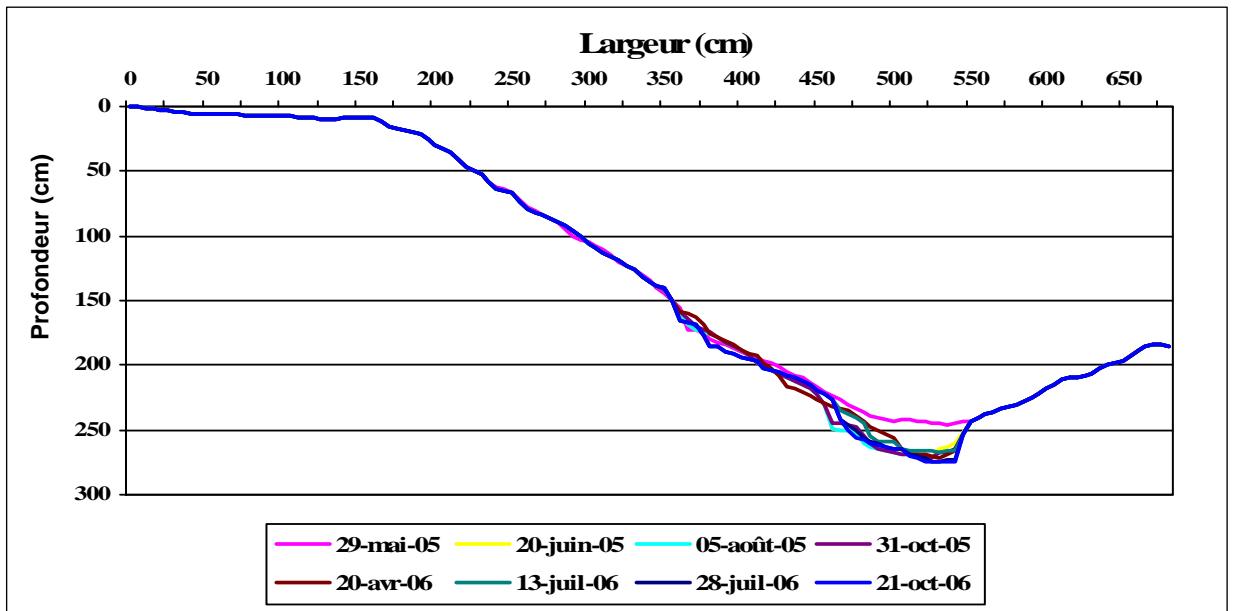


Évolution du transect n° 7 du fossé du site n° 6

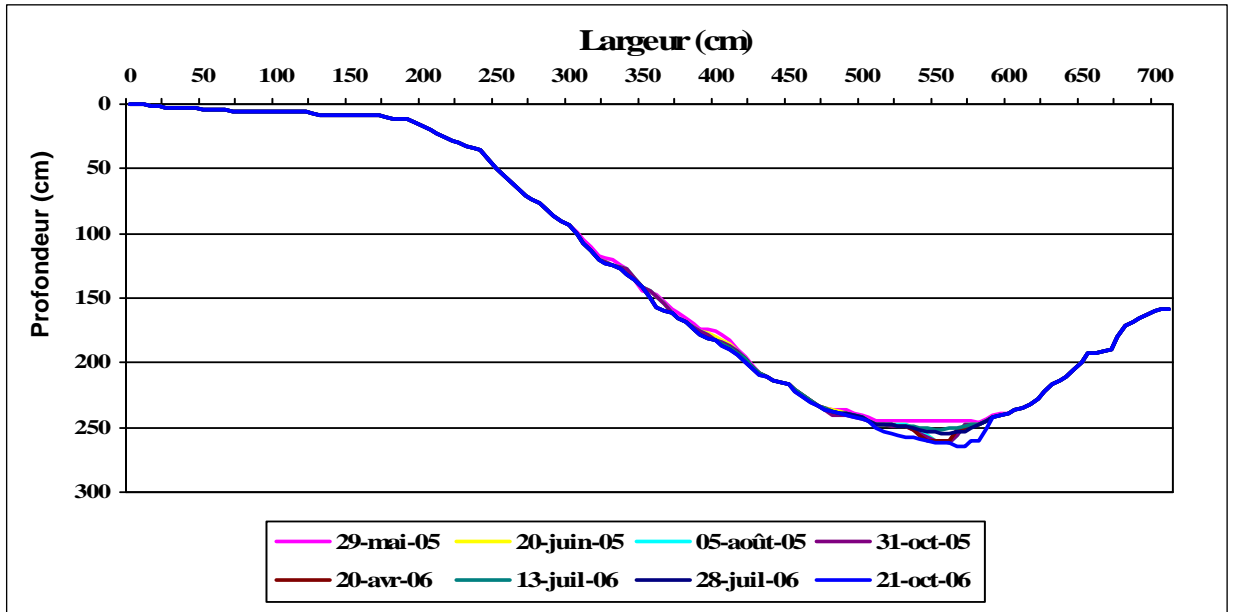


Évolution du transect n° 8 du fossé du site n° 6

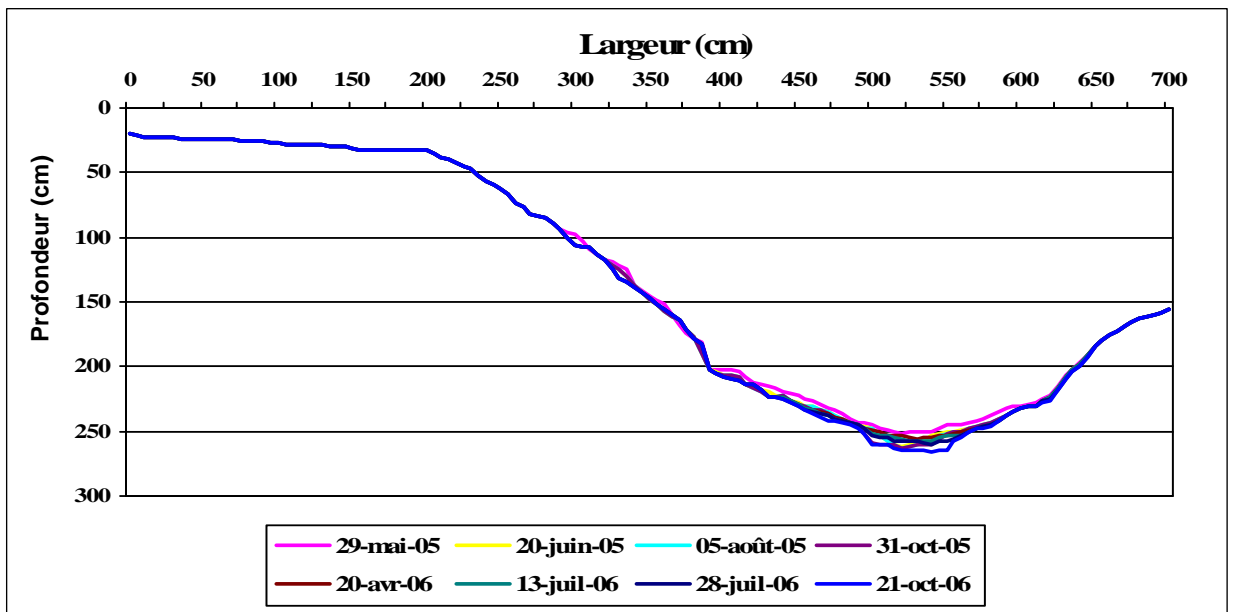
Site n° 7



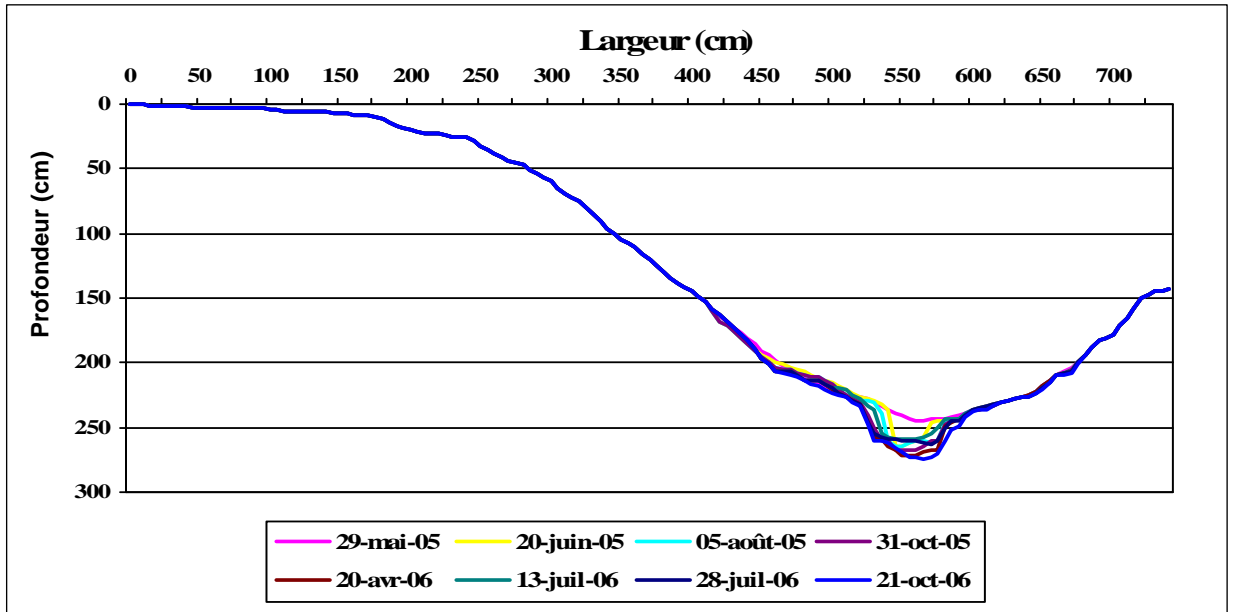
Évolution du transect n° 1 du fossé du site n° 7



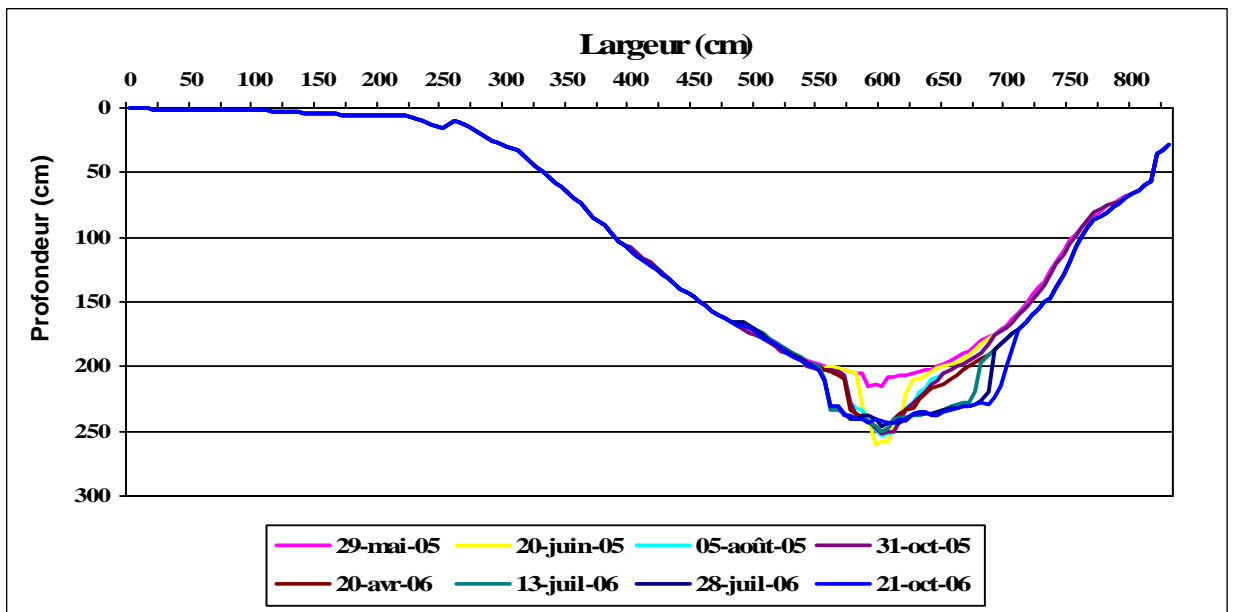
Évolution du transect n° 2 du fossé du site n° 7



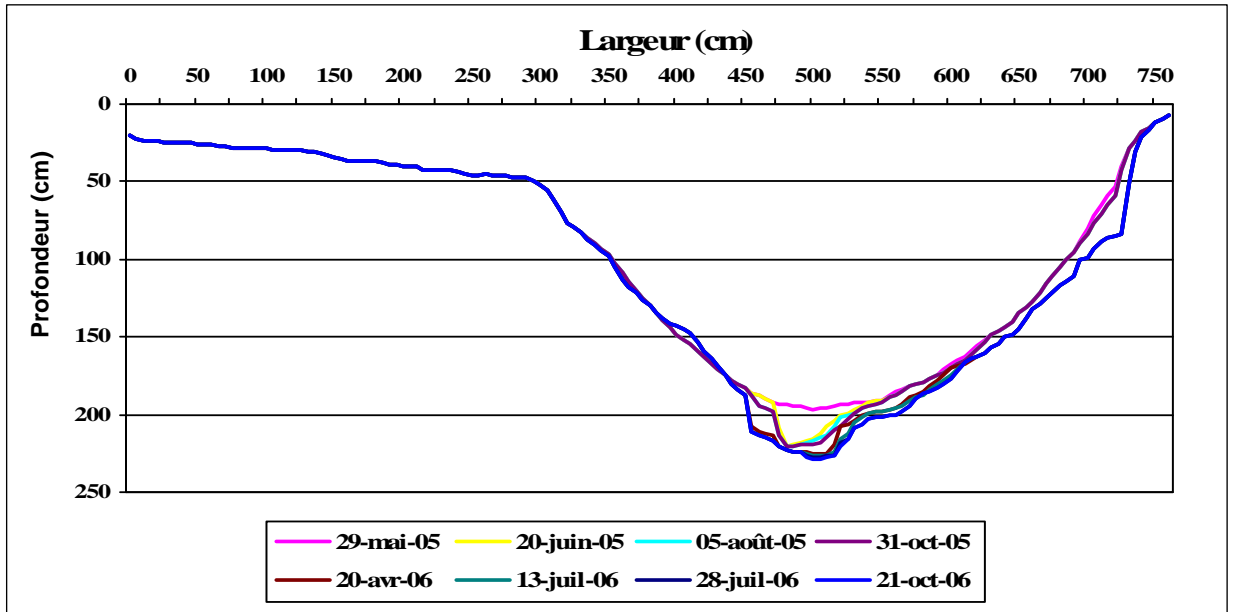
Évolution du transect n° 3 du fossé du site n° 7



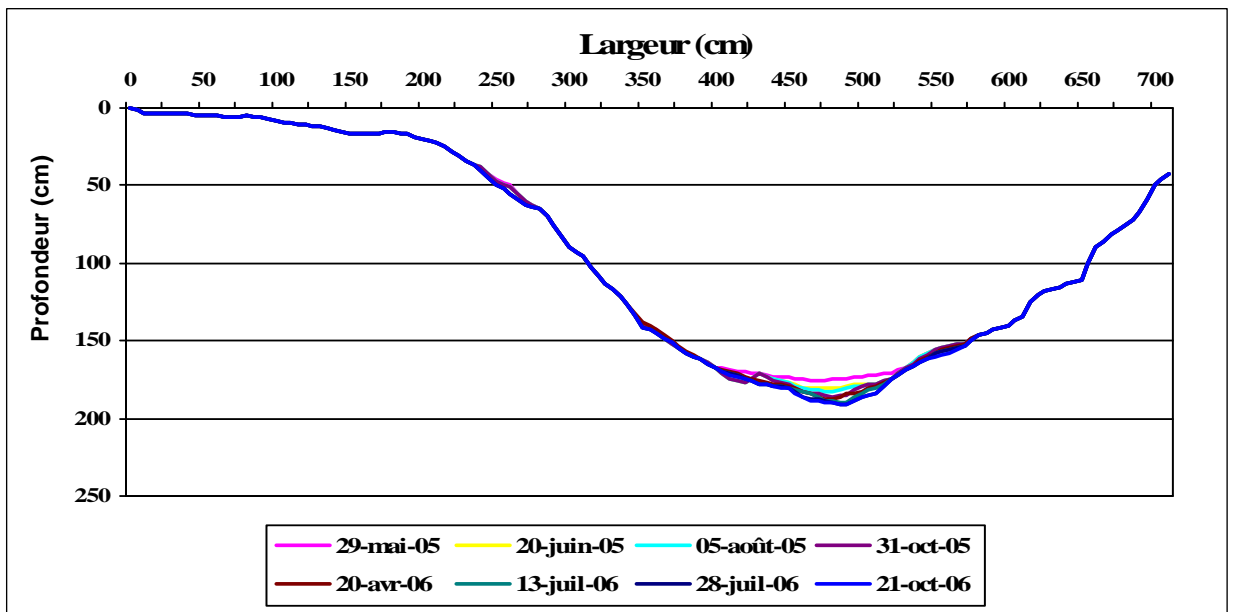
Évolution du transect n° 4 du fossé du site n° 7



Évolution du transect n° 5 du fossé du site n° 7

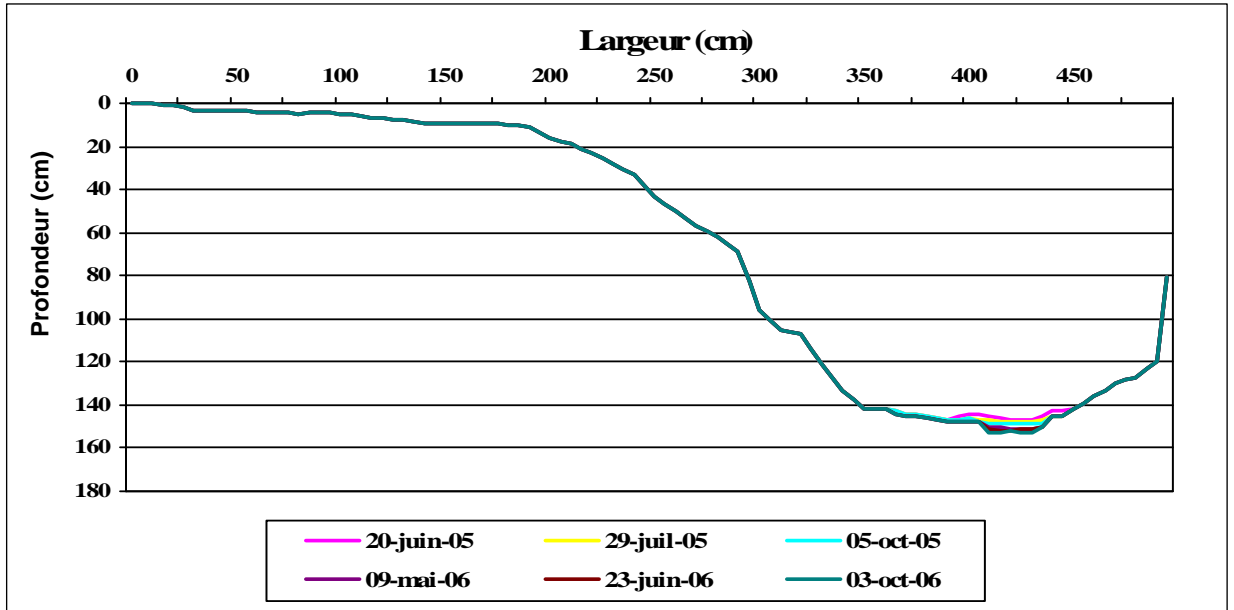


Évolution du transect n° 6 du fossé du site n° 7

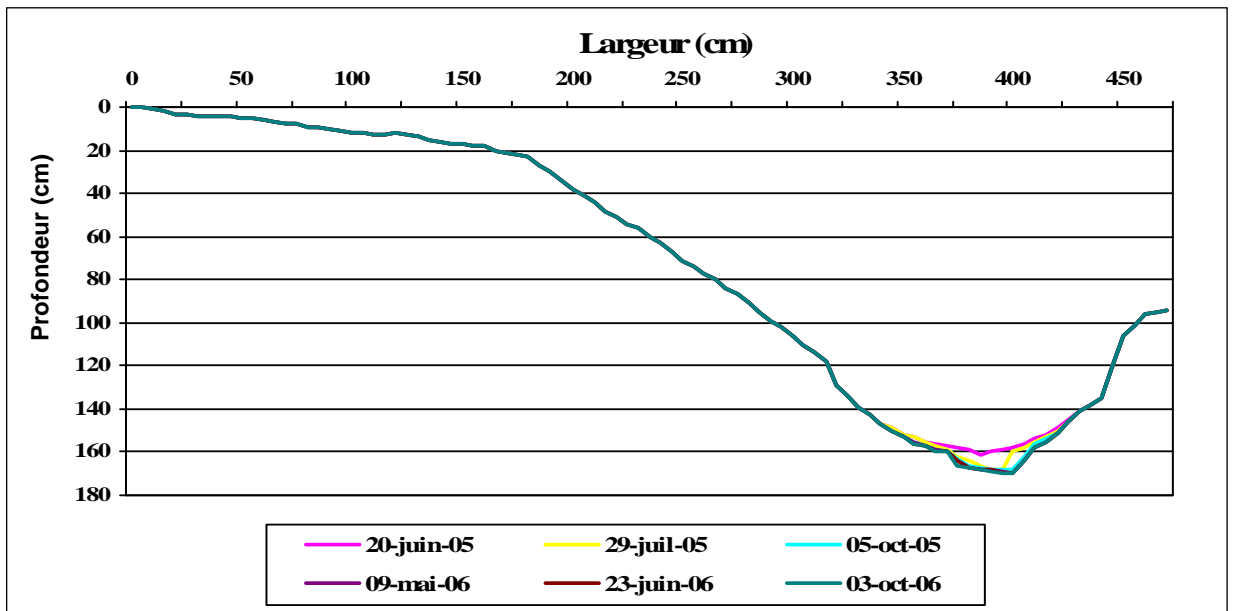


Évolution du transect n° 7 du fossé du site n° 7

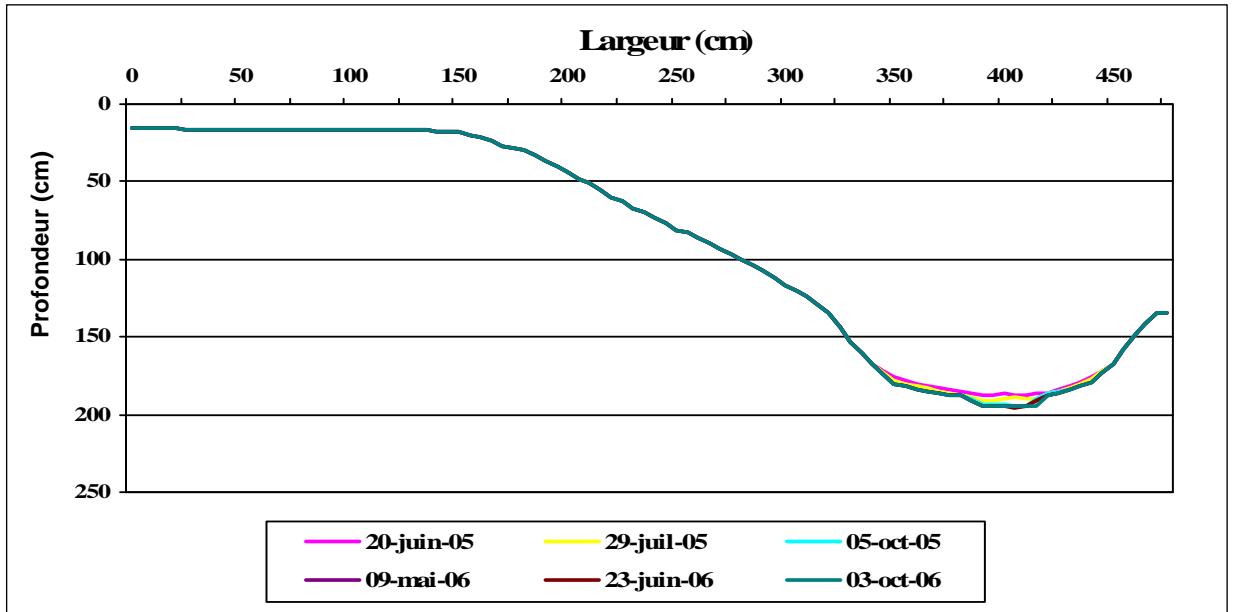
Site n° 8



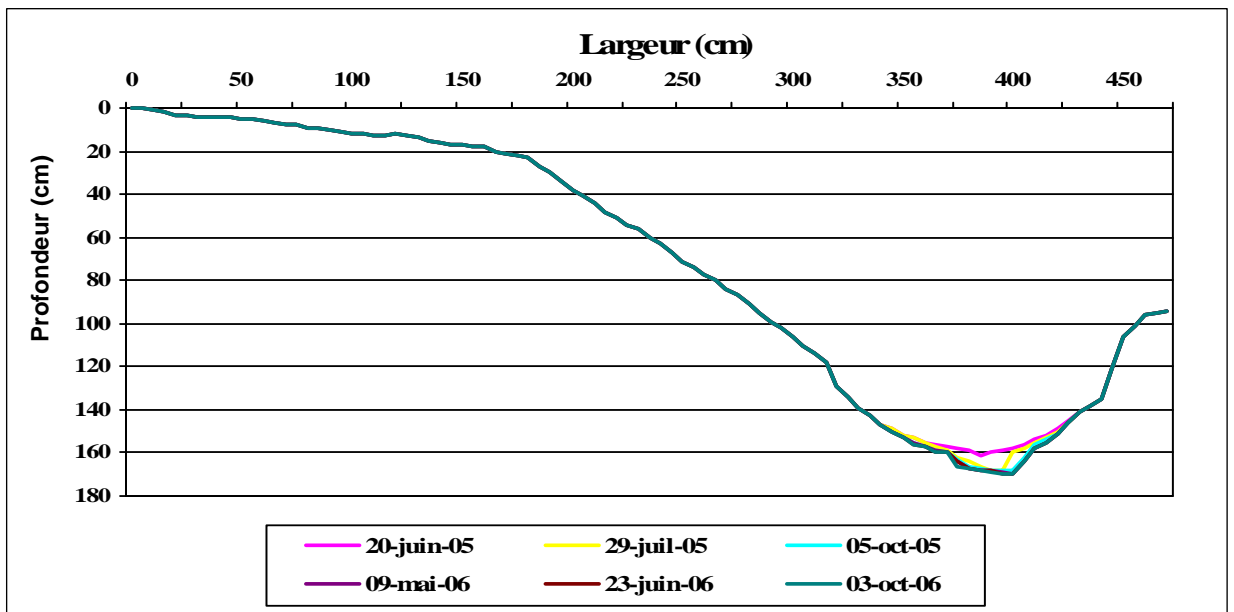
Évolution du transect n° 1 du fossé du site n° 8



Évolution du transect n° 2 du fossé du site n° 8

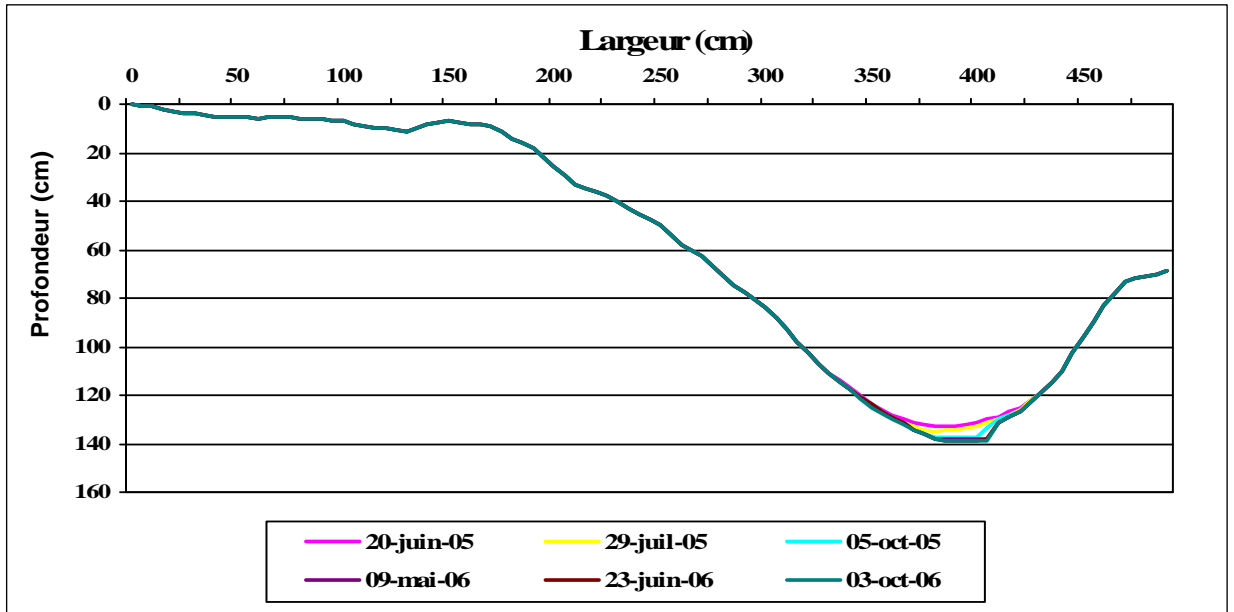


Évolution du transect n° 3 du fossé du site n° 8

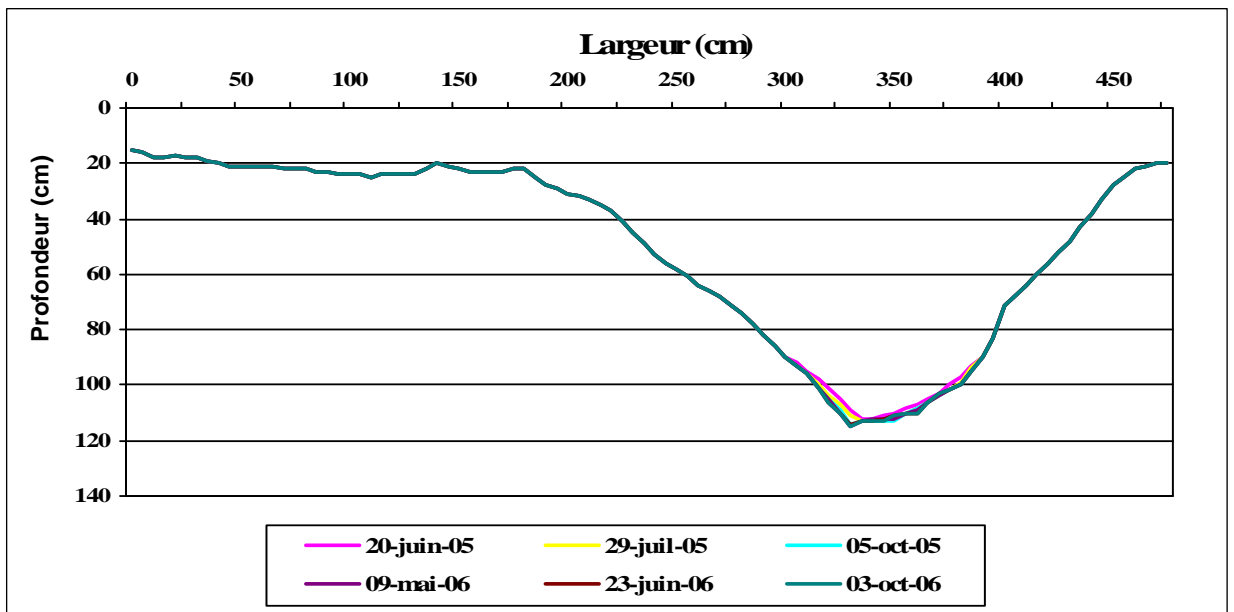


Évolution du transect n° 4 du fossé du site n° 8

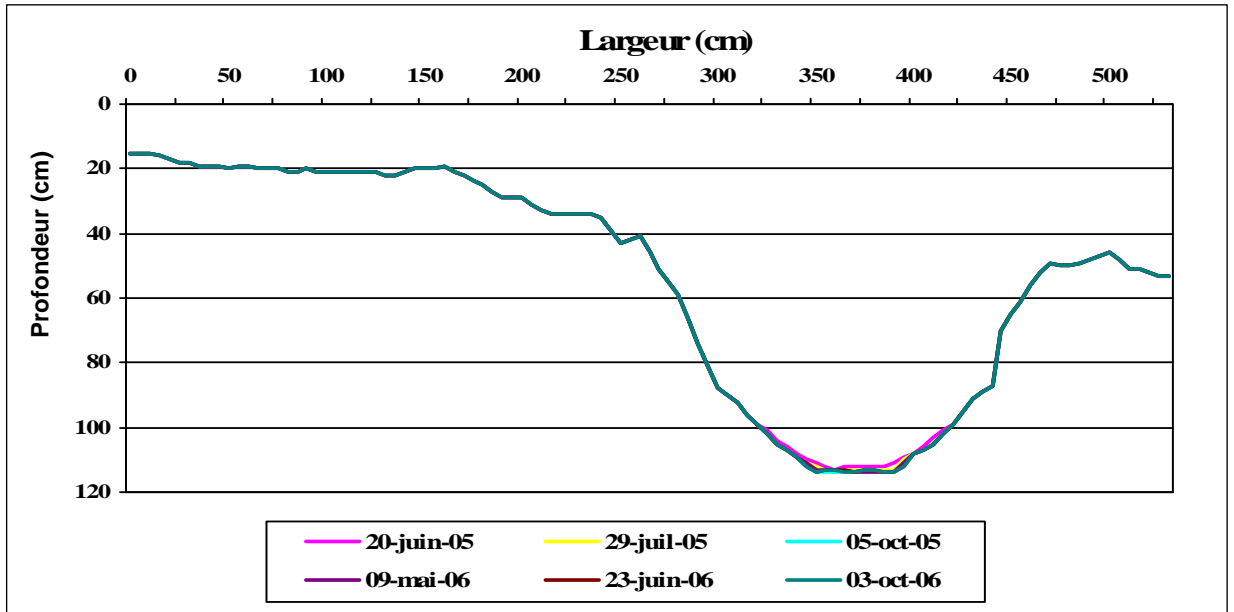




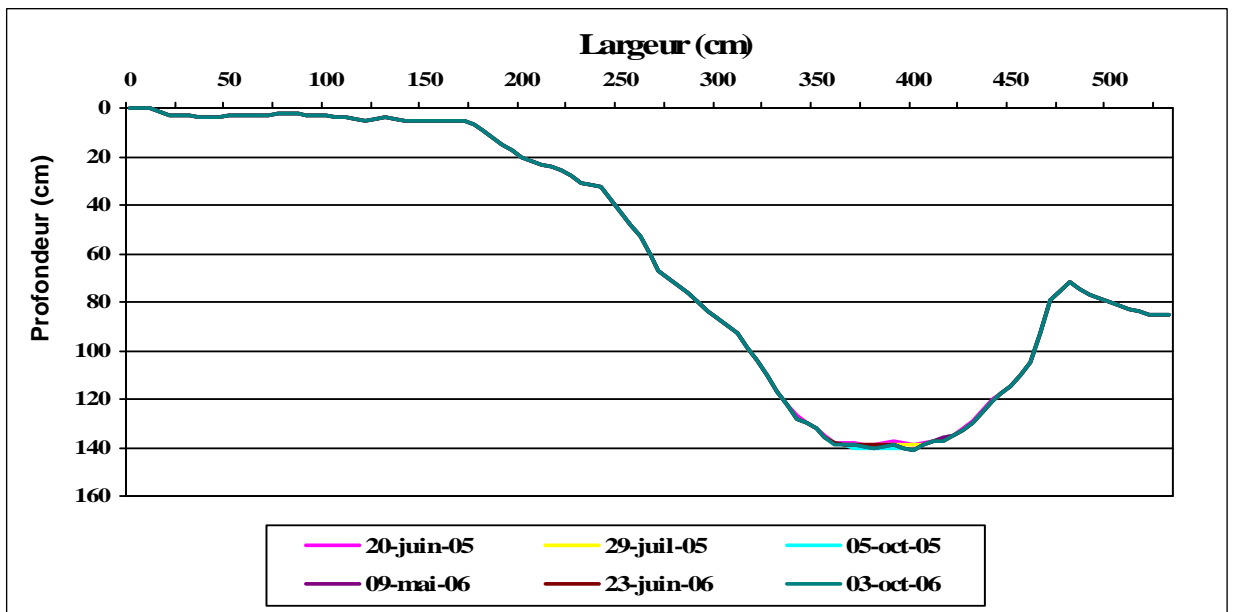
Évolution du transect n° 5 du fossé du site n° 8



Évolution du transect n° 6 du fossé du site n° 8

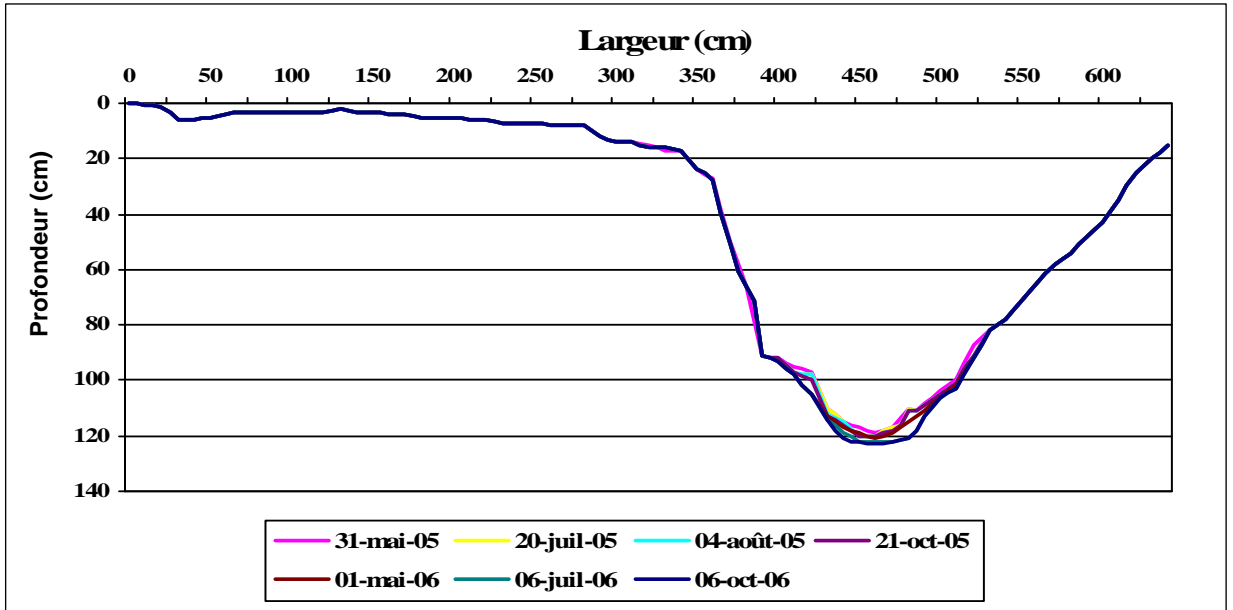


Évolution du transect n° 7 du fossé du site n° 8

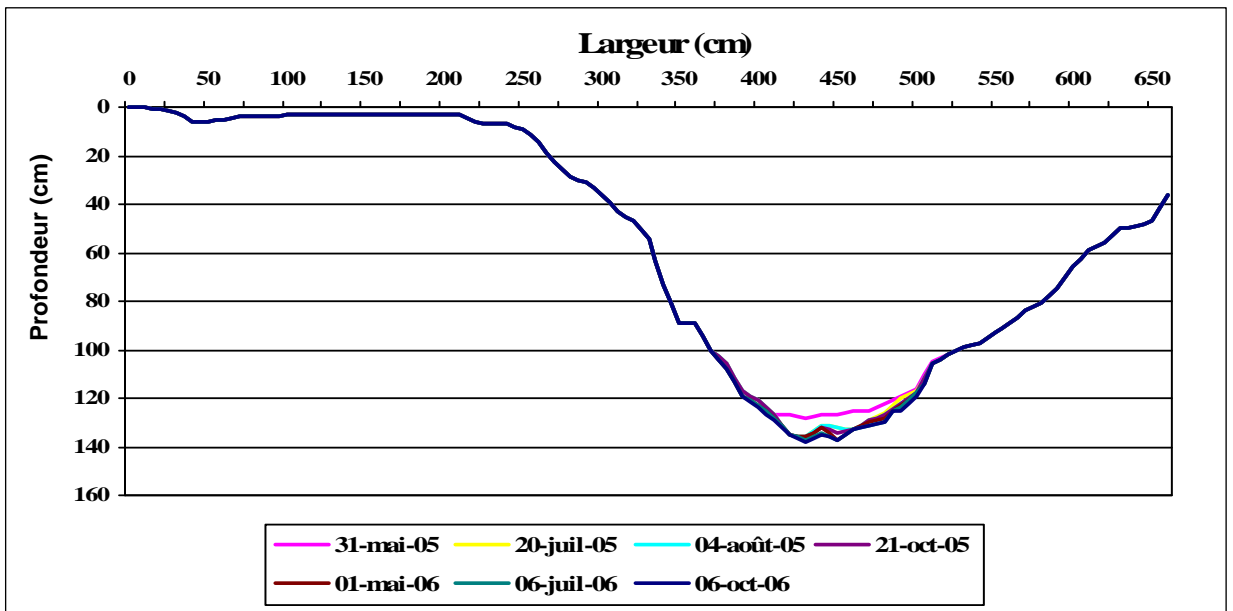


Évolution du transect n° 8 du fossé du site n° 8

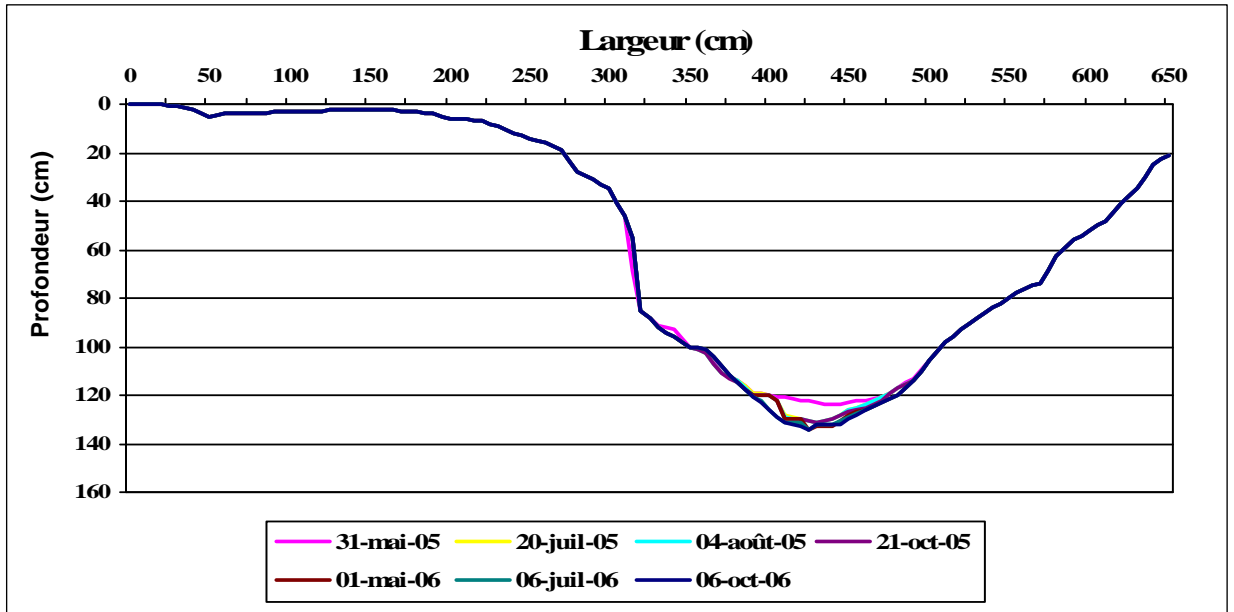
Site n° 9



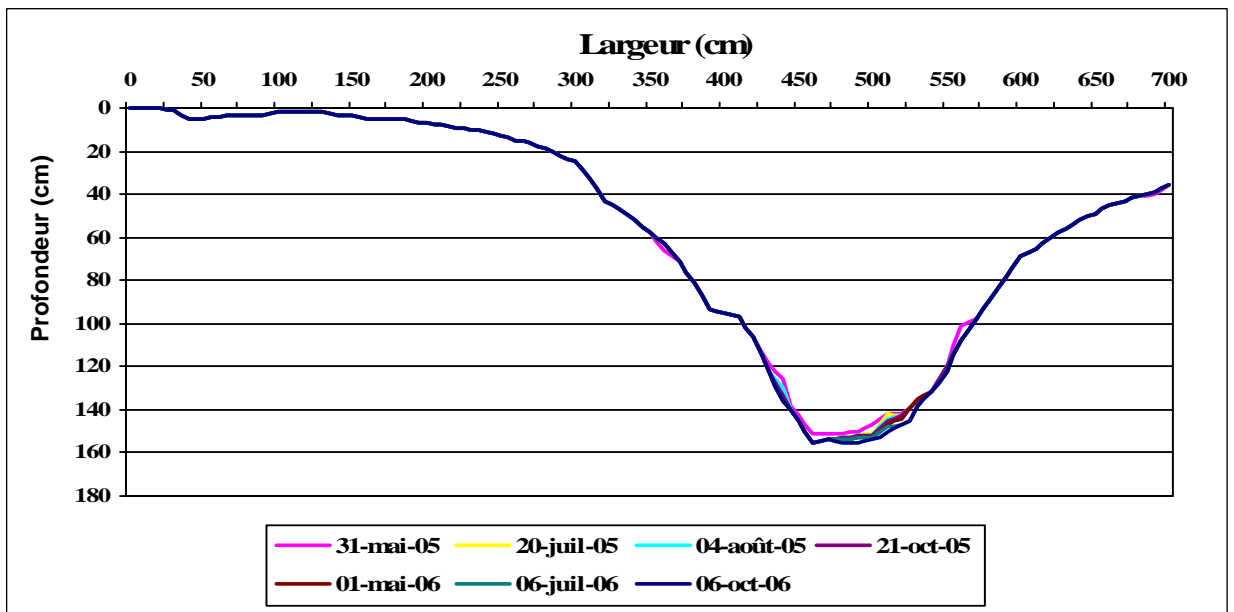
Évolution du transect n° 1 du fossé du site n° 9



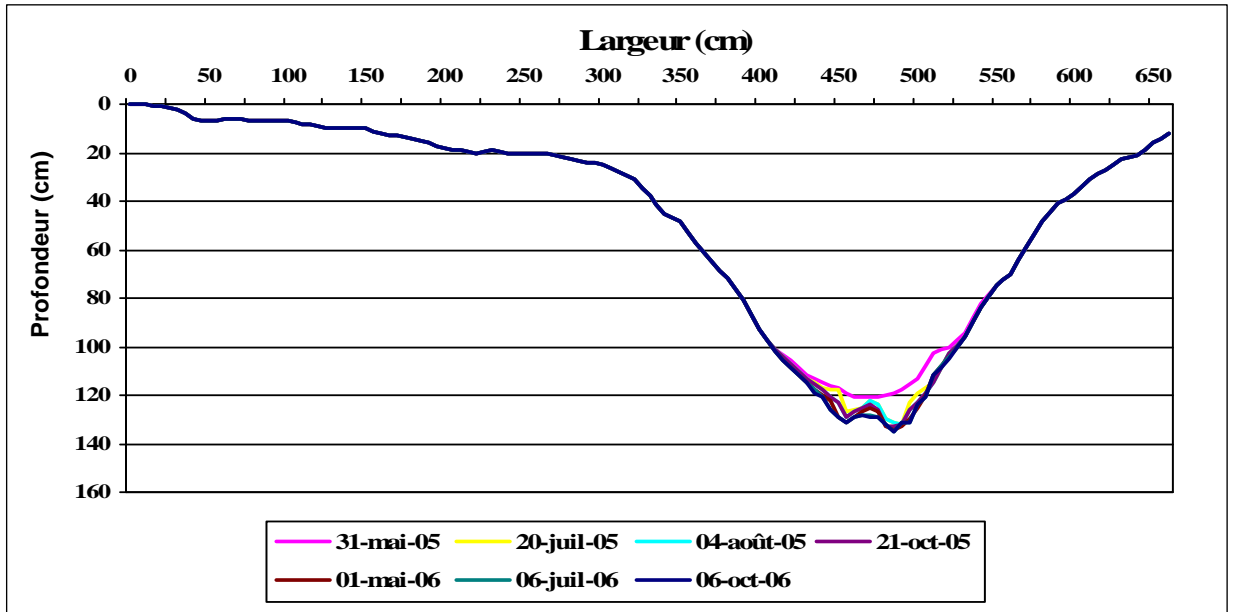
Évolution du transect n° 2 du fossé du site n° 9



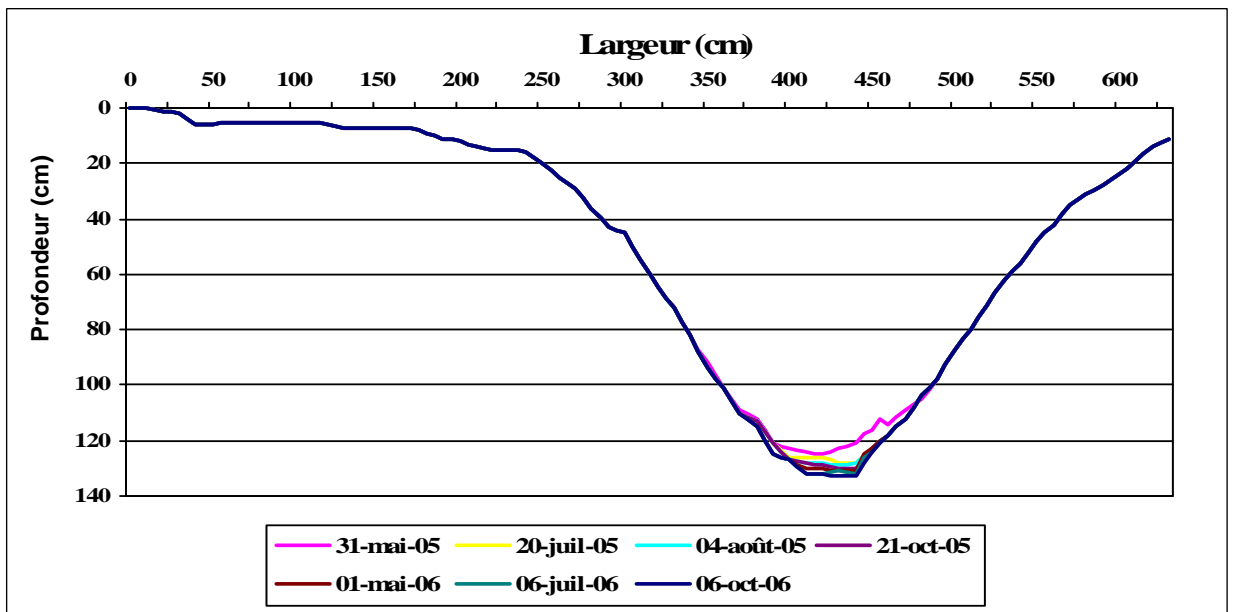
Évolution du transect n° 3 du fossé du site n° 9



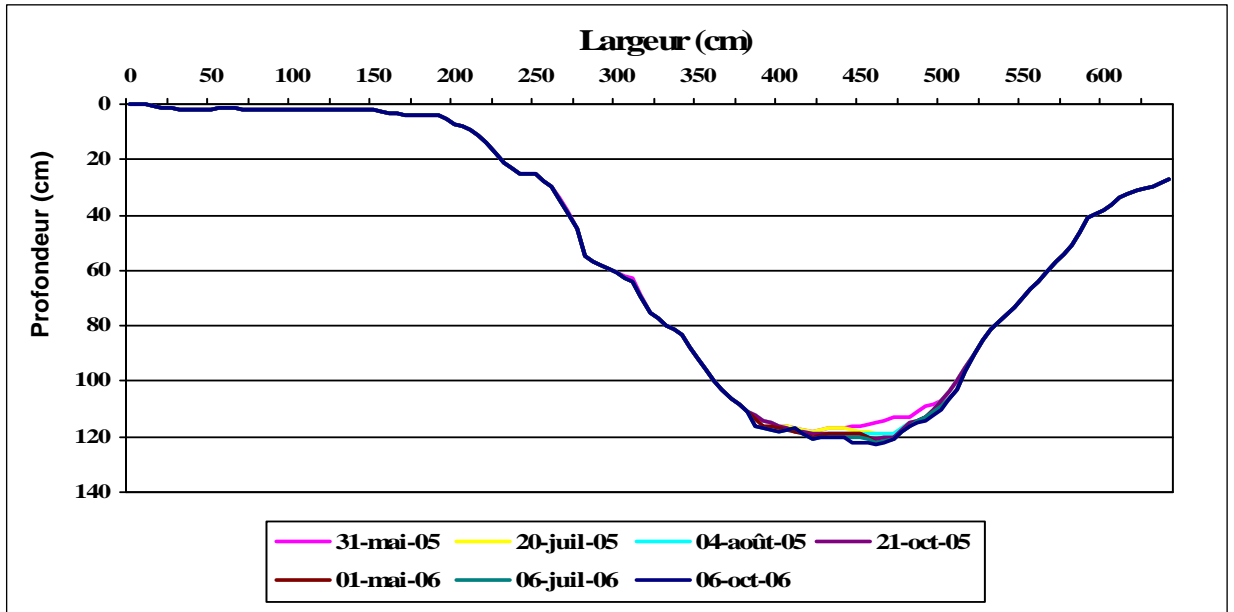
Évolution du transect n° 4 du fossé du site n° 9



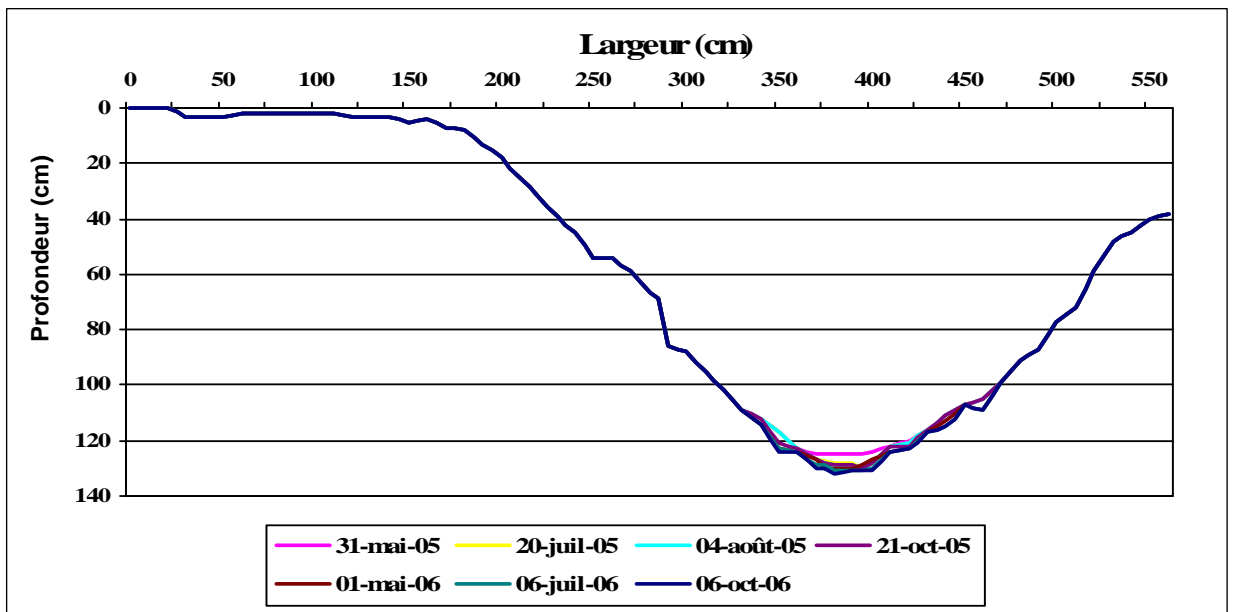
Évolution du transect n° 5 du fossé du site n° 9



Évolution du transect n° 6 du fossé du site n° 9

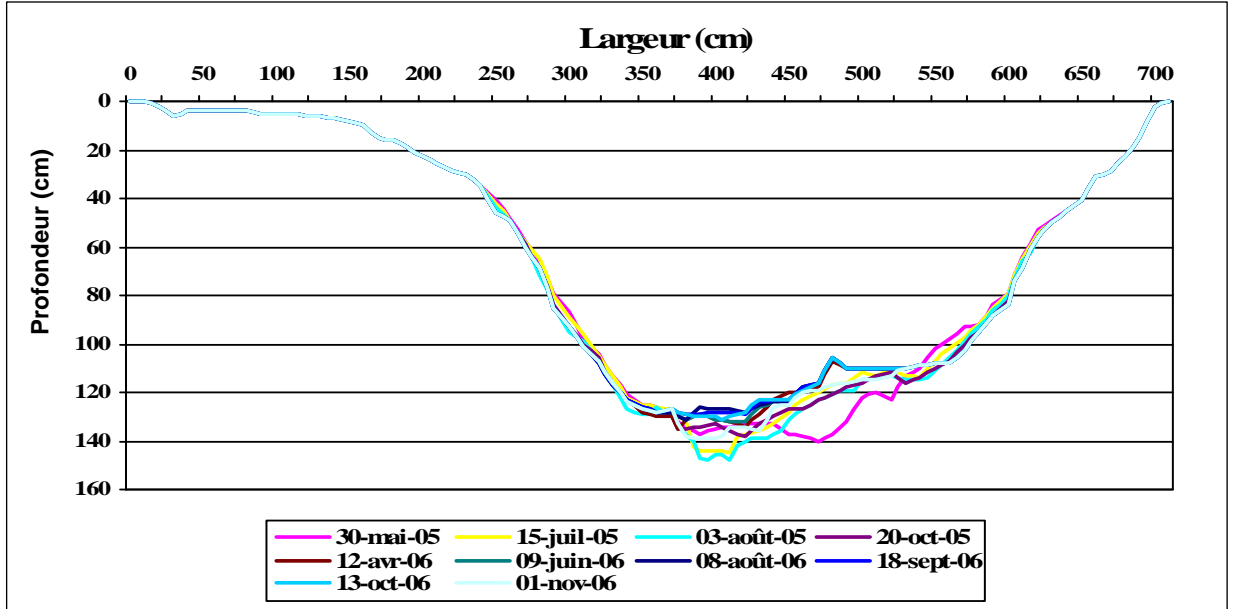


Évolution du transect n° 7 du fossé du site n° 9

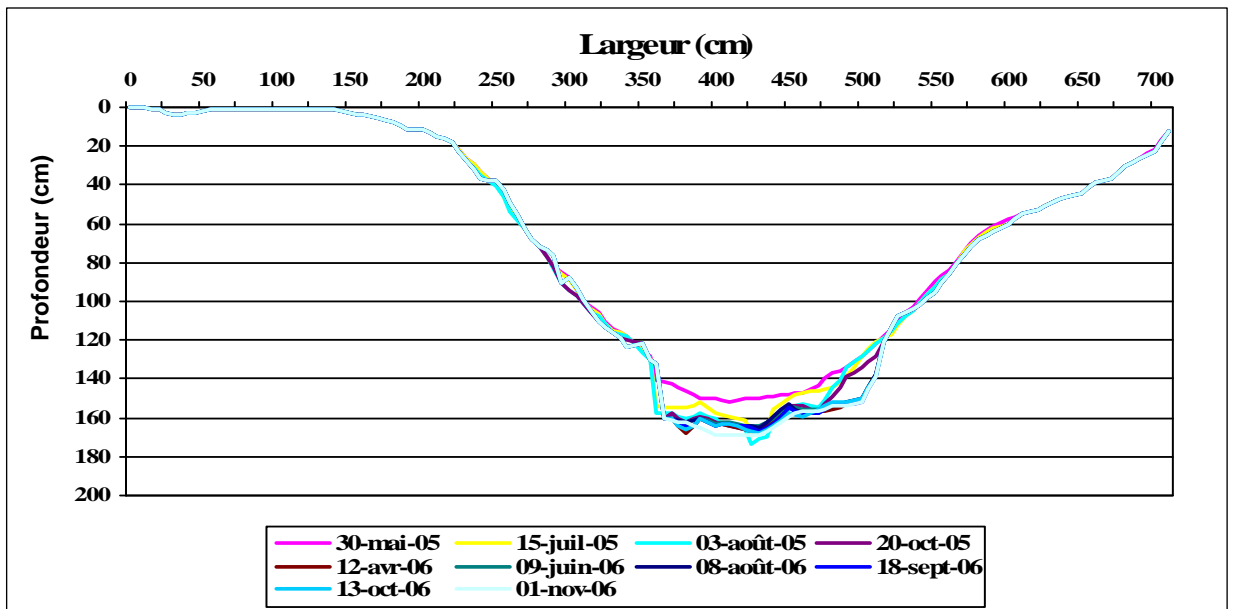


Évolution du transect n° 8 du fossé du site n° 9

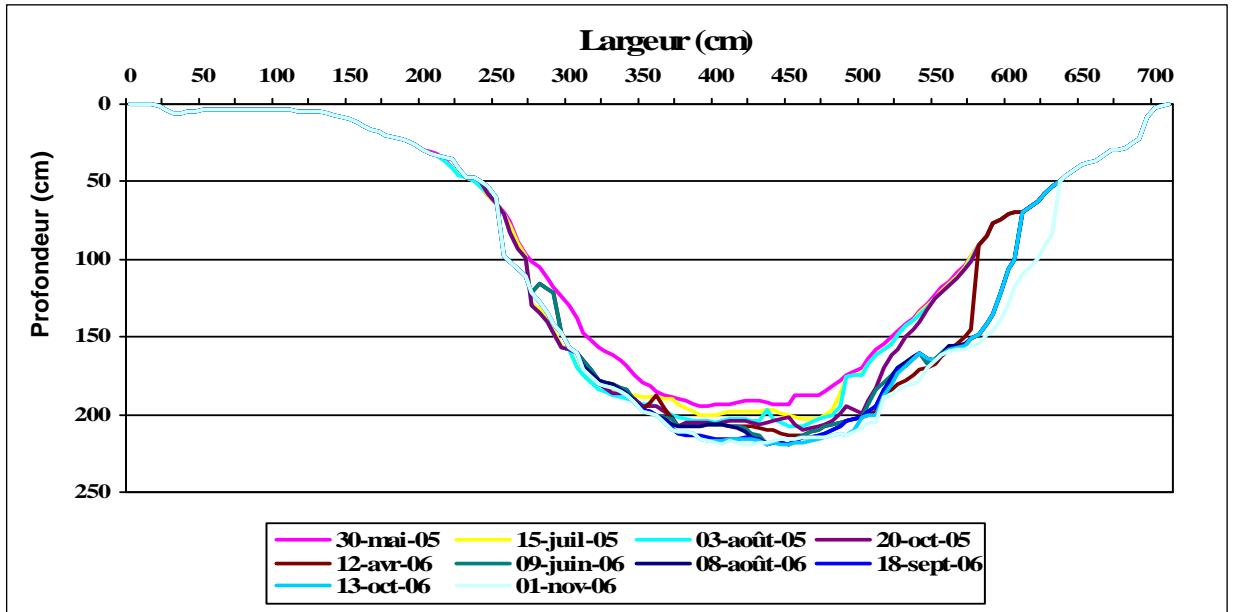
Site n° 10



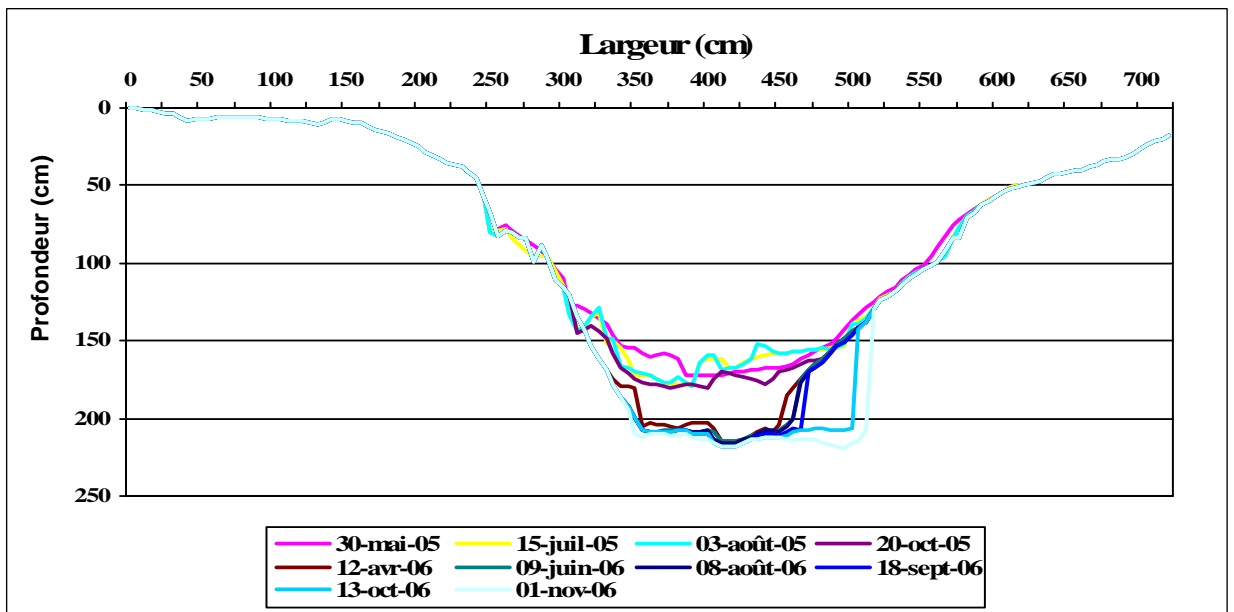
Évolution du transect n° 1 du fossé du site n° 10



Évolution du transect n° 2 du fossé du site n° 10

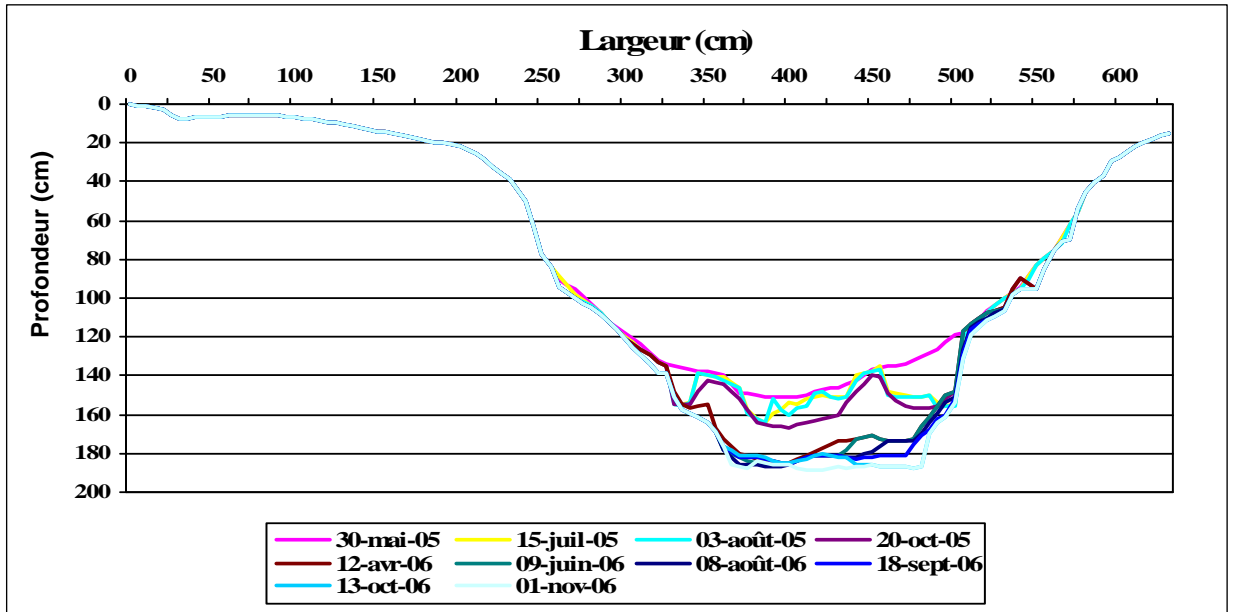


Évolution du transect n° 3 du fossé du site n° 10

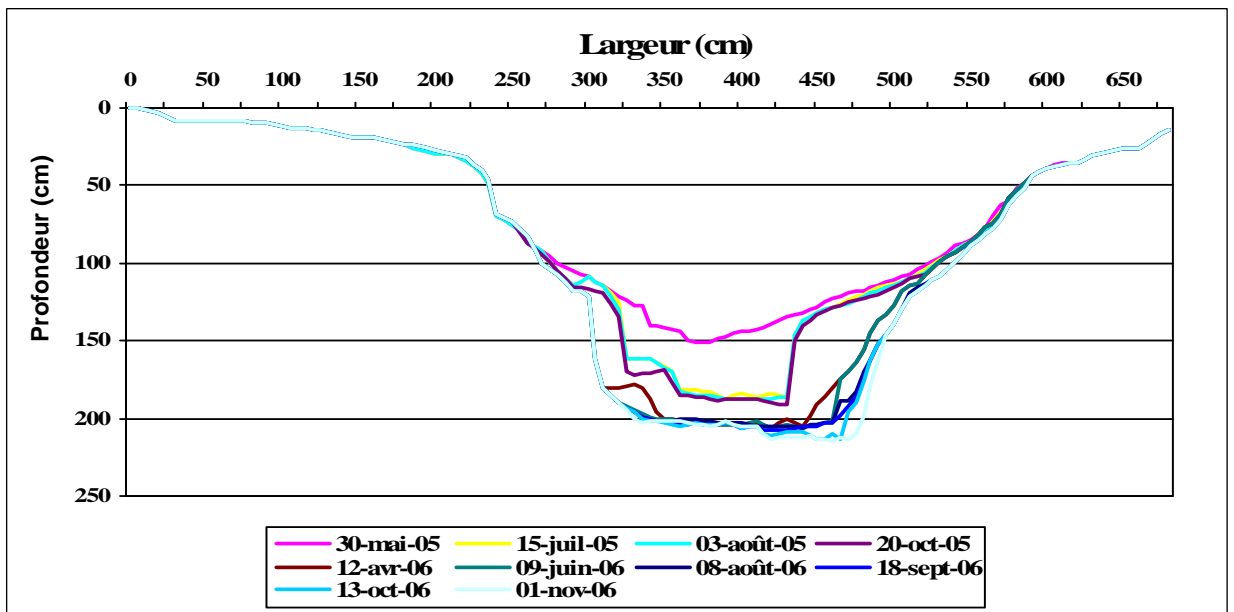


Évolution du transect n° 4 du fossé du site n° 10

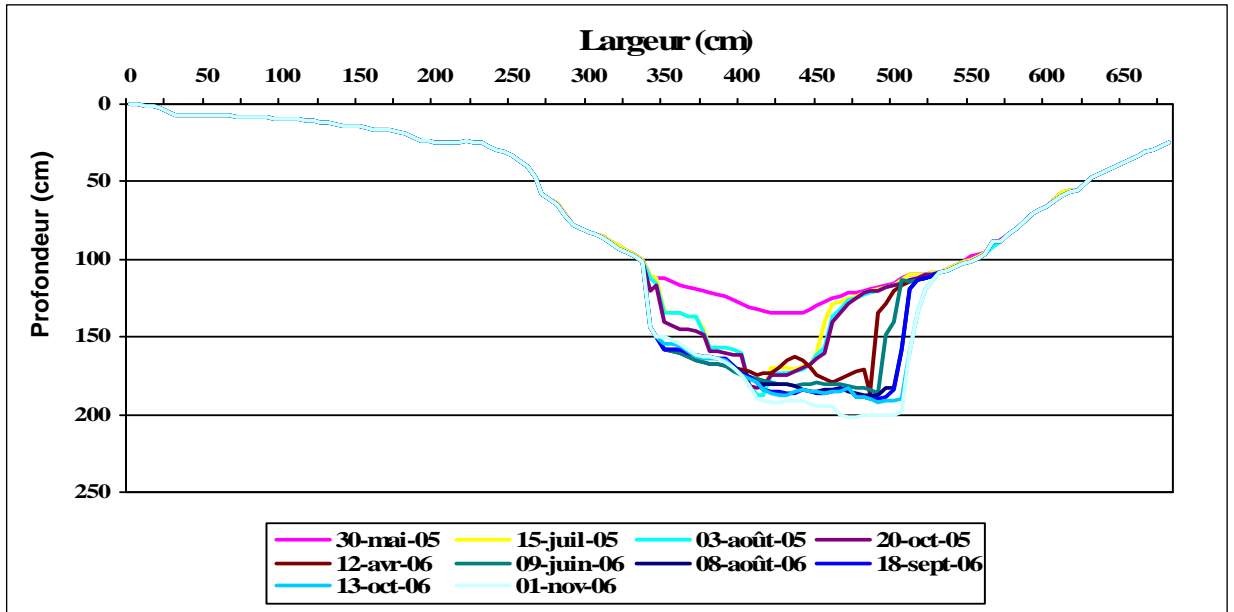




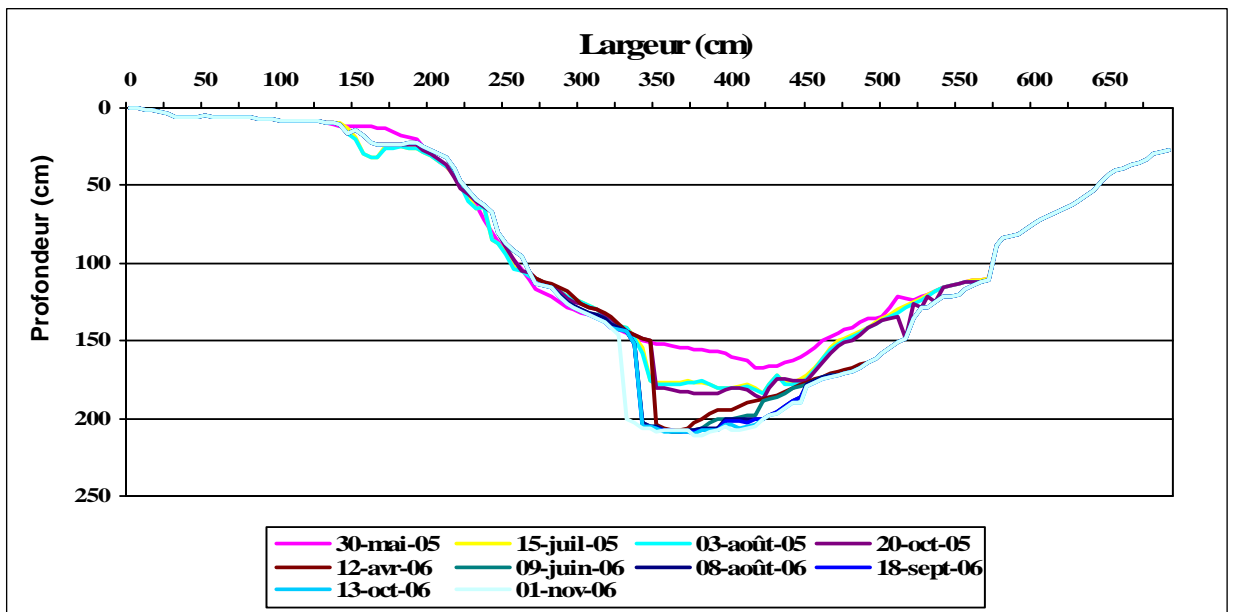
Évolution du transect n° 5 du fossé du site n° 10



Évolution du transect n° 6 du fossé du site n° 10

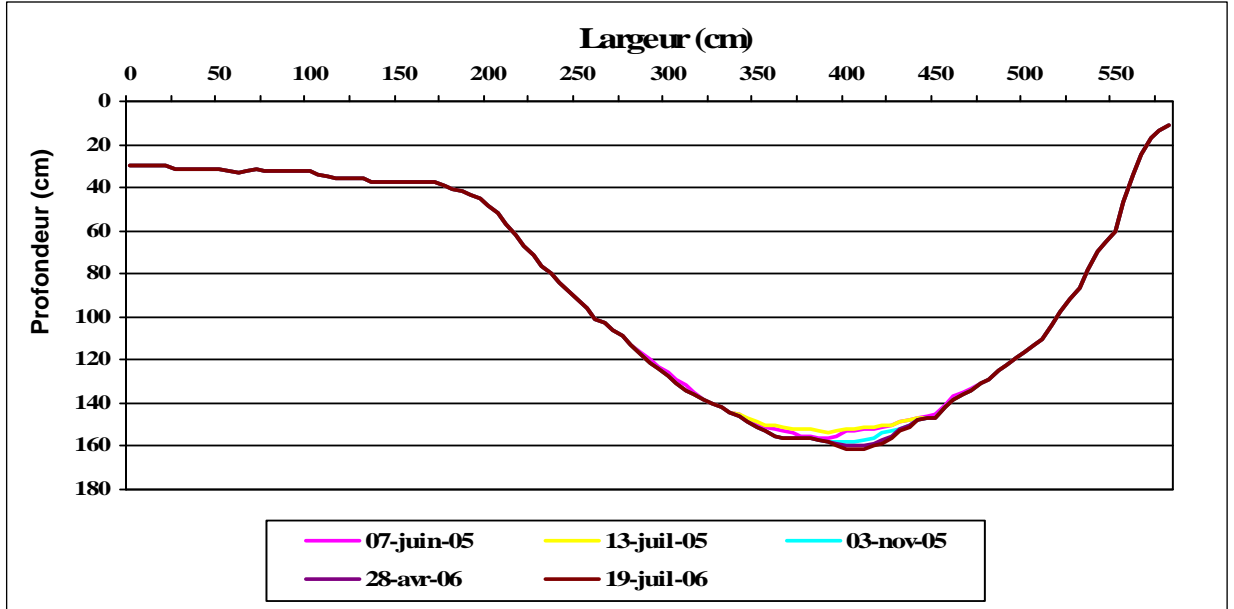


Évolution du transect n° 7 du fossé du site n° 10

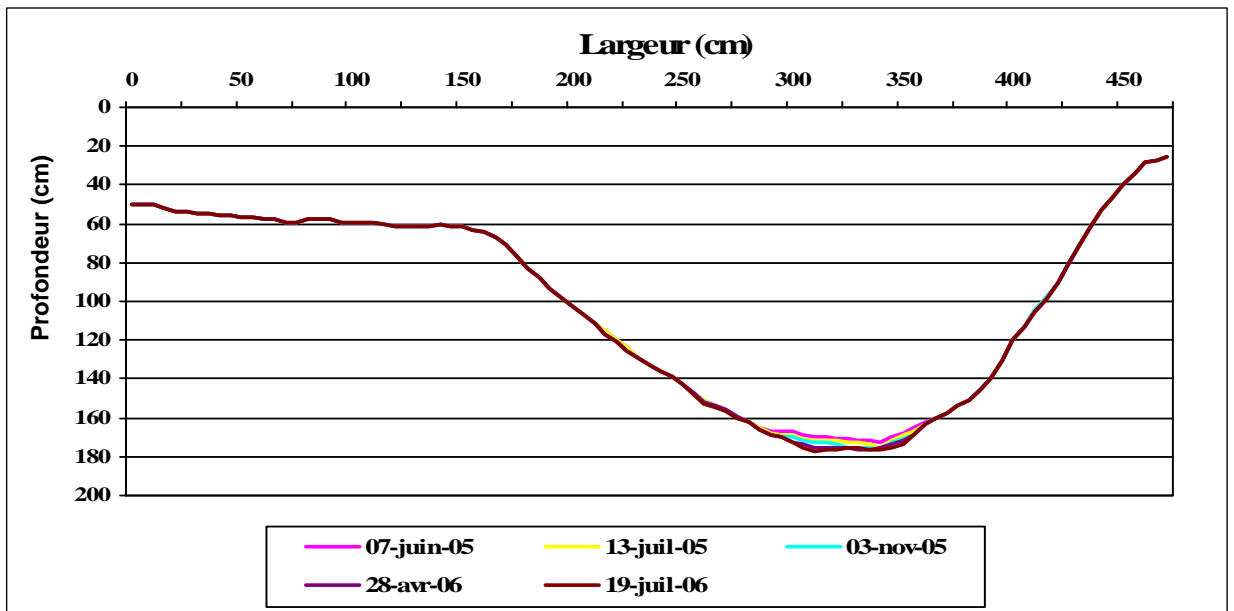


Évolution du transect n° 8 du fossé du site n° 10

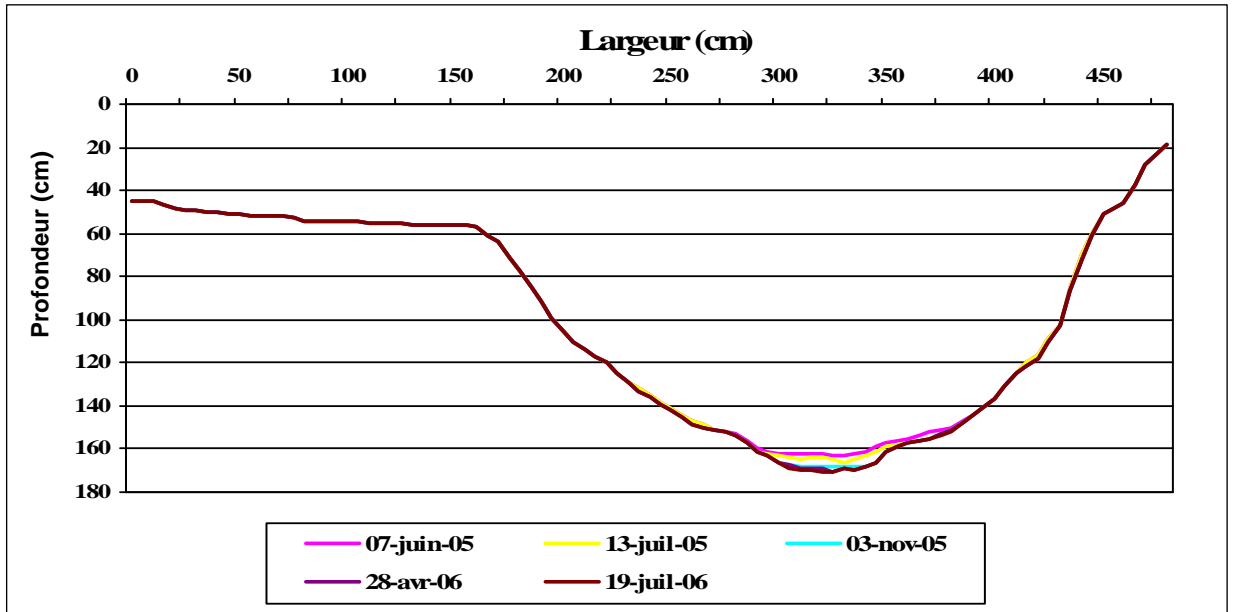
Site n° 11



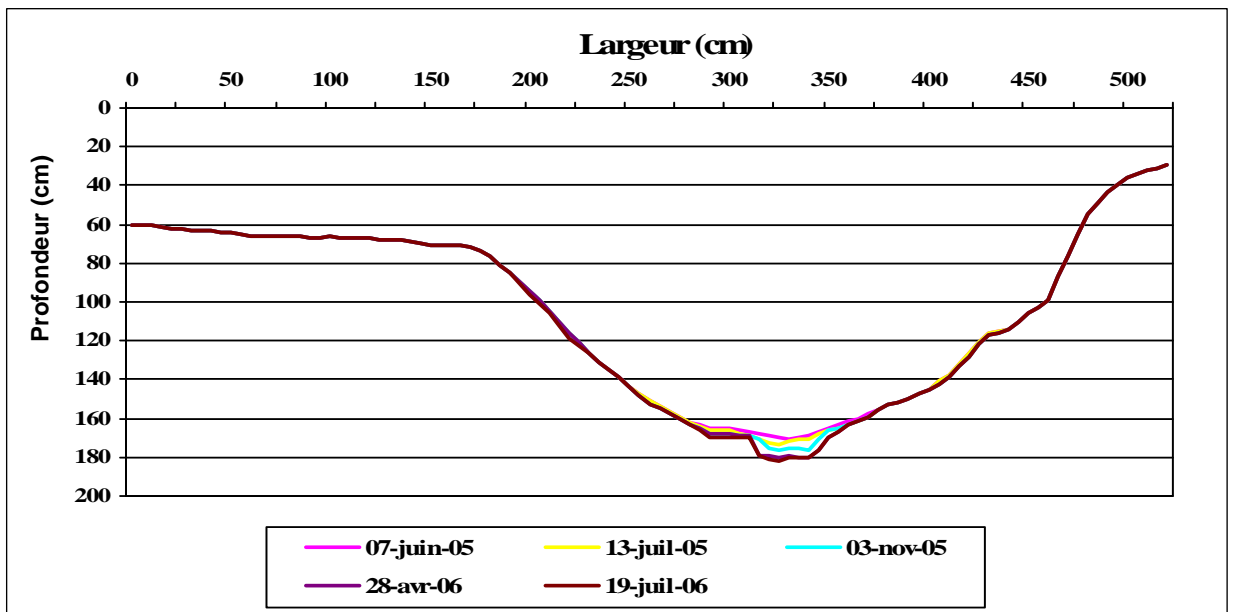
Évolution du transect n° 1 du fossé du site n° 11



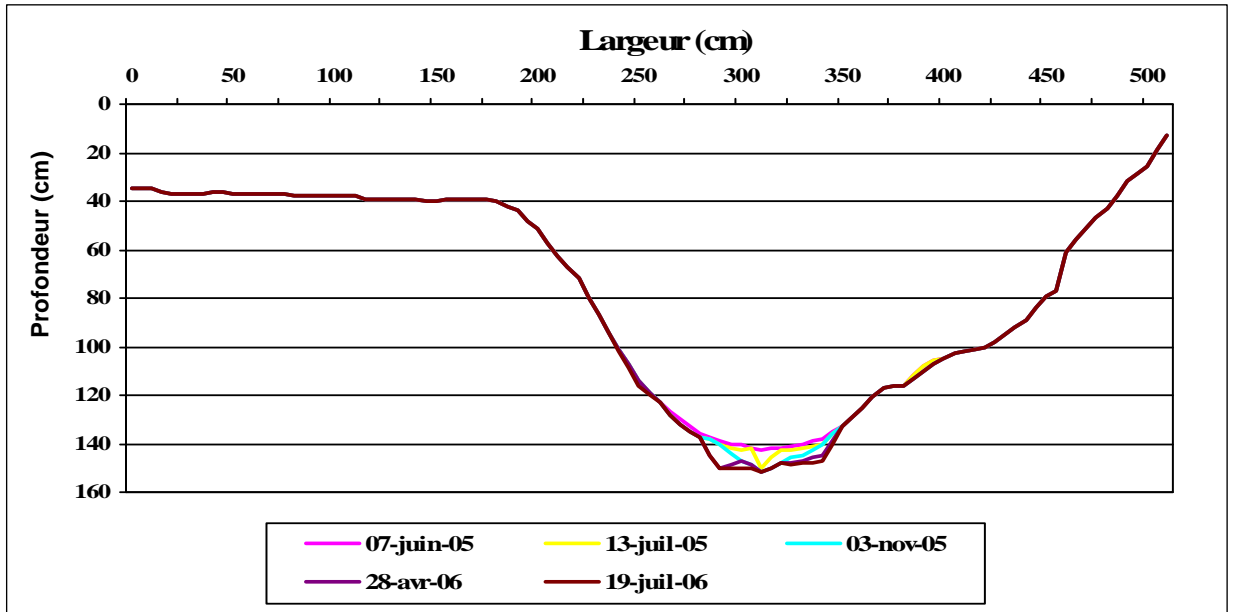
Évolution du transect n° 2 du fossé du site n° 11



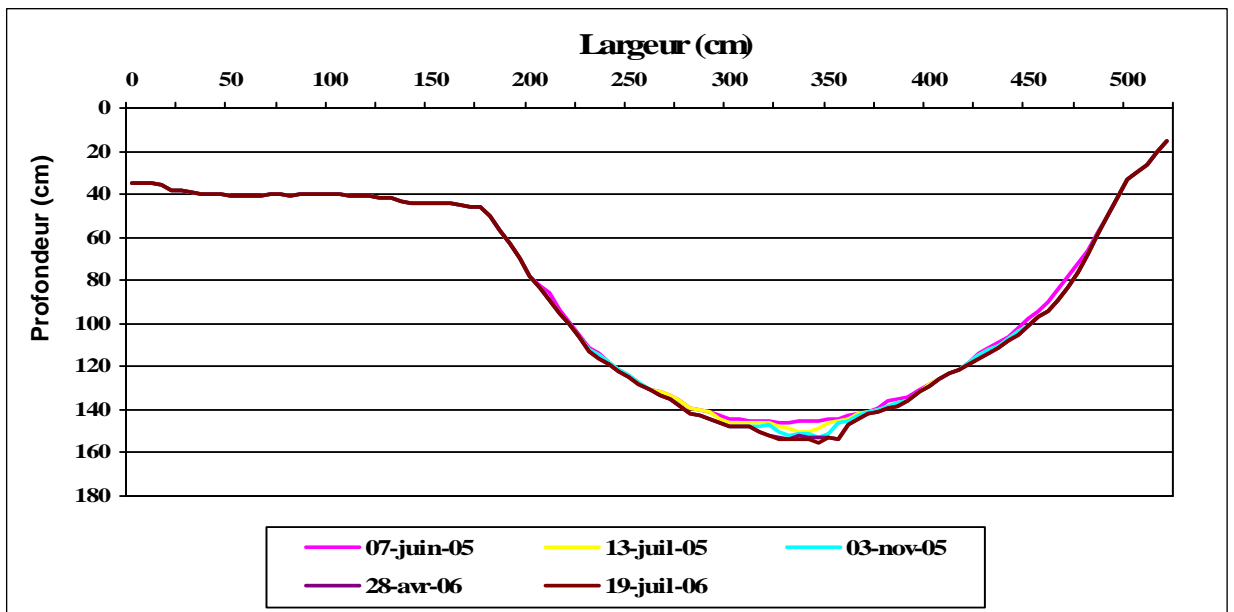
Évolution du transect n° 3 du fossé du site n° 11



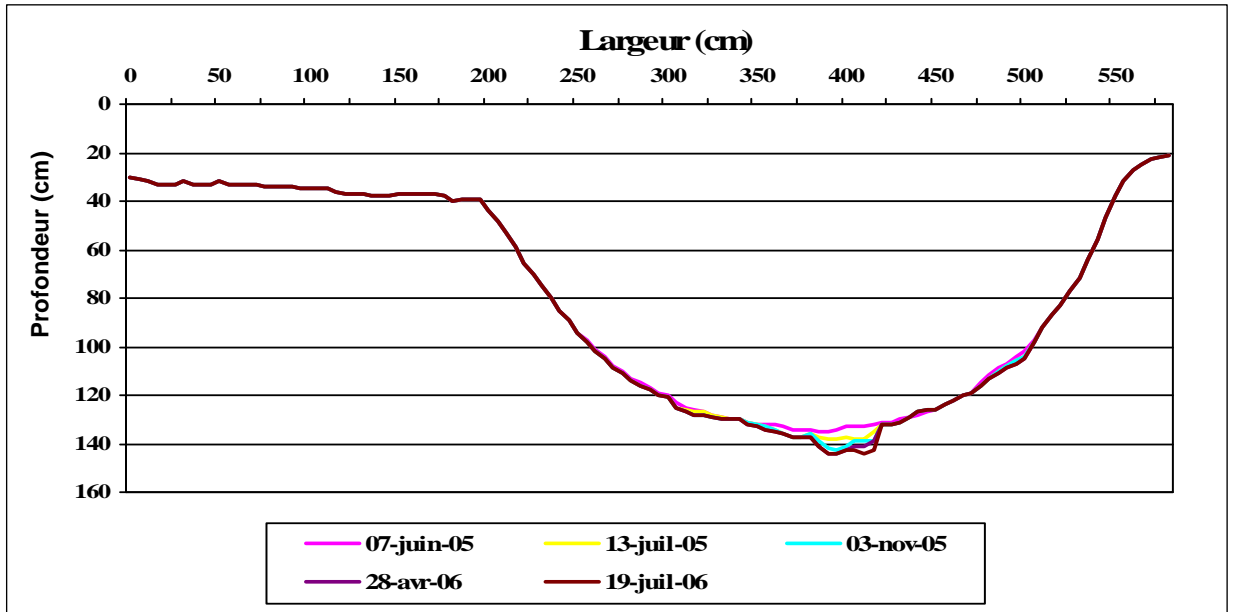
Évolution du transect n° 4 du fossé du site n° 11



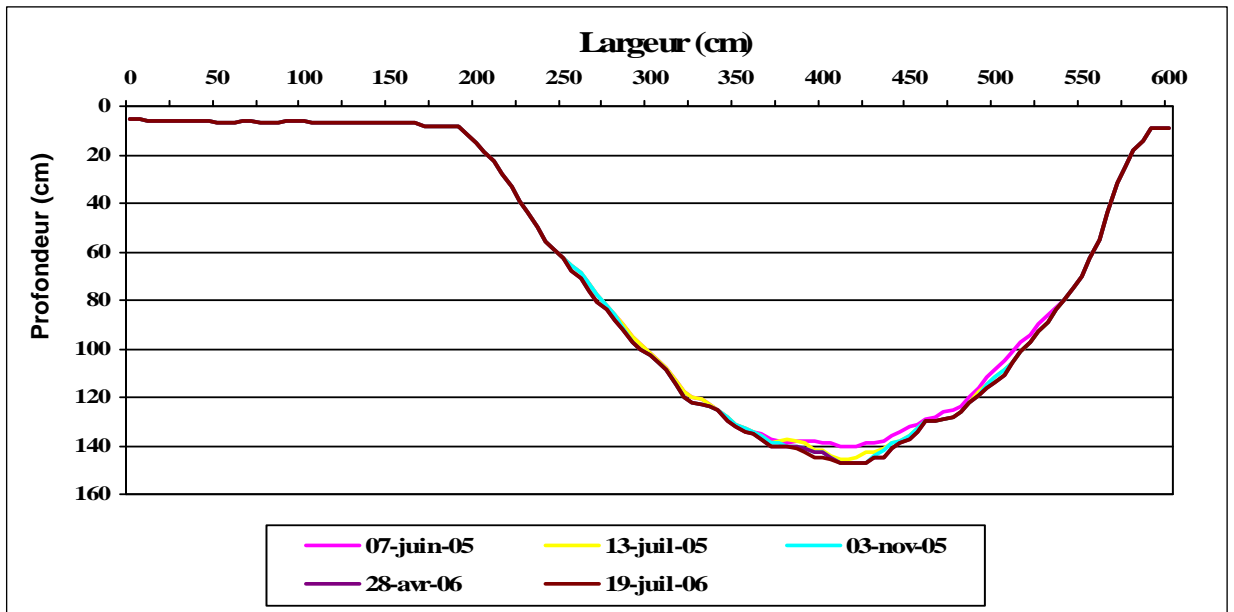
Évolution du transect n° 5 du fossé du site n° 11



Évolution du transect n° 6 du fossé du site n° 11

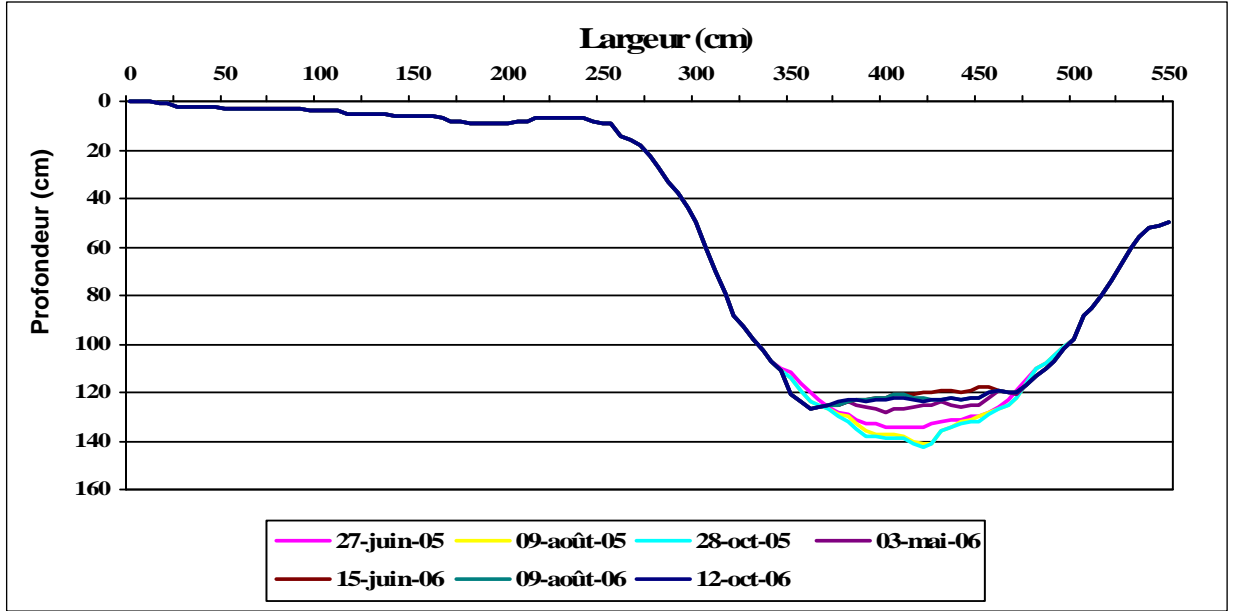


Évolution du transect n° 7 du fossé du site n° 11

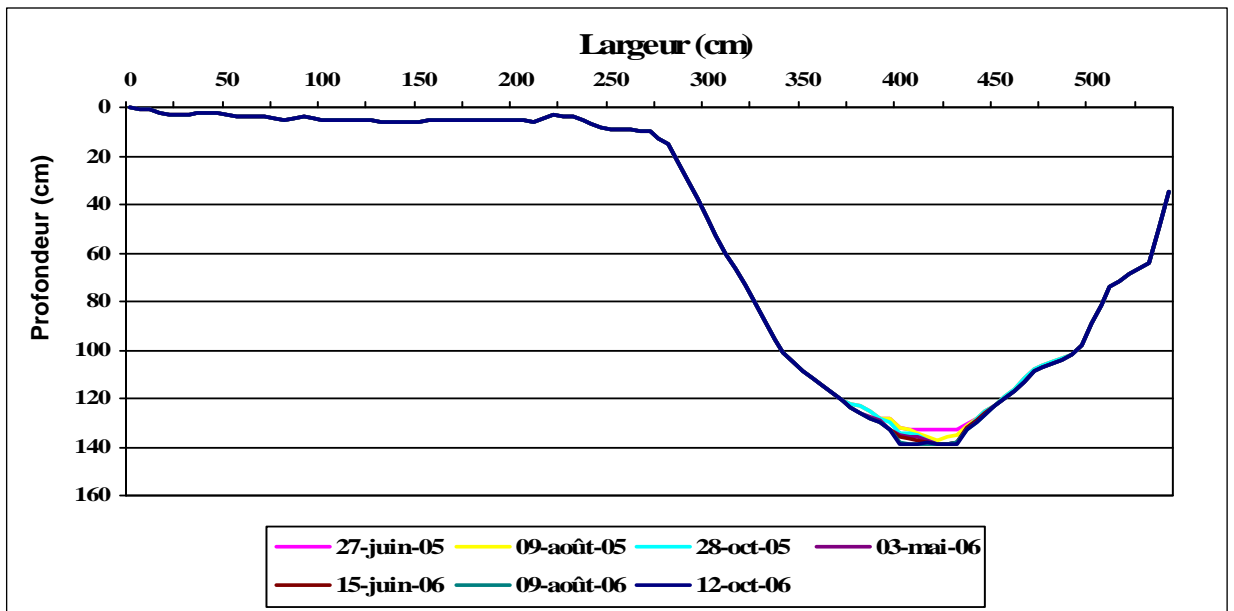


Évolution du transect n° 8 du fossé du site n° 11

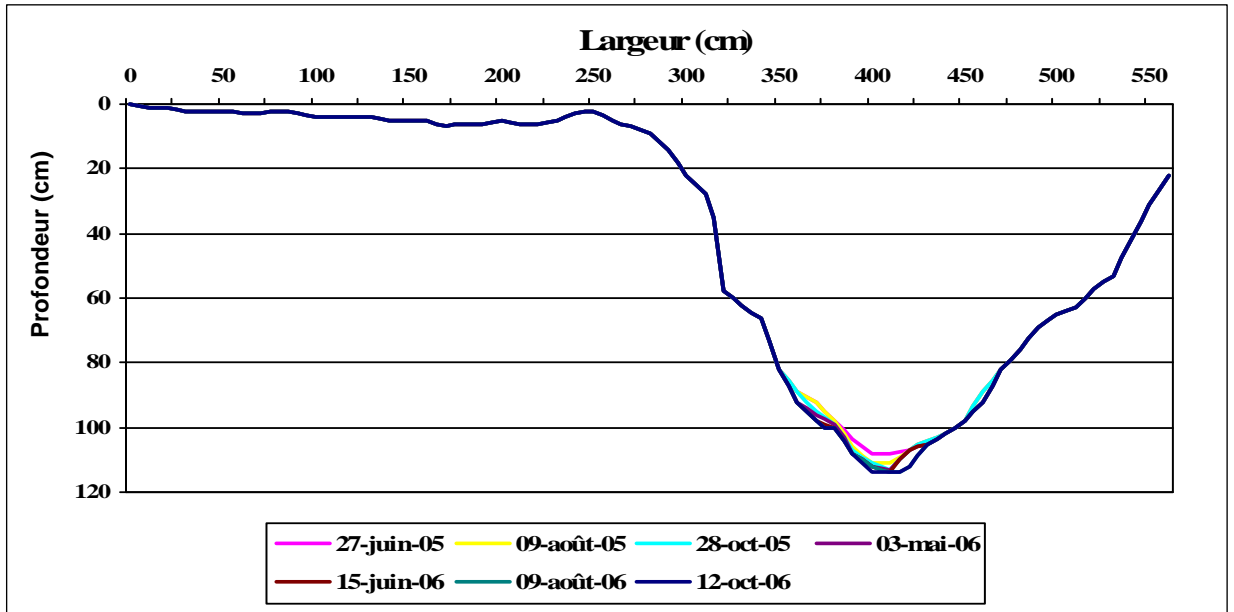
Site n° 12



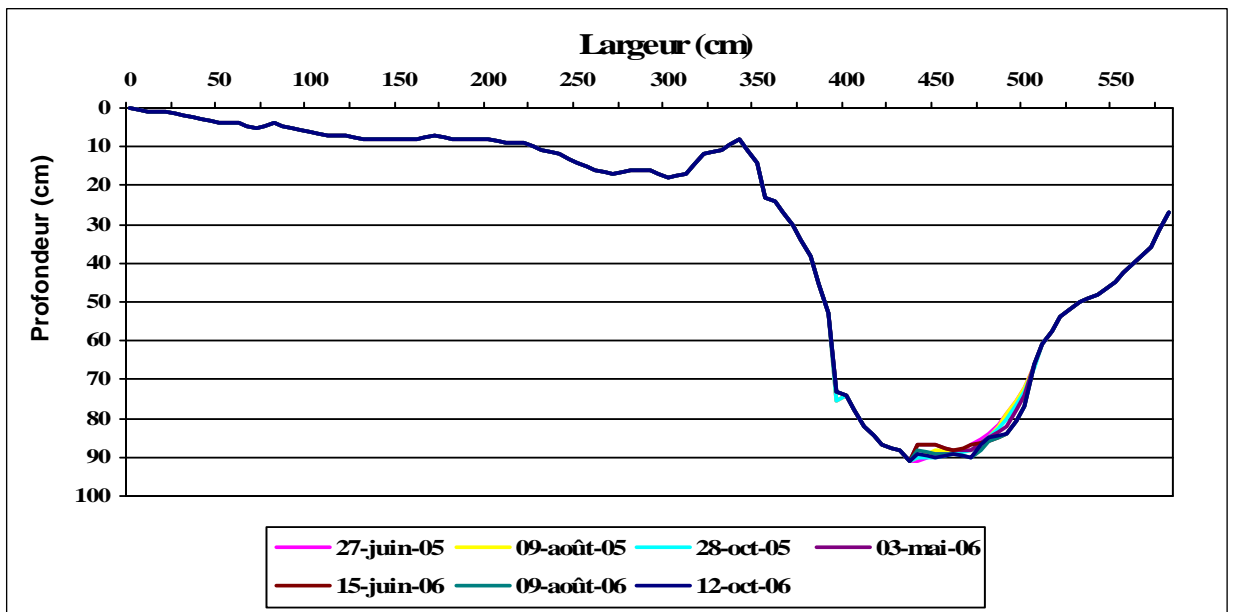
Évolution du transect n° 1 du fossé du site n° 12



Évolution du transect n° 2 du fossé du site n° 12

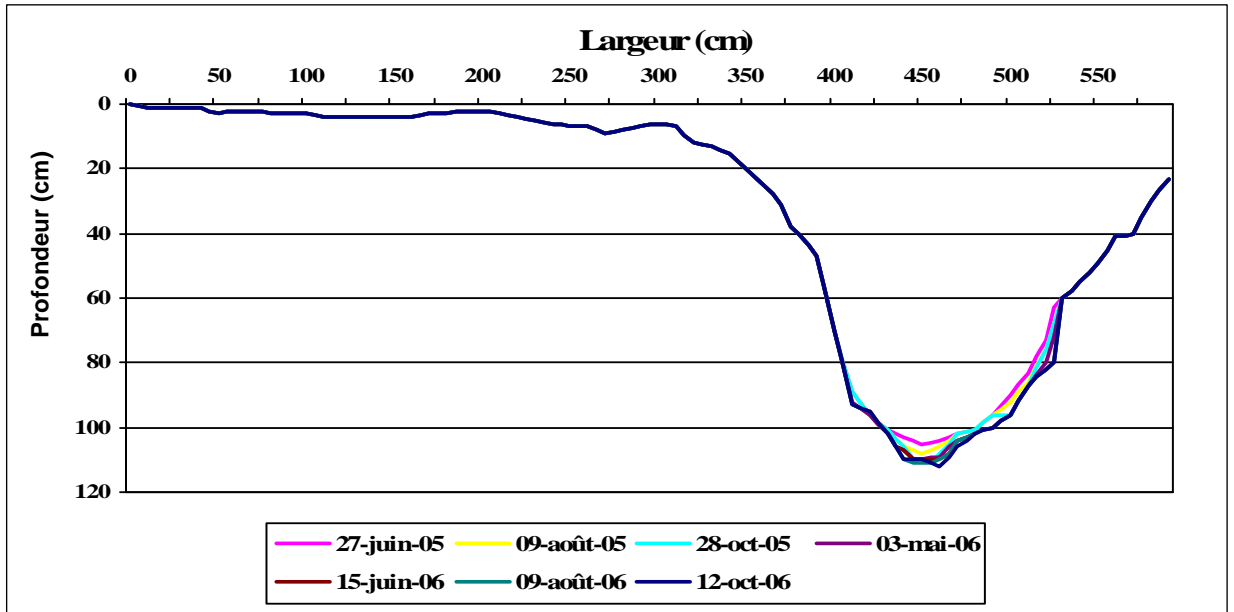


Évolution du transect n° 3 du fossé du site n° 12

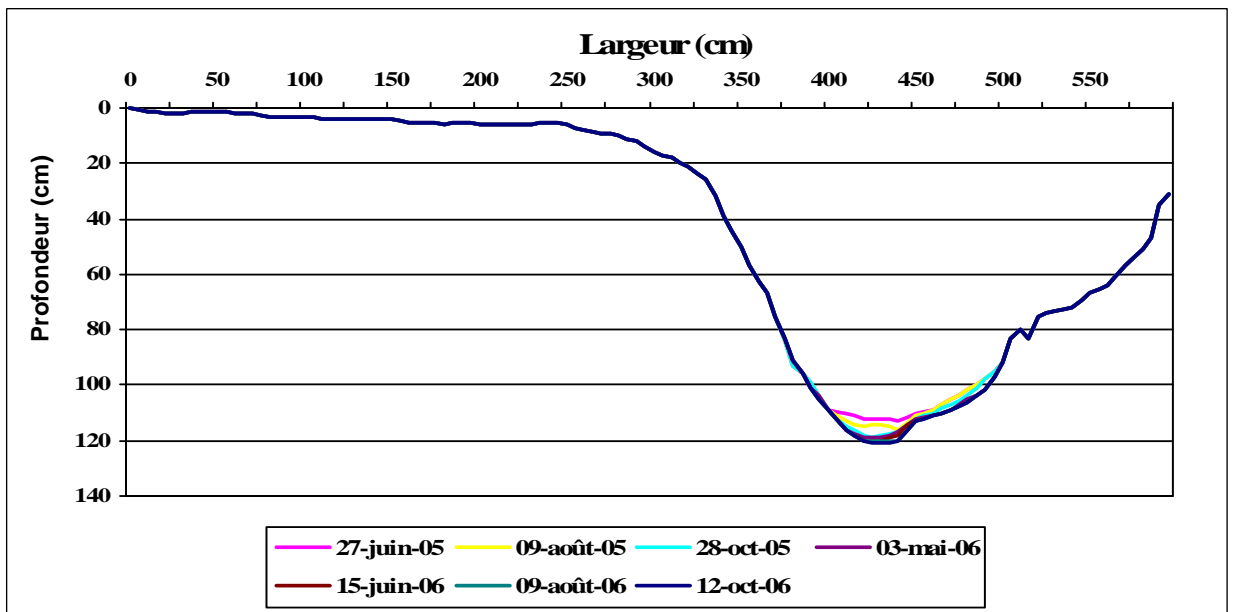


Évolution du transect n° 4 du fossé du site n° 12

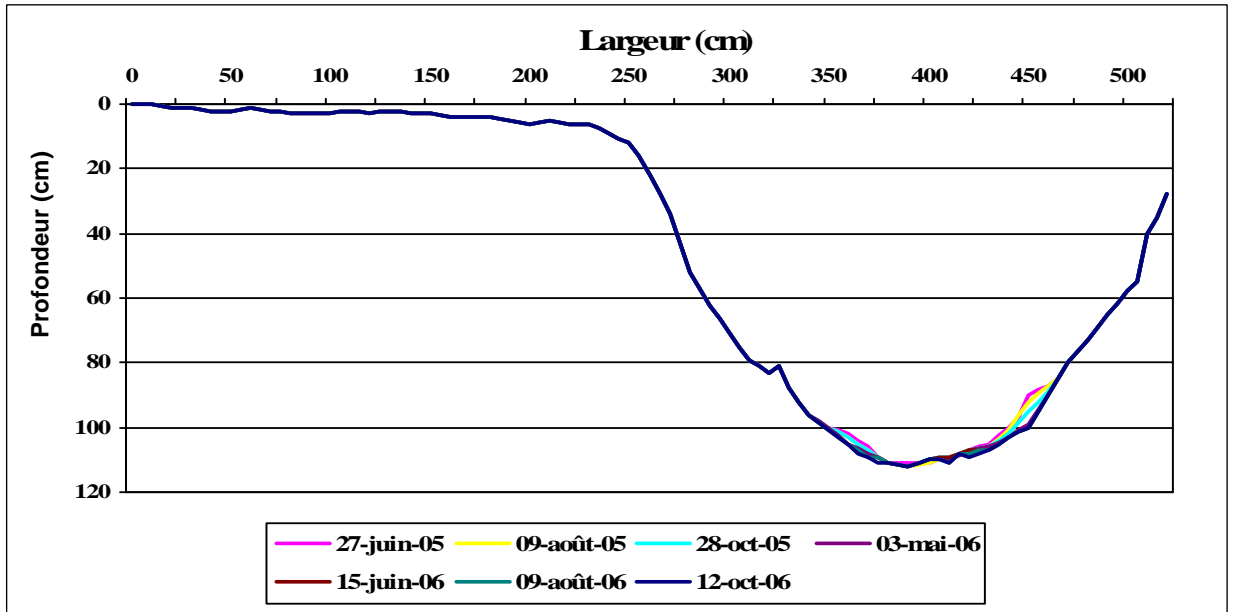




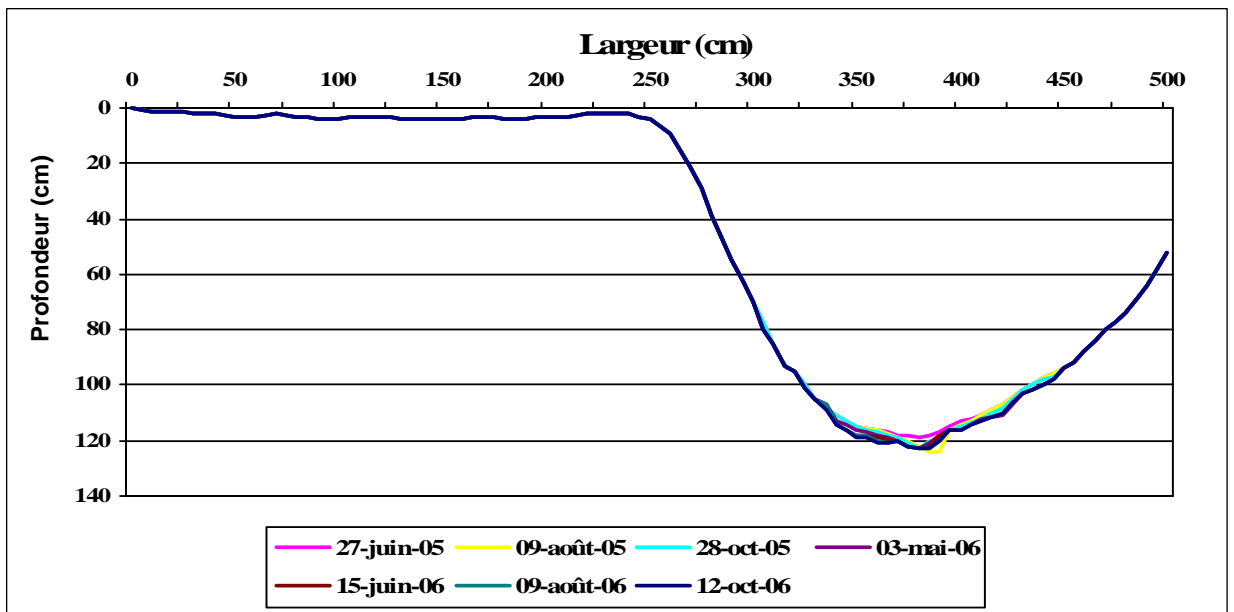
Évolution du transect n° 5 du fossé du site n° 12



Évolution du transect n° 6 du fossé du site n° 12

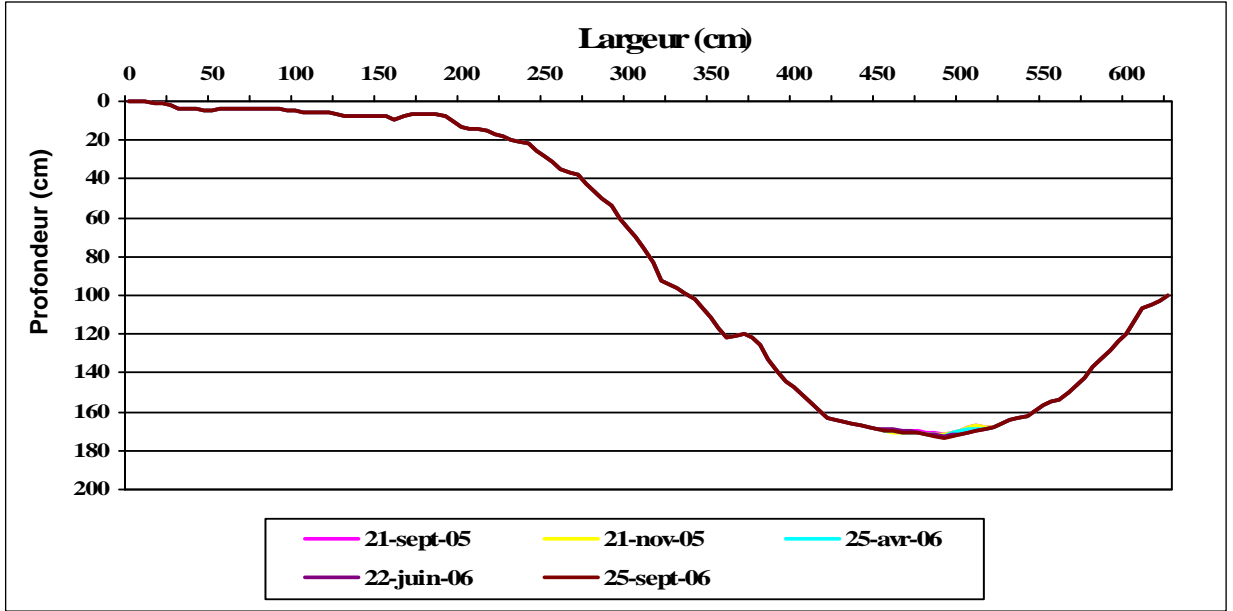


Évolution du transect n° 7 du fossé du site n° 12

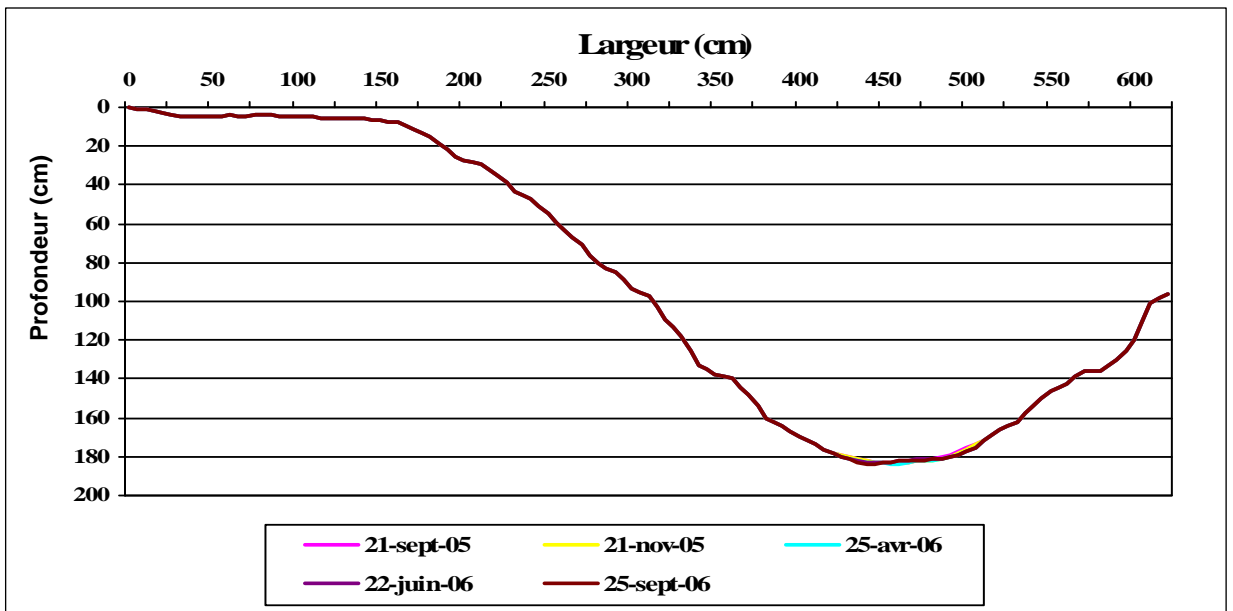


Évolution du transect n° 8 du fossé du site n° 12

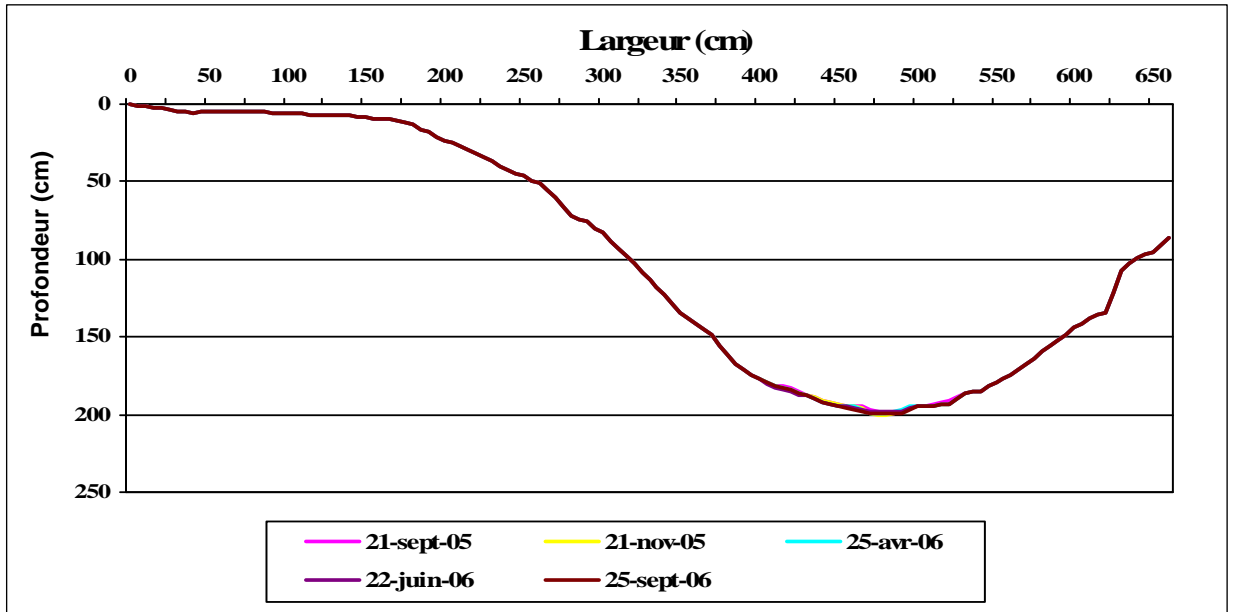
Site n° 14



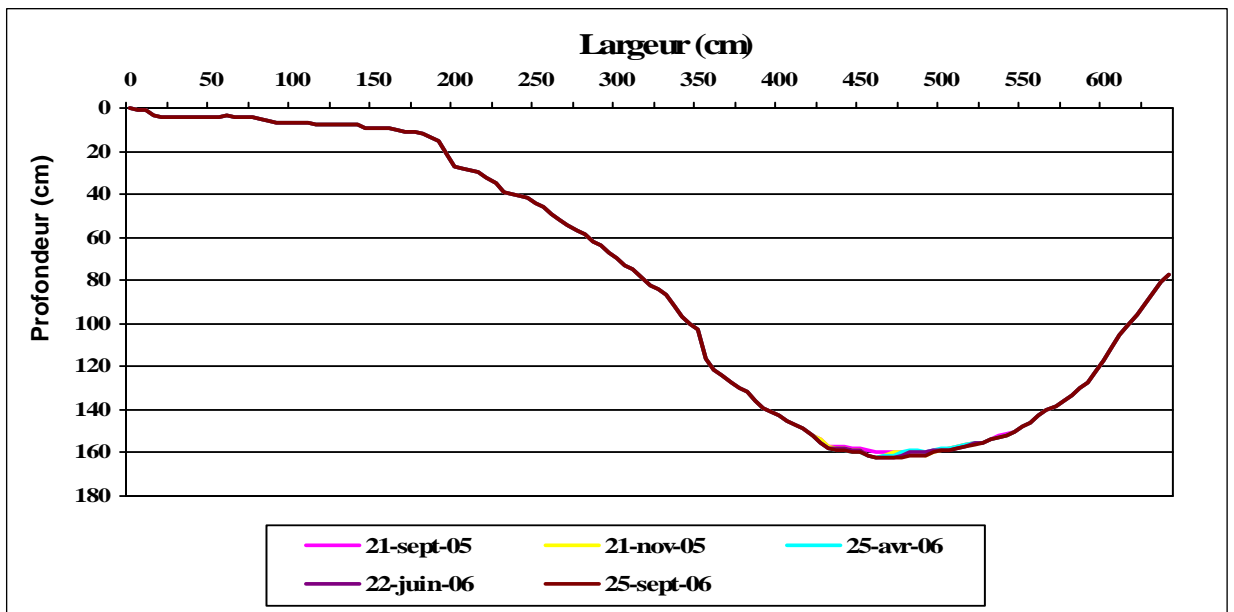
Évolution du transect n° 1 du fossé du site n° 14



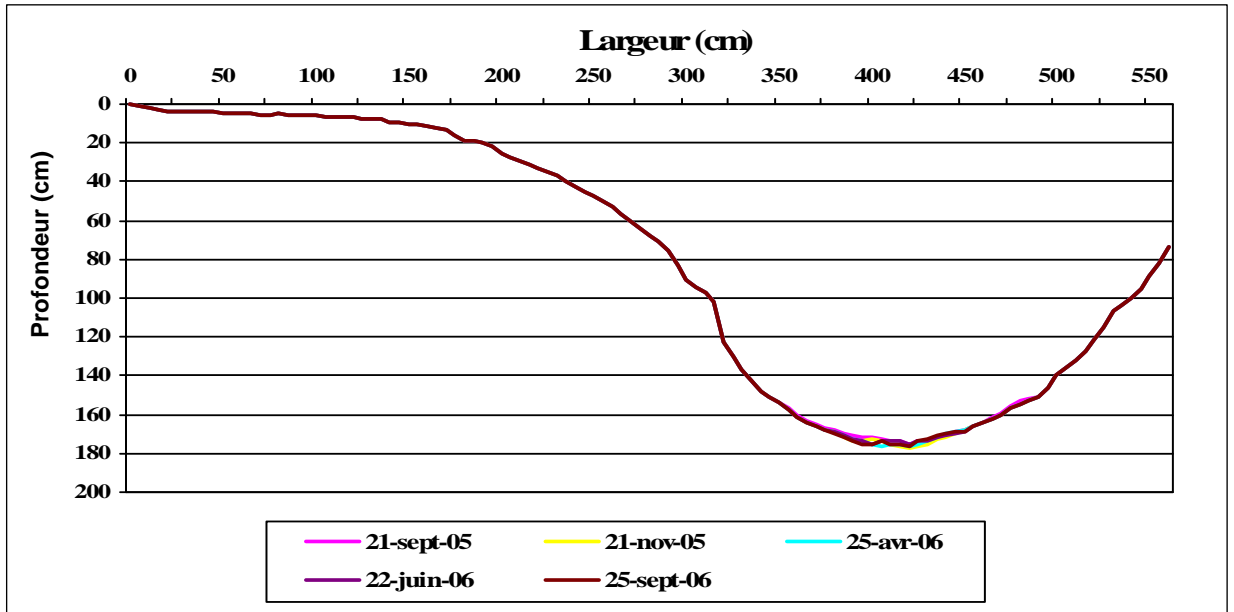
Évolution du transect n° 2 du fossé du site n° 14



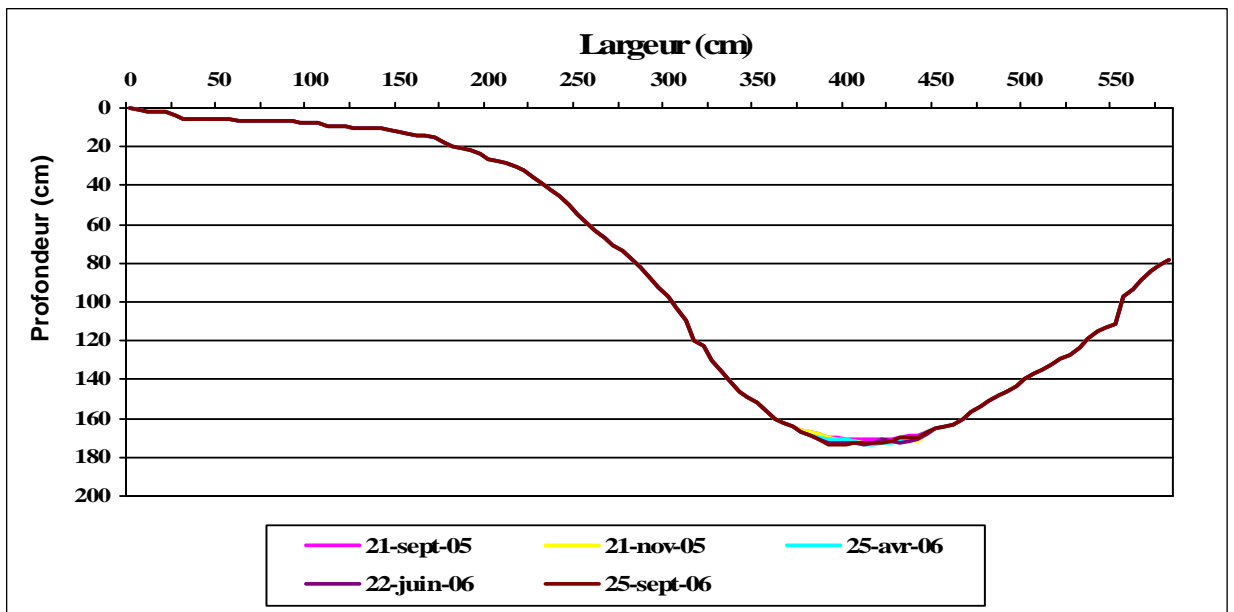
Évolution du transect n° 3 du fossé du site n° 14



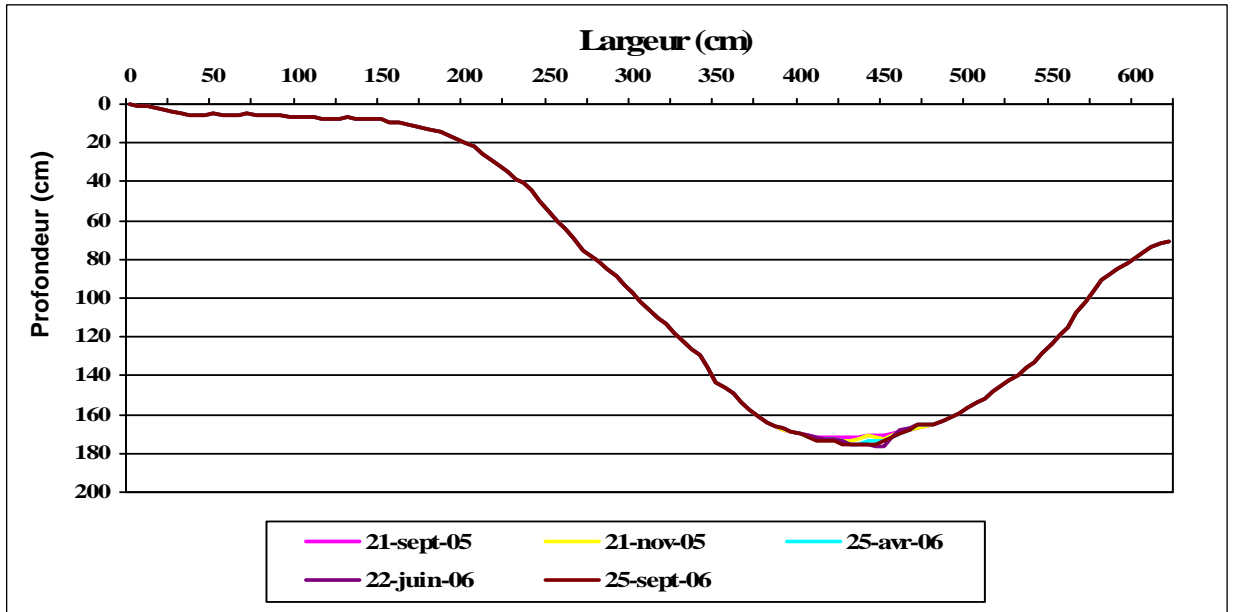
Évolution du transect n° 4 du fossé du site n° 14



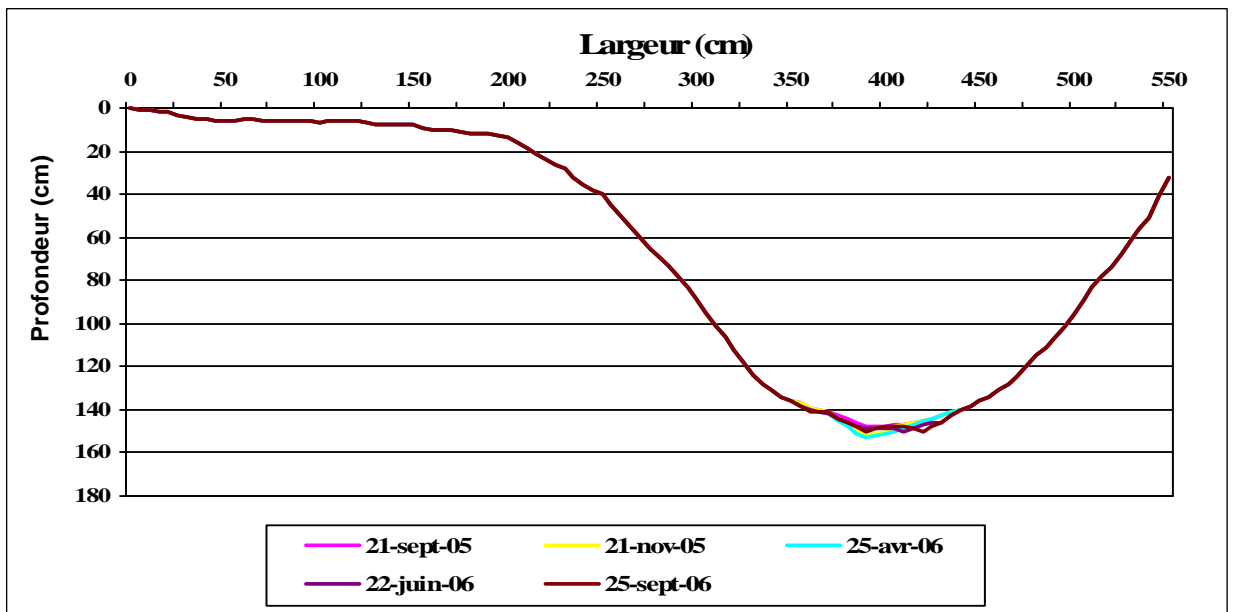
Évolution du transect n° 5 du fossé du site n° 14



Évolution du transect n° 6 du fossé du site n° 14



Évolution du transect n° 7 du fossé du site n° 14



Évolution du transect n° 8 du fossé du site n° 14

