

HYDREAU-BÉTAIL

Bibliographie

Daniel CLUIS
Professeur
INRS-Eau

Rapport final

15 novembre 1993

Table des matières

	Page
Introduction	1
1. Accès direct au cours d'eau	2
2. Eaux usées de laiterie	4
3. Cour d'exercice	8
4. Amas de fumier solide	10
5. Entreposage du fumier	12
6. Épandage du fumier	13
Conclusion	18
Bibliographie.....	20
Annexe	

INTRODUCTION

Le présent document présente et discute des résultats d'une recherche bibliographique entreprise dans le cadre du projet: Méthode de gestion par simulation de la contribution à la contamination des eaux des sources agricoles, Daniel Cluis, Université du Québec, INRS-Eau.

Le projet vise à développer un logiciel permettant d'estimer les exportations de contaminants vers les cours d'eau et en provenance des exploitations animales. La recherche bibliographique concerne principalement les charges exportées de phosphore et d'azote dues à l'accès direct des animaux au cours d'eau, aux eaux usées de laiterie, aux cours d'exercice, aux amas de fumier solide, à l'entreposage et à l'épandage du fumier. Lorsque disponibles, des données relatives aux exportations de coliformes fécaux et streptocoques fécaux sont également présentées.

1. L'ACCES DIRECT AU COURS D'EAU

1.1 Revue de littérature

Le logiciel de l'Ontario (Ecologistics Ltd., 1988; Doc. # 0.5) évalue les apports de phosphore, de coliformes fécaux et de streptocoques fécaux dûs à l'accès direct des bovins au cours d'eau durant une saison. L'approche utilisée est basée sur la fréquence d'abreuvement quotidien des bovins, la probabilité qu'un animal produise une défécation lors d'un accès au cours d'eau et la charge polluante d'une défécation individuelle (1.2 gP/défécation). De plus, divers coefficients associés aux conditions d'accès, à l'emplacement du cours d'eau et à l'ombrage disponible sont employés.

Robinson et Draper (1978; Doc. # 7) utilisent une approche différente pour évaluer les apports de phosphore dûs à l'accès direct des animaux au cours d'eau. Ces derniers formulent les hypothèses suivantes:

1. il y a 60 jours "très chauds" durant l'année au cours desquels 75% de la journée est passée près d'un cours d'eau avec 25% des excréments déversés dans le cours d'eau;

2. il y a 60 jours "chauds" durant l'année au cours desquels 40% de la journée est passée près d'un cours d'eau avec 12.5% des excréments déversés dans le cours d'eau;
3. il y a 35% des excréments qui ont lieu entre la traite du matin et la traite du soir (période chaude de la journée).

A partir de ces hypothèses, l'équation suivante est dérivée:

$$P_{AD} = \frac{C \times U.A. \times [(60 \times .75 \times .25) + (60 \times .40 \times .125)] \times .35}{365} \quad (1)$$

P_{AD} = apport annuel de Phosphore dû à l'accès direct (kg)

C = Charge de phosphore excrétée (kg/U.A. - an)

$U.A.$ = nombre d'Unités Animales (U.A.)

1.2 Discussion

La littérature traitant des apports de polluants dus à l'accès direct des animaux au cours d'eau est rarissime. Si on exclut le logiciel de l'Ontario, seuls Robinson et Draper (1978; Doc. # 7) ont étudié cette question. Leur approche, bien que simple, est peu flexible car elle ne peut s'adapter aux situations particulières (ombrage, traverse, clôture, etc.) rencontrées sur diverses fermes comme c'est le cas du logiciel de l'Ontario (Ecologistics Ltd., 1988; Doc. # 0.5).

Il est à noter que les résultats obtenus selon chacune des deux approches varient considérablement. Ainsi, pour un troupeau de 50 bovins, l'équation développée par Robinson et Draper prévoit une charge annuelle de phosphore de près de 35 kg au cours d'eau, soit près de dix (10) fois la valeur maximale obtenu de 3.6 kg par le logiciel de l'Ontario sous des conditions similaires.

Quelle que soit l'approche utilisée, il est possible d'y ajouter une composante pour l'azote. Dans le cas du logiciel de l'Ontario, la charge d'azote d'une défécation individuelle doit être connue. Basé sur sa charge connue en phosphore, on peut estimer la charge d'une défécation à 1.85 g d'azote (1.20 gP x 75 kgN U.A. An/48 kg P U.A. An). Le logiciel de l'Ontario offre l'avantage d'inclure également des algorithmes pour les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux.

2. LES EAUX USEES DE LAITERIES

2.1 Revue de littérature

Logiciels du Vermont et de l'Ontario

Les logiciels du Vermont et de l'Ontario évaluent les exportations de phosphore au cours d'eau en provenance des laiteries de ferme. Dans les deux cas, une charge fixe et une charge variable (proportionnelle au nombre de vaches laitières) de phosphore en provenance des laiteries sont prises en compte (Équation 2). On suppose une période de lactation de 305 jours par année pour chaque vache.

$$P_L = [(V_F \times 365) + (V_V \times U.A. \times 305)] \times p \quad (2)$$

P_L = exportation annuelle de Phosphore en provenance de la laiterie (kg) L

V_F = Volume fixe d'eaux usées de laiterie produit quotidiennement F (L/jour)

V_V = Volume variable d'eaux usées de laiterie produit quotidiennement selon les systèmes de traite (L/U.A. - jour)

U.A. = nombre d'unités animales

p = concentration du phosphore dans les eaux usées de laiterie (kg/L)

Le Tableau 1 présente les volumes d'eaux usées produits de même que les caractéristiques chimiques tels qu'utilisés par les logiciels du Vermont et de l'Ontario de même que ceux rapportés par Vallières (1985, Doc. # 1) au Québec.

Le logiciel du Vermont suppose une atténuation linéaire de la charge polluante par le couvert végétal lors du ruissellement des eaux de laiteries, sauf pour l'hiver. Pour ce faire, un facteur de livraison (delivery factor) est utilisé (Équation 3). Ainsi, à une certaine

distance critique fixé à 122 m (400 pieds), l'atténuation est complète et aucune charge n'atteint le cours d'eau.

$$r = 1 - \frac{D}{C_D} \quad (3)$$

r = facteur de livraison

D = distance entre la sortie des eaux de laiterie et le canal récepteur (m)

C_D = distance critique d'atténuation (122 m)

Le logiciel de l'Ontario propose une atténuation basée sur le temps de contact des eaux usées avec le couvert végétal. D'abord, la vitesse d'écoulement des eaux est déterminée par l'équation suivante:

$$\log v = 0.5 \log s - c \quad (4)$$

v = vitesse d'écoulement (pi/s)

s = pente (%)

c = constante de l'état de la surface (couvert végétal)

Connaissant la distance sur laquelle l'écoulement se produit, on obtient le temps de contact. Pour un écoulement en nappe, l'atténuation sera complète pour un temps de contact supérieur à 905 secondes (15 minutes). Pour un écoulement en canal, aucune atténuation n'a lieu avant 590 secondes (10 minutes) de contact. L'atténuation est complète après 3,367 secondes (56 minutes).

Vallières

Vallières (1986, Doc. # 1) suggère une autre approche intéressante basée sur la charge de phosphore produite quotidiennement par une vache en lactation (Équation 5). Deux coefficients viennent modifier cette charge en fonction de la saison (Si) et de la végétation (Vi). Les charges produites quotidiennement sont connues pour le phosphore et pour l'azote (Tableau 2).

$$P_L = C \times U.A. \times 305 \times S_i \times V_i \quad (5)$$

P_L = exportation saisonnière de Phosphore en provenance de la laiterie vers le canal récepteur (kg/saison)

C = charge quotidienne de phosphore (kg/U.A. - jour)

$U.A.$ = nombre d'unité animale

S_i = facteur de répartition saisonnière

V_i = facteur de prélèvement par la végétation

Bernard

Bernard (1984, Doc. # 3) modifie l'approche du logiciel du Vermont en ce qui a trait à l'atténuation de la charge de phosphore des eaux usées de laiterie par le couvert végétal. Dans ce cas-ci, l'atténuation est basée sur un transfert intégral de la charge durant l'hiver et un captage par la végétation de 67% de la charge de phosphore pour les autres saisons. L'hiver est responsable de 21% de la charge polluante annuelle. La contribution des autres saisons est proportionnelle au potentiel saisonnier de ruissellement fixé à 56% pour le printemps, 13% pour l'été et 31% pour l'automne. Le Tableau 3 compare les coefficients S_i et V_i utilisés par Bernard et Vallières.

2.2 Discussion sur les eaux usées de laiterie

Le Tableau 4 présente les charges de phosphore exportées au cours d'eau selon les diverses méthodologies passées en revue précédemment. Pour une ferme Québécoise de taille moyenne (50 vaches laitières), le logiciel du Vermont estime la charge P exportée la plus faible (14 kg/an) tandis que l'approche de Vallières donne la charge P exportée la plus élevée (34.7 kg/an). Le logiciel de l'Ontario et l'approche de Bernard prédisent des exportations moyennes et similaires (27.9 et 21.6 kg/an).

Les logiciels du Vermont et de l'Ontario prennent en compte certaines conditions particulières (système de traite, couvert végétal, distance de ruissellement, etc.) que l'on rencontre sur les fermes. A l'opposé, Vallières et Bernard utilisent des charges et des coefficients identiques pour l'ensemble des fermes. Par contre, l'approche de ces

derniers semblent donner une discrimination plus nettes des charges saisonnières exportées. Le logiciel de l'Ontario offre l'avantage d'inclure des algorithmes pour les coliformes et les streptocoques fécaux.

Quelle que soit l'approche envisagée, il est possible d'y inclure un algorithme pour l'azote puisque les données de départ sont disponibles (Tableaux 1 et 2). Toutefois, il est difficile de prédire si les coefficients d'exportation (S_i , V_i) et les facteurs de livraisons utilisés dans le cas du phosphore seront valides pour l'azote.

3. COUR D'EXERCICE

3.1 Revue de littérature

Le logiciel du Vermont

Le logiciel du Vermont (USDA, 1982; Doc. # 0) utilise un coefficient de pertes de 5% de la quantité de phosphore excrétée par les animaux sur la cour. Comme dans le cas des eaux usées de laiterie, une atténuation par le couvert végétal est prise en compte par l'utilisation d'un facteur de livraison. Robinson et Draper (1978; Doc. # 7) utilise également cette approche pour évaluer les exportations de phosphore en provenance des cours d'exercice Sud de l'Ontario.

Le logiciel de l'Ontario

Le logiciel de l'Ontario (Ecologistics Ltd., 1988; Doc. # 0.5) évalue d'abord le volume d'eau ruisselant de la cour de même que la concentration en phosphore des eaux de ruissellement. La détermination de la concentration en phosphore (fixée à un maximum de 85 mg/l) dans les eaux de ruissellement doit prendre en compte l'effet d'atténuation dûe au couvert végétal, s'il y a lieu. Le calcul des exportations se fait sur une base saisonnière (maximum de 90 jours). Le logiciel comprend également des algorithmes pour les C.F. et les S.F.

Autres études

Le Tableau 5 présente un sommaire des exportations d'azote et de phosphore obtenues par des chercheurs du Québec et de l'Ontario. D'une façon générale, ces derniers ont mesuré des exportations similaires variant de 1.16 à 1.40 et de 0.20 à 0.38 Kg/U.A.-an d'azote et de phosphore respectivement.

Le Tableau 6 donne le détail sur une base saisonnière des exportations d'azote et de phosphore mesurées par Lagacé et al. (Doc. # 90). Les données hydrologiques correspondantes telles que les précipitations et les volumes ruisselés sont également incluses.

3.2 Discussion sur les cours d'exercice

Pour chacun des logiciels passés en revue, il est possible d'inclure une composante pour l'azote. Toutefois, dans le cas du logiciel de l'Ontario, ce dernier est complexe et exige un nombre considérable de données hydrologiques pour l'évaluation du ruissellement. De plus, le mode d'atténuation semble assez aléatoire puisque l'atténuation est prise en compte dans le choix de la concentration de phosphore dans les eaux de ruissellement. A cet égard, le logiciel du Vermont montre une certaine supériorité sur le logiciel de l'Ontario.

A partir des diverses données disponibles concernant les taux d'exportations d'azote (1.16 - 1.40 kg/U.A.-an) et de phosphore (0.20 - 0.38 Kg/U.A.-an), l'approche de Bernard décrite plus loin dans ce document pour les amas de fumier solide pourrait également être utilisée.

4. AMAS DE FUMIER SOLIDE

4.1 Revue de littérature

Le logiciel du Vermont

Le logiciel du Vermont (USDA, 1982; Doc. # 0) suppose un apport de phosphore dans les eaux de ruissellement égale à 2% de la quantité totale de phosphore du fumier entreposé. Les amas de fumier solide sont épandus au printemps et à l'automne. Les exportations de phosphore en provenance des amas de fumier sont donc imputées à part égale entre l'été et l'hiver. Toutefois, le modèle prend en compte une atténuation possible en été seulement et telle que décrite précédemment pour les eaux de laiterie. Robinson et Draper (1978; Doc. # 7) utilisent également cette approche pour les amas de fumier solide du Sud de l'Ontario.

Le logiciel de l'Ontario

Le logiciel de l'Ontario (Ecologistics Ltd., 1988; Doc. # 0.5) procède, comme dans le cas décrit précédemment pour une cour d'exercice, avec le volume de ruissellement provenant de l'amas de fumier et une concentration de phosphore (85 mg/l) correspondante. Dans ce cas-ci, un facteur de réduction de la charge en phosphore prend en compte une atténuation due au couvert végétal. L'approche est complexe et nécessite la formulation de plusieurs hypothèses de travail. Par ailleurs, le logiciel inclut des algorithmes pour les C.F. et les S.F.

Bernard

Une autre approche est suggérée par Bernard (1984; Doc. # 3). Basé sur une étude réalisée au Vermont, l'exportation de phosphore en provenance d'un amas de fumier est fixée à 0.35 kg/U.A.-an. L'atténuation due au couvert végétal est basée sur un transfert intégral de la charge de phosphore au cours d'eau durant l'hiver et un captage par la végétation de 67% de la charge pour les autres saisons. L'hiver est responsable de 21% de la charge annuelle. La contribution des autres saisons est proportionnelle au potentiel saisonnier de ruissellement décrit précédemment pour les eaux usées de laiterie.

Autres études

Le Tableau 7 présente un sommaire des informations disponibles concernant les exportations d'azote et de phosphore en provenance d'un amas de fumier.

4.2 Discussion sur les amas de fumier

Le logiciel de l'Ontario est complexe, requiert certaines données hydrologiques de même que la formulation de certaines hypothèses relatives à la gestion des amas de fumier. Le logiciel du Vermont et l'approche de Bernard sont plus simples.

Pour chacune des approches décrites ci-dessus, il est possible d'inclure une composante pour l'azote. A cet égard, les résultats des études de Patni et al. (1981, Doc. # 87) de même que Coote et Hore (1977; Doc. # 95) pourraient servir de référence (voir Tableau 7).

5. L'ENTREPOSAGE DU FUMIER

5.1 Revue de littérature

Le Tableau 8 présente certaines données disponibles sur les pertes d'azote et de phosphore qui surviennent lors de la manutention et de l'entreposage du fumier.

Les données relatives aux pertes d'azote montrent des valeurs variant de 15 à 50% et de 4 à 80% pour le fumier solide et le fumier liquide respectivement. Dans le cas du fumier solide, les données de sources canadiennes indiquent des pertes (15 à 25%) d'azote inférieures aux pertes que l'on rencontre aux U.S.A. (34 à 50%). A l'opposé, dans le cas du fumier liquide, les données de sources canadiennes montrent des pertes (50 à 80%) d'azote égales ou supérieures à celles obtenues aux U.S.A. (4 à 60%).

L'information disponible concernant les pertes de phosphore au cours de l'entreposage est plus restreinte. Les données disponibles indiquent des pertes variant de 15 à 20% et de 0 à 25% pour le fumier solide et le fumier liquide respectivement.

5.2 Discussion sur l'entreposage

Les fumiers subissent des pertes appréciables d'éléments fertilisants lors de leur manutention et de leur entreposage. Toutefois, une faible proportion de ces pertes atteignent directement (via le ruissellement) un canal récepteur (cours d'eau). Dans le cas du fumier solide, les exportations en provenance des aires d'entreposage ont précédemment été discutées à la section Amas de fumier. Dans le cas du fumier liquide, en prenant pour acquis que les volumes d'entreposage sont suffisants, les exportations en provenance des réservoirs (en béton armé généralement) sont négligeables (Patni et al., 1981; Doc. # 87).

Les éléments fertilisants perdus lors de l'entreposage auront pour effet de diminuer les quantités à épandre sur les champs en culture, réduisant ainsi la pollution potentielle induite par l'épandage du fumier. Par conséquent, l'algorithme de l'épandage devra soustraire ces pertes des quantités excrétées par les animaux.

6. L'EPANDAGE DU FUMIER

6.1 Revue de littérature

Le logiciel du Vermont

Le logiciel du Vermont évalue les exportations de phosphore dûes à l'épandage du fumier de bovins. Le programme détermine la production totale de fumier de chaque ferme basée sur le nombre et le type de bovins. De cette production annuelle, 7% est déposé sur les pâturages, 5% est associé à la cour d'exercice et 2% est perdu à l'entreposage en tas du fumier solide. Par conséquent, l'algorithme de l'épandage prend seulement en compte 86% du phosphore de la production annuelle. Le fumier est d'abord épandu sur du maïs à un taux maximum de 120% du taux agronomique pour un sol particulier. Le fumier en surplus est épandu sur les prairies (foin).

Les exportations de phosphore en provenance des parcelles d'épandage sont ensuite calculées à l'aide de coefficients d'exportation dérivés de la littérature. Ces coefficients (exprimés en kg P/ha-an) prennent en compte la saison d'épandage, le type de culture et l'incorporation (ou non) du fumier dans le sol. "b Bernard "e Bernard (1984; Doc. # 3)

suggère une approche différente de celle du Vermont. Tout d'abord, on fixe un ordre de priorité d'épandage. On épand d'abord le fumier de bovin, puis le fumier de porc et le fumier de volaille. On épand d'abord sur les superficies en maïs, puis sur celle en herbages et enfin sur celles en céréales, chaque hectare recevant du fumier à un taux agronomique.

Pour chaque hectare cultivé qui reçoit une application de fumier, on considère des coefficients d'exportation de 0.103, 0.276 et 0.036 kg P/ha-an pour des champs de maïs, d'herbages et de céréales respectivement. En hiver, le ruissellement provenant des champs est supposé négligeable. La charge annuelle exportée est donc répartie entre le printemps, l'été et l'automne, proportionnellement au potentiel de ruissellement de chacune des saisons. On obtient donc les équations suivantes:

$$PE_{\text{hiver}} = 0 \quad (6)$$

$$PE_{\text{printemps}} = [(M \times 0.103) + (H \times 0.276) + (C \times 0.036)] \times 0.56 \quad (7)$$

$$PE_{\text{été}} = [(M \times 0.103) + (H \times 0.276) + (C \times 0.036)] \times 0.13 \quad (8)$$

$$PE_{\text{automne}} = [(M \times 0.103) + (H \times 0.276) + (C \times 0.036)] \times 0.31 \quad (9)$$

PE = charge saisonnières de phosphore en provenance des superficies d'épandage (kg)

M = superficies cultivées en maïs (ha)

H = superficies des herbages (ha)

C = superficies cultivées en céréales (ha)

Robinson et Draper

Robinson et Draper (1978; Doc. # 7) ont évalué les exportations de phosphore dues à l'épandage du fumier pendant l'hiver. Les exportations en provenance de l'épandage du fumier au cours des autres saisons étaient considérées comme un problème de gestion des sols et non comme un problème de gestion des fumiers. Ces mêmes auteurs estiment que 10% du phosphore contenu dans les fumiers épandus en hiver sera transporté dans les eaux de ruissellement. Au cours du transport, une certaine atténuation de la charge par le couvert végétal est pris en compte par l'utilisation d'un facteur de livraison (F) fonction de la densité de drainage (L/A) des superficies d'épandage. L'équation dérivée est la suivante:

$$PE = P_F \times E_H \times F \times .10 \quad (10)$$

PE = charge de phosphore exportée au cours d'eau en provenance des surfaces d'épandage d'hiver (kg)

P_F = quantité de phosphore des fumiers annuellement épandus (kg)

E_H = rapport d'épandage d'hiver = $\frac{\text{quantité épandue l'hiver}}{\text{quantité épandue annuellement}}$

F = facteur de livraison (delivery factor) = $\frac{L}{A} \times C_D$

L = longueur des canaux récepteurs drainant les superficies d'épandage (m)

A = superficies d'épandage (m²)

C_D = distance critique d'atténuation (122 m)

Autres études

Les Tableaux 9 et 10 présentent un sommaire des exportations de phosphore et d'azote telles que observées par divers chercheurs sous des conditions diverses. On note une très grande variation dans les résultats obtenus. Il s'avère donc difficile d'arrêter des valeurs de coefficients d'exportation typiques.

Le Tableau 11 montre la répartition, selon les saisons, des exportations d'azote et de phosphore rencontrée dans la littérature. On note qu'une proportion importante (80.6 - 97.5%) de l'azote et du phosphore est exportée au printemps, et ce principalement lors de la fonte des neiges (Patni, 1982 (12); Tokarz et al., 1979 (9)).

Les Tableaux 12, 13 et 14 présentent les pertes d'azote liées à la saison et au mode d'épandage, à l'utilisation et au type de sol. L'enfouissement rapide du fumier réduit les pertes d'azote de façon significative. L'épandage du fumier au printemps résultera en des pertes d'azote moindres que celles obtenues lors d'un épandage à l'automne. Parallèlement, les pertes d'azote à l'épandage seront moindres sur un loam que sur un sable.

Le Tableau 15 présente la qualité bactériologique des eaux de ruissellement en provenance de parcelles d'épandage. Overcash et al. (1983; Doc. # 31) ont modélisé la survivance des coliformes fécaux après l'épandage du fumier, et ce selon les saisons d'application. Des équations ont été développées faisant la distinction entre les bactéries fixées aux particules de sol et les bactéries libres en solution. Le contenu de coliformes fécaux dans les eaux de ruissellement en provenance des parcelles d'épandage étaient principalement fonction de la saison d'épandage.

Culley et al. (1982; Doc. # 16), sous les conditions de l'Ontario, ont obtenus des données au champ pour la période de la fonte des neiges et pour la période des précipitations du mois de juin. Le contenu en coliformes fécaux et en strobotocques fécaux des eaux de ruissellement était beaucoup plus élevé lors des précipitations de juin, en particulier pour les parcelles où le fumier était épandu au printemps.

6.2 Discussion sur l'épandage du fumier

La revue de littérature présentée ci-dessus a décrit trois (3) approches différentes permettant d'évaluer les exportations de phosphore. Une première approche, celle du logiciel du Vermont (USDA, 1982; Doc. # 0), permet de prendre en compte la saison d'application du fumier et son incorporation (ou non) dans des champs de maïs et/ou d'herbages. Toutefois, le logiciel n'est fonctionnel que pour le fumier de bovins laitiers et les exportations ne sont évaluées que sur une base annuelle.

La deuxième approche, celle de Bernard (1984; Doc. # 3) est fonctionnelle pour divers types de fumier (bovin, porc, volaille) et diverses utilisations du sol (maïs, herbages, céréales). De plus, les exportations sont évaluées sur une base saisonnière. Toutefois, la saison d'épandage et l'incorporation (ou non) du fumier ne sont aucunement prises en compte.

La dernière approche, utilisée par Robinson et Draper (1978, Doc. # 7) se limite aux exportations dues à un épandage du fumier pendant la saison d'hiver uniquement. Une atténuation due au couvert végétal est prise en compte par l'utilisation d'un facteur de livraison. Toutefois, les exportations ne sont déterminées que sur une base annuelle. Cette dernière approche est donc beaucoup plus limitative que les deux autres approches précédemment discutées.

Il serait intéressant de modifier le logiciel du Vermont afin de répartir les exportations annuelles obtenues sur une base saisonnière. L'utilisation de coefficients de répartition saisonnière des exportations, tels que les potentiels saisonniers de ruissellement suggérés par Bernard, est à envisager. A l'aide d'information tirée de notre revue de littérature, un algorithme traitant des exportations d'azote peut être incorporé au logiciel.

Dans le cas de l'approche utilisée par Bernard, l'introduction d'un algorithme traitant des exportations d'azote suppose la connaissance des coefficients d'exportation pour les diverses cultures. L'information à ce sujet étant restreinte, il est difficile de fixer la valeur de ces coefficients. A titre indicatif, Bolton et al. (1970; Doc. # 85) ont obtenu des coefficients de 14.0, 8.6 et 5.7 kg N/ha-an pour des champs de maïs, d'herbages et de céréales respectivement. Toutefois, dans cette étude, la fumure employée était sous la forme de fertilisant chimique.

CONCLUSION

La présente recherche bibliographique a principalement mis en évidence trois (3) méthodologies distinctes pour l'évaluation des exportations de phosphore vers les cours d'eau; soit le logiciel du Vermont, le logiciel de l'Ontario et l'approche utilisée par Bernard.

Le logiciel du Vermont (USDA, 1982; Doc. # 0) permet d'estimer la contribution à la contamination des eaux causées par les exploitations animales. Le logiciel évalue les charges de phosphore (uniquement) en provenance des laiteries, des cours d'exercice, des amas de fumier solide et des champs d'épandage du fumier. Une atténuation du couvert végétal est prise en compte. Les résultats sont obtenus sur une base annuelle.

Le logiciel développé par Ecologistics Limited (1988; Doc. # 0.5) possède des algorithmes pour le phosphore, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux. L'approche utilisée apparaît adéquate pour les composantes liées à l'accès direct au cours d'eau et aux eaux usées de laiterie. Toutefois, l'approche employée dans le cas d'une cour d'exercice ou d'un amas de fumier solide manque de simplicité et requiert un

nombre considérable de données d'entrée (hydrologie, etc.). De plus, dans ces deux cas, les méthodologies utilisées pour tenir compte de l'atténuation due au couvert végétal manquent de crédibilité (justification).

La méthodologie suggérée par Bernard (1984; Doc. # 3) est simple et produit des résultats pour le phosphore sur une base saisonnière. L'approche préconisée apparaît adéquate pour les eaux usées de laiterie, les cours d'exercice et les amas de fumier solide. Toutefois, dans le cas de l'épandage du fumier, il y aurait lieu si possible d'apporter des améliorations qui tiendraient compte de la saison d'épandage et de l'incorporation (ou non) du fumier.

Quelles que soient l'approche et la combinaison d'approche retenues, il apparaît possible d'y inclure une composante pour l'azote. En effet, à la lueur des informations passées en revue dans ce document, les données requises pour l'élaboration des divers algorithmes propres à l'azote sont disponibles.

La recherche bibliographique a révélé une lacune relativement importante au niveau des données concernant les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux. Dans l'état actuel des choses, seul le logiciel de l'Ontario apporte un élément de réponse.

BIBLIOGRAPHIE

- Doc. # 0 USDA, 1982. Computational methods for assessing phosphorus losses in the Vermont agricultural runoff study. Technical Report, Burlington, Vermont USA, 33 p.
- Doc. # 0.5 Ecologistics Limited, 1988. Pollution from livestock operations predictor (PLOP): a planning tool to evaluate the pollution potentiel of livestock operations in southern Ontario. Ontario Ministry of Environment, 59 p.
- Doc. # 1 Vallières, M. 1986. Epuration des eaux des laiteries de ferme. MENVIQ, Envirodoq 850802, Québec, 47 p.

- Doc. # 3 Bernard, C. 1984. Évaluation des charges agricoles diffuses dans un bassin versant. MENVIQ, Québec, 25 p.
- Doc. # 7 Robinson et Draper, 1978. A model for estimating inputs to the Great Lakes from livestock enterprises in the Great Lakes basin. Int. Ref. Group. on Great Lakes Pollution from Land Use Activity, 29 p.
- Doc. # 9 Tokarz, M.B., D.D. Schulte et G.E. Laliberté. 1979. Characterization and assessment of non-point source pollution. Final Report. Manitoba, 242 p.
- Doc. # 12 Patni, N.K. 1982. Nutrient and solids transport to surface water in a manured and fertilized cropping operation. CSAE paper No: 82-402, 22 p.
- Doc. # 13 Patni, N.K. 1982. Chemical and microbiological quality of surface drainage water in a manured and fertilized cropping operation. CSAE paper No: 82-404, 27 p.
- Doc. # 16 Culley, J.L.B. et P.A. Phillips. 1982. Bacteriological quality of surface and subsurface runoff from manured sandy clay loam soil. J. Environ. Qual. 11: 155-158.
- Doc. # 17 Neilsen, G.H., J.L.B. Culley and D.R. Cameron. 1982. Agriculture and water quality in the canadian Great Lakes Basin: IV. Nitrogen. J. Environ. Qual. 11: 493-497.
- Doc. # 18 Neilsen, G.H. and A.F. Mackenzie. 1977a. Relationship between soluble and sediment nutrient losses, land use and types of soil in agricultural watershed. Proc. 12th Canadian Symp. Water Pollution Research Canada, 121-134.
- Doc. # 19 Neilsen, G.H. and A.F. Mackenzie. 1977b. Soluble and sediment nitrogen losses as related to land use and type of soil in Eastern Canada. J. Environ. Qual. 6: 318-321.

- Doc. # 31 Overcash, M.R., K.R. Reddy and R.K. Haleel. 1983. Chemical processes and transport of animal waste pollutants. Dans: Agricultural Management and Water Quality. Schaller, F.W. et G.W. Bailey, 1st ed., Iowa State Univ. Press, Ame, 109-125.
- Doc. # 71 Martel, Y. et J. Zizka. 1979. Les fumiers et la qualité de l'environnement. Dans: Rapport de l'assemblée générale; Agriculture-Québec, AGDEX 040: 20-23.
- Doc. # 73 Dubé, A. Manuel de gestion agricole des fumiers. MAPAQ: 60-62.
- Doc. # 80 Gangbazo, G. et J. Buteau. 1985. Analyse de la gestion des fumiers dans le bassin versant de la rivière Yamaska: état de la situation et éléments de solution. MENVIQ. ENVIRODOQ 850515, 106 p.
- Doc. # 83 Bolton, E.F., J.W. Aylesworth and F.R. Hore. 1970. Nutrient losses through tile drains under three cropping systems and two fertility levels on a Brookston clay soil. Can. J. Soil. Sci. 50: 275-279.
- Doc. # 87 Patni, N.K., P.A. Phillips, F.R. Hore and J.L.B. Culley. 1981. Groundwater quality near concrete manure tanks and under heavily manured cropland. Can. Agr. Eng. 23: 37-43.
- Doc. # 90 Lagacé, R. L'épuration des eaux contaminées en provenance des cours d'exercices pour bovins. Essais réalisés en 1987. FSAA. Université Laval.
- Doc. # 95 Coote, D.R. et F.R. Hore. 1977. Runoff from feedlots and manure storages in Southern Ontario. Can. J. Agric. Eng.: 19: 116-121.

Annexe 1: Équivalent Unité Animale, production volumique et massique de fumier, production d'azote et de phosphore (sous la queue).

TYPE D'ANIMAL	ÉQUIVALENT UNITÉ ANIMALE ¹ (U.A.)	FUMIER			AZOTE ² (kg/U.A.-An)	PHOSPHORE ² (kg/U.A.-An)
		VOLUME ²	MASSE	DENSITÉ ³		
		(m ³ /U.A.-An)	(kg/U.A.-An)	(kg/m ³)		
VACHE LAITIÈRE	1.00	16.5	16 583	1 005	74.0	48.0
VACHE DE BOUCHERIE	1.00	10.3	10 403	1 010	46.4	29.9
TRUIE	0.25	16.5	16 665	1 010	107.2	52.8
PORC (20-100 kg)	0.20	9.3	9 393	1 010	60.5	29.8

¹ Source: MENVIQ, Directive Q-2, r.18, Annexe B (12 février 1985).

² Source: MAPAQ, Manuel de gestion agricole des fumiers: p. 22, tableau 2; p. 26, tableau 2.

³ Source: A.S.A.E., Yearbook 1979-80, p. 446, Norme ASAE D 384.

Tableau 1: Volumes moyens journaliers et concentrations (N,P) des eaux usées de laiterie de ferme.

VOLUME				CONCENTRATION (mg/l)		SOURCE
FIXE (L/jour)	VARIABLE (L/U.A.-Jour)			N	P	
	TRAYEUSE STATION	LACTODUC	PARLOIR			
560	9.1	27.3	23.6	36.0		USDA, 1982 (Doc. # 0) Vermont
150	5.5	9.5	17.0	168.0		Ecolog. Ltd., 1988 (Doc. # 0.5) Ontario
360-420	10.0-15.0	10.0-20.0	20.0-30.0	61.5	377.6	Vallières 1985 (Doc. # 1)

Tableau 2: Charges moyennes journalières des eaux usées de laiterie de ferme.

CHARGE (g/U.A.-jour)						SOURCE
TRAYEUSE		LACTODUC		PARLOIR		
N	P	N	P	N	P	
	0.73 ¹		1.39 ¹		1.25 ¹	Calculé à partir de USDA, 1982 (Doc. # 0) Vermont
	1.43 ¹		2.10 ¹		3.36 ¹	Calculé à partir de Ecolog. Ltd., 1988 (Doc. # 0.5) Ontario
		0.65	2.10	1.8-4.9	0.5-2.5	Vallières, 1985 (Doc. # 1)

¹ Valeurs basées sur un troupeau laitier de 50 vaches.

Tableau 3: Comparaison des facteurs de répartition saisonnières (S_i) et des facteurs de prélèvements par la végétation (V_i) utilisés par Vallières et par Bernard.

	VALLIÈRES (1985, Doc. # 1)			BERNARD (1984, Doc. # 3)		
	S_i	V_i	$S_i \times V_i$	S_i	V_i	$S_i \times V_i$
HIVER	0.21	1.0	0.210	0.21	1.0	0.210
PRINTEMPS	0.25	0.825	0.206	0.442 (.79x.56)	0.33	0.146
ÉTÉ	0.25	0.5	0.125	0.103 (.79x.13)	0.33	0.034
AUTOMNE	0.29	0.75	0.218	0.245 (.79x.31)	0.33	0.081

Tableau 4: Comparaison des exportations de P en provenance des laiteries de ferme selon diverses méthodologies¹.

MÉTHODOLOGIE	CHARGE PRODUITE (kg)		PENTE FILTRE (%)	CONDITION SURFACE	LONGUEUR FILTRE (m)	FACTEUR LIVRAISON (r)	COEFFICIENT EXPORTATION (Si x Vi)	CHARGE EXPORTÉE (Kg)	
	SAISON.	ANNUELLE						SAISON.	ANNUELLE
VERMONT (LOGICIEL) (ASDA, 1982) (Doc. # 10)	H: 5.6 P: 5.6 E: 5.6 A: 5.6				60	H: 1.00 P: 0.51 E: 0.51 A: 0.51		H: 5.6 P: 2.8 E: 2.8 A: 2.8	14.0
ONTARIO (LOGICIEL) (ECOLOG. Ltd. 1988) (Doc. # 0.5)	H: 8.4 P: 8.4 E: 8.4 A: 8.4		2	0.15	60	H: 1.00 P: 0.78 E: 0.78 A: 0.78		H: 8.4 P: 6.5 E: 6.5 A: 6.5	27.9
VALLIÈRES (1985, Doc. # 1)		45.8 ²					H: 0.210 P: 0.206 E: 0.125 A: 0.218	H: 9.6 P: 9.4 E: 5.7 A: 10.0	34.7
BERNARD (1984, Doc. # 3)		45.8 ²					H: 0.210 P: 0.146 E: 0.034 A: 0.081	H: 9.6 P: 6.7 E: 1.6 A: 3.7	21.6

¹ Calcul basé sur un système de lactoduc pour 50 vaches laitières.

² Calcul basé sur une charge de 3 g P/U.A. - Jour.

Tableau 5: Exportations d'azote et de phosphore en provenance d'une cour d'exercice de bovins.

TAUX D'EXPORTATION		FRACTION EXPORTÉE ¹		DENSITÉ ANIMALE (m ² /U.A.)	PENTE (%)	RÉGION	SOURCE
N (kg/U.A.-An)	P	N (%)	P				
1.16	0.20	2.5	0.7	4.5	1	ONTARIO	Coote/Hore, 1977
1.23	0.38	2.7	1.3	11.3	3		(Doc. # 95)
1.40	0.32	3.0	1.0	25.0	3	QUÉBEC	Lagacé <u>et al.</u> (Doc. # 90)

¹ Basé sur une production annuelle de 29.9 Kg P et 46.4 kg N excrété par Unité Animale (cas d'un bovin) (voir Annexe 1).

Tableau 6: Données hydrologiques et exportations de N et P en provenance d'une cour d'exercice à St-Augustin près de Québec (Lagacé, Doc. # 90).

SAISON	PRÉCIPITATION (mm)	VOLUME RUISSELÉ (m ³)	CONCENTRATION (mg/L)		EXPORTATIONS (kg)		TAUX D'EXPORTATION ¹ (kg/U.A.)	
			N	P	N	P	N	P
PRINTEMPS	(FONTE)	52.2	99.6	11.5	5.2	0.6	0.173	0.020
	192.6	<u>86.4</u>	151.6	20.8	<u>13.1</u>	<u>1.8</u>	<u>0.437</u>	<u>0.060</u>
		138.6			18.3	1.4	0.61	0.08
ÉTÉ	420.4	118.0	104.2	35.6	12.3	4.2	0.41	0.14
AUTOMNE	276.2	121.2	94.4	24.6	11.5	3.0	0.38	0.10
TOTAL:	889.2	378.4			42.1	9.6	1.40	0.32

¹ Calcul basé sur un cheptel de 30 Unités Animales

Tableau 7: Concentrations et exportations d'azote et de phosphore en provenance d'un amas de fumier solide.

CONCENTRATION (mg/L)		TAUX D'EXPORTATION (Kg/U.A.-An)		FRACTION EXPORTÉE (%)		RÉGION	SOURCE
N	P	N	P	N	P		
	85					Ontario	Ecolog. Ltd. 1988 (0.5)
			0.96 ¹		2.0	Vermont	USDA, 1982 (0)
	78		1.06 ¹		2.2	Ontario	Coote/Hore, 1976 (7)
110	25					Ontario	Patni <u>et al.</u> 1981 (87)
			0.35		0.73 ¹	Vermont	Carlson <u>et al.</u> 1982 (3)
		0.70	0.11	0.95 ²	0.23 ¹	Ontario	Coote/Hore, 1977 (95)

¹ Calcul basé sur une production annuelle de 48 kg P excrété (cas d'un bovin laitier) (Annexe 1).

² Calcul basé sur une production annuelle de 74 kg N excrété (cas d'un bovin laitier) (Annexe 1).

Tableau 8: Pertes d'azote et de phosphore lors de la manutention et de l'entreposage du fumier.

	PERTES (%)		RÉGION	SOURCE
	N	P		
FUMIER SOLIDE	15-25		Québec	Martel/Zizka (71)
	15-20		Ontario	Robinson (71)
	34		Iowa/Alberta	Vanderholm (71)
	35		Indiana	Sutton <u>et al.</u> (71)
	35-50	15-20	Michigan/Iowa	" (80)
	40	15	"	" (80)
FUMIER LIQUIDE	50-80		Québec	Martel/Zizka (71)
	50		Ontario	Robinson (71)
	66		Iowa/Alberta	Vanderholm (71)
	25-60		Indiana	Sutton <u>et al.</u> (71)
	25-40	10-25	Michigan Iowa	" (80)
	4	0	Kansas	Miner <u>et al.</u> (80)

Tableau 9: Exportations d'azote et de phosphore selon la saison d'épandage.

SAISON D'APPLICATION	TAUX D'APPLICATION (kg/ha-an)		TAUX D'EXPORTATION (kg/ha-an)		FRACTION EXPORTÉE (%)		SOURCE
	N	P	N	P	N	P	
PRINTEMPS	290	104	0.5	1.55	0.2	1.5	Tokarz <u>et al.</u> 1979 (Doc. # 9) Manitoba
	590	218	0.5	1.75	0.1	0.8	
PRINTEMPS (25%) AUTOMNE (75%)	169	54	12.8	0.80	7.6	1.5	Patni 1982 (Doc. # 12) Ontario
AUTOMNE	240	67	0	0	0	0	Tokarz <u>et al.</u> 1979 (Doc. # 9) Manitoba
	470	126	0.6	0.08	0.1	0.1	
	448	159	14.0	4.25	3.1	2.7	
	745	200	9.0	5.25	1.2	2.6	
HIVER	202	55	3.9	0.07	1.9	0.1	Tokarz <u>et al.</u> 1979 (Doc. # 9) Manitoba
	468	120	11.2	0.05	2.4	0	
	230	54	24.5	6.05	10.6	11.2	
	431	104	56.5	9.75	13.1	9.4	

Tableau 10: Pertes d'éléments minéraux (N,P) subies par le fumier à l'épandage.

TYPE DE FUMIER	SAISON D'ÉPANDAGE	APRÈS ÉPANDAGE	PERTES (%)		SOURCE
			N	P	
SOLIDE	PRINTEMPS	ENFOUI	31	10	Vallières, 1984 (Doc. # 80)
		NON ENFOUI	40	10	
	AUTOMNE	ENFOUI	46	10	
		NON ENFOUI	50	10	
LIQUIDE	PRINTEMPS	ENFOUI	25	10	
		NON ENFOUI	40	10	
	AUTOMNE	ENFOUI	57	10	
		NON ENFOUI	62	10	

Tableau 11: Répartition des exportations d'azote et de phosphore selon les saisons.

	RÉPARTITION (%)				RÉGION	SOURCE
	HIVER	PRINTEMPS	ÉTÉ	AUTOMNE		
AZOTE	4.6	80.6	9.6	5.2	Ont-Qué.	Neilsen, 1977b (19)
		88.0			Ontario	Patni, 1982 (12)
		82.0			Ontario	Neilsen, 1977a (18)
	0	86.2	← 13.8 →		Manitoba	Tokarz, 1979 (9)
PHOSPHORE	0	91.0			Ontario	Patni, 1982 (12)
		80.0			Ontario	Neilsen, 1977b (18)
		97.5			← 2.5 →	

Tableau 12: Indice de pertes d'azote liées au mode d'épandage.

MODE D'ÉPANDAGE	INDICE DE PERTE	SOURCE
INJECTION	1.0	Bulley, 1980 (Doc. # 73)
<p>AÉROASPERSION</p> <ul style="list-style-type: none"> - incorporé en moins de 24 h - incorporé en moins de 48 h - incorporé en moins de 1 semaine - laissé en surface 	<p>1.1</p> <p>1.4</p> <p>1.6</p> <p>1.8</p>	
<p>ÉPANDEUR</p> <ul style="list-style-type: none"> - incorporé en moins de 24 h - incorporé en moins de 48 h - incorporé en moins de 1 semaine - laissé en surface 	<p>1.1</p> <p>1.3</p> <p>1.5</p> <p>1.8</p>	

Tableau 13: Pertes d'azote subies par le lisier de porc après épandage.

TYPE DE PERTE	PÉRIODE D'ÉPANDAGE		SOURCE
	AUTOMNE (%)	PRINTEMPS (%)	
VOLATILISATION	10	10	C.E.E. 1978 (Doc. # 80)
LESSIVAGE	35	12	
DÉNITRIFICATION	15	3	
TOTAL	60	25	

Tableau 14: Indice des pertes d'azote liées à la saison d'épandage et au type de sol sur une prairie et sur une culture sarclée.

SAISON D'ÉPANDAGE					SOURCE
	LOAM	SABLE	LOAM	SABLE	
PRINTEMPS	1.0	1.1	1.0	1.1	Bulley, 1980 (Doc. # 73)
PRINTEMPS (50%) AUTOMNE (50%)	1.2	1.4	1.2	1.3	
AUTOMNE	1.4	1.8	1.4	1.6	

Tableau 15: Contenu en coliformes fécaux et en streptocoques fécaux des eaux de ruissellement en provenance de parcelles d'épandage.

SAISON D'APPLICATION	TYPE DE FUMIER	COLIFORMES FÉCAUX		STREPTOCOQUES FÉCAUX		RÉGION	SOURCE
		SÉDIMENT Nombre/g	SOLUTION Nombre/100 mL	Nombre/100 mL			
PRINTEMPS	PORC	40 000	150			Georgie (U.S.A.)	Overcash et al., 1983 (Doc. # 31)
AUTOMNE		75 000	200				
HIVER		70 000	600				
PRINTEMPS (25%)	VACHE		170	260		Ontario	Patni 1982 (Doc. # 13)
AUTOMNE (75%)	LAITIÈRE						
PRINTEMPS	VACHE		FONTE DES NEIGES	PLUIES DE JUN	FONTE DES NEIGES	PLUIES DE JUN	Ontario Culley et al., 1982 (Doc. # 16)
PRINTEMPS (50%)	LAITIÈRE		2	19 000	113	72 000	
AUTOMNE (50%)			2	12 000	104	59 000	
AUTOMNE			2	8 100	72	55 000	
HIVER			7	14 000	2 442	53 000	

Tableau 16: Apports spécifiques du bétail
en N,P,K, coliformes et streptocoques fécaux

	VOLUME	PHOSPHORE	AZOTE	POTASSE	CF	SF
	(l/j)	(g/j)	(g/j)	(g/j)	10 ⁹ /j	10 ⁹ /j
Vaches laitières	68	40	225	165	15.6	88.4
Taures (1 an et plus)	28	16.5	92	52	6.4	36.4
Génisses laitières (moins 1 an)	13	7.7	43	18	3.0	16.9
Veaux lourds (de lait)	10	5.9	33	5	2.3	13.0
Autres veaux	8.86	5.2	29	3	2.0	11.3
Taureaux (1 an et plus)	30	17.7	99	76	6.9	39.0
Vaches de boucheries	40	30	153	113	9.2	52.0
Bouvillons (1 an et plus)	21.9	9	83	18	5.0	28.5
Génisses de boucherie (moins de 1 an)	8.85	6.3	33	24	2.0	11.5
Veaux lourds (de grain)	16	12	45	12	3.7	20.8
Taures (1 an de plus)	30	22.5	115	27	6.9	39.0
Taureaux (1 an et plus)	30	22.5	115	27	6.9	39.0
Truies	20	38.5	109	19	66.0	1680
Verrats	12	17.1	65	10	39.6	1008
Porcs à l'engrais	5.8	9.5	31	4	19.1	487
Porcelets	1.7	2.8	9.1	1	5.6	142
Cheval	26	23.1	159	105	0.4	164
Homme	1.32	1.8	14	5	17.2	4.1