

**L'utilisation de la paille d'orge pour la lutte contre les algues
dans les étangs-réservoirs des Prairies**

Rapport final

R. Butler, S. Reedyk, S. Murrell et B. Mah

Agriculture et Agroalimentaire Canada

Août 2005

N° de dossier : 1585-1-5-2-7

ISBN : 0-662-42192-2

N° au catalogue : A98-4/2-2005F

Le présent rapport peut être cité comme suit :

Butler, R., S. Reedyk, S. Murrell et B. Mah. 2005. *L'utilisation de la paille d'orge pour la lutte contre les algues dans les étangs-réservoirs des Prairies : rapport final*. Regina (Saskatchewan), Agriculture et Agroalimentaire Canada, Administration du rétablissement agricole des Prairies, 43 p.

Résumé

Des essais d'applicabilité sur le terrain portant sur l'efficacité de la paille d'orge en décomposition pour la lutte contre les algues ont été effectués dans onze étangs-réservoirs choisis dans diverses régions de l'Ouest canadien. Ces travaux avaient pour objectif d'évaluer l'applicabilité des techniques décrites dans la documentation à l'usage des agriculteurs des Prairies.

Pour faciliter la conception d'une étude jumelée, on a divisé les étangs-réservoirs en cellules traitées et témoins au moyen d'une membrane géotextile imperméable. On a ajouté la paille d'orge, conformément aux méthodes et aux doses décrites dans la documentation principale, et on a mesuré des paramètres de qualité de l'eau afin d'évaluer les avantages potentiels de cette technique pour les agriculteurs des Prairies.

Cette étude indique qu'aux doses indiquées dans la documentation, l'efficacité de la paille d'orge n'est ni constante ni importante. Même dans la répétition la plus réussie, la réduction maximale obtenue, soit 10 µg/L de chlorophylle *a*, est trop faible pour être considérée comme avantageuse pour un producteur.

Deux aspects peuvent avoir entravé l'applicabilité de la technique, mais le nombre limité d'observations ne rendait pas possible la séparation des facteurs confusionnels. Le premier aspect est lié au climat (la brièveté de la saison de traitement) et le second aspect, qui peut être lui aussi lié au climat, est la dose. Des études antérieures indiquent que la paille d'orge doit se décomposer pendant six semaines à des températures supérieures à 20 °C pour être efficace. Dans la présente étude, seulement 3 étangs-réservoirs ont maintenu une température de 20 °C ou plus pendant plus de six semaines. Le second facteur est la dose efficace. Bien que cette étude n'ait pas réussi à séparer ou quantifier cet effet, il est possible qu'à des températures plus basses, des doses beaucoup plus fortes soient nécessaires pour obtenir un effet significatif. Dans la présente étude, les dosages utilisés en 2003 étaient près de la limite concrètement praticable par les producteurs.

En conclusion, bien qu'un léger effet positif variable ait été obtenu au moyen des techniques mises au point en Europe, il faudrait arriver à un effet plus considérable et plus constant pour rendre cette technique viable pour les agriculteurs canadiens des Prairies. Certains résultats positifs obtenus en 2003 indiquent cependant que s'il était possible de réduire au minimum l'effet des basses températures de l'eau, la paille d'orge pourrait avoir une efficacité plus apparente. Dans d'éventuels travaux futurs, on pourrait se pencher sur des méthodes utilisant un rayonnement solaire abondant et la température de l'air pour contrer la basse température de l'eau, ou encore, étudier la possibilité de faire se décomposer la paille d'orge à l'extérieur de l'étang-réservoir et de faire circuler l'extrait de paille dans celui-ci.

Remerciements

Nous remercions particulièrement les familles qui ont gracieusement accepté de participer à l'étude et nous ont donné accès à leur source d'eau.

Le personnel technique de terrain de l'Administration de rétablissement agricole des Prairies (ARAP) d'AAC a joué un rôle essentiel dans la collecte des données et la coordination des travaux sur le terrain. Nous tenons à remercier particulièrement les personnes suivantes :

Dan Benson	ARAP, Peace River (Alberta)
Ken Forsyth	ARAP, Hanna (Alberta)
Brett Henschel	ARAP, Dawson Creek (C.-B.)
Mark MacGregor	ARAP, Red Deer (Alberta)
Stan McFarlane	ARAP, Beauséjour (Manitoba)
Patsy Michiels	ARAP, Brandon (Manitoba)
Garth Mottershead	ARAP, Dawson Creek (C.-B.)
Tim Rollheiser	ARAP, Brandon (Manitoba)
Ron Ryz	ARAP, Dauphin (Manitoba)
Reynold Woelcke	ARAP, Peace River (Alberta)
Kevin Zerff	ARAP, Moose Jaw (Saskatchewan)

Nous remercions aussi particulièrement Bill Mackay pour son aide à la conception du projet et ses commentaires sur l'interprétation des données.

Table des matières

Résumé	i
Remerciements	ii
1.0 Introduction	1
1.1 Exigences du client.....	1
1.2 La technique de la paille d'orge	2
2.0 Matériaux et méthodes	3
2.1 Description générale.....	3
2.2 Protocole expérimental	3
2.3 Dose d'orge et méthode.....	5
2.4 Méthodes de collecte des données	5
3.0 Résultats	6
3.1 AQ/CQ	6
3.2 Chimie générale.....	6
3.3 Comparaisons entre les traitements	7
4.0 Analyse.....	8
4.1 Dose et température.....	9
4.2 Méthode d'aération de l'ARAP.....	10
5.0 Conclusions et recommandations	10
6.0 Bibliographie.....	11
Annexe A : Données de terrain	26
Annexe B : Profils caractéristiques de la température et de l'oxygène dissous	37

Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des étangs-réservoirs	13
Tableau 2 : Doses de paille d'orge selon les auteurs consultés.....	14
Tableau 3 : Doses de paille d'orge appliquées, par année.....	15
Tableau 4 : Minimum, maximum et moyenne estivale des divers paramètres, pour tous les étangs-réservoirs, en 2002 et 2003	16
Tableau 5 : Comparaisons des tests <i>t</i> jumelés sur l'effet du traitement à la paille d'orge sur la turbidité estivale moyenne, la lecture du disque de Secchi et la concentration en chlorophylle <i>a</i> , selon l'année.....	17

Liste des figures

Figure 1 : Emplacement des sites à l'étude	18
Figure 2 : Taille de l'échantillon en fonction de la variation et du changement minimal détectable.....	18
Figure 3 : Ajout de paille d'orge à un étang-réservoir cloisonné.....	19
Figure 4 : Coefficient de variation sur les duplicats.....	19
Figure 5 : Périodes approximatives où la température dépasse 15 °C	20
Figure 6 : Périodes approximatives où la température dépasse 20 °C	20
Figure 7 : Écart de turbidité estivale moyenne (uTN) entre les cellules traitées et témoins des étangs-réservoirs	21
Figure 8 : Écarts dans la lecture estivale moyenne du disque de Secchi (cm) entre les cellules traitées et témoins des étangs-réservoirs	21
Figure 9 : Écart de concentration estivale moyenne en chlorophylle <i>a</i> (µg/L) entre les cellules traitées et témoins des étangs-réservoirs	22
Figure 10 : Concentration moyenne estivale de chlorophylle <i>a</i> dans la cellule traitée de l'étang-réservoir, exprimée en pourcentage de la concentration moyenne estivale de chlorophylle <i>a</i> dans la cellule témoin	22
Figure 11 : Représentation graphique du taux de réduction de la chlorophylle <i>a</i> relativement à la concentration moyenne estivale	23
Figure 12 : Représentation graphique du taux de réduction de la chlorophylle <i>a</i> relativement au dosage de la paille d'orge.....	23
Figure 13 : Représentation graphique du taux de réduction de la chlorophylle <i>a</i> relativement à la température estivale moyenne	24
Figure 14 : Comparaison de la température estivale moyenne à la surface de l'eau en 2002 et 2003	24
Figure 15 : Comparaison du dosage de la paille d'orge (g/m ²) en 2002 et 2003	25

1.0 Introduction

L'efficacité de l'utilisation de la paille d'orge comme pratique de gestion bénéfique (PGB) pour la lutte contre les algues dans les eaux de surface des réservoirs de retenue a été bien démontrée en Europe et est citée dans de nombreux documents d'information universitaires et gouvernementaux aux États-Unis. La publication de la technique dans la documentation populaire a suscité de nombreuses demandes auprès d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) de la part d'exploitants agricoles désireux de savoir si cette technique était utilisable au Canada. L'importation réussie de cette technique pourrait bénéficier aux utilisateurs d'eau en milieu rural partout au Canada pour mieux gérer leurs approvisionnements d'eau à la ferme.

Très peu d'essais à grande échelle ont été faits pour évaluer la technique en vue de l'adopter comme PGB dans le contexte canadien. De 2002 à 2004, Agriculture et Agroalimentaire Canada a entrepris une étude à l'échelle des Prairies sur 11 étangs de ferme (étangs-réservoirs) afin de déterminer l'efficacité de la technique de la paille d'orge décrite d'abord dans des ouvrages publiés au Royaume-Uni. La présente étude visait les objectifs suivants :

- Évaluer l'efficacité et les possibilités d'application de la technique afin de l'utiliser dans les étangs-réservoirs de l'Ouest du Canada.
- Faire connaître aux agriculteurs les paramètres pertinents (dosages, fréquences et procédures d'application, durée du traitement) nécessaires à une application efficace et sans danger de la technique.

Le présent rapport expose les résultats de cette recherche.

1.1 Exigences du client

Les agriculteurs de différentes régions du Canada recueillent l'eau de l'écoulement de surface dans des étangs-réservoirs pour l'utiliser comme source d'approvisionnement en eau à la ferme. Malgré les problèmes de qualité de l'eau inhérents à ces sources, les étangs-réservoirs sont largement utilisés pour l'approvisionnement en eau à la ferme. Dans certains secteurs, on les considère comme une solution peu coûteuse pour faire face aux sécheresses périodiques de courte durée; dans d'autres régions, ils constituent la seule source d'approvisionnement en eau disponible.

AAC a investi des ressources considérables pour aider les agriculteurs à gérer la qualité de l'eau des étangs-réservoirs et a entrepris l'étude et la promotion des PGB favorisant la qualité de l'eau, comme l'emploi de vannes d'admission, l'abreuvement du bétail à distance, l'aération et l'engazonnement des berges des cours d'eau et des bandes tampons. Bien que la mise en place de ces pratiques contribue à limiter la croissance des algues, des fleurs d'eau peuvent encore apparaître, et la recherche doit se poursuivre pour appuyer les solutions sur le terrain afin de

contrer la détérioration de la qualité des approvisionnements en eau à la ferme. La présence de cyanobactéries (algues bleues) est particulièrement préoccupante, car ces bactéries produisent des toxines qui sont mortelles pour les humains et le bétail.

Actuellement, les agriculteurs traitent généralement les proliférations d'algues en utilisant du cuivre sous forme soluble ou des herbicides aquatiques. La chaux a aussi été utilisée pour coprécipiter les algues et le phosphore dans les étangs-réservoirs (Prepas *et al.*, 1992). Cependant, les pratiques actuelles comportent certains inconvénients. Les traitements au cuivre et aux herbicides sont des approches réactives, car on les applique après la survenance de la prolifération. Ces traitements chimiques peuvent être toxiques pour d'autres espèces et transforment l'écologie du système en créant une dépendance aux traitements chimiques. Avec le temps, les traitements au cuivre peuvent laisser des dépôts dans les sédiments (Prepas et Murphy, 1988). De plus, ils peuvent causer la lyse et la dégradation des bactéries, libérant ainsi des toxines dans l'eau (Lam *et al.*, 1995). Les traitements à la chaux, bien qu'efficaces, sont difficiles à appliquer et nécessitent un équipement particulier (Prepas *et al.*, 1992).

La technique de la paille d'orge décrite dans la documentation est une mesure préventive pour contrôler les accumulations d'algues. L'adoption éventuelle de cette technique par les agriculteurs canadiens, de préférence aux méthodes de traitement chimique actuelles, dépendra des avantages économiques, opérationnels et environnementaux qu'on peut en tirer. Pour être adoptée, il faudrait idéalement que la méthode soit :

- économique en termes de main-d'œuvre et de matériaux;
- robuste : elle devra pouvoir fonctionner dans presque toutes les conditions;
- facile d'entretien en ce qui concerne le temps d'entretien nécessaire et la fréquence d'intervention pour le producteur;
- proactive, sans nécessiter la vigilance constante du producteur (elle doit empêcher la prolifération d'algues plutôt que se borner à la traiter);
- tolérante envers l'utilisateur : un écart mineur dans le dosage ne doit pas se traduire par des proliférations d'algues ou des réactions toxiques dans l'étang;
- durable : la technique ne doit pas compromettre l'équilibre naturel de l'écosystème du plan d'eau.

1.2 La technique de la paille d'orge

L'intérêt envers l'utilisation de la paille d'orge pour lutter contre la présence des algues dans les lacs, les rivières, les réservoirs et les fossés de drainage s'est accentué depuis le début des années 1990. La technique a été élaborée en grande partie au Royaume-Uni, avec des études en laboratoire et de la recherche sur le terrain, de 1990 jusqu'à aujourd'hui (Gibson *et al.*, 1990; Welch *et al.*, 1990; Newman et Barrett, 1993; Barrett *et al.*, 1996; Everall et Lees, 1996; Everall et Lees, 1997; Ball *et al.*, 2001).

Newman (1999) propose un excellent résumé de la technique de la paille d'orge, notamment en ce qui a trait aux quantités, aux fréquences et aux autres facteurs de réussite essentiels, en s'appuyant sur ses recherches en réservoir au Royaume-Uni. Pour une première application, les quantités dépendaient de la turbidité et de l'état général de l'eau. Il fallait des

températures d'eau plus élevées (au-dessus de 20 °C) pour obtenir une décomposition rapide de la paille et un contrôle efficace des algues. Dans son résumé, Newman décrit aussi les effets de la technique sur d'autres composantes de l'écosystème aquatique comme les plantes, les invertébrés et la sauvagine. Il laisse aussi entendre que l'application de la paille d'orge pourrait contribuer à l'établissement permanent d'invertébrés et de macrophytes non nuisibles ainsi qu'à l'équilibre de l'écosystème du réservoir.

On ignore encore par quel mécanisme au juste la paille d'orge retarde la formation des algues, mais les chercheurs croient qu'il se produit dans la paille des réactions bactériennes et fongiques qui libèrent des acides humiques et fulviques et qui accroît la présence de carbone organique dissous dans l'eau (Pillinger *et al.*, 1992; Newman, 1999). Sous l'action de la lumière du soleil et de l'oxygène, le carbone organique dissous réagit et produit du peroxyde d'hydrogène en petites quantités qui, à la longue, inhibent la croissance des algues (Newman, 1999). D'autres chercheurs croient que ce sont les rejets de composés phénoliques et leur oxydation au contact d'autres composés phytotoxiques qui empêchent la formation d'algues (Everall et Lees, 1997).

Bon nombre d'universités et d'agences gouvernementales ont produit des documents d'information sur l'utilisation de la paille d'orge pour lutter contre les algues (p.ex. Butler et Terlizzi, s.d.; Lynch, s.d.; AAFRD, 1999; Lembi, 2002) et certaines entreprises vendent de la paille d'orge sous forme d'extrait ou en sacs de filet pour lutter contre la présence d'algues dans les étangs. Toutes ces publications ont éveillé l'intérêt des agriculteurs des Prairies canadiennes à utiliser l'orge comme algicide, mais aucune étude n'a démontré l'applicabilité de la paille d'orge pour l'approvisionnement en eau à la ferme dans les Prairies canadiennes. On a fait des démonstrations de la technique (Grainews, 1995; Aquaculture in Alberta, 2002), mais on n'a publié aucun suivi de son efficacité. Les recherches locales ne suffisent pas à prouver son efficacité ou à recommander des procédures et des doses adéquates.

2.0 Matériaux et méthodes

2.1 Description générale

Pour les fins de la présente étude, nous avons sélectionné onze étangs-réservoirs répartis géographiquement dans les Prairies (*figure 1*). L'état trophique (OCDE, 1982) des étangs-réservoirs allait d'un stade mésotrophe à un stade hypereutrophe, 9 des 11 étangs-réservoirs pouvant être qualifiés d'eutrophes ou hypereutrophes (*tableau 1*). À l'été 2002, nous avons divisé les étangs-réservoirs en deux cellules, soit une cellule traitée et une cellule témoin, au moyen d'une membrane géotextile imperméable. Chaque année, nous avons ajouté de la paille d'orge à une des cellules de chaque étang-réservoir, conformément aux méthodes et aux doses décrites dans la documentation. Durant les étés 2002 et 2003, toutes les deux semaines, nous avons mesuré dans les étangs-réservoirs des paramètres physiques spécifiques de même que certains indicateurs de la qualité de l'eau.

2.2 Protocole expérimental

2.2.1 Variable de réponse

L'objet de cette étude était de déterminer si la paille d'orge appliquée aux étangs-réservoirs en suivant les méthodes décrites dans la documentation réduit ou non les concentrations d'algues. Nous avons donc déterminé ces concentrations en mesurant les concentrations en chlorophylle *a*, la lecture du disque de Secchi et la turbidité en tant qu'éléments auxiliaires. Les contraintes budgétaires nous ont empêchés de mesurer les teneurs en ions et en nutriments. Nous avons mesuré les paramètres *in situ*, notamment la température et l'oxygène dissous, afin de nous assurer du fonctionnement effectif des dispositifs d'aération.

2.2.2 Exigences de taille d'échantillon

À cause de la grande variabilité entre les étangs-réservoirs et d'autres facteurs naturels, nous avons conçu la présente étude de telle sorte qu'elle satisfasse aux critères d'un test *t* de Student par échantillons appariés, en divisant chaque étang-réservoir étudié en deux cellules. Ce cloisonnement permettait une étude jumelée où chaque étang-réservoir contenait son propre étang témoin expérimental.

La *figure 2* illustre les exigences minimales de taille d'échantillon nécessaires à l'obtention d'un niveau de confiance de 95 % ($\alpha = 0,05$) et d'une puissance statistique de 0,9, et ce, par rapport à différents coefficients de variation (CV). Le changement minimum décelable (CMD) qu'un agriculteur peut éventuellement considérer comme acceptable dépend de la teneur seuil en algues et de la teneur en algues à l'origine dans les étangs-réservoirs. Pour le moment, il n'existe pas de données facilement accessibles sur le seuil absolu ou minimal d'algues qu'un producteur donné jugerait acceptable. En l'absence d'un seuil de concentration d'algues qui serait pertinent pour les producteurs, nous avons retenu un CMD de 30 %, afin de pouvoir évaluer les écarts marginaux attribuables aux étangs-réservoirs eux-mêmes ou à la technique de traitement employée. Sur la base d'un CV de 35 % (établi à partir des données sur la chlorophylle *a* des études antérieures d'étangs-réservoirs) et d'un CMD de 30 %, l'étude devait donc porter sur douze étangs-réservoirs.

2.2.3 Sélection des sites des étangs-réservoirs

Les étangs-réservoirs ont été sélectionnés en fonction de leur représentativité par rapport à l'étang-réservoir typique des Prairies. Seuls les étangs-réservoirs où des pratiques de gestion bénéfiques étaient en vigueur ont été retenus pour l'étude, car la méthode de la paille d'orge est destinée à compléter et non à remplacer les PGB existantes.

Afin de maintenir au minimum les changements attribuables à des variables non contrôlées, nous avons sélectionné les étangs-réservoirs en fonction de cinq critères. Les étangs-réservoirs retenus étaient :

1. utilisés activement pour les activités agricoles;
2. gérés raisonnablement en regard des meilleures pratiques de gestion;
3. aérés;
4. non directement accessibles au bétail;

5. entourés de zones tampons gazonnées acceptables.

En outre, afin de nous assurer de l'applicabilité de la technique chez des agriculteurs soumis au régime climatique changeant des Prairies, nous avons sélectionné les étangs-réservoirs en fonction d'une bonne répartition géographique dans l'ensemble des Prairies. Nous avons retenu 2 étangs-réservoirs dans la région de Peace River, en Colombie-Britannique, 4 en Alberta, 2 en Saskatchewan et 3 au Manitoba. Nous avons éliminé un étang-réservoir au Manitoba après une année d'étude à causes des besoins conflictuels de gestion des propriétaires. En Alberta, nous avons connu des problèmes opérationnels avec l'installation des cloisons dans deux des étangs-réservoirs. Il y a donc eu 8 étangs-réservoirs sous observation pendant 2 ans, et 3 étangs-réservoirs sous observation pendant 1 an seulement.

2.3 Dose d'orge et méthode

Nous avons utilisé pour cette étude des doses et des techniques conformes aux recommandations décrites dans la documentation. Chaque essai s'est fait de manière à répliquer les facteurs de succès essentiels mentionnés dans la documentation, soit la dose, la décomposition aérobie ainsi que la turbulence ou le renouvellement continu.

2.3.1 Dose d'orge

Les recherches antérieures *in situ* font état de dosages volumétriques allant de 25 à 400 g/m³, alors que les publications populaires (feuillet d'information) suggèrent des dosages surfaciques allant de 25 à 50 g/m² (*tableau 2*). Les études en laboratoire utilisent des dosages de 10 à 100 fois plus élevés que ceux des recherches *in situ* (*tableau 2*).

Pour la présente étude, nous avons choisi des doses d'orge conformes aux essais *in situ* et aux ouvrages populaires. La dose prévue pour la saison 2002 de l'étude sur le terrain était de 50 g/m². Cependant, il y a eu une variabilité dans les doses réelles utilisées à chaque site (*tableau 3*). Nous avons ajusté les protocoles de dose en 2003 parce que nous n'avons observé aucune réponse appréciable dans la première année de l'étude. La dose prévue en 2003 était de 75 g/m²; mais là encore, les doses réelles étaient souvent plus élevées (*tableau 3*). Le *tableau 3* présente aussi des dosages exprimés par volume, c'est-à-dire en g/m³.

2.3.2 Méthode d'application de la paille d'orge

Nous avons appliqué la paille d'orge en suivant les directives suggérées par Newman (1999). Au printemps, nous avons placé les doses respectives de paille dans des sacs en filet munis de flotteurs et avons mis à flotter les ballots à la surface, au milieu de chaque étang-réservoir (*figure 3*). La paille, entassée grossièrement dans des sacs en filet (utilisés pour la vente des oignons), était placée à proximité de l'aérateur, où les courants d'eau créés par l'aération faisaient circuler l'eau à travers les ballots en décomposition.

En 2002, au milieu de l'été, nous avons ajouté une dose supplémentaire de paille d'orge aux étangs-réservoirs et quatre semaines plus tard, nous avons retiré la dose initiale. En 2003, nous n'avons ajouté qu'une seule dose de paille d'orge, au printemps.

2.4 Méthodes de collecte des données

De mai à septembre, nous avons visité chaque étang-réservoir toutes les deux semaines. Nous avons effectué des mesures sur place et prélevé des échantillons d'eau à même les cellules traitée et témoin de l'étang-réservoir. Les mesures sur place comprenaient des profils verticaux de la concentration en oxygène et de la température de l'eau et des mesures de la turbidité et de la profondeur au disque de Secchi.

Nous avons recueilli des échantillons intégrés d'eau pour l'analyse de la chlorophylle *a* et de la turbidité à même la couche euphotique (définie comme deux fois la lecture du disque de Secchi) dans les cellules traitée et témoin de chaque étang-réservoir. Les échantillons ont été filtrés sur place, puis congelés et expédiés à l'Université de l'Alberta pour fins d'analyse. La concentration de chlorophylle *a* a été déterminée par extraction à froid à l'éthanol (Bergmann et Peters, 1980). La turbidité a été mesurée sur place à l'aide d'un turbidimètre Palin 900.

3.0 Résultats

3.1 AQ/CQ

Les teneurs en chlorophylle *a* représentent la moyenne des valeurs obtenues par des filtres dédoublés. Normalement, on utilise un triplicat d'échantillons, à cause de la très grande disparité dans la répartition des cellules d'algues dans les échantillons d'eau. Les contraintes budgétaires nous ont obligés à n'analyser que des duplicats de filtres. D'après ce que révèle l'analyse de la variabilité des duplicats, 50 % des échantillons avaient un coefficient de variation de moins de 2 %, plus de 70 % des échantillons avaient un coefficient de variation de moins de 5 % et 86 % des échantillons avaient un coefficient de variation de moins de 10 % (figure 4).

Les mesures de la chlorophylle *a* pour l'étang-réservoir de Washington en 2002 n'ont pas pu être faites de façon indépendante en raison de la très grande turbidité, de sorte que nous avons exclu ces résultats des données d'analyse.

3.2 Chimie générale

Pour toute la durée de la période d'eau libre, les concentrations de chlorophylle *a* dans les étangs-réservoirs ont varié de $< 2 \mu\text{g/L}$ à $> 130 \mu\text{g/L}$ sur toute la durée de l'étude. En été, la concentration moyenne de chlorophylle *a* dans les cellules témoins des étangs-réservoirs était de $22,1 \mu\text{g/L}$ en 2002 et de $22,7 \mu\text{g/L}$ en 2003. Dans les cellules traitées, la concentration moyenne estivale de chlorophylle *a* était de $21,8 \mu\text{g/L}$ en 2002 et de $20,5 \mu\text{g/L}$ en 2003 (tableau 4).

Les valeurs de la turbidité ont oscillé entre $< 1 \text{ uTN}$ et 156 uTN sur toute la durée de l'étude. Pour les étés 2002 et 2003, les valeurs moyennes de la turbidité dans les cellules témoins des étangs-réservoirs sont respectivement de $21,6 \text{ uTN}$ et de $16,7 \text{ uTN}$. À $20,6 \text{ uTN}$ et $15,8 \text{ uTN}$ pour les mêmes saisons, les cellules traitées présentent des valeurs similaires (tableau 4).

Les lectures du disque de Secchi vont de 7 à 280 cm sur toute la durée de l'étude (tableau 4). Les moyennes estivales de la profondeur au disque de Secchi pour les cellules témoins ont été, en 2002 et 2003, de 113 et 80 cm respectivement. Pour les cellules traitées, elles étaient, en 2002 et 2003, de 99 cm et 85 cm respectivement.

Il n'y a guère de variation dans la température entre les cellules traitée et témoin de chaque étang-réservoir. En 2002, la température variait de 7 °C à 26 °C environ, avec une moyenne de 17,7 °C (tableau 4). À 18,1 °C, la température moyenne estivale en 2003 est légèrement supérieure (tableau 4). À l'exception de certains étangs-réservoirs situés plus au nord, la plupart des sites connaissent, tôt à la mi-juin, une température stable de 15 °C ou plus jusqu'à la fin d'août (figure 5). Peu d'étangs-réservoirs maintiennent une température supérieure à 20 °C pendant une période prolongée (figure 6). En 2002, un seul étang-réservoir a affiché une température supérieure à 20 °C pendant plus d'un mois, alors que l'étang-réservoir de Washington n'a jamais atteint les 20 °C. L'année 2003 fut légèrement plus chaude et 3 étangs-réservoirs ont maintenu une température supérieure à 20 °C pendant au moins 2 mois.

Tout comme dans le cas de la température, la variabilité de l'oxygène dissous dans les cellules traitées et témoins des étangs-réservoirs était minime (tableau 4). Les moyennes estivales des concentrations d'oxygène dissous ont été, en 2002 et 2003, de 7,0 mg/L et de 6,8 mg/L respectivement (tableau 4). La plupart des étangs-réservoirs sont demeurés bien oxygénés pendant toute la durée de l'étude (voir l'annexe A). À l'exception de l'étang-réservoir de Washington, l'oxygène dissous n'est tombé sous la barre des 2,0 mg/L dans aucun des étangs-réservoirs, et les concentrations moyennes se situaient entre 4,4 et 11,0 mg/L. La première année de l'étude (2002) a été la première année où l'étang-réservoir de Washington a été aéré, et il est demeuré anoxique tout au long de l'année; en 2003 cependant, les concentrations d'oxygène dissous étaient légèrement supérieures, et la concentration moyenne d'été s'est élevée à plus de 1,5 mg/L.

3.3 Comparaisons entre les traitements

3.3.1 Turbidité

Bien que la valeur moyenne estivale de la turbidité soit plus basse dans les cellules traitées des étangs-réservoirs en 2002 et en 2003, les écarts ne sont pas statistiquement significatifs (tableau 5). Les écarts pour cette valeur entre les cellules traitées et témoins varient de -7,1 à 4,8 uTN sur toute la durée de l'étude (figure 7).

3.3.2 Lecture du disque de Secchi

Les écarts dans la moyenne estivale des lectures du disque de Secchi entre les cellules traitées et témoins oscillent entre -77 à 33 cm sur toute la durée de l'étude (figure 8). Si on compare les profondeurs entre les cellules traitées et témoins en 2002 et 2003, il n'y a eu aucun écart significatif entre ces deux années au niveau alpha 0,05 (tableau 5). Si on augmente le niveau alpha à 0,10, la cellule traitée a une profondeur supérieure à la cellule témoin en 2003 ($p = 0,09$), alors qu'en 2002, la profondeur dans la cellule traitée est inférieure à celle la cellule témoin ($p = 0,07$).

3.3.3 Chlorophylle *a*

Les écarts dans la moyenne estivale de la teneur en chlorophylle *a* entre les cellules traitées et témoin de chaque étang-réservoir varient de $-9,8$ à $+2,5$ $\mu\text{g/L}$ sur toute la durée de l'étude (figure 9). Exprimées en pourcentages, les valeurs moyennes de contrôle de la chlorophylle *a* dans les cellules traitées des étangs-réservoirs varient de 61 à 114 % (figure 10).

Il n'y a pas de relation évidente entre, d'une part, le niveau d'écart dans la teneur en chlorophylle *a* entre les cellules traitées et témoins et, d'autre part, la concentration en chlorophylle *a* (figure 11), le dosage (figure 12) ou la température (figure 13). Le petit nombre d'observations ne nous a pas permis d'établir des statistiques exhaustives à variables multiples.

Lorsqu'on analyse les données de la chlorophylle *a* par année, on s'aperçoit qu'il n'y a pas d'écart significatif entre les cellules traitées et témoins ($p = 0,38$) en 2002, mais en 2003, la concentration en chlorophylle *a* dans les cellules traitées est significativement plus basse que dans les cellules témoins ($p = 0,04$), bien que la réduction moyenne soit < 10 % (tableau 5). Ces constantes sont semblables aux données sur la lecture du disque de Secchi.

La température moyenne de l'eau à la surface et les doses de paille d'orge étaient plus élevées en 2003 qu'en 2002 (figures 14 et 15); il est donc difficile d'attribuer les meilleures réponses à un facteur isolé.

4.0 Analyse

Notre recherche avait pour principal objectif d'évaluer l'applicabilité de la technique de la paille d'orge, telle que décrite dans la documentation, aux étangs-réservoirs des Prairies canadiennes. Or dans cette étude, en suivant les protocoles établis dans la documentation, nous avons observé une légère réduction (moyenne < 10 %) de la chlorophylle *a* dans la deuxième année de l'étude de deux ans.

Les premiers travaux publiés documentent des réductions significatives immédiates des concentrations d'algues dans les nappes d'eau traitées à la paille d'orge. Dans une série de canaux et d'écluses au Royaume-Uni, la baisse de concentration de chlorophylle *a* atteignait 90 % en aval des écluses traitées (Welch *et al.*, 1990) dès la première année du traitement. Dans des travaux subséquents réalisés au même site, si on ne remplaçait pas la paille d'orge dans l'écluse de tête, les populations d'algues se reformaient dans la portion non traitée, mais leur prolifération continuait d'être inhibée plus en aval, là où on procédait à des traitements supplémentaires à la paille d'orge (Ridge et Barrett, 1992). On a rapporté des résultats semblables dans des installations d'approvisionnement en eau potable en Écosse, où la teneur en chlorophylle *a* a diminué de 90 % dans la première année du traitement (Barrett *et al.*, 1996).

Par ailleurs, certaines études sur le terrain menées au Royaume-Uni et aux États-Unis n'ont pas réussi à reproduire les résultats précédents. Kelly et Smith (1996) n'ont constaté aucun impact sur les concentrations d'algues dans un lac du centre de l'Écosse. De même, Lembi (2002) décrit des expériences avec la paille d'orge en Illinois et au Nebraska qui ne révèlent que

peu ou pas d'impact sur la croissance algale. Bien que Boylan et Morris (2003) aient obtenu des résultats irréguliers, ils constatent que la technique fonctionne surtout dans les plans d'eau bien oxygénés, ce qui conforte les premières études britanniques. Les essais en laboratoire sont aussi non concordants en termes de dosage requis pour que le contrôle des algues soit efficace, de même qu'au plan des espèces algales visées (Brownlee *et al.*, 2003).

Malgré certains résultats contradictoires sur les espèces affectées et la valeur des réponses, la plupart des études, y compris celle-ci, rapportent certains effets inhibiteurs de la paille d'orge en décomposition sur la croissance algale. Pour être plus précis, les résultats indiquent qu'effectivement, dans certaines conditions, la paille d'orge a un effet inhibiteur sur diverses variétés de diatomées (Barrett *et al.*, 1996), de chlorophytes (Welch *et al.*, 1990; Ridge et Barrett, 1992) et de cyanobactéries (Newmann et Barrett, 1993; Everall et Lees, 1996; Ball *et al.*, 2001). Bien que la présente étude n'ait pas évalué les assemblages de phytoplancton dans les étangs-réservoirs, la plupart des étangs et les lacs eutrophes des Prairies canadiennes sont dominés par les diatomées au printemps et par diverses chlorophytes et cyanobactéries en été (Mitchell et Prepas, 1990; Kotak *et al.*, 1993). La dose, la température ainsi que la méthode d'aération de l'ARAP pourraient être des facteurs de réponse dans l'étude actuelle.

4.1 Dose et température

Nous n'avons observé en 2002 aucune réponse statistiquement significative ($p = 0,38$) au traitement avec une dose de 50 g/m^2 . L'équipe de chercheurs était alors devant l'alternative suivante :

1. soit maintenir la dose à 50 g/m^2 et obtenir une étude solide statistiquement, mais s'exposer au risque d'une autre année sans contrôle des algues;
2. soit augmenter la dose au niveau le plus élevé mentionné dans la documentation (100 g/m^2) et peut-être observer un écart fondamental qui pourrait induire une réponse dans le contexte canadien.

Si le premier objectif de cette étude était d'évaluer la technique telle que présentée dans la documentation, l'exercice avait pour résultat pratique de faire connaître une technique utile aux agriculteurs canadiens des Prairies. Afin d'éviter que l'expérience ne rejette indûment une technique potentiellement bénéfique, nous avons décidé de doubler la dose pour la saison d'étude 2003. En cours d'étude, nous avons modifié le protocole de dosage en passant de la dose moyenne recommandée de 50 g/m^2 en 2002 à la dose supérieure de 100 g/m^2 en 2003. Lors de la mise en œuvre, la variabilité de ce dosage (voir tableau 3) a limité encore plus la séparation des effets de la dose.

En 2003, en plus du changement de protocole, la température moyenne des étangs-réservoirs a été plus élevée. Bien que les observations ne suffisent pas à séparer ou quantifier les effets, il est possible d'émettre des commentaires intéressants à partir des données obtenues. Si la température seule était le facteur prépondérant, on se serait attendu à ce que, pour l'année 2003, les sites MZTRA (période à $>20 \text{ }^\circ\text{C} = 9$ semaines, dose de 60 g/m^2), MJ1N (période à $> 20 \text{ }^\circ\text{C} = 8$ semaines, dose de 85 g/m^2) et MJ2S (période à $> 20 \text{ }^\circ\text{C} = 8$ semaines, dose de 100 g/m^2) soient les plus performants des étangs-réservoirs, puisque ces derniers étaient au-dessus de la température critique de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ pour la plus longue période. Étonnamment, les sites

Mielke (période à $> 20\text{ °C} = 2$ semaines, dose de 60 g/m^2) et Matychuk (période à $> 20\text{ °C} = 3$ semaines, dose de 75 g/m^2) se sont tous deux très bien classés en termes de performance en 2003. Ces deux étangs-réservoirs ont atteint leur température maximale durant la période où on s'attendrait aussi à ce que surviennent des efflorescences, ce qui laisse à penser que le moment où survient la période de température $> 20\text{ °C}$ est critique.

L'augmentation de la dose ne semble pas pouvoir compenser totalement les écarts de température. Sinon, on se serait attendu à un meilleur rendement au site Beauséjour que celui observé en 2003, puisqu'il était à 4 fois la dose de plusieurs autres étangs-réservoirs. Cependant, cet étang n'était que mésotrophe, et les concentrations d'algues ont peut-être été en deçà du point où un effet est observable. En revanche, l'étang MZTRA a mieux performé en 2003 qu'en 2002, même si la dose a été abaissée de 40 g/m^2 en 2003.

Un autre facteur confusionnel pourrait être la dose réelle de paille d'orge dans le sac en filet. À la fin de 2002, les techniciens de l'étude ont rapporté que seule l'enveloppe extérieure des ballots de paille d'orge semblait se décomposer, sur $2,50\text{ cm}$ d'épaisseur environ. La paille à l'intérieur des ballots semblait fraîche. En 2003, nous avons abaissé la densité de l'orge dans les emballages à la moitié de ce qu'elle était en 2002, ce qui permettait une meilleure circulation de l'eau à travers la paille et augmentait possiblement la dose efficace.

4.2 Méthode d'aération de l'ARAP

Newman (1999) conseille des doses plus élevées dans des eaux à forte turbidité, car les particules du sol tendent à dénaturer l'ingrédient actif dans la paille d'orge en décomposition. Cela soulève la possibilité que la méthode d'aération de l'ARAP nuise au processus de la paille d'orge. En effet, selon la méthode d'aération de l'ARAP, il faut placer les diffuseurs d'air directement au fond de l'étang-réservoir pour effectuer un brassage complet du plan d'eau. Cette méthode donne les meilleurs résultats quant à la diminution de la quantité de nutriments dans l'étang-réservoir. L'eau aérée qui est en contact direct avec les sédiments du fond empêche la décomposition anaérobie et la formation de sulfure d'hydrogène et d'acide sulfurique. Avec cette méthode, le plan d'eau est brassé au complet plusieurs fois en 24 heures. C'est ce contact continu avec les sédiments du fond qui jouerait un rôle dans la faible performance de la technique de l'orge.

5.0 Conclusions et recommandations

La présente étude confirme que la paille d'orge entraîne une réduction statistiquement significative mais, dans la pratique, négligeable, de la teneur en algues. Le climat des Prairies canadiennes, où la température moyenne de l'eau est basse, pourrait être un facteur qui limite l'applicabilité de la technique. Nous avons observé une légère réponse avec des hausses de température et de dose, ce qui laisse supposer qu'on pourrait modifier les techniques d'application pour compenser les limitations de la température de l'eau.

Éventuellement, d'autres études pourraient chercher des moyens de compenser les limitations liées à la température. Ces travaux pourraient porter sur la fréquence des ajouts de

paille d'orge ou sur le développement d'autres méthodes de dosage tirant parti des températures élevées de l'air plus tôt dans la saison. On peut penser à la construction d'un étang-réservoir avec une section peu profonde où la température de l'eau pourrait s'élever plus rapidement. Une autre approche serait d'utiliser un drain ou un réservoir pour décomposer la paille d'orge et ajouter le lixiviat d'orge à l'étang-réservoir.

La technique décrite dans la documentation semble peu applicable dans les Prairies canadiennes à cause de la faible température moyenne des étangs-réservoirs. Bien que nous ayons pu mesurer un effet léger et variable, il faudra obtenir un effet algicide plus constant et plus marqué pour généraliser l'utilisation de cette technique par les exploitants agricoles.

6.0 Bibliographie

- AAFRD. 1999. Algae Control in Ponds. Alberta Agriculture Food and Rural Development Fact Sheet: Agdex 485/716-2. 3 p.
- Ball A.S., M. Williams, D. Vincent et J. Robinson. 2001. Algal growth control by a barley straw extract. *Bioresource Technology* **77**:177-181.
- Barrett, P.R.F., J.C. Curnow et J.W. Littlejohn. 1996. The control of diatom and Cyanobacteria blooms in reservoirs using barley straw. *Hydrobiologia* **340**:307-311.
- Bergmann M. et R.H. Peters. 1980. A simple reflectance method for measurement of particulate pigment in lake water and its application to phosphorus-chlorophyll-sediment relationships. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. **37**:111:114.
- Boylan J.D. et J.E. Morris. 2003. Limited effects of barley straw on algae and zooplankton in a mid-western pond. *Lake and Reservoir Management*. **19**:265-271.
- Brownlee E.F., S.G. Sellner et K.G. Sellner. 2003. Effects of barley straw (*Hordeum vulgare*) on freshwater and brackish phytoplankton and cyanobacteria. *Journal of Applied Phycology*. **15**:525-531.
- Butler B.R. et D. Terlizzi. (pas de date). Integrated Pond Management for Maryland. Maryland Cooperative Extension Fact Sheet 766. 8 p.
- Campbell G..1995. Barley straw cleans up dugout water. Grainews. Numéro de décembre 1995.
- Everall N.C. et D.R. Lees. 1996. The use of barley straw to control general and blue-green algal growth in a Derbyshire reservoir. *Water Research* **30**:269-376.
- Everall N.C. et D.R. Lees. 1997. The identification and significance of chemicals released from decomposing barley straw during reservoir algal control. *Water Research*. **31**:614-620.
- Gibson, M.T., I.M. Welch, P.R.F. Barrett et I. Ridge. 1990. Barley straw as an inhibitor of algal growth II: laboratory studies. *Journal of Applied Phycology* **2**:241-248.
- Kelly L.A. et S. Smith. 1996. The nutrient budget of a small eutrophic loch and the effectiveness of straw bales in controlling algal blooms. *Freshwater Biology*. **36**:411-418.
- Kotak B.G., S.L. Kenefick, D.L. Fritz, C.G. Rousseauz, E.E. Prepas et S.E. Hrudý. 1993. Occurrence and toxicological evaluation of cyanobacterial toxins in Alberta lakes and farm dugouts. *Water Research*. **27**:495-506 11.
- Lam A.K-Y, E.E. Prepas, D. Spink et S.E. Hrudý. 1995. Chemical control of hepatotoxic phytoplankton blooms: implications for human health. *Water Research* **29**:1845-1854.
- Lembi Carole. 2002. Aquatic Plant Management: Barley straw for Algae Control. Purdue University Extension Fact Sheet APM-1-W. 8 p.

Lynch, W.E. (No Date). Algae Control with Barley Straw. Ohio State University Extension Fact Sheet A -12-02. 2 p.

Madden S. et T. Seale. 2002. Using barley straw for dugout/pond algae control. Aquaculture in Alberta. Issue 8. Winter 2001/2002.

Mitchell P. et E.E. Prepas.(eds) 1990. Atlas of Alberta Lakes. The University of Alberta Press. Edmonton, Alberta.

Newman J.R. 1999. CAPM Information Sheet 3: Control of Algae Using Straw. IACR-Centre for Aquatic Plant Management. 15 p.

Newman, J.R. et P.R.F. Barrett. 1993. Control of *Microcystis aeruginosa* by decomposing barley straw. *Journal of Aquatic Plant Management*. **31**:203-206.

OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques). 1982. Eutrophisation des eaux : méthodes de surveillance, d'évaluation et de lutte. OCDE, Paris, 164 p.

Pillinger, J.M., J.A. Cooper, I. Ridge et P.R.F. Barrett. 1992. Barley straw as an inhibitor of algal growth III: the role of fungal decomposition. *Journal of Applied Phycology*. **4**:353- 355.

Prepas E.E. et T.P. Murphy. 1988. Sediment-water interactions in farm dugouts previously treated with copper sulphate. *Lake and Reservoir Management*. **4**:161-168.

Prepas E.E., D.T. Walty, T.P., Murphy, J.M. Babin et P.A. Chambers. 1992. Management of farm dugouts as water supplies: use of lime for algal and macrophyte control. Final Report. Prepared for Alberta Agriculture Food and Rural Development. Edmonton, Alberta.

Ridge I. et P.R.F. Barrett. 1992. Algal control with barley straw. *Aspects of Applied Biology*. **29**:457-462.

Welch, I.M., P.R.F. Barrett, M.T. Gibson et I. Ridge. 1990. Barley straw as an inhibitor of algal growth I: studies in the Chesterfield Canal. *Journal of Applied Phycology* **2**:231-239.

Tableau 1 : Liste des étangs-réservoirs

Étang-réservoir	N°	Emplacement	État trophique ¹	Commentaires
Washington	1	Dawson Creek (C.-B.)	Eutrophe	Forte turbidité en 2002
Mielke	2	Dawson Creek (C.-B.)	Eutrophe	
Camrose	3	Camrose (AB)	Hyper-eutrophe	Problèmes de rideau en 2002
Hanna	4	Hanna (AB)	Mésotrophe	Problèmes de rideau en 2002
Matychuk	5	Peace River (AB)	Eutrophe	
Krawchuk	6	Peace River (AB)	Eutrophe	
MJ1 – Nord	7	Moose Jaw (SK)	Eutrophe	
MJ2 – Sud	8	Moose Jaw (SK)	Eutrophe	
Storey	9	Dauphin (MB)	Eutrophe	Éliminé après 2002.
Mztra	10	Brandon (MB)	Hyper-eutrophe	
Beauséjour	11	Beauséjour (MB)	Mésotrophe	

¹ Selon les définitions de l'OCDE (1982).

Tableau 2 : Doses de paille d'orge selon les auteurs consultés

Publications scientifiques			
Date	Ouvrage de référence	Lab./Terrain	g/m³
1990	Welch I.M., Barrett P.R.F., Gibson M.T. et Ridge I. 1990. Barley straw as an inhibitor of algal growth I: studies in the Chesterfield Canal. <i>Journal of Applied Phycology</i> 2: 231-239.	Terrain	400
1990	Gibson M.T., Welch I.M., Barrett P.R.F. et Ridge I. 1990. Barley straw as an inhibitor of algal growth II: laboratory studies. <i>Journal of Applied Phycology</i> 2: 241-248.	Lab.	4000
1993	Newman J.R. et Barrett P.R.F. 1993. Control of <i>Microcystis aeruginosa</i> by decomposing barley straw. <i>Aquatic Plant Management</i> 31: 203-206.	Lab.	1600
1996	Barrett P.R.F, Curnow J.C. et Littlejohn J.W. 1996. The control of diatom and cyanobacterial blooms in reservoirs using barley straw. <i>Hydrobiologia</i> 340: 307-311.	Terrain	44.5
1996	Everall N.C. et Lees D.R. 1996. The use of barley straw to control general and blue-green algal growth in a Derbyshire reservoir. <i>Water Research</i> 30: 269-376.	Terrain	50
1997	Everall N.C. et Lees D.R., 1997. The identification and significance of chemicals released from decomposing barley straw during reservoir algal control. <i>Water Research</i> . 31: 614-620.	Terrain	25
2001	Ball A.S., Williams M., Vincent D. et Robinson, J. 2001. Algal growth control by a barley straw extract. <i>Bioresource Technology</i> 77: 177-181.	Lab.	5000
2003	Brownlee E.F., Sellner S.G. et Sellner K.G. 2003. Effects of barley straw (<i>Hordeum vulgare</i>) on freshwater and brackish phytoplankton and cyanobacteria. <i>Journal of Applied Phycology</i> . 15: 525-531.	Lab.	312.5 - 1250
Publications grand public			
Date	Ouvrage de référence	Lab./Terrain	g/m²
Pas de date	Algae Control with Barley Straw. Ohio State University Extension Fact Sheet A -12-02. W.E. Lynch. 2 p.	Terrain	25
Pas de date	Integrated Pond Management for Maryland. Maryland Cooperative Extension Fact Sheet 766. B.R. Butler and D. Terlizzi. 8 p.	Terrain	10-35
1999	Algae Control in Ponds. Alberta Agriculture Food and Rural Development Fact Sheet: Agdex 485/716-2. 3 p.	Terrain	10
1999	CAPM Information Sheet 3: Control of Algae Using straw. 1999. IACR-Centre for Aquatic Plant Management. J.R. Newman. 15 p.	Terrain	10-50
2002	Aquatic Plant Management: Barley straw for Algae Control. Purdue University Extension Fact Sheet APM-1-W. Carole Lembi. 8 p.	Terrain	25

Tableau 3 : Doses de paille d'orge appliquées, par année

Étang-réservoir	N°	Date	Dose/superficie (g/m ²)	Dose/volume (g/m ³)
Washington	1	2002	50	25
		2003	75	37
Mielke	2	2002	40	22
		2003	60	33
Camrose	3	2002	0	0
		2003	50	21
Hanna	4	2002	50	21
		2003	50	21
Matychuk	5	2002	50	18
		2003	75	27
Krawchuk	6	2002	50	25
		2003	75	37
MJ1-Nord	7	2002	40	25
		2003	85	50
MJ2-Sud	8	2002	50	23
		2003	100	46
Storey	9	2002	100	45
MZTRA	10	2002	100	64
		2003	60	40
Beauséjour	11	2002	100	53
		2003	200	106

Tableau 4 : Minimum, maximum et moyenne estivale des divers paramètres, pour tous les étangs-réservoirs (cellules traitées = TR, cellules témoins = TÉ), en 2002 et 2003

Paramètre	Unité	Année	Traitement	Min.	Max.	Moyenne estivale
Chlorophylle <i>a</i>	µg/L	2002	TÉ	2,1	132,6	22,1
			TR	1,7	89,6	21,8
		2003	TÉ	1,8	95,9	22,7
			TR	0,8	91,4	20,5
Turbidité	uTN	2002	TÉ	0,4	155	21,6
			TR	0,3	156	20,6
		2003	TÉ	1,0	47,9	16,7
			TR	0,6	48,3	15,8
Profondeur au disque de Secchi	cm	2002	TÉ	7	280	113
			TR	10	260	99
		2003	TÉ	25	210	80
			TR	20	260	85
Oxygène dissous	mg/L	2002	TÉ	0,3	12,0	7,0
			TR	0,3	12,3	7,0
		2003	TÉ	0,3	14,5	6,8
			TR	0,2	10,7	6,8
Température	°C	2002	TÉ	7,2	26,2	17,7
			TR	7,2	26,2	17,6
		2003	TÉ	7,4	25,2	18,1
			TR	7,6	25,1	17,9

Tableau 5 : Comparaisons des tests *t* jumelés sur l'effet du traitement à la paille d'orge sur la turbidité estivale moyenne, la lecture du disque de Secchi et la concentration en chlorophylle *a*, selon l'année ($\alpha = 0,05$)

Paramètre	Année	Témoin	Traité	Valeur de P
Turbidité (uTN)	2002	21,6	20,6	0,1772
	2003	16,7	15,8	0,2296
Profondeur au disque de Secchi (cm)	2002	113	99	0,0714
	2003	80	85	0,0932
Chlorophylle <i>a</i> ($\mu\text{g/L}$)	2002	22,1	21,8	0,3886
	2003	22,7	20,5	0,0373

Figure 1 : Emplacement des sites à l'étude. À noter qu'il y a deux étangs-réservoirs à Dawson Creek (Colombie-Britannique), deux à Peace River (Alberta), et deux à Moose Jaw (Saskatchewan)

British Columbia = Colombie-Britannique

Dugout Location = Emplacement des étangs-réservoirs

1,200 Kilometers = 1200 kilomètres

1:25,000,000 = 1:25 000 000

Figure 2 : Taille de l'échantillon en fonction de la variation et du changement minimal détectable ($\alpha = 0,05$ et $\beta = 0,9$)

Coefficient de variation (%)

Taille minimale de l'échantillon

CMD = 10 %

CMD = 20 %

CMD = 30 %

Figure 3 : Ajout de paille d'orge à un étang-réservoir cloisonné

Figure 4 : Coefficient de variation sur les duplicats

Coefficient de variation (%)

Figure 5 : Périodes approximatives où la température dépasse 15 °C. À noter : la longueur de la barre représente la période où la température est restée au-dessus de 15 °C.

M J J A S O
Début du mois

Krawchuk 2002
Krawchuk 2003
Matychuk 2002
Matychuk 2003
Mielke 2002
Mielke 2003
MJ1-N 2002
MJ1-N 2003
MJ2-S 2002
MJ2-S 2003
Mztra 2002
Mztra 2003
Storey 2002
Washington 2002
Washington 2003

Figure 6 : Périodes approximatives où la température dépasse 20 °C. À noter : la longueur de la barre représente la période où la température est restée au-dessus de 20 °C.

M J J A S O
Début du mois

Krawchuk 2002
Krawchuk 2003
Matychuk 2002
Matychuk 2003
Mielke 2002
Mielke 2003
MJ1-N 2002
MJ1-N 2003
MJ2-S 2002
MJ2-S 2003
Mztra 2002
Mztra 2003
Storey 2002

Figure 7 : Écart de turbidité estivale moyenne (uTN) entre les cellules traitées et témoins des étangs-réservoirs

Turbidité (uTN) dans les cellules traitées/témoins

-8,0
-6,0
-4,0
-2,0
0,0
2,0
4,0
6,0
Hanna
2003
Washington 2002
MZTRA 2003
Krawchuk 2002
Beauséjour 2002
MZTRA 2002
Camrose 2003
Beauséjour 2003
Mielke 2003
MJ2-Sud 2003
Krawchuk 2003
Washington 2003
Matychuk 2002
Mielke 2002
MJ2-Sud 2002
Hanna
2002
MJ1-Nord 2002
Matychuk 2003
MJ1-Nord 2003

Figure 8 : Écarts dans la lecture estivale moyenne du disque de Secchi (cm) entre les cellules traitées et témoins des étangs-réservoirs

Profondeur (cm) au disque de Secchi dans les cellules traitées/témoins

-100
-80
-60
-40
-20
0
20
40
Beauséjour 2002
Krawchuk 2002
Mielke 2002
Storey 2002
Camrose 2003
Matychuk 2002
Hanna 2003
Mielke 2003
Washington 2002
MJ2-S 2003
MJ1-N 2003
Washington 2003
MZTRA 2002
MJ2-S 2002
MZTRA 2003
MJ1-N 2002
Matychuk 2003

Krawchuk 2002
Beauséjour 2003

Figure 9 : Écart de concentration estivale moyenne en chlorophylle *a* ($\mu\text{g/L}$) entre les cellules traitées et témoins des étangs-réservoirs

Chlor. a dans les cellules traitées/témoins

-12
-8
-4
0
4
Camrose 03
Matychuk 02
Mielke 02
Krawchuk 02
Storey 02
Beauséjour 02
MZTRA 02
Krawchuk 03
Beauséjour 03
Washington 03
MJ2-Sud 02
Hanna 03
MZTRA 03
MJ2-Sud 03
Matychuk 03
Mielke 03
MJ1-Nord 02
MJ1-Nord 03

Figure 10 : Concentration moyenne estivale de chlorophylle *a* dans la cellule traitée de l'étang-réservoir, exprimée en pourcentage de la concentration moyenne estivale de chlorophylle *a* dans la cellule témoin

% dans la cellule témoin

0
20
40
60
80
100
120
140
Mielke 02
Matychuk 02
Krawchuk 02
Camrose 03
MZTRA 02
Storey 02
Beauséjour 02
Krawchuk 03
MJ2-Sud 02
MZTRA 03
MJ2-Sud 03
Hanna 03
Beauséjour 03
Matychuk 03
Washington 03
MJ1-Nord 02
MJ1-Nord 03
Mielke 03

Figure 11 : Représentation graphique du taux de réduction de la chlorophylle *a* relativement à la concentration moyenne estivale

Concentration moyenne de chlorophylle *a* (cellule traitée)
% de réduction

-100
-80
-60
-40
-20
0
20
40
60
0 10 20 30 40 50 60

Figure 12 : Représentation graphique du taux de réduction de la chlorophylle *a* relativement au dosage de la paille d'orge

Dosage (g/m²)
% de réduction

-20
-10
0
10
20
30
40
50
0 50 100 150 200 250

Figure 13 : Représentation graphique du taux de réduction de la chlorophylle *a* relativement à la température estivale moyenne

Température estivale moyenne °C (cellule traitée)
% de réduction

-20
-10
0
10
20
30
40
50
10 12 14 16 18 20 22

Figure 14 : Comparaison de la température estivale moyenne à la surface de l'eau en 2002 et 2003

Température (°C)

0
5
10
15
20
25
Krawchuk
Matychuk
Mielke
MJ1-Nord
MJ2-Sud
MZTRA
Beauséjour
2002
2003

Figure 15 : Comparaison du dosage de la paille d'orge (g/m²) en 2002 et 2003

Paille (g/m²)

0
50
100
150
200
250
Krawchuk
Matychuk
Mielke
MJ1-Nord
MJ2-Sud
MZTRA
Beauséjour
2002
2003

Annexe A

Données de terrain

**(Turbidité, profondeur au disque de Secchi, chlorophylle *a*,
température de l'eau à la surface)**

Étang-réservoir	Date	Cellule témoin Turbidité (uTN)	Cellule traitée Turbidité (uTN)
Beauséjour	7/1/2002	4,0	4,0
Beauséjour	7/17/2002	3,0	7,0
Beauséjour	9/30/2002	2,5	1,5
Beauséjour	5/22/2003	10,0	10,0
Beauséjour	5/22/2003	10,0	10,0
Beauséjour	6/16/2003	4,0	4,0
Beauséjour	7/24/2003	9,0	11,0
Beauséjour	7/30/2003	3,0	1,0
Beauséjour	9/4/2003	1,0	2,0
Beauséjour	9/15/2003	2,0	1,0
Beauséjour	10/1/2003	4,0	2,0
Camrose	6/18/2003	5,2	5,2
Camrose	7/24/2003	3,5	3,8
Camrose	8/14/2003	4,0	4,1
Camrose	9/11/2003	7,5	9,2
Camrose	9/24/2003	10,3	9,9
Camrose	10/9/2003	10,9	10,1
Camrose	10/23/2003	7,4	7,5
Hanna	6/18/2002	52,2	52,2
Hanna	7/31/2002	47,6	42,3
Hanna	8/28/2002	22,2	18,8
Hanna	7/16/2003	7,5	12,7
Hanna	8/13/2003	11,3	12,4
Hanna	9/10/2003	20,5	29,0
Hanna	9/24/2003	25,2	29,7
Hanna	10/8/2003	27,6	28,4
Hanna	10/20/2003	30,2	29,8
Krawchuk	6/12/2002	0,4	1,2
Krawchuk	6/25/2002	1,6	1,5
Krawchuk	7/9/2002	1,2	2,0
Krawchuk	7/23/2002	1,3	4,6
Krawchuk	8/2/2002	4,4	4,6
Krawchuk	8/6/2002	2,6	3,2
Krawchuk	9/5/2002	5,0	8,8
Krawchuk	9/17/2002	9,2	12,2
Krawchuk	10/1/2002	8,9	6,5
Krawchuk	5/30/2003	6,1	4,9
Krawchuk	6/10/2003	6,7	7,3
Krawchuk	6/23/2003	4,6	4,7
Krawchuk	7/10/2003	8,8	8,7
Krawchuk	7/23/2003	18,5	11,3
Krawchuk	8/6/2003	19,2	16,1
Krawchuk	8/20/2003	8,2	9,9
Krawchuk	9/3/2003	6,0	10,0
Krawchuk	10/1/2003	5,5	4,3
Matychuk	6/12/2002	3,0	3,4
Matychuk	6/25/2002	5,6	10,4
Matychuk	7/9/2002	2,0	1,5
Matychuk	8/6/2002	5,6	6,3
Matychuk	8/20/2002	11,0	9,8
Matychuk	9/5/2002	6,4	6,2
Matychuk	9/17/2002	14,7	8,8
Matychuk	10/1/2002	14,7	10,2
Matychuk	5/30/2003	9,3	11,3
Matychuk	6/10/2003	9,9	9,7
Matychuk	6/23/2003	12,4	14,8
Matychuk	7/10/2003	13,6	15,3
Matychuk	7/23/2003	22,9	13,5
Matychuk	8/6/2003	21,2	18,1

Étang-réservoir	Date	Cellule témoin Turbidité (uTN)	Cellule traitée Turbidité (uTN)
Matychuk	8/20/2003	25,2	18,2
Matychuk	9/3/2003	23,2	13,4
Matychuk	10/1/2003	21,3	17,2
Mielke	6/7/2002	5,6	6,8
Mielke	6/24/2002	4,4	6,3
Mielke	7/9/2002	3,1	3,7
Mielke	7/22/2002	20,1	2,1
Mielke	8/7/2002	3,1	3,6
Mielke	8/20/2002	4,7	5,0
Mielke	9/5/2002	4,2	6,1
Mielke	9/20/2002	3,6	4,5
Mielke	6/10/2003	3,0	1,3
Mielke	6/24/2003	3,4	1,4
Mielke	7/8/2003	3,3	3,6
Mielke	7/22/2003	3,2	3,7
Mielke	8/5/2003	3,7	0,6
Mielke	8/19/2003	4,0	3,1
Mielke	9/2/2003	3,8	3,7
Mielke	9/17/2003	5,2	4,2
Mielke	9/30/2003	5,5	5,8
MJ1-Nord	6/11/2002	45,9	39,4
MJ1-Nord	6/27/2002	55,0	69,0
MJ1-Nord	7/11/2002	33,3	36,0
MJ1-Nord	7/25/2002	63,0	45,3
MJ1-Nord	9/5/2002	11,7	9,1
MJ1-Nord	9/19/2002	8,0	7,2
MJ1-Nord	10/3/2002	3,0	0,3
MJ1-Nord	10/17/2002	4,2	3,7
MJ1-Nord	6/19/2003	22,4	27,8
MJ1-Nord	7/3/2003	39,3	30,7
MJ1-Nord	7/17/2003	47,9	38,1
MJ1-Nord	7/30/2003	37,7	31,3
MJ1-Nord	8/14/2003	30,1	32,3
MJ1-Nord	8/28/2003	40,8	22,8
MJ1-Nord	9/11/2003	39,4	35,6
MJ1-Nord	9/24/2003	34,0	28,9
MJ1-Nord	10/9/2003	24,6	20,7
MJ1-Nord	10/23/2003	25,2	17,1
MJ2-Sud	6/11/2002	61,0	100,0
MJ2-Sud	6/27/2002	96,0	89,0
MJ2-Sud	7/11/2002	155,0	156,0
MJ2-Sud	7/25/2002	106,0	90,0
MJ2-Sud	9/5/2002	8,3	8,7
MJ2-Sud	9/19/2002	11,4	12,0
MJ2-Sud	10/3/2002	3,4	3,3
MJ2-Sud	10/17/2002	9,5	10,2
MJ2-Sud	6/19/2003	38,5	33,4
MJ2-Sud	7/3/2003	35,8	33,9
MJ2-Sud	7/17/2003	27,9	22,9
MJ2-Sud	7/30/2003	20,7	18,8
MJ2-Sud	8/14/2003	21,9	24,4
MJ2-Sud	8/28/2003	28,6	30,1
MJ2-Sud	9/11/2003	35,3	32,5
MJ2-Sud	9/24/2003	26,8	30,2
MJ2-Sud	10/9/2003	18,7	32,9
MJ2-Sud	10/23/2003	18,7	17,7
MZTRA	5/29/2002	8,4	8,7
MZTRA	6/11/2002	17,4	17,0
MZTRA	6/27/2002	16,4	22,6
MZTRA	7/8/2002	16,7	11,3
MZTRA	7/24/2002	36,8	37,6
MZTRA	8/21/2002	16,4	14,5
MZTRA	9/5/2002	15,9	14,7
MZTRA	9/7/2002	22,6	27,3
MZTRA	9/19/2002	13,0	19,2
MZTRA	6/5/2003	9,2	15,3
MZTRA	6/18/2003	10,8	12,0
MZTRA	7/3/2003	25,7	21,3
MZTRA	7/17/2003	19,4	18,8

Étang- réservoir	Date	Cellule témoin Turbidité (uTN)	Cellule traitée Turbidité (uTN)
MZTRA	7/31/2003	38,8	23,3
MZTRA	8/14/2003	36,9	37,8
MZTRA	8/27/2003	29,1	37,7
MZTRA	8/27/2003	29,1	37,7
MZTRA	9/10/2003	34,7	37,0
MZTRA	9/23/2003	25,6	48,3
Washington	6/7/2002	8,8	7,5
Washington	6/24/2002	8,0	9,7
Washington	7/9/2002	6,6	14,7
Washington	7/22/2002	21,3	11,7
Washington	8/7/2002	19,8	28,8
Washington	8/20/2002	13,5	1,9
Washington	9/5/2002	25,2	39,7
Washington	9/18/2002	24,1	33,1
Washington	9/30/2002	20,2	31,0
Washington	6/10/2003	1,8	1,9
Washington	6/24/2003	5,2	2,8
Washington	7/8/2003	6,9	4,1
Washington	7/22/2003	7,8	3,0
Washington	8/5/2003	3,3	3,2
Washington	8/19/2003	8,5	7,1
Washington	9/2/2003	6,5	6,3
Washington	9/17/2003	6,5	4,4
Washington	9/30/2003	6,9	5,0

Étang- réservoir	Date	Cellule témoin Profondeur au disque de Secchi (cm)	Cellule traitée Profondeur au disque de Secchi (cm)
Beauséjour	5/21/2002	240	240
Beauséjour	6/6/2002	310	310
Beauséjour	6/18/2002	310	310
Beauséjour	7/1/2002	190	150
Beauséjour	7/17/2002	260	70
Beauséjour	9/30/2002	220	220
Beauséjour	5/22/2003	145	145
Beauséjour	5/22/2003	145	145
Beauséjour	6/16/2003	250	220
Beauséjour	7/3/2003	200	240
Beauséjour	7/24/2003	90	80
Beauséjour	7/30/2003	160	260
Beauséjour	9/4/2003	210	210
Beauséjour	10/1/2003	210	210
Camrose	6/18/2003	100	100
Camrose	7/24/2003	120	120
Camrose	8/14/2003	130	120
Camrose	9/11/2003	80	70
Camrose	9/24/2003	80	80
Camrose	10/9/2003	70	70
Camrose	10/23/2003	70	70
Hanna	7/16/2003	80	80
Hanna	8/13/2003	60	60
Hanna	9/10/2003	60	50
Hanna	9/24/2003	50	50
Hanna	10/8/2003	50	50
Hanna	10/20/2003	50	40
Krawchuk	6/12/2002	360	350
Krawchuk	6/25/2002	270	260
Krawchuk	7/9/2002	270	260
Krawchuk	7/23/2002	275	200
Krawchuk	8/2/2002	100	70
Krawchuk	8/6/2002	150	110
Krawchuk	9/5/2002	80	100
Krawchuk	9/17/2002	90	90
Krawchuk	10/1/2002	100	110
Krawchuk	5/30/2003	100	100
Krawchuk	6/10/2003	100	110
Krawchuk	6/23/2003	120	130
Krawchuk	7/10/2003	40	90
Krawchuk	7/23/2003	60	60
Krawchuk	8/6/2003	60	60
Krawchuk	8/20/2003	80	80
Krawchuk	9/3/2003	105	115
Krawchuk	10/1/2003	125	150
Matychuk	6/12/2002	100	100
Matychuk	6/25/2002	130	90
Matychuk	7/9/2002	160	100
Matychuk	8/6/2002	100	100
Matychuk	8/20/2002	70	70
Matychuk	9/5/2002	90	110
Matychuk	9/17/2002	80	100
Matychuk	10/1/2002	70	80
Matychuk	5/30/2003	105	90
Matychuk	6/10/2003	100	100
Matychuk	6/23/2003	80	80
Matychuk	7/10/2003	75	75
Matychuk	7/23/2003	60	80
Matychuk	8/6/2003	60	60
Matychuk	8/20/2003	50	60

Étang-réservoir	Date	Cellule témoin Profondeur au disque de Secchi (cm)	Cellule traitée Profondeur au disque de Secchi (cm)
Matychuk	9/3/2003	60	75
Matychuk	10/1/2003	70	75
Mielke	6/7/2002	60	70
Mielke	6/24/2002	95	85
Mielke	7/9/2002	101	80
Mielke	7/22/2002	190	170
Mielke	8/7/2002	130	120
Mielke	8/20/2002	95	100
Mielke	9/5/2002	122	100
Mielke	9/20/2002	145	115
Mielke	6/10/2003	145	150
Mielke	6/24/2003	110	110
Mielke	7/8/2003	130	130
Mielke	7/22/2003	160	140
Mielke	8/5/2003	100	110
Mielke	8/19/2003	130	130
Mielke	9/2/2003	120	120
Mielke	9/17/2003	90	85
Mielke	9/30/2003	85	85
MJ1-Nord	6/11/2002	90	90
MJ1-Nord	6/27/2002	120	110
MJ1-Nord	7/11/2002	200	180
MJ1-Nord	7/25/2002	90	100
MJ1-Nord	8/8/2002	15	40
MJ1-Nord	8/21/2002	70	70
MJ1-Nord	9/5/2002	75	75
MJ1-Nord	9/19/2002	90	100
MJ1-Nord	10/3/2002	105	105
MJ1-Nord	10/17/2002	115	120
MJ1-Nord	6/19/2003	90	90
MJ1-Nord	7/3/2003	65	70
MJ1-Nord	7/17/2003	105	70
MJ1-Nord	7/30/2003	55	55
MJ1-Nord	8/14/2003	55	70
MJ1-Nord	8/28/2003	55	70
MJ1-Nord	9/11/2003	55	55
MJ1-Nord	9/24/2003	70	75
MJ1-Nord	10/9/2003	70	80
MJ1-Nord	10/23/2003	95	95
MJ2-Sud	6/11/2002	60	60
MJ2-Sud	6/27/2002	65	70
MJ2-Sud	7/11/2002	40	45
MJ2-Sud	7/25/2002	50	55
MJ2-Sud	8/8/2002	7	10
MJ2-Sud	8/21/2002	45	52
MJ2-Sud	9/5/2002	63	62
MJ2-Sud	9/19/2002	60	55
MJ2-Sud	10/3/2002	70	75
MJ2-Sud	10/17/2002	63	70
MJ2-Sud	6/19/2003	75	70
MJ2-Sud	7/3/2003	80	75
MJ2-Sud	7/17/2003	85	95
MJ2-Sud	7/30/2003	90	90
MJ2-Sud	8/14/2003	95	85
MJ2-Sud	8/28/2003	70	70
MJ2-Sud	9/11/2003	60	60
MJ2-Sud	9/24/2003	80	90
MJ2-Sud	10/9/2003	95	100
MJ2-Sud	10/23/2003	90	95
MZTRA	5/29/2002	50	50
MZTRA	6/11/2002	42	45
MZTRA	6/27/2002	53	46
MZTRA	7/8/2002	47	55
MZTRA	7/24/2002	30	31
MZTRA	8/21/2002	36	36
MZTRA	9/5/2002	33	36
MZTRA	9/7/2002	40	40
MZTRA	9/19/2002	55	55
MZTRA	6/5/2003	80	60

Étang- réservoir	Date	Cellule témoin Profondeur au disque de Secchi (cm)	Cellule traitée Profondeur au disque de Secchi (cm)
MZTRA	6/18/2003	70	90
MZTRA	7/3/2003	35	42
MZTRA	7/17/2003	45	52
MZTRA	7/31/2003	30	40
MZTRA	8/14/2003	25	20
MZTRA	8/27/2003	35	34
MZTRA	8/27/2003	35	34
MZTRA	9/10/2003	34	30
MZTRA	9/23/2003	31	40
Storey	5/24/2002	0	0
Storey	5/31/2002	160	160
Storey	6/13/2002	210	210
Storey	6/27/2002	290	240
Storey	7/11/2002	180	180
Storey	7/25/2002	150	150
Storey	8/8/2002	160	170
Storey	8/22/2002	280	220
Washington	6/7/2002	45	45
Washington	6/24/2002	42	35
Washington	7/9/2002	42	42
Washington	7/22/2002	40	40
Washington	8/7/2002	35	40
Washington	8/20/2002	33	30
Washington	9/5/2002	28	25
Washington	9/18/2002	20	20
Washington	9/30/2002	25	25
Washington	6/10/2003	60	60
Washington	6/24/2003	50	50
Washington	7/8/2003	52	50
Washington	7/22/2003	40	50
Washington	8/5/2003	50	45
Washington	8/19/2003	45	38
Washington	9/2/2003	45	45
Washington	9/17/2003	55	65
Washington	9/30/2003	45	50

Étang- réservoir	Date	Cellule témoin Chl. <i>a</i> (ug/L)	Cellule traîtée Chl. <i>a</i> (ug/L)	Cellule témoin Température (°C)	Cellule traitée Température (°C)
Beauséjour	6/6/2002	0,82	0,82	18,3	18,4
Beauséjour	6/18/2002	1,99	1,22	19,8	20,3
Beauséjour	7/1/2002	2,35	1,91	25,6	25,4
Beauséjour	7/17/2002	2,99	3,42	26,2	26,2
Beauséjour	7/31/2002	4,10	9,49		
Beauséjour	9/4/2002	17,00	12,80	12,7	13,1
Beauséjour	9/17/2002	4,22	3,14		
Beauséjour	9/30/2002	1,12	1,04		
Beauséjour	16Jun2003	1,59	1,29	23,8	23,6
Beauséjour	24Jul2003	33,50	34,46	23,7	22,8
Beauséjour	30Jul2003	3,64	1,87	22,8	22
Beauséjour	04Sep2003	3,48	0,77	18,7	16
Beauséjour	15Sep2003	2,22	1,63		
Beauséjour	01Oct2003	2,38	0,92	6,5	6,3
Camrose	7/24/2003	9,37	7,62	22,3	22,9
Camrose	8/13/2003	11,99	16,10	21,7	21,9
Camrose	8/28/2003	57,71	63,02	16,4	16,9
Camrose	9/11/2003	64,78	74,17	14,7	14,9
Camrose	9/25/2003	82,68	80,01	9,4	9,4
Camrose	10/9/2003	54,44	59,71	9,1	9,1
Camrose	10/23/2003	47,35	44,90	6	5,9
Hanna	7/16/2003	3,59	3,84	19,4	19,6
Hanna	8/14/2003	6,13	5,43	20,5	20,4
Hanna	8/27/2003	4,34	8,32		
Hanna	9/10/2003	6,52	7,86	13,3	13,2
Hanna	9/24/2003	11,32	10,60	8,3	8,6
Hanna	10/8/2003	32,46	26,46	10,4	10,3
Hanna	10/20/2003	34,66	25,24	6,6	6,4
Krawchuk	6/12/2002	2,09	1,76	20,6	18,2
Krawchuk	6/25/2002	9,04	5,70	20,1	19,9
Krawchuk	7/9/2002	4,08	5,84	17	16,9
Krawchuk	7/23/2002	4,51	10,80	20,1	19,9
Krawchuk	8/6/2002	7,01	9,75	14,8	14,9
Krawchuk	8/20/2002	12,60	13,40	15,5	15,4
Krawchuk	9/5/2002	19,10	15,60	14,1	13,9
Krawchuk	9/17/2002	11,20	13,10	13,4	13,1
Krawchuk	10/1/2002	8,13	7,66	8,3	8,2
Krawchuk	5/29/2003	16,77	15,43	13,1	14,5
Krawchuk	6/10/2003	11,81	9,85	17,6	17,1
Krawchuk	6/23/2003	13,96	18,63	15	14,9
Krawchuk	7/10/2003	15,81	17,31	21	19
Krawchuk	7/23/2003	15,61	14,84	20,7	20,1
Krawchuk	8/6/2003	29,85	24,94	19,6	19,5
Krawchuk	8/20/2003	9,46	9,86	17,8	17,5
Krawchuk	9/3/2003	8,82	9,15	15,9	15,8
Krawchuk	10/1/2003	9,44	6,74	7,8	7,8
Matychuk	6/12/2002	8,60	10,20	21,2	19,2
Matychuk	6/25/2002	17,10	41,90	21,2	20
Matychuk	7/9/2002	13,70	19,40	18	17,2
Matychuk	7/23/2002	11,80	22,60		
Matychuk	8/6/2002	19,00	22,10	15,8	14,9
Matychuk	8/20/2002	27,00	23,70	16,3	16
Matychuk	9/5/2002	24,20	17,10	14,9	14,5
Matychuk	9/17/2002	28,00	20,30	13,7	13,3
Matychuk	10/1/2002	22,40	14,60	8,8	8,8
Matychuk	5/29/2003	4,99	6,03	17,4	16,1
Matychuk	6/10/2003	11,23	8,02	17,5	18
Matychuk	6/23/2003	23,28	19,95	15,9	15,5
Matychuk	7/10/2003	12,66	13,51	19,7	19,8
Matychuk	7/23/2003	18,39	16,62	21	20,5
Matychuk	8/6/2003	27,03	23,38	20,6	20,5

Étang- réservoir	Date	Cellule témoin	Cellule traitée	Cellule témoin Température	Cellule traitée Température
		Chl. a (ug/L)	Chl. a (ug/L)	(°C)	(°C)
Matychuk	8/20/2003	31,06	23,59	18,7	18,2
Matychuk	9/3/2003	26,49	21,85	16,7	16,5
Matychuk	10/1/2003	23,51	20,18	8,6	8,6
Melville	6/24/2003	22,20	28,80		
Melville	7/8/2003	52,45	57,99		
Melville	7/23/2003	42,69	20,96		
Melville	8/7/2003	43,13	39,90		
Melville	8/21/2003	21,58	21,63		
Melville	9/4/2003	10,52	9,96		
Melville	9/17/2003	16,06	13,87		
Melville	10/17/2003	7,37	11,98		
Mielke	6/7/2002	40,60	33,80	13,9	14,4
Mielke	6/24/2002	2,64	1,83	20,5	20,5
Mielke	7/9/2002	7,61	14,00	18	18,2
Mielke	7/22/2002	2,13	2,72	19,7	20,1
Mielke	8/7/2002	2,10	2,08	14	14,6
Mielke	8/20/2002	12,70	12,00	15,6	16,2
Mielke	9/5/2002	3,21	5,60	12,9	13,6
Mielke	9/18/2002	6,19	16,30	9,1	9,2
Mielke	9/30/2002	5,37	28,30		
Mielke	6/10/2003	3,00	2,59	17,4	17,7
Mielke	6/24/2003	3,13	2,30	17	17,2
Mielke	7/8/2003	5,01	3,18	17,8	17,9
Mielke	7/22/2003	3,52	3,92	20,2	20,5
Mielke	8/5/2003	4,18	3,24	18,9	19,6
Mielke	8/19/2003	2,86	3,09	17,5	17,6
Mielke	9/2/2003	12,84	6,44	15,2	15,5
Mielke	9/17/2003	9,81	6,75	9,3	10,1
Mielke	9/30/2003	22,30	9,21	8,5	8,4
MJ1-Nord	6/11/2002	27,70	22,70	11,5	11,3
MJ1-Nord	6/27/2002	16,50	12,40	24,4	24,8
MJ1-Nord	7/11/2002	4,94	4,76	22,2	22,5
MJ1-Nord	7/25/2002	28,50	22,90	23,1	22,8
MJ1-Nord	9/5/2002	54,40	41,50	19,4	19,2
MJ1-Nord	9/19/2002	37,30	26,30	16,2	15,9
MJ1-Nord	10/3/2002	21,60	17,20	8,8	8,5
MJ1-Nord	10/17/2002	14,20	12,30	5,1	4,9
MJ1-Nord	6/19/2003	32,03	23,30	20,9	21
MJ1-Nord	7/3/2003	31,90	21,25	22,2	21,7
MJ1-Nord	7/17/2003	49,08	33,45	22,2	22,7
MJ1-Nord	7/30/2003	48,40	39,29	24,2	23,5
MJ1-Nord	8/14/2003	43,86	25,67	24,8	24,5
MJ1-Nord	8/28/2003	42,00	42,81	17,8	17,7
MJ1-Nord	9/11/2003	37,45	26,18	17,3	16,5
MJ1-Nord	9/24/2003	24,05	14,42	10,6	9,4
MJ1-Nord	10/9/2003	23,57	13,53	12,1	12
MJ1-Nord	10/23/2003	22,87	16,96	8,2	8,3
MJ2-Sud	6/11/2002	24,40	28,80	11,3	11,1
MJ2-Sud	6/27/2002	21,30	16,80	24,5	24,7
MJ2-Sud	7/11/2002	34,80	25,60	22,6	22,8
MJ2-Sud	7/25/2002	9,71	15,60	23,4	21,3
MJ2-Sud	9/5/2002	31,20	28,50	19,3	19,4
MJ2-Sud	9/19/2002	31,30	28,80	16,5	16,1
MJ2-Sud	10/3/2002	22,10	22,00	8,8	8,6
MJ2-Sud	10/17/2002	23,60	23,50	5	5
MJ2-Sud	6/19/2003	17,49	20,90	22,1	21,4
MJ2-Sud	7/3/2003	19,38	14,79	21,8	21,6
MJ2-Sud	7/17/2003	10,92	6,92	22,8	23
MJ2-Sud	7/30/2003	18,35	8,07	24,1	24,1
MJ2-Sud	8/14/2003	26,39	29,18	25,2	25,1
MJ2-Sud	8/28/2003	33,80	25,94	17,9	17,9
MJ2-Sud	9/11/2003	27,04	22,70	17,3	16,7
MJ2-Sud	9/24/2003	20,87	23,43	9,9	9,4
MJ2-Sud	10/9/2003	17,34	18,19	12	12
MJ2-Sud	10/23/2003	19,00	18,80	8,2	8,4
MZTRA	5/29/2002	41,40	42,30	15,9	16
MZTRA	6/11/2002	49,70	45,40	13,5	13,7
MZTRA	6/26/2002	51,00	57,50	24	24,2
MZTRA	7/9/2002	67,30	79,60	20,8	20,6

Étang-réservoir	Date	Cellule témoin Chl. <i>a</i> (ug/L)	Cellule traitée Chl. <i>a</i> (ug/L)	Cellule témoin Température (°C)	Cellule traitée Température (°C)
MZTRA	7/24/2002	87,50	89,60	22,4	22,4
MZTRA	8/7/2002	59,10	43,70	21,1	21,3
MZTRA	8/21/2002	76,20	74,00	18	18
MZTRA	9/5/2002	49,90	47,00	18,6	18
MZTRA	9/19/2002	31,00	30,20	15,5	15,6
MZTRA	6/5/2003	9,29	8,51	18,4	17,5
MZTRA	6/19/2003	6,75	6,47	21,6	21,4
MZTRA	7/3/2003	26,22	21,26	21	21
MZTRA	7/17/2003	34,71	23,21	22,2	22,3
MZTRA	7/31/2003	43,46	26,79	23,4	23,2
MZTRA	8/14/2003	95,93	91,41	23,6	23,3
MZTRA	8/27/2003	49,98	56,45	20,1	19,7
MZTRA	9/10/2003	42,05	51,23	18	17,8
MZTRA	9/23/2003	39,78	43,99	12,2	11,4
Storey	5/31/2002	0,18	0,18	16,4	16,4
Storey	6/13/2002	2,76	2,40	14,6	14,2
Storey	6/27/2002	2,74	3,70	23,9	23,3
Storey	7/11/2002	5,03	6,00	22,1	21,8
Storey	7/25/2002	18,20	16,80	24,1	23,3
Storey	8/8/2002	22,30	24,60	18,7	19
Storey	8/22/2002	15,15	12,05	18,7	18,1
Washington	6/7/2002	188,30	119,60	13,4	12,8
Washington	6/24/2002	9,43	19,30	17,1	16,5
Washington	7/9/2002	14,80	10,80	14,9	14,6
Washington	7/22/2002	14,60	5,67	15,8	16,3
Washington	8/7/2002	38,50	18,9	11,9	11,7
Washington	8/20/2002	132,60	24,5	13,2	12,8
Washington	9/5/2002	59,90	17,3	10,7	10,9
Washington	9/18/2002	88,90	11,6	9,7	9,4
Washington	9/30/2002	82,20	1,65	7,2	7,2
Washington	6/10/2003	1,80	1,06	16,9	16,8
Washington	6/24/2003	1,49	1,09	15,4	15,2
Washington	7/8/2003	1,79	6,52	15,6	15,5
Washington	7/22/2003	2,57	3,48	17,4	17
Washington	8/5/2003	6,15	4,47	16,2	16,4
Washington	8/19/2003	8,76	5,35	15,1	15,5
Washington	9/2/2003	17,57	7,79	12,8	13,5
Washington	9/17/2003	7,54	7,39	7,7	8,2
Washington	9/30/2003	11,16	12,76	7,4	7,6

Annexe B
**Profils caractéristiques de la température et de l'oxygène
dissous**

Profils de température Nord de l'Alberta (Krawchuk)

Krawchuk 2002 - Profils de température

0
0,5
1
1,5
2
2,5
3
3,5
10 12 14 16 18 20 22 24
Température (°C)
Profondeur (m)
Cellule témoin – Juin
Cellule témoin – Juillet
Cellule témoin – Septembre
Cellule traitée – Juin
Cellule traitée – Juillet
Cellule traitée – Septembre

Krawchuk 2003 - Profils de température

0
0,5
1
1,5
2
2,5
3
3,5
10 12 14 16 18 20 22 24
Température (°C)
Profondeur (m)
Cellule témoin – Juin
Cellule témoin – Juillet
Cellule témoin – Septembre
Cellule traitée – Juin
Cellule traitée – Juillet
Cellule traitée – Septembre

Profils de température Sud de la Saskatchewan (MJ1-Nord)

MJ1-Nord 2002 - Profils de température

0
0,5
1
1,5
2
2,5
3
3,5
8 10 12 14 16 18 20 22 24 26

Température (°C)

Profondeur (m)

Cellule témoin – Juin

Cellule témoin – Juillet

Cellule témoin – Septembre

Cellule traitée – Juin

Cellule traitée – Juillet

Cellule traitée – Septembre

MJ1-Nord 2003 - Profils de température

0
0,5
1
1,5
2
2,5
3
3,5
8 10 12 14 16 18 20 22 24 26

Température (°C)

Profondeur (m)

Cellule témoin – Juin

Cellule témoin – Juillet

Cellule témoin – Septembre

Cellule traitée – Juin

Cellule traitée – Juillet

Cellule traitée – Septembre

Profils de température Sud du Manitoba (MZTRA)

MZTRA 2002 - Profils de température

0
0,5
1
1,5
2
2,5
3
3,5
10 12 14 16 18 20 22 24

Température (°C)

Profondeur (m)

Cellule témoin – Juin

Cellule témoin – Juillet

Cellule témoin – Septembre

Cellule traitée – Juin

Cellule traitée – Juillet

Cellule traitée – Septembre

MZTRA 2003 - Profils de température

0
0,5
1
1,5
2
2,5
3
3,5
10 12 14 16 18 20 22 24

Température (°C)

Profondeur (m)

Cellule témoin – Juin

Cellule témoin – Juillet

Cellule témoin – Septembre

Cellule traitée – Juin

Cellule traitée – Juillet

Cellule traitée – Septembre

Profils de l'oxygène dissous Nord de l'Alberta (Krawchuk)

Krawchuk 2002 - Profils de l'oxygène dissous

0

0,5

1

1,5

2

2,5

3

3,5

4 6 8 10 12 14

Oxygène dissous (mg/L)

Profondeur (m)

Cellule témoin – Juin

Cellule témoin – Juillet

Cellule témoin – Septembre

Cellule traitée – Juin

Cellule traitée – Juillet

Cellule traitée – Septembre

Krawchuk 2003 - Profils de l'oxygène dissous

0

0,5

1

1,5

2

2,5

3

3,5

4 6 8 10 12 14

Oxygène dissous (mg/L)

Profondeur (m)

Cellule témoin – Juin

Cellule témoin – Juillet

Cellule témoin – Septembre

Cellule traitée – Juin

Cellule traitée – Juillet

Cellule traitée - Septembre

Profils de l'oxygène dissous Sud de la Saskatchewan (MJ1-Nord)

MJ1-Nord 2002 - Profils de l'oxygène dissous

0

0,5

1

1,5

2

2,5

3

3,5

4 6 8 10 12 14

Oxygène dissous (mg/L)

Profondeur (m)

Cellule témoin – Juin

Cellule témoin – Juillet

Cellule témoin – Septembre

Cellule traitée – Juin

Cellule traitée – Juillet

Cellule traitée – Septembre

MJ1-Nord 2003 - Profils de l'oxygène dissous

0

0,5

1

1,5

2

2,5

3

3,5

4 6 8 10 12 14

Oxygène dissous (mg/L)

Profondeur (m)

Cellule témoin – Juin

Cellule témoin – Juillet

Cellule témoin – Septembre

Cellule traitée – Juin

Cellule traitée – Juillet

Cellule traitée – Septembre

Profils de l'oxygène dissous Sud du Manitoba (MZTRA)

MZTRA 2002 - Profils de l'oxygène dissous

0

0,5

1

1,5

2

2,5

3

3,5

4 6 8 10 12 14

Oxygène dissous (mg/L)

Profondeur (m)

Cellule témoin – Juin

Cellule témoin – Juillet

Cellule témoin – Septembre

Cellule traitée – Juin

Cellule traitée – Juillet

Cellule traitée – Septembre

MZTRA 2003 - Profils de l'oxygène dissous

0

0,5

1

1,5

2

2,5

3

3,5

4 6 8 10 12 14

Oxygène dissous (mg/L)

Profondeur (m)

Cellule témoin – Juin

Cellule témoin – Juillet

Cellule témoin – Septembre

Cellule traitée – Juin

Cellule traitée – Juillet

Cellule traitée – Septembre