

UNIVERSITE DU QUEBEC

THESE

PRESENTEE A

L'UNIVERSITE DU QUEBEC A QUEBEC

COMME EXIGENCE PARTIELLE

(DE LA MAITRISE ES SCIENCES)

par

DENISE MALO

B.Sc. Spéc. SCIENCES (GEOLOGIE)

L'IMPACT DES ACTIVITES AGRICOLES SUR LA QUALITE DE LA  
RIVIERE YAMASKA

DECEMBRE, 1976

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier particulièrement M. André Caillé qui nous a grandement aidé dans le choix du sujet de ce mémoire et qui a su nous diriger tout au long de sa réalisation. Nous tenons à souligner notre reconnaissance à l'égard de M. P.G.C. Campbell pour ses suggestions, ses critiques et ses conseils judicieux. Nous remercions aussi M. B. Bobée pour son concours dans l'application des méthodes statistiques et dans l'interprétation des résultats. Et nous soulignons aussi l'intérêt dont fit part M. F. Rigler pour ce travail.

Nos remerciements s'adressent également à M. A. Parent et à Mme F. Savard pour l'élaboration des figures et des graphiques et à Mlle L. Raymond et à Mme O. McDermott pour le travail de dactylographie de ce travail.

Nous voudrions aussi remercier toutes les personnes qui ont été impliquées plus ou moins directement lors de la réalisation de ce mémoire. Mentionnons finalement notre appréciation au travail de M. Magella Cantin lors de la réalisation de cet ouvrage.

## TABLE DES MATIERES

	<u>PAGE</u>
REMERCIEMENTS	i
TABLE DES MATIERES	ii
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES FIGURES	ix
1. INTRODUCTION	1
2. REVUE DE LITTERATURE	3
2.1 Cycle des composés azotés et phosphorés dans les sols et dans l'eau	3
2.1.1 Cycle de l'azote	4
2.1.2 Cycle du phosphore	6
2.2 Importance des diverses sources d'azote et de phosphore	8
2.2.1 Apports atmosphériques	11
2.2.2 Sources géologique et pédologique	13
2.2.3 Apports biologiques	19
2.2.4 Apports dans le milieu forestier	20
2.2.5 Egouts domestiques	20
2.2.6 Eaux de ruissellement urbain	26
2.2.7 Sources industrielles	26
2.2.8 Sources agricoles	31
2.3 Comparaison des différents milieux	37
2.4 Transport des composés azotés et phosphorés	37
2.4.1 Caractéristique du sol	39
2.4.2 Climat et précipitations	39
2.4.3 Pente	40

TABLE DES MATIERES (SUITE)

	<u>PAGE</u>
2.4.4 Couvert végétal	40
2.4.5 Modèle qualitatif de cheminement des composés phosphorés et azotés	41
3. EVALUATION DE L'IMPACT DES ACTIVITES AGRICOLES SUR LA QUALITE DE LA RIVIERE YAMASKA	43
3.1 Facteurs naturels susceptibles d'influencer les apports d'élé- ments nutritifs dans le bassin de la rivière Yamaska	44
3.1.1 Description générale du bassin	44
3.1.2 Géologie du bassin de la rivière Yamaska	48
3.1.3 Pédologie et potentiel agricole des sols dans le bassin de la rivière Yamaska	51
3.1.4 Facteurs naturels pouvant influencer les apports d'élé- ments nutritifs dans les cinq sous-bassins agricoles	52
3.2 Facteurs agricoles et humains pouvant influencer les apports d'éléments nutritifs dans le bassin de la rivière Yamaska	57
3.2.1 Modèle d'apports	57
3.2.2 Utilisation du territoire	88
3.2.3 Répartition de la population humaine	92
3.2.4 Répartition de la population animale	92
3.2.5 Répartition des terrains fertilisés	93
3.2.6 Utilisation du territoire dans les cinq sous-bassins agri- coles choisis	93
3.3 Production d'azote et de phosphore dans le bassin de la rivière Yamaska	98
3.3.1 Production d'azote pour la population humaine	98

TABLE DES MATIERES (SUITE)

	<u>PAGE</u>
3.3.2 Production d'azote par la population animale	100
3.3.3 Production d'azote par les cultures engraisées	100
3.3.4 Production de phosphore par la population humaine	100
3.3.5 Production de phosphore par la population animale	101
3.3.6 Production de phosphore par les cultures engraisées	101
3.3.7 Production d'azote et de phosphore dans les cinq sous- bassins agricoles	101
3.4 Qualité de l'eau d'azote et de phosphore dans cinq bassins agricoles	102
3.4.1 Echantillonnage	102
3.4.2 Concentrations d'azote et de phosphore	105
3.4.3 Charges d'azote et de phosphore	135
3.5 Généralisation des résultats	145
4. CONCLUSIONS	153
GLOSSAIRE	155
BIBLIOGRAPHIE	158
ANNEXE I - Facteurs d'érodibilité des sols	168
ANNEXE II - Bassin versant de la rivière Yamaska	171
ANNEXE III - Calculs statistiques	192

## LISTE DES TABLEAUX

	<u>PAGE</u>
1. Contenu en phosphore des différents types de roches et de sédiments	14
2. Proportion d'azote dans différents types de roches	15
3. Apports en azote et en phosphore dans le milieu forestier	21
4. Concentrations d'azote et de phosphore dans les eaux de surface de milieux à caractère forestier	22
5. Concentrations d'azote et de phosphore dans les égouts domestiques	23
6. Caractéristiques des excréments humains	24
7. Concentrations des diverses formes d'azote et de phosphore dans les eaux de ruissellement urbain	27
8. Répartition des charges polluantes en fonction de l'utilisation du territoire urbain	28
9. Apports en azote et en phosphore dans le milieu urbain	29
10. Concentrations d'azote et de phosphore dans les eaux résiduaires industrielles	30
11. Concentrations d'azote et de phosphore dans les eaux de drainage agricole	32
12. Apports en azote et en phosphore dans le milieu naturel	33
13. Apports en azote et en phosphore pour les différents animaux d'élevage	36
14. Géologie du bassin de la rivière Yamaska	50
15a. Nature des sols dans les cinq sous-bassins agricoles	63
15b. Caractéristiques physiques et chimiques des sols dans les cinq sous-bassins agricoles	80

LISTE DES TABLEAUX (SUITE)

	<u>PAGE</u>
16. Facteurs naturels pouvant influencer les apports d'azote et de phosphore dans les cinq sous-bassins agricoles	86
17. Productions spécifiques d'azote et de phosphore selon les différentes utilisations du territoire	89
18a. Répartition de la population humaine dans les cinq sous-bassins agricoles	95
18b. Répartition de la population animale dans les cinq sous-bassins agricoles	96
19. Répartition des diverses cultures dans les cinq sous-bassins agricoles	97
20. Production d'azote et de phosphore dans le bassin de la rivière Yamaska	99
21a. Production spécifique d'azote dans les cinq bassins agricoles	103
21b. Production spécifique de phosphore dans les cinq sous-bassins agricoles	104
22. Concentrations des diverses formes d'azote dans l'eau des cinq sous-bassins agricoles (échantillon filtré)	106
23. Concentrations des diverses formes d'azote dans l'eau des cinq sous-bassins agricoles (échantillon non filtré)	107
24. Concentrations des diverses formes de phosphore dans l'eau des cinq sous-bassins agricoles (échantillon filtré)	108
25. Concentrations des diverses formes de phosphore dans l'eau des cinq sous-bassins agricoles (échantillon non filtré)	109
26. Proportion d'azote en solution dans les eaux des cinq bassins agricoles	127

LISTE DES TABLEAUX (SUITE)

	<u>PAGE</u>
27. Comparaison des proportions d'azote en solution dans différents bassins	127
28. Concentrations critiques des substances nutritives dans les eaux naturelles	128
29. Proportion de phosphore en solution dans les eaux des cinq bassins agricoles	131
30. Comparaison des proportions de phosphore en solution dans différents bassins	131
31. Relations entre les concentrations moyennes et les charges des diverses formes d'azote et les productions d'azote dans les cinq sous-bassins agricoles	133
32. Relations entre les concentrations moyennes et les charges des diverses formes de phosphore et les productions de phosphore dans les cinq sous-bassins agricoles .	134
33. Débits massiques des diverses formes d'azote dans les cinq sous-bassins agricoles	136
34. Débits massiques des diverses formes de phosphore dans cinq sous-bassins agricoles	137
35. Coefficient de transfert de l'azote dans les cinq sous-bassins agricoles	147
36. Coefficient de transfert du phosphore dans les cinq sous-bassins agricoles	148
37. Concentrations et charges d'azote et de phosphore à l'embouchure de la rivière Yamaska	150

LISTE DES TABLEAUX (SUITE)

PAGE

38. Contribution relative des municipalités et des activités agricoles aux apports d'azote et de phosphore dans le bassin de la rivière Yamaska

151

## LISTE DES FIGURES

	<u>PAGE</u>
1. Relations entre les diverses formes d'azote	7
2. Effets du pH sur les diverses formes d'ortho-phosphates	7
3. Relations entre les diverses formes de phosphore dans les sols et dans l'eau	9
4. Proportion des principales formes d'azote et de phosphore dans le milieu naturel	10
5. Schéma généralisé des changements se produisant lors de l'altération des roches sous des climats tempérés	18
6. Modèle qualitatif de cheminement des substances nutritives	42
7. Bassin versant de la rivière Yamaska: limites approximatives des comtés et des municipalités	45
8. Réseau de drainage du bassin de la rivière Yamaska et délimitation des cinq bassins agricoles étudiés	46
9. Régions physiographiques du bassin de la rivière Yamaska	47
10. Carte géologique du bassin de la rivière Yamaska	49
11. Carte pédologique du bassin de la rivière Barbue	58
12. Carte pédologique du bassin de la rivière Chibouet	59
13. Carte pédologique du bassin de la rivière Saint-Nazaire	60
14. Carte pédologique du bassin de la rivière Salvail	61
15. Carte pédologique du bassin du ruisseau Runnets	62
16. Bassin versant de la rivière Yamaska-Découpage en parcelles élémentaires et en sous-bassins selon le modèle d'apports	87
17. Bassin versant de la rivière Yamaska - Sols cultivés	90

LISTE DES FIGURES (SUITE)

	<u>PAGE</u>
18. Bassin versant de la rivière Yamaska - Forêt	91
19 a,b,c Concentrations totales d'azote dans les eaux de la rivière Barbue	110
20 a,b,c Concentrations totales d'azote dans les eaux de la rivière Chibouet	112
21 a,b,c Concentrations totales d'azote dans les eaux de la rivière Saint-Nazaire	114
22 a,b,c Concentrations totales d'azote dans les eaux de la rivière Salvail	116
23 a,b,c Concentrations totales d'azote dans les eaux du ruisseau Runnets	118
24 a,b Concentrations de phosphore dans les eaux de la rivière Barbue	119
25 a,b Concentrations de phosphore dans les eaux de la rivière Chibouet	120
26 a,b Concentrations de phosphore dans les eaux de la rivière Saint-Nazaire	121
27 a,b Concentrations de phosphore dans les eaux de la rivière Salvail	122
28 a,b Concentrations de phosphore dans les eaux du ruisseau Runnets	124
29. Hydrogramme de la rivière Barbue (1974)	138
30. Hydrogramme de la rivière Chibouet (1974)	139
31. Hydrogramme de la rivière Saint-Nazaire (1974)	140

LISTE DES FIGURES (SUITE)

	<u>PAGE</u>
32. Hydrogramme de la rivière Salvail (1974)	141
33. Hydrogramme du ruisseau Runnets (1974)	142

## CHAPITRE 1

### 1. Introduction

Le phosphore et l'azote sont des éléments nutritifs susceptibles de déclencher le déséquilibre parmi les populations d'algues et de plantes aquatiques. Dans les milieux naturels, les formes d'azote et de phosphore directement assimilables se trouvent en faible concentration et le métabolisme des algues en exige d'importantes quantités. Ceci exerce un contrôle efficace sur leur développement. Cependant, les activités humaines favorisent les apports de ces éléments limitants dans le milieu. On admet généralement comme concentration limite pour les ortho-phosphates 0.01 mg/l et pour l'azote inorganique en solution, 0.3 mg/l (Guiver, 1971; Keeny, 1972; Lee, 1973).

Dans cette étude, nous nous intéressons particulièrement à la pollution agricole. Ce travail s'insère dans le cadre du projet Agriculture - Yamaska de l'INRS-Eau. Ce dernier visait en particulier à faire un bilan des apports en matières nutritives résultant des activités agricoles dans le bassin de la rivière Yamaska et devait permettre l'analyse des facteurs influençant l'accroissement des concentrations de ces substances vers le milieu aquatique. A notre connaissance, aucune étude de ce genre n'avait alors été entreprise au Québec. Le bassin de la rivière Yamaska se prêtait bien à ce travail vu sa vocation typiquement agricole.

La première partie du projet comprend une revue de la littérature sur les apports en azote et en phosphore dans le milieu aquatique. Il s'agit de caractériser les composés azotés et phosphorés dans les sols et dans

l'eau. On compare ensuite l'importance relative des différentes sources et on détermine les mécanismes de transfert de ces éléments nutritifs des sols jusqu'à l'eau. On introduit finalement un modèle qualitatif de cheminement de ces derniers.

Dans la deuxième partie du projet, une méthode d'évaluation de l'impact des activités agricoles sur la qualité de l'eau est élaborée. Il s'agit premièrement de quantifier tous les apports en azote et en phosphore dans le bassin. On s'attarde particulièrement à l'étude de cinq sous-bassins présentant des caractères strictement agricoles. On établit des relations entre la qualité de l'eau de bassins représentatifs et leurs caractéristiques physiographiques et socio-économiques. A l'aide des débits massiques, des coefficients de transfert sont déterminés entre les quantités totales de substances nutritives produites et celles perdues par voie d'eau. On détermine finalement la contribution des activités agricoles à l'enrichissement des eaux de surface dans le bassin de la rivière Yamaska.

## CHAPITRE 2

### 2. Revue de littérature

Ce chapitre décrit les composés azotés et phosphorés susceptibles d'être rencontrés dans les sols et dans l'eau ainsi que leurs interrelations. Les principales sources seront identifiées, leur contribution respective évaluée et les mécanismes de transfert des substances nutritives vers le milieu aquatique seront décrits succinctement.

#### 2.1 Cycle des composés azotés et phosphorés dans les sols et dans l'eau

Dans les sols et dans l'eau, on distingue deux principales classes de substances, celles en solution et celles sous forme solide. Dans chaque groupe, l'azote et le phosphore peuvent être incorporés dans des composés organiques ou inorganiques.

Les principales formes d'azote trouvées dans les sols et dans l'eau sont les suivantes: l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) et les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ), l'azote moléculaire ( $\text{N}_2$ ), les différents oxydes d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ) et l'azote organique (principalement des protéines et leurs dérivés) (Anonyme, 1970 a; Stevenson et Wagner, 1970). Dans les sols, près de 95% de l'azote total se trouve sous forme organique (Kurtz et Smith, 1966; Lumin, 1971). L'azote ammoniacal, les nitrites et les nitrates représentent moins de 2% de l'azote total des sols (Webber et Cluck, 1967). Dans l'eau, la présence d'azote moléculaire dissous domine suivie de l'azote organique et des nitrates (Anonyme, 1970a).

Les principales formes de phosphore soluble sont les ortho-phosphates ( $\text{PO}_4^{-3}$ ,  $\text{HPO}_4^{-2}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) et les phosphates condensés (pyrophosphates, tripolyphosphates et trimétaphosphates). Le phosphore organique peut appartenir à la phase soluble ou solide. Dans les sols, le phosphore organique est principalement associé à la phase solide (Larsen, 1967). Dans cette phase on trouve aussi les minéraux phosphorés de la famille des apatites:  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$  (F, Cl, OH), les phosphates sorbés aux argiles, les hydroxydes métallo-phosphorés et les argiles organo-phosphorés (Stumm et Morgan, 1970). Les divers composés organiques azotés et phosphorés des sols et des eaux naturelles sont le reflet de l'activité biologique.

#### 2.1.1 Cycle de l'azote

L'atmosphère constitue la source originelle de l'azote. Le cycle de l'azote est presque entièrement contrôlé par des activités biologiques. La première étape du cycle consiste en la fixation de l'azote sous forme d'ammoniaque à partir de l'azote moléculaire. Les réactions impliquées sont les suivantes (Anonyme, 1970a; Delwiche, 1970).

1. Activation de l'azote:  $\text{N}_2 \rightarrow 2\text{N}$   
(libération d'énergie: 160 Kcal.)
2.  $2\text{N} + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$   
(libération d'énergie: 12.8 Kcal)
3.  $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$   
( $K = 1.7 \times 10^{-5}$ ,  $20^\circ\text{C}$ )

Aux pH habituels de l'eau et des sols, on trouve principalement l'ion ammonium. Les algues et les bactéries vivant en symbiose avec les plantes supérieures, possèdent cette capacité de fixer l'azote (Shukla *et al.*, 1971). L'ammoniaque est directement assimilable par les organismes au-

totrophes qui le transforment en azote organique, la principale forme d'azote dans les sols (Lumin, 1971; Keeny, 1972). Le processus d'ammonification transforme l'azote organique en azote ammoniacal (Bartholomew et Clark, 1965; Keeny et Walsh, 1972).

4.  $\text{H}_2\text{N} - \text{CH}_2 - \text{COOH} + 1\frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_3$   
 (libération d'énergie: 176 Kcal. conditions favorisant la réaction: milieu bien aéré, pH de 5 à 8, T° de 10° à 29°C, population suffisante de bactéries.)

Cette dernière forme est très soluble dans l'eau et facilement sorbée aux argiles chargées négativement. Les nitrites et les nitrates sont ensuite formés par l'oxydation de l'ammonium, sous l'action des bactéries aérobies autotrophes ou hétérotrophes. (Anonyme, 1970a; Keeny et Gardner, 1970; Brezonik, 1972).

5.  $\text{NH}_4 + 3/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$   
 (bactéries: Nitrosomonas  
 libération d'énergie: 62 Kcal. conditions favorisant la réaction: milieu bien aéré, pH de 6.5 à 7.5, T° de 15 à 29°C).
6.  $2\text{NO}_2^- + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_3^-$   
 (bactérie: Nitrobacter  
 libération d'énergie: 48 Kcal. conditions favorisant la réaction: milieu aéré, absence de  $\text{NH}_3$ , pH de 6.5 à 7.5, T° de 15° à 29°C).

La transformation des nitrites en nitrates est plus rapide que celle de l'ammonium en nitrites. Conséquemment, on trouve très peu de nitrites dans les milieux bien aérés. Les nitrates sont très solubles dans l'eau et peuvent facilement percoler vers les eaux souterraines. En fait, leur déplacement dans les sols est directement relié à celui de l'eau (Bartholomew et Clark, 1965). Si le milieu devient anaérobie, il y a dénitrification. Il s'agit de la réduction des nitrates et des nitrites en azote moléculaire sous l'action des bactéries anaérobies ou facultatives. Cette réaction se produit seulement si l'on trouve en quantité suffisante de la matière organique décomposable dans le milieu comme source d'énergie pour les bactéries (Maynard et Baker, 1972). Les pertes d'azote occasionnées par la volatilisation peuvent être importantes dans les cas où le milieu présente des conditions anoxiques intermittentes (Patrick et Tusneem, 1972). Les réactions illustrées sur la Figure 1 se produisent aussi bien au niveau du sol que dans le milieu aquatique.

### 2.1.2 Cycle du phosphore

Dans le cycle du phosphore, les réactions physiques et chimiques jouent un rôle beaucoup plus important. Les roches ignées constituent la source première du phosphore en circulation. On estime à  $10^{19}$  tonnes la quantité totale de phosphore sur la planète (Anonyme, 1967; Golterman, 1973). On le trouve sous forme de minéraux appartenant principalement à la famille des apatites.

L'altération chimique et l'érosion de ces minéraux conféreront à l'eau et aux sols une qualité initiale. Les phosphates sont cependant peu solubles et les concentrations sont faibles dans le milieu. Seules les formes solubles de phosphore peuvent être assimilées par les organismes auto-

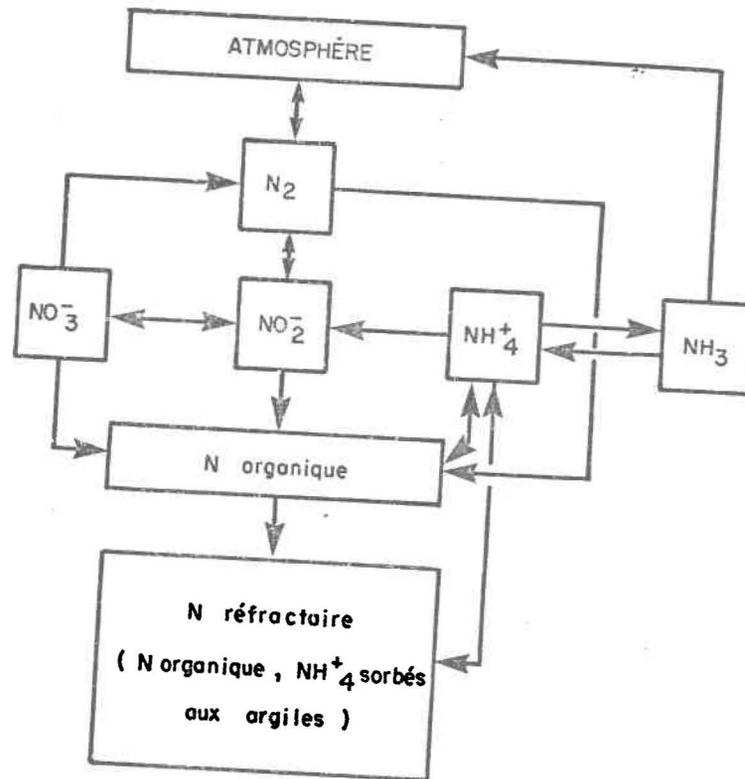


Figure 1. Relations entre les diverses formes d'azote  
(Adapté de Anonyme, 1970a).

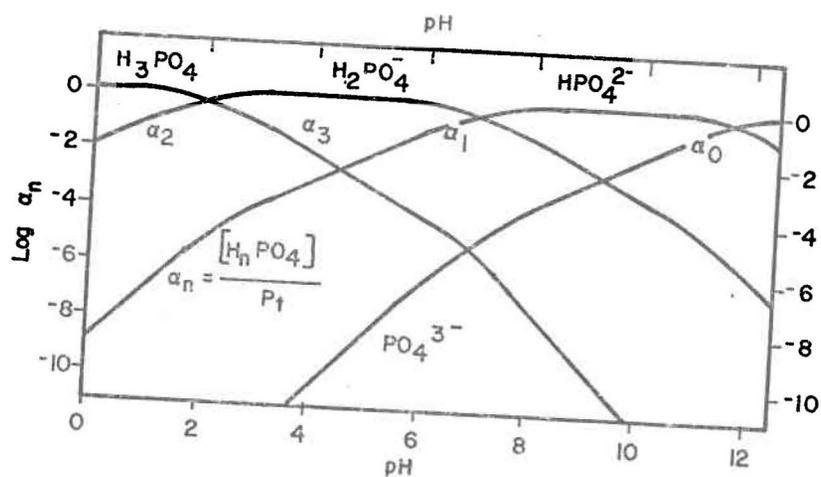


Figure 2. Effets du pH sur les diverses formes d'ortho-  
phosphates (Stumm et Morgan, 1970).

trophes. Aux pH trouvés dans les eaux naturelles et dans les sols, les formes inorganiques disponibles sont  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  pour les pH acides et  $\text{HPO}_4^{=}$  pour les pH plus alcalins (Fig. 2).

Le phosphore assimilé est transformé en phosphore organique, bien qu'il demeure toujours sous la forme phosphate. La libération du phosphore par excrétion, par autolyse ou par décomposition des organismes remet en circulation le phosphore sous forme dissoute ou particulaire. Le phosphore peut alors sédimenter ou se minéraliser; dans un cas comme dans l'autre, le phosphore organique peut être dégradé en ortho-phosphates. Ceux-ci peuvent alors être sorbés aux argiles, précipités sous forme de phosphates de fer, d'aluminium et de calcium ou être de nouveau assimilés par les organismes. Les relations entre les diverses formes de phosphore sont illustrées sur la Figure 3.

## 2.2 Importance des diverses sources d'azote et de phosphore

Nous avons vu précédemment que l'azote et le phosphore existent sous plusieurs formes dont une grande partie n'est pas directement disponibles aux organismes autotrophes. Les formes disponibles sont quantitativement limitées dans le milieu naturel. Redfield (1958)<sup>1</sup> propose un modèle représentant les conditions à l'équilibre des formes assimilables d'azote et de phosphore pour une étendue d'eau quelconque (Fig. 4).

L'azote et le phosphore trouvés dans le milieu aquatique proviennent de diverses sources. Nous considérons comme apports naturels les apports atmosphériques, géologiques et biologiques (Miller, 1970). Nous établirons la contribution possible de chacune de ces sources. Les apports d'azote et de phosphore dus aux activités humaines varient considérablement.

<sup>1</sup>

Tel que mentionné par Anonyme (1970a).

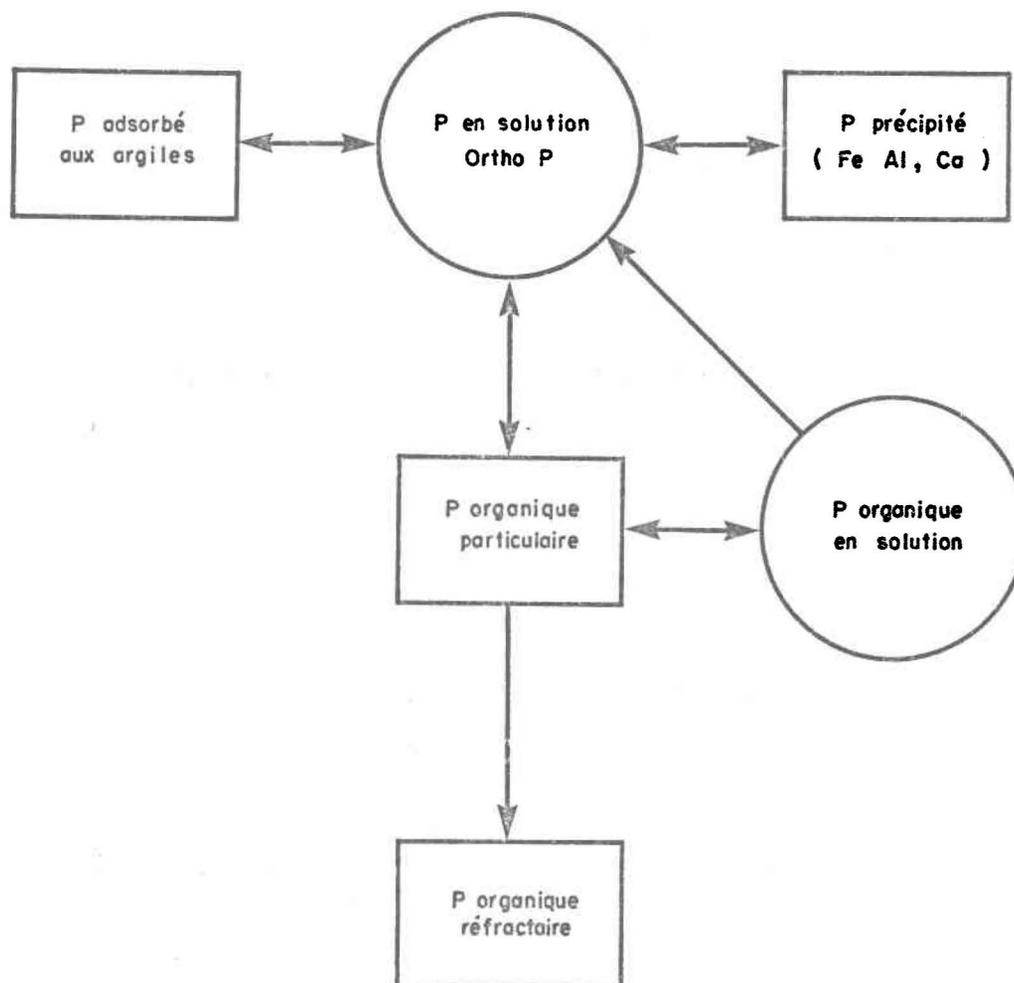


Figure 3. Relations entre les diverses formes de phosphore dans les sols et dans l'eau (Adapté des figures publiées par Larsen (1967) et Anonyme, 1970a).

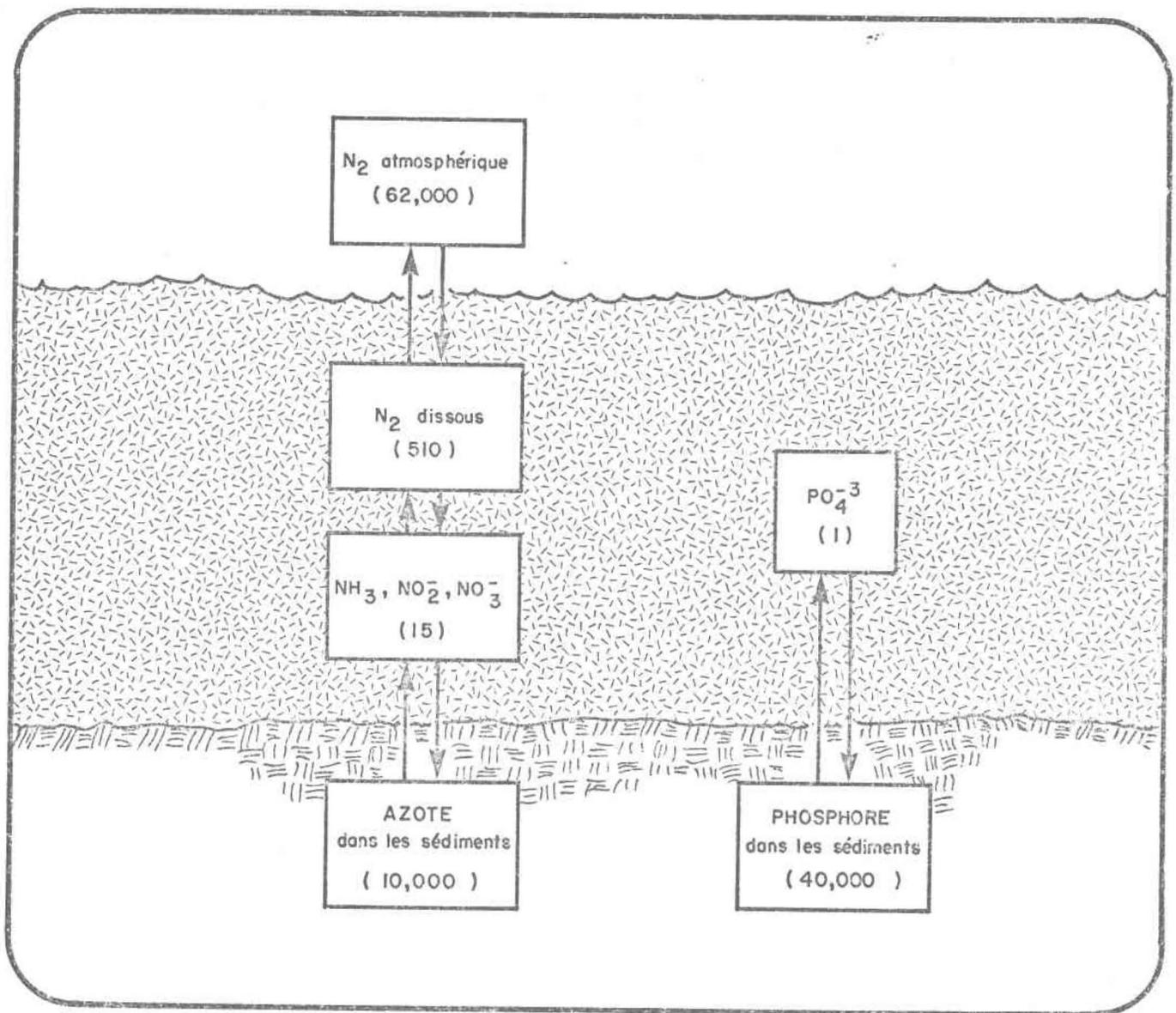


Figure 4. Proportion des principales formes d'azote et de phosphore dans le milieu naturel (unité: atome - équivalent) (Adapté de Redfield (1958) et tel que présenté par Anonyme, 1970a).

On étudiera séparément les charges associées aux régions urbaines, industrielles et agricoles. Finalement, on comparera les apports et la qualité de l'eau des différents milieux.

### 2.2.1 Apports atmosphériques

Les précipitations constituent une source d'éléments nutritifs. L'azote et le phosphore sont amenés sous forme minérale ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{-3}$ ) dans la pluie ou la neige. On attribue leur présence à la mer, aux surfaces terrestres (volatilisation de  $\text{NH}_3$ ), aux agents de pollution atmosphérique (combustion des carburants) et aux éruptions volcaniques (Voltenweider, 1968). Les précipitations et les substances nutritives qui leur sont associées varient considérablement selon les régions. Les concentrations d'azote et de phosphore généralement rencontrées dans les précipitations se trouvent respectivement entre 0.1 et 2 mg/l (N) et entre 0.01 et 0.03 mg/l (P) (Anonyme, 1967). Stumm et Stumm-Zolinger (1972) trouvent comme limite inférieure de la concentration de phosphore 0.004 mg/l. Fruh (1967) rapporte des concentrations de nitrates et d'ammoniaque variant respectivement entre 0.7 et 4.7 mg/l et entre 0.05 et 2.2 mg/l. Pour une précipitation annuelle de 76.2 cm, l'apport en azote par les pluies serait de 78 à 1570  $\text{kg}/\text{km}^2\text{-an}$  (N): l'apport en phosphore serait de 8 à 24  $\text{kg}/\text{km}^2\text{-an}$  (P) (Anonyme, 1967). Bartsch (1972) mentionne un apport de 11.2 à 59.4  $\text{kg}/\text{km}^2\text{-an}$  (P). La plus grande partie du phosphore dans les pluies proviendrait du lessivage des particules atmosphériques. Feth (1966) fit une revue de la littérature sur la présence d'azote dans les précipitations. Dans chaque cas cité, les concentrations d'ammoniaque sont plus importantes que celles des nitrates et enregistrent de plus grandes fluctuations. Les pluies qui tombent au-dessus des océans contiennent deux fois moins d'ammoniaque que

celles qui tombent sur le milieu terrestre; on remarque aussi que les plus grandes concentrations d'ammoniaque dans les pluies de printemps coïncident avec les applications de fertilisants sous forme d'ammoniaque liquide; de plus, on constate que les régions possédant des sols acides correspondent aux régions où les concentrations d'ammoniaque sont faibles: ceci s'expliquerait par la facilité que possèdent les sols de faibles pH à retenir l'ammoniaque; contrairement, les pluies dont la teneur en ammoniaque est élevée s'associent aux régions où les sols sont alcalins (Anonyme, 1967).

La qualité de la neige fut étudiée dans la région d'Ottawa; on trouve en moyenne 0.8 mg/l de  $\text{NH}_3\text{-N}$  et 0.4 mg/l de  $\text{NO}_2\text{-N}$  et  $\text{NO}_3\text{-N}$  (Anonyme, 1967). Hornbeck et Likens (1974) trouvèrent des concentrations plus faibles d'ammoniaque (0.016 à 0.64 mg/l  $\text{NH}_3\text{-N}$ ) et des concentrations plus fortes de nitrates (0.067 à 0.35 mg/l  $\text{NO}_3\text{-N}$ ). Globalement, il semblerait que la neige contienne moins de nitrates que la pluie (5% versus 10% à 20% de la teneur en ammoniaque). Dans le manteau nival même, les nitrates sont lessivés par les pluies, vu leur grande solubilité; cependant, l'ammoniaque aurait tendance à s'accumuler jusqu'à la fonte (Hornbeck et Likens, 1974).

Les particules atmosphériques tombent sur le sol sous forme de poussière. On estime que 39% de l'azote total d'origine atmosphérique se trouve sous cette forme; cet apport est estimé à  $258 \text{ kg/km}^2\text{-an}$  (Anonyme, 1967). Selon Vollenweider (1968), il existe une coïncidence entre les apports atmosphériques en substances nutritives et les activités humaines, surtout pour les produits azotés qui proviennent des résidus industriels et des engrais épandus.

### 2.2.2 Sources géologique et pédologique

On considère le roc comme source originelle du phosphore dans le milieu aquatique. La qualité des différents types de roches contrôle partiellement celle de l'eau. Les données existantes sur le contenu de phosphore dans les roches apparaissent au Tableau 1.

Le phosphore se présente essentiellement sous forme de phosphates ( $\text{PO}_4^{-3}$ ); le groupe minéral des apatites est le plus représentatif de cet élément. On estime à 0.07 mg/l de P la concentration de phosphore dans l'océan comme résultat de l'érosion des minéraux phosphatés moins les précipitations et l'incorporation dans les sédiments (Anonyme, 1967).

Une étude récente de Dillon et Kirchner (1975) démontre que les apports totaux en phosphore sont moindres dans des milieux naturels situés sur des roches ignées (du bouclier canadien) que dans des milieux semblables situés sur des roches sédimentaires. Les apports sont respectivement de 4.8  $\text{kg/km}^2\text{-an}$  et de 10.7  $\text{kg/km}^2\text{-an}$ .

En accord avec la conférence sur la chimie de l'azote donnée par le U.S. Geological Survey California (1965) (Goldberg, 1970), la quantité d'azote fixée dans les roches serait cinquante fois plus élevée que la quantité trouvée dans l'atmosphère. Dans un tableau publié par Feth (1966), ce même rapport est de 42:1. Cependant, cette source est beaucoup moins accessible que l'atmosphère. Feth (1966), dans sa revue de littérature sur les composés azotés dans les eaux naturelles donne quelques résultats sur le contenu en azote pour différents types de roches (voir le Tableau 2). Les roches sédimentaires contiennent plus d'azote que les roches ignées. Ceci s'explique par l'incorporation de matière organique dans les sédiments.

TABLEAU 1: Contenu en phosphore des différents types de roches  
et de sédiments

Type de roche	Anonyme (1967) % P	Wilde et al. (1949) <sup>1</sup> % P	Goldschmidt (1958) % P		
			$\bar{x}$	modes	médiane
Roches ignées	0.10				
andésite		0.16	0.12	0.07	0.11
diabase		0.03			
Basalte			0.24	0.13	0.20
rhyolite			0.055	0.02	0.06
gabbro			0.17	0.04	0.11
diorite			0.14	0.065	0.11
syénite			0.13	0.065	0.11
granite			0.09	0.065	0.08
Roches métamorphiques					
gneiss		0.04			
Roches sédimentaires					
pélites ( <u>shale</u> )	0.08		0.074		
argilite ( <u>clay</u> )	0.14		0.13		
grès	0.04	0.02	0.35		
calcaire	0.02	1.32	0.02		
Phosphorite		10-15			
Sédiments non consolidés					
argile glaciaire			0.07		
séd. Atlantique			0.17		
argile bleue-gris (Atlantique)			0.28		

(1) Tel que mentionné par Keup (1968)

TABLEAU 2: Proportion d'azote dans différents types de roches

Type de roches	RanKama et Sahama (1950) <sup>1</sup> % N	Wlotzka (1961) <sup>1</sup> % N	Trask et Patnode (1942) <sup>1</sup> % N
Roches ignées	0.0046	0.0020	
Roches sédimentaires	0.051		0.06
argilite ( <u>clay</u> )		0.058	
pélites ( <u>shale</u> )		0.058	
grès		0.014	
calcaire		0.007	

(1) Tel que mentionné par Feth (1966).

Les principaux dépôts de nitrate sont associés à des milieux bien spécifiques ou à des conditions climatiques particulières. Il s'agit des dépôts de cavernes, des caliches et des playas. Ces sources peuvent être très importantes localement (surtout en ce qui concerne la contamination des eaux souterraines). Dans les trois cas, l'azote est d'origine organique. Pour les cavernes et les caliches, il s'agit d'accumulations de guano pouvant s'oxyder et dont l'eau peut être éliminée. Les dépôts des playas s'expliquent par la nitrification rapide de la matière organique sous des climats arides (Viets et Hageman, 1971). On ne rencontre cependant pas de ces dépôts dans nos régions.

Il existe une relation étroite entre la géologie et la pédologie. Les sols représentent une entité dynamique à la surface de la terre, composée de substances minérales et organiques (Laplante, 1959). Les substances minérales proviennent de l'altération physique et chimique des roches. Buckman et Brady (1965) décrivent ces processus impliqués comme suit:

1. Processus mécaniques (Désintégration)

- a) Température - dilatation différentielle des minéraux, action de la gelée et exfoliation;
- b) Erosion et sédimentation - par l'action de l'eau, de la glace et du vent;
- c) Influences des plantes et des animaux.

2. Processus chimiques (Décomposition)

- a) Hydrolyse;
- b) Hydratation;
- c) Carbonatation et processus acides apparentés;
- d) Oxydation;
- e) Dissolution.

Certains minéraux sont détruits et d'autres sont formés. Buckman et Brady (1965) présentent un schéma généralisé des changements se produisant lors de l'altération sous des climats tempérés (voir la Fig. 5).

Simultanément à ces processus de désintégration et de décomposition, une flore pionnière apparaît. La matière organique des sols se forme sous l'action de la végétation et de la flore microbienne. Notons que les sols et la végétation évoluent vers un équilibre avec le milieu. Les sols représentent la résultante de processus physiques, chimiques et biologiques. On remarque que les argiles et l'humus retiennent facilement les éléments nutritifs.

D'après Vollenweider (1968), "les sols jouent un véritable rôle d'intermédiaire entre les conditions géologiques, orographiques et climatologiques et les caractéristiques hydrochimiques des eaux". La capacité d'échange d'ions et la capacité de rétention de l'eau du sol influencent directement la qualité de l'eau. "La capacité d'échange dépend de la composition physico-chimique du sol... qui est fonction de la roche-mère et du couvert végétal" (Vollenweider, 1968).

La teneur en phosphore des sols superficiels oscille de 0 à 0.3% (Vollenweider, 1968). Selon Larsen (1967), la teneur moyenne est de 0.04%; dans les solutions des sols, les concentrations de phosphore varient entre 0.1 et 1 mg/l. Le phosphore des sols se trouve principalement sous forme inorganique (Hernwall, 1949). Le phosphore organique provient des produits de synthèse des plantes et des microorganismes. D'après Larsen (1967), il peut constituer de 20% à 80% du phosphore total dans les sols.

Plus les particules du sol sont petites et plus le contenu en argile est grand, plus le sol est susceptible de contenir de grandes quantités de

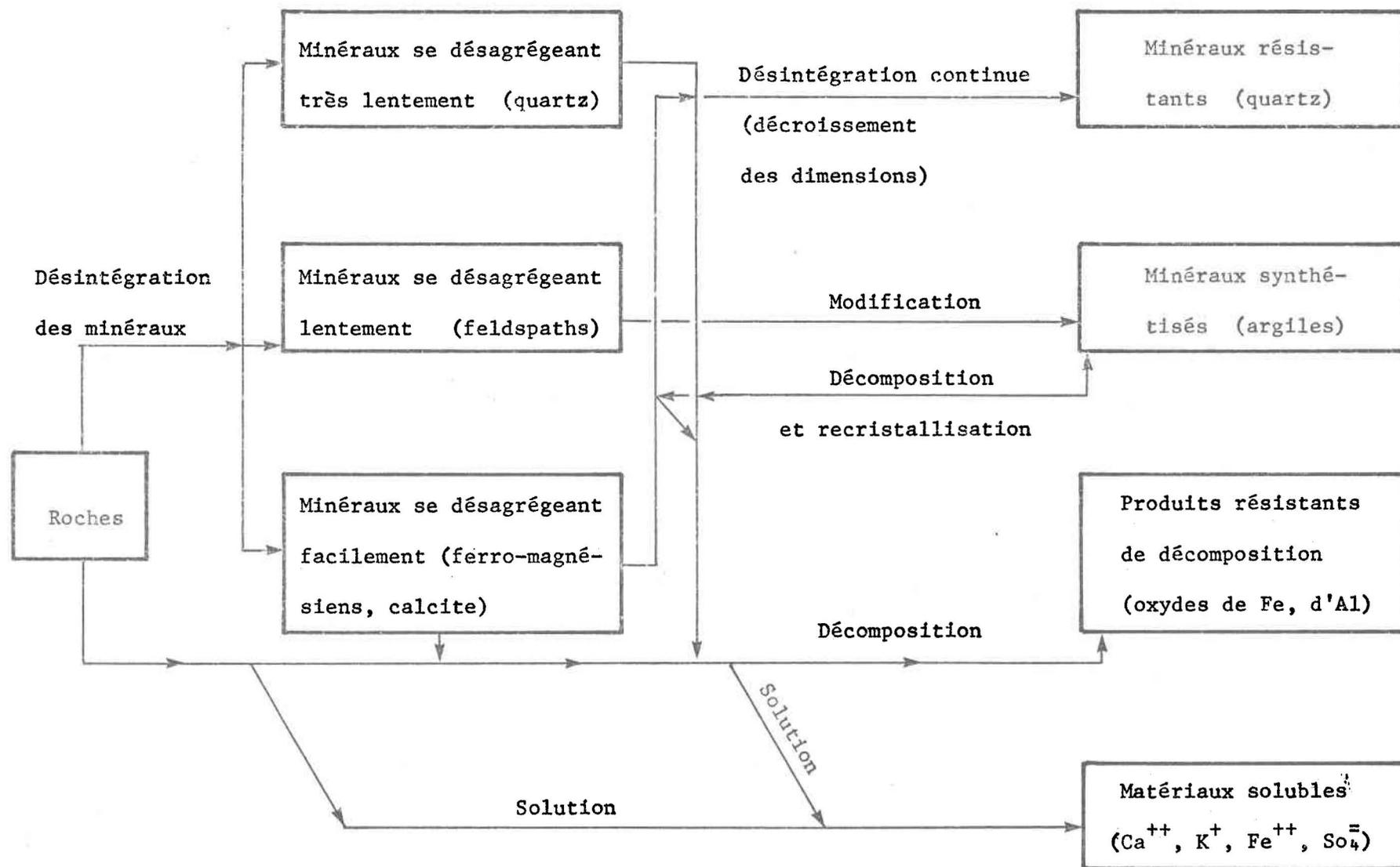


Figure 5. Schéma généralisé des changements se produisant lors de l'altération des roches sous des climats tempérés (Buckman et Brady, 1965).

phosphore. Les argiles adsorbent facilement les phosphates. Les porosités efficaces faibles ralentissent le passage de l'eau dans les sols et peuvent ainsi favoriser les réactions chimiques. C'est pourquoi les faibles teneurs de phosphore se trouvent dans les sols sablo-argileux (estimation moyenne:  $97 \text{ mg/m}^2$ ). Viennent ensuite les sols silteux qui contiennent de 135 à 145  $\text{g/m}^2$  de phosphore; dans les sols argileux, la teneur moyenne de phosphore est de  $355 \text{ g/m}^2$  (Vollenweider, 1968). Cooke et Williams (1973) trouvèrent que les concentrations de phosphore dans les eaux en provenance des sols argileux étaient plus faibles que celles provenant de l'eau coulant sur des sols sablonneux.

Selon Vollenweider (1968), "L'enrichissement en azote des sols est principalement dû à des processus de nitrification bactérienne dans les couches supérieures du sol et aux apports éoliens directs ou par les précipitations météorologiques". Pour les terrains sablonneux et calcaires, la teneur en azote varie entre 0.15 et 0.2%. La majeure partie de l'azote se présente sous forme organique (Lunin, 1971; Maynard et Baker, 1972). De la même façon que pour le phosphore, la teneur en azote tend à augmenter avec la diminution de perméabilité du sol et l'augmentation de la proportion d'argile. On trouve des quantités allant de  $200 \text{ g/m}^2$  pour des sols sablonneux jusqu'à  $810 \text{ g/m}^2$  pour des terrains argileux (Vollenweider, 1968).

### 2.2.3 Apports biologiques

Les oiseaux aquatiques, les insectes, le transfert des pollens et des spores contribuent à l'apport d'azote et de phosphore dans le milieu aquatique. La plupart de ces apports sont très localisés et probablement négligeables à l'échelle d'un bassin versant.

#### 2.2.4 Apports dans le milieu forestier

La forêt représente un milieu naturel n'ayant pas subi l'influence humaine. La qualité des eaux de drainage et les apports en substances nutritives varient considérablement d'un bassin suivant à l'autre (Tableaux 3,4). Ces fluctuations dépendent de la pente, des caractéristiques du sol et du sous-sol, du type de végétation de la qualité et de la quantité des précipitations (Bartsch, 1972).

D'après Hobbie et Likens (1973) les forêts constituent un écosystème qui retient le phosphore: 87% des apports allochtones (précipitations) de phosphore sont absorbé par le milieu.

#### 2.2.5 Egouts domestiques

Les égouts domestiques contiennent des quantités appréciables de composés azotés et phosphorés. Au Québec, la majeure partie de ces eaux usées est directement rejetée dans les cours d'eau sans traitement. Le phosphore et l'azote proviennent des déchets humains (féces et urine) et des écoulements de cuisine ou de salle de bain. L'apport de phosphore par les détergents sera considéré ultérieurement. L'azote organique se trouve principalement sous forme de matière en suspension. La distribution de l'azote organique est à peu près équivalente à celle de l'azote ammoniacal (Tableau 5). Les déchets domestiques contiennent peu d'azote ammoniacal; celui-ci étant rapidement oxydé sous forme de nitrites et de nitrates.

Dans le Tableau 6 figurent les principales caractéristiques des excréments humains: 40% du phosphore et 15% de l'azote se trouvent associés aux matières fécales; le complément provient des urines (Vollenweider, 1968). Globalement, dans les égouts domestiques, les concentrations de phosphore et

TABLEAU 3: Apports en azote et en phosphore dans le milieu forestier  
(kg/km<sup>2</sup>-an)

N	P	Caractéristiques	Références
22	2.3	Hubbard Brook	Hobbie et Likens (1973)
	4.2	Upper Klamath Lake (boisé naturel)	Bartsch (1970) <sup>1</sup>
140-321	10.9-86	Bassin forestier	Bartsch (1972)
130	25.9	Région des Alpes	Bartsch (1972)
153	10.4	Patterson Creek (88% forêt)	Jaworski et Hetling (1970)
3.4	0.34	Mendota Lake (ruissellement)	Anonyme (1967)
	10.7(6.7- 14.5)	Bassin forestier sur des roches sédimentaires	Dillon et Kirchner (1975)
	4.8(2.5- 7.7)	Bassin forestier sur des roches ignées	Dillon et Kirchner (1975)
	13.8	90% forêt	Dillon et Kirchner (1975)
332	35.9-83.0	Yakima River	Sylvester (1961)
	0.7-82	Cedar River	Keup (1968)
432	8.35	17 bassins versants (>75% forêt)	Anonyme (1974)

(1) Tel que mentionné par Bartsch (1972)

TABLEAU 4: Concentrations d'azote et de phosphore dans les eaux de surface de milieux à caractère forestier (mg/l).

N	P	Caractéristiques	Références
0.1-0.5	0.04-0.2	-	Anonyme (1967)
0.204	0.069	Yakima, Tieton, Cedar River	Sylvester (1961)
<0.5 (0-1.3)*	<0.1(0.02-0.5)*	Patterson Creek	Jaworski et Hetling (1970)
0.772	0.014	17 bassins versants (>75% forêt)	Anonyme (1974)

\* Déterminé à partir de graphiques

TABLEAU 5: Concentration d'azote et de phosphore dans les égouts domestiques (mg/l).

N org	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2-3</sub> N	N Total	P orth-P	Ptotal	Référence	
20(5-35)	28(10-60)	2(0-6)	50(15-100)	3.2(1.7-8.16)	6.5(3.3-16.3)	Thoman (1972) <sup>1</sup>	
		0.32(0.1-0.48)		3.4(3.1-4.0)	4.3(3.8-5.1)	Cluis <i>et al.</i> (1974)	
					3.5-9	Anonyme (1967)	
					5-20	Stumm et Stumm-Zollinger (1972)	
					3.3-4.4	Devey et Harkness (1973)	
					7.46-14.92	Anonyme (1974)	
				13.3	21.9	8.2	Schwinn, Bonneau (1972)
						8.5	Schwinn, Bonneau (1972)
				15.0	27.9	10.3	Schwinn, Bonneau (1972)
						5.5	Schwinn, Bonneau (1972)

(1) Tel que mentionné par Cluis *et al.* (1974)

TABLEAU 6: Caractéristiques des excréments humains selon Van Duran  
(1948)<sup>2</sup>

Poids annuel global per capita	Forme solide	Forme liquide	Poids sec global	Azote dans le poids sec	Phosphore dans le poids sec
485 Kg	48 Kg	437 Kg	34.4 Kg	5.2 Kg	0.52 Kg

(2) Tel que mentionné par Vollenweider (1968)

d'azote varient respectivement entre 3.3 et 17 mg/l(P) et entre 15 et 100 mg/l(N) (Tableau 5).

### *Les détergents*

Depuis la dernière guerre, l'usage des détergents synthétiques a pris une expansion extraordinaire. Ces derniers contiennent principalement des surfactants et des "builders"<sup>1</sup>. Ils peuvent contenir jusqu'à 28% de phosphore. Les principaux "builders" de phosphates sont le pyrophosphate de sodium ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) et le tripolyphosphate de sodium (STP ou  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) (Vollenweider, 1968).

Les polyphosphates s'hydrolysent en orthophosphates directement assimilables par les algues. Dans un milieu propre neutre, cette réaction se fera en plusieurs semaines tandis que dans les eaux résiduaires acides, le processus est de beaucoup accéléré; c'est alors une question d'heures (Devey et Harkness, 1973). Leurs travaux indiquent qu'une période de 20 heures est suffisante à l'hydrolyse de 50% des tripolyphosphates de sodium dans les eaux d'égouts.

La proportion de phosphore dans les égouts due à l'utilisation des détergents varie considérablement selon les localités: de 17 à 73.3% selon Devey et Harkness (1973); en moyenne, on peut considérer cette proportion à 46% du phosphore total. L'apport per capita de phosphore dérivé de l'usage des détersifs serait de 1.92 g/personne-jr (Devey et Harkness, 1973).

<sup>1</sup>

Le surfactant est soluble dans l'eau et dans l'huile; il permet ainsi l'enlèvement efficace des graisses et de l'huile. Le "builder" maintient les saletés en suspension une fois enlevées, contrôle la dureté de l'eau en formant des complexes solubles de calcium et de magnésium, il sert aussi de tampon en assurant à l'eau une bonne alcalinité (Weaver, 1969; Goulden *et al.*, 1970).

### 2.2.6 Eaux de ruissellement urbain

Même si les égouts domestiques sont normalement séparés des égouts pluviaux, ces derniers contiennent des quantités appréciables de substances nutritives. L'azote et le phosphore sont cependant en concentration moindre que dans les égouts strictement domestiques (Tableaux 5, 7).

La charge est fonction de l'utilisation du territoire, de la saison et de la fréquence du nettoyage des rues. D'après le Tableau 8, dans les quartiers industriels, la charge en matières nutritives serait plus élevée que dans les secteurs résidentiels et commerciaux. L'entretien plus régulier des zones commerciales explique leur charge plus faible (Cluis *et al.*, 1974).

L'azote et le phosphore proviennent de diverses sources: mauvaise manutention des ordures, excréments d'animaux, fertilisants, érosion et lessivage des parterres, égouttement des véhicules, retombées atmosphériques. Au Tableau 9 apparaissent les apports en azote et en phosphore dans les eaux de ruissellement de différents milieux urbains.

### 2.2.7 Sources industrielles

Les eaux résiduaires industrielles peuvent contenir des quantités plus ou moins importantes d'azote et de phosphore selon le type d'industrie. L'utilisation de l'azote est principalement associée à l'industrie des fertilisants suivie de loin par les industries chimiques, la fabrication des explosifs, des fibres synthétiques, des plastiques et le traitement du bois (Anonyme, 1967). La contribution de l'industrie alimentaire est très importante autant pour les substances azotées que phosphorées (voir Tableau 10). La fabrication des fertilisants utilise la majeure partie du phosphore exploité, soit 70%, viennent ensuite l'industrie des détergents, l'industrie alimen-

TABLEAU 7: Concentration des diverses formes d'azote et de phosphore dans les eaux de ruissellement urbain (mg/l).

Caractéristique	Weibel et al. (1964)	De Filipi et al. (1971) <sup>1</sup>	Burm et al. (1968) <sup>1</sup>	Sylvester (1961)	Anonyme (1967)
N org	1.7 (0.2-4.8)		1	0.41	
N - NH <sub>4</sub>	0.6 (0.1-1.9)		1		
N - (NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> )	0.45 (0.1-1.7)			0.42	
N total	2.75	2.1 (0.5-6.5)		0.83	1-10
P orth.			0.26(-1.11)	0.07	
P total	0.26 (0.02-1.4)	0.42 (0.065-1.47)	1.63(-5.35)	0.05	0.1-1.5

(1) Tel que présenté par Cluis *et al.* (1974)

TABLEAU 8: Répartition des charges polluantes en fonction de l'utilisation du territoire urbain (kg par km de bordure de route).  
Selon Sartor et Boyd (1972)<sup>1</sup>

Caractéristiques	Résidentiel	Industriel	Commercial
Azote Kjeldahl	1.7	3.4	0.34
Nitrates	0.05	0.15	0.15
Phosphates	0.9	2.9	0.26

1. Tel que présenté par Cluis *et al.* (1974)

TABLEAU 9: Apports en azote et en phosphore dans le milieu urbain  
(kg/km<sup>2</sup>-an)

N	P	Remarques	Références
	90	Ruissellement urbain	Lee (1970) <sup>1</sup>
	1374	Highland Creek (Ont.)	Owen et Johnson (1966) <sup>2</sup>
	1660	German Mills Creek (Ont.)	Owen et Johnson (1966) <sup>2</sup>
	110		Sonzogni et Lee (1972) <sup>2</sup>
217	23	Rock Creek (66% urbain)	Jaworski et Hetling (1970)
800	140	Apports hypothétiques	Vollenweider (1968)
1100	266	Eaux usées domestiques	Bucksteeg (1966) <sup>3</sup>
	224	Egouts domestiques	Lee (1970) <sup>1</sup>
	5-255	5 bassins à caractère urbain	Keup (1968)
5.4	1630	Contribution des mi- lieux urbains	Smilde (1972) <sup>4</sup>
678	28	3 bassins (>39% urbain)	Anonyme (1974)
1000	100	Ruissellement urbain	Weibel <i>et al.</i> (1964)
	92	Cincinnati	Weibel <i>et al.</i> (1969) <sup>2</sup>
	7.3	Maumee River	Cur1 (1957) <sup>2</sup>

(1) Tel que mentionné par Armstrong et Rohlich (1970)

(2) Tel que mentionné par Dillon et Kirchner (1975)

(3) Tel que mentionné par Vollenweider (1968)

(4) Tel que mentionné par Cooke et Williams (1973)

TABLEAU 10: Concentrations d'azote et de phosphore dans les eaux résiduaires industrielles (Anonyme, 1967; Vollenweider, 1968)

Nature des déchets	N mg/l	P mg/l
Industrie alimentaire	N.D. <sup>1</sup>	2.2 (0.4-5)
Usine de sucre (eau de lavage)	21-70	2.6-13
Jus pressé	28-712	31-274
Amidons de pommes de terre	89-196	27-80.5
Laiterie	30	0.9-1.3
Grenier de malt	29	13
Brasserie	159.4	20.2
Distillerie d'alcool	1900	N.D.
Levure	858	N.D.
Abattoirs	145	8.2
Dépouillage d'animaux	400-1500	43.7
Planches de paille	165	N.D.
comprimée	50	N.D.
Lin	40	26.1
Amidon	319	76.5
Lavage de laine	1400	N.D.
Teinturerie (couleurs du chrome)	7-22	N.D.
Industrie pharmaceutique (usine de pénicilline)	400	N.D.
Tannage	57	N.D.
Lavage des véhicules	N.D.	4.3 (0-113)
Lavage industriel varié	N.D.	2.6 (0-10.4)
Placage électrolytique	N.D.	5.3 (0-53.2)
Décapage	N.D.	3 (0.4-15.5)
"Anodizing"	N.D.	44.3 (0.2-164.5)
"Barelling"	N.D.	4.3 (0.4-10.4)
Finition du métal	N.D.	0.4 (0.1-0.6)

(1) N.D. données non disponibles

taire et l'industrie métallurgique (Anonyme, 1967). Au Tableau 10 apparaissent les concentrations de phosphore des eaux résiduaires de différents types d'industrie.

#### 2.2.8 Sources agricoles

On porte souvent le blâme de l'enrichissement des eaux de surface aux pratiques agricoles: élevage et fertilisation. Pour plusieurs auteurs, les particules en suspension constitueraient le principal polluant dérivé des activités agricoles (Walker et Wadleigh, 1968; Holt *et al.*, 1970; Lunin, 1971; Robinson, 1971). Lunin (1971) mentionne que trois quarts des sédiments trouvés dans les cours d'eau provient des régions rurales. Ces derniers sont susceptibles de contenir d'importantes quantités de substances nutritives. L'élevage des animaux, le mode de manutention du fumier, l'usage des fertilisants et le type de cultures sont autant de facteurs qui interviennent directement sur la quantité potentielle de substances nutritives libérées dans les eaux de surface.

Même s'il demeure risqué de comparer des études réalisées dans des conditions différentes, on peut néanmoins faire ressortir l'ordre de grandeur des apports et des concentrations de phosphore et d'azote dans le milieu rural (voir les Tableaux 11 et 12).

#### *Les engrais artificiels*

Les fertilisants ajoutent aux sols les éléments nutritifs essentiels à la croissance des plantes. L'utilisation excessive de ces derniers endommage le milieu naturel. L'application des fertilisants doit être faite de manière à maximiser les récoltes et à minimiser les pertes.

TABLEAU 11: Concentration d'azote et de phosphore dans les eaux de drainage agricole (mg/l).

N	P	Remarques	Références
0-2.8 <sup>1</sup>	0.08-0.95 <sup>1</sup>	Catoctin River (80% agricole, 20% forêt)	Jaworski et Hetling (1970)
1.46	0.25	Irrigation de surface	Sylvester (1961)
2.86	0.216	Drainage souterrain	Sylvester (1961)
25(1.8-62.4)		Drainage souterrain	Johnston <i>et al.</i> (1965) <sup>2</sup>
5 (0.2-8.21)		Drainage de surface	Weibel <i>et al.</i> (1966) <sup>2</sup>
	0.05-1	Bassins versants à caractère agricole	Leckie & Stumm (1970) <sup>3</sup>
	0.048	Région du Lac Mendota	Sawyer (1947) <sup>4</sup>
	0.060	Raisin River (Mich.)	Harlow (1966) <sup>4</sup>
	0.033	Bassin agricole (Ontario)	Owen (1965) <sup>4</sup>
	0.110	Big Muddy River	Hardy (1966) <sup>4</sup>
	0.6	Kaskashia River	Englebrecht et Morgan (1960) <sup>4</sup>
8.1	0.21	Drainage souterrain (terrains fertilisés)	Bolton (1970) <sup>5</sup>
3.1	0.15	28 bassins (>75% agricole)	Anonyme (1974)
1-70	0.05-1.1	Sources diverses	Anonyme (1967)

(1) Estimé à partir d'un graphique

(2) Tel que présenté par Anonyme (1967)

(3) Tel que présenté par Keup (1968)

(4) Tel que présenté par Verduin (1970)

(5) Tel que présenté par Viets (1971)

TABLEAU 12: Apports en azote et en phosphore dans le milieu rural  
(kg/km<sup>2</sup>-an)

N	P	Caractéristiques	Références
25-2720	49-990	Upper Klamath lake (régions irriguées)	Bartsch (1972)
336		Région agricole non fertilisée	Johnston <i>et al.</i> (1965) <sup>1</sup>
123	11	Bassin (90% agricole)	Minshall <i>et al.</i> (1969) <sup>1</sup>
358	235	Bassin (80% agricole)	Gearheart (1969) <sup>1</sup>
428	35	Catoctin Creek (80% agricole, 20% forestier)	Jaworski et Hetling (1970)
	24-85	Bassins versants à caractère agricoles	Keup (1968)
942	7.8	Ruissellement de surface (cultures de maïs et d'avoine)	McCarl (1971) <sup>2</sup>
616	150	Ruissellement de surface (terrain fertilisé ou non par des engrais naturels)	Minshall <i>et al.</i> (1970)
785	45	Eau de drainage (bassin agricole)	Sawyer (1947) <sup>2</sup>
275-2690	100-435	Yakima Valley (eau d'irrigation de surface)	Sylvester (1961)
403	120	Eau de drainage (cultures et pâturages)	Witzell <i>et al.</i> (1970) <sup>2</sup>
448	22	Principalement des pâturages	Witzell <i>et al.</i> (1971) <sup>2</sup>
347	7.8	Drainage souterrain	Johnston <i>et al.</i> (1965) <sup>3</sup>
81	16	Ruissellement agricole	Harms <i>et al.</i> (1974)
	6-113	Bassins versants à caractère agricole	Divers auteurs <sup>4</sup>
	46	Bassins versants à caractère agricole (sous-sol formé de roches sédimentaires)	Dillon et Kirchner (1975)

N	P	Caractéristiques	Références
6.7	4.5	Cultures et pâturages	Anonyme (1967)
336	112	Terrains fertilisés	Anonyme (1967)
490	23	28 bassins (>75% agricoles)	Anonyme (1974)

- (1) Tel que mentionné par Dillon et Kirchner (1975)
- (2) Tel que mentionné par Dombush *et al.* (1974)
- (3) Tel que mentionné par Anonyme (1967)
- (4) Tel que mentionné par Dillon et Kirchner (1975)

Les engrais chimiques phosphorés se présentent généralement sous forme solide (orthophosphates ou phosphates condensés). Les orthophosphates augmentent instantanément la concentration de phosphore dans la solution des sols; pour les phosphates condensés, la solubilité diminue avec la grosseur de la molécule (Black, 1970).

Les sols contiennent des cations qui réagissent avec le phosphore lorsque la concentration de ce dernier est très élevée. Dans les sols alcalins, les phosphates de calcium précipiteront alors qu'en milieu acide, on trouvera des phosphates de fer et d'aluminium. Le phosphore demeure ainsi près des sites d'absorption sous une forme non assimilable directement. Ce processus diminue considérablement la mobilité du phosphore dans les sols. Quand la concentration de phosphore en solution est faible, la capacité d'adsorption des argiles devient le facteur important dans la réduction de la mobilité du phosphore (Black, 1970).

Les engrais chimiques azotés se présentent sous forme liquide ou solide. Il s'agit principalement d'ammoniaque, d'urée et de nitrate d'ammonium. On trouve aussi des engrais renfermant des composés azotés et phosphorés. Généralement, l'ammoniaque représente la forme prédominante. Dans les sols, ce dernier peut être transformé en nitrate (Keeny et Walsh, 1972). Comme nous l'avons mentionné précédemment, les nitrates et l'ammoniaque sont très solubles; les ions ammonium peuvent facilement être sorbés aux particules du sol dans l'eau. Selon Nelson (1972), 50% à 80% de l'azote ajouté aux sols sous forme d'engrais serait récupéré dans les récoltes, 10% à 20% serait volatilisé et le reste serait lessivé ou érodé.

Il est possible de connaître les quantités d'engrais utilisées sur un territoire donné mais il est difficile d'en évaluer les pertes. L'azote

est sujet à plusieurs transformations. Dépendamment de sa forme chimique, il pourra être assimilé par les plantes, se volatiliser, percoler vers les eaux souterraines ou ruisseler. Le phosphore est plus facilement emmagasiné dans le sol, mais demeure néanmoins sujet à l'érosion.

### *L'élevage*

On distingue trois types d'élevage: pâturages, enclos ("feedlot"), à l'intérieur de bâtiments. Dans le premier cas, il n'y a pas de problème de disposition du fumier: la densité de population est faible, le sol est capable d'absorber les détritiques liquides, et les détritiques solides généralement bien dispersés se dégradent rapidement. De plus, le couvert végétal protège le sol contre l'érosion (Miner, Willrich, 1970; McCalla *et al.*, 1970). Dans les enclos, la densité de population est très élevée (100 à 450 pi.<sup>2</sup> par tête). Le couvert végétal disparaît complètement favorisant ainsi l'érosion. Le fumier s'accumule et il se forme une croûte dure à la surface du sol entravant la percolation des éléments nutritifs dans le sol (Stewart *et al.*, 1968; Miner et Willrich, 1970). Dans le troisième cas, le fumier est généralement amassé hors des bâtiments. Ce dernier est alors sujet à l'érosion. L'épandage de ce fumier est une pratique courante. Dépendamment du temps d'application de celui-ci, les risques d'érosion ou de lessivage varient considérablement.

La composition du fumier varie selon l'espèce d'animal, l'âge, la diète et le type d'entreposage et de manutention. Au Tableau 13 figurent les caractéristiques du fumier des principaux animaux d'élevage. Dans le dernier, le phosphore se trouve principalement sous forme inorganique (Peperzak *et al.*, 1958). Comparativement aux engrais chimiques, les engrais naturels seraient pauvres en phosphore. L'azote se trouve principalement sous forme d'azote or-

TABLEAU 13: Apports en azote et en phosphore pour les différents animaux d'élevage  
(Cluis et Durocher, 1976)

	Fumier total (kg/jr)	Kg(N)/jr	Kg(P)/jr
Vache laitière (544 kg)	281.3 (208.0-369.2)	1.2 (0.88-1.8)	0.19 (0.007-0.28)
Boeuf (454 kg)	178.1 (120.1-263.7)	1.2 (0.33-2.8)	0.24 (0.105-0.80)
Porc (68 kg)	26.4 (21.4-4.10)	0.2 (0.09-0.35)	0.06 (0.026-0.16)
Mouton (45 kg)	15.8 (10.5-35.2)	0.16 (0.09-0.26)	0.03 (0.02-0.04)
Cheval (454 kg)	143.0 (117.2-164.1)	1.03 (0.76-1.41)	0.14 (0.11-0.21)
Poule (2 kg)	0.7 (0.26-1.58)	0.02 (0.001-0.048)	0.004 (0.0003-0.01)

ganique et ammoniacal (McCalla, 1974).

### 2.3 Comparaison des différents milieux

Dans les Tableaux 3, 4, 9, 11, 12 apparaissent les résultats de plusieurs études sur les charges et les concentrations d'azote et de phosphore dans différents milieux. Il appert que le milieu forestier libère moins de phosphore et d'azote que les milieux urbains et ruraux. Le milieu forestier tend à accumuler les substances nutritives. La qualité des précipitations, l'altération des roches, le lessivage des sols et les apports biologiques sont à l'origine de la présence du phosphore et de l'azote dans les eaux issues du milieu forestier. En général, le couvert végétal de ces zones protège bien le sol de l'érosion contrairement aux zones rurales.

Les apports d'azote sont plus importants dans les eaux de drainage des régions agricoles que dans celles des régions urbaines (Jaworski et Hetling, 1970). Ceci s'explique par la densité élevée des populations animales et par l'usage des fertilisants. Les apports de phosphore sont similaires dans ces deux milieux (Jaworski et Hetling, 1970). Dans les régions urbaines, l'usage des détergents contribue à l'enrichissement des eaux de surface en phosphore.

### 2.4 Transport des composés azotés et phosphorés

Les substances nutritives sont amenées des sols à l'eau par ruissellement ou par écoulement souterrain. Le matériel en suspension est transporté par l'eau de ruissellement; tandis que les formes solubles se trouvent associées à l'écoulement de surface ou souterrain.

Il semble que seuls les nitrates sont susceptibles d'atteindre la

nappe phréatique et de contaminer les eaux souterraines (Jones et Zwerman, 1972). Ceci est dû à ses propriétés: il est très soluble dans l'eau et n'est pas retenu par les particules de sol; de plus, c'est la forme prédominante d'azote inorganique dans les sols (Jones et Zwerman, 1972). L'azote ammoniacal est soluble mais facilement sorbé aux colloïdes des sols. Ceci réduit ses possibilités d'infiltration. La production des ions ammonium sera efficace dans la mesure où les sites d'échange des colloïdes des sols seront saturés. On admet généralement que les formes organiques azotées solubles s'hydrolysent rapidement en ammonium (Harmsen et Kolenbrander, 1965)<sup>1</sup>. Les phosphates pourront exceptionnellement percoler dans des sols particulièrement poreux où l'infiltration est très rapide. L'immobilité du phosphore est principalement due à son adsorption sur les particules fines du sol (Edwards et Lloyd, 1970); Brezonik, 1972).

Le ruissellement se produit lorsque le taux de précipitation excède le taux d'infiltration (Hensler et Attoe, 1970). L'eau de ruissellement agricole contient alors d'importantes quantités de substances nutritives. Harms *et al.* (1974) estiment que les pertes globales varient entre 3.4 et 337 kg/km<sup>2</sup>-an pour l'azote et entre 1.1 et 81 kg/km<sup>2</sup>-an pour le phosphore. Les charges les plus importantes sont associées à la période de fonte de la neige.

La contribution relative des eaux de ruissellement et des eaux souterraines aux eaux de surface dépend de plusieurs facteurs dont les principaux sont les caractéristiques des sols, le climat et les précipitations, la pente et le couvert végétal (Wischmeier et Mannering, 1969; Jones et Zwerman, 1972). Les facteurs qui favorisent l'infiltration réduisent le

<sup>1</sup>

Tel que mentionné par Jones et Zwerman (1972).

ruissellement.

#### 2.4.1 Caractéristiques du sol

La granulométrie des particules de sol influence le transport. Les particules les plus facilement érodables sont les "silts" grossiers et les sables fins (0.05 à 1 mm selon le diagramme de Hjulström, 1935)<sup>1</sup>. Les argiles sont plus difficilement délogeables vu les forces de cohésion entre les grains. Notons que "l'érosion comprend deux processus: le détachement des particules et le transport" (Dupont, 1976). Les particules fines sont facilement transportables alors que les particules grossières sont facilement détachables. La granulométrie, la forme et l'arrangement des particules déterminent la porosité du sol. Plus la porosité efficace est grande, plus le potentiel de percolation est important. Il semble que la présence de matière organique dans les sols favorise l'infiltration de l'eau en augmentant la porosité des sols (Ripley *et al.*, 1962; Jones et Zwerman, 1972; Dupont, 1976). Le degré de saturation en eau des sols peut influencer l'efficacité des sols à absorber et conduire l'eau des précipitations vers la nappe phréatique. Avant de pouvoir observer un mouvement descendant continu, la capacité au champ doit être atteinte.

#### 2.4.2 Climat et précipitations

Le climat influence directement la distribution et la quantité des précipitations. Ces dernières sont considérées comme l'agent principal de l'érosion du sol (Ripley *et al.*, 1962; Dupont 1976). Le choc des gouttes de pluie est suffisant pour déloger les particules. Elles sont alors entraînées dans l'eau de ruissellement servant de matériel abrasif. L'enneigement

<sup>1</sup>

Tel que présenté par D nbar et Rodgers, 1966.

est aussi un indice d'érosion. A la fonte des neiges, le sol est dénudé de végétaux et seules les couches superficielles sont dégelées. Le sol gelé entrave l'absorption de l'eau; les couches de surface saturées en eau deviennent fluides et très facilement érodables (Ripley *et al.*, 1962). Le climat contrôle aussi le type de végétation qui contrôle à son tour le degré de protection contre l'érosion (Dupont, 1976).

La percolation de l'eau vers la nappe est également directement influencée par le climat et les précipitations. Lorsque les précipitations excèdent l'évapotranspiration et lorsque le sol est saturé, il y a percolation du surplus d'eau vers la nappe (Jones et Zwerman, 1972).

#### 2.4.3 Pente

Selon Ripley *et al.* (1962), la pente d'un bassin versant influe sur le ruissellement; plus elle est raide, plus le ruissellement est considérable, les autres facteurs étant égaux. De plus, comme le mentionne Dupont (1976): " l'escarpement de la pente influence l'érosion de plusieurs façons. L'accroissement de la vitesse de l'eau de ruissellement dû à l'augmentation de la pente facilite l'arrachage et l'enlèvement d'une plus forte quantité de sol". A mesure que la pente augmente, la quantité d'eau de percolation diminue. D'après Ripley *et al.* (1962), la longueur de la pente joue aussi un rôle important: plus elle est longue, plus la vitesse de l'eau augmente; "sa force de tourbillonnement s'intensifie et l'érosion s'accroît".

#### 2.4.4 Couvert végétal

La végétation protège efficacement le sol contre l'érosion en absorbant partiellement l'impact des gouttes de pluie, en augmentant l'absorption, en offrant de la résistance à l'eau de ruissellement et en favorisant

l'agglomération des particules de sol (Ripley *et al.*, 1962; Hensler et Attoe, 1970; Jones et Zwerman, 1972).

Ce sont les forêts qui protègent le mieux le sol contre l'érosion. L'érosion et l'infiltration sont très intenses dans le cas des sols nus (Ripley *et al.*, 1962; Jung, 1972). Pour les terrains cultivés, la dimension des plantes et de leur réseau de racines constituent des facteurs importants face à l'érosion et à l'infiltration. Plus le réseau de racine est faible et court, plus le taux de transpiration est faible et la possibilité de percolation est élevée (Weidner *et al.*, 1969; Jung, 1972).

#### 2.4.5 Modèle qualitatif de cheminement des composés phosphorés et azotés

La Figure 6 présente un modèle de transfert des éléments nutritifs entre le sol, l'air et l'eau, inspiré du modèle proposé par P.C. Woods (1967)<sup>1</sup>. Il comporte trois niveaux où les substances nutritives peuvent être emmagasinées et transformées. Il s'agit du sol, des eaux souterraines et des eaux de surface. Ce modèle tient compte des apports ponctuels et diffus sur les sols et dans l'eau ainsi que des pertes par volatilisation et sédimentation. Deux voies de cheminement entre les sols et l'eau sont possibles: le ruissellement et l'écoulement souterrain.

<sup>1</sup>

Tel. que présenté par Lunin (1971).

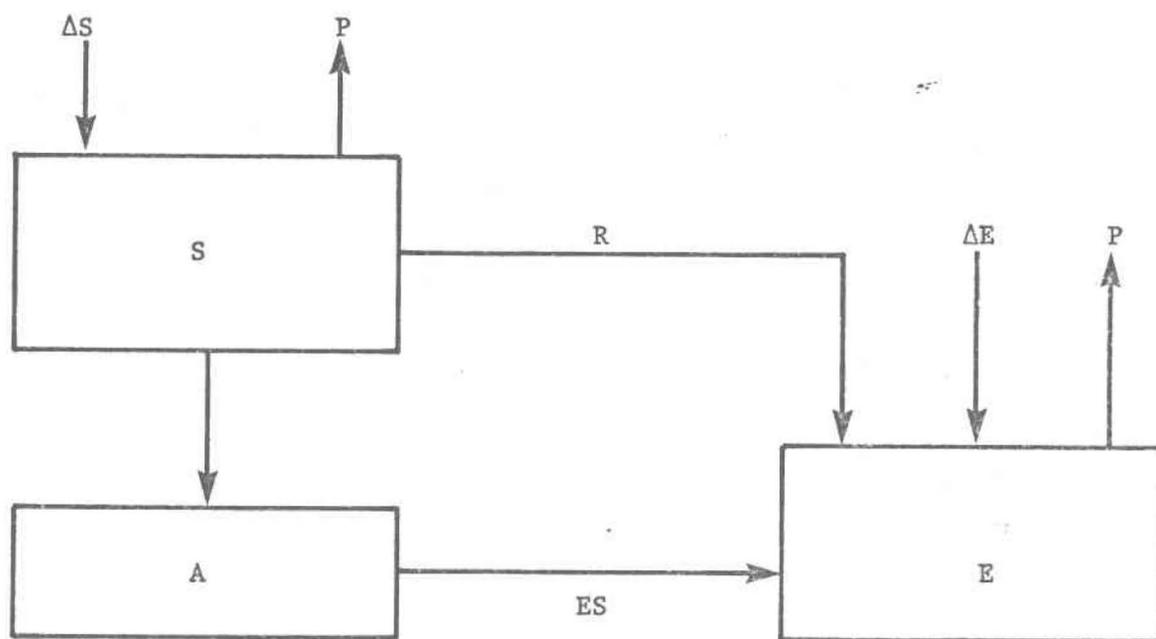


Figure 6. Modèle qualitatif de cheminement des substances nutritives.

Explication des symboles:

$\Delta S$ : apports directs de substances nutritives sur le sol (précipitations, fertilisants, fumier);

$\Delta E$ : apports directs de substances nutritives dans l'eau (précipitations, égouts domestiques, urbains et industriels);

$P$ : perte de substances nutritives (volatilisation, sédimentation);

$R$ : transfert des éléments nutritifs par ruissellement;

$ES$ : transfert des éléments nutritifs par écoulement souterrain;

$S$ : sol;

$A$ : aquifère;

$E$ : eaux de surface.

### CHAPITRE 3

#### 3. Evaluation de l'impact des activités agricoles sur la qualité de l'eau dans le bassin de la rivière Yamaska

Dans le cadre de l'étude "Inventaire de la pollution agricole dans le bassin de la rivière Yamaska", on choisit cinq sous-bassins représentatifs de l'activité agricole, on développa des indicateurs d'apports agricoles (densité du cheptel, l'importance relative des élevages), on inventoria la qualité de l'eau des cinq sous-bassins agricoles, on proposa un modèle pour la calibration des indicateurs d'apports (établissement d'une relation entre les apports théoriques et les débits massiques), finalement on donna une évaluation de l'impact de l'agriculture dans le bassin de la rivière Yamaska (INRS-Eau, 1975).

Notre travail complète cette étude en ajoutant des éléments aux indicateurs d'apports agricoles. Ainsi nous faisons ressortir tous les caractères physiques pouvant influencer les apports d'azote et de phosphore (pente, type de sol, érodibilité des sols, nature du sous-sol).

Suite à l'analyse des sources d'azote et de phosphore (agricoles et humaines), des mécanismes de transport et des différents facteurs influençant ces derniers, on compare les productions locales d'azote et de phosphore aux charges trouvées à l'embouchure du bassin de la rivière Yamaska et des cinq sous-bassins. On détermine finalement dans quelle mesure les activités agricoles contribuent à l'apport d'éléments nutritifs dans le milieu.

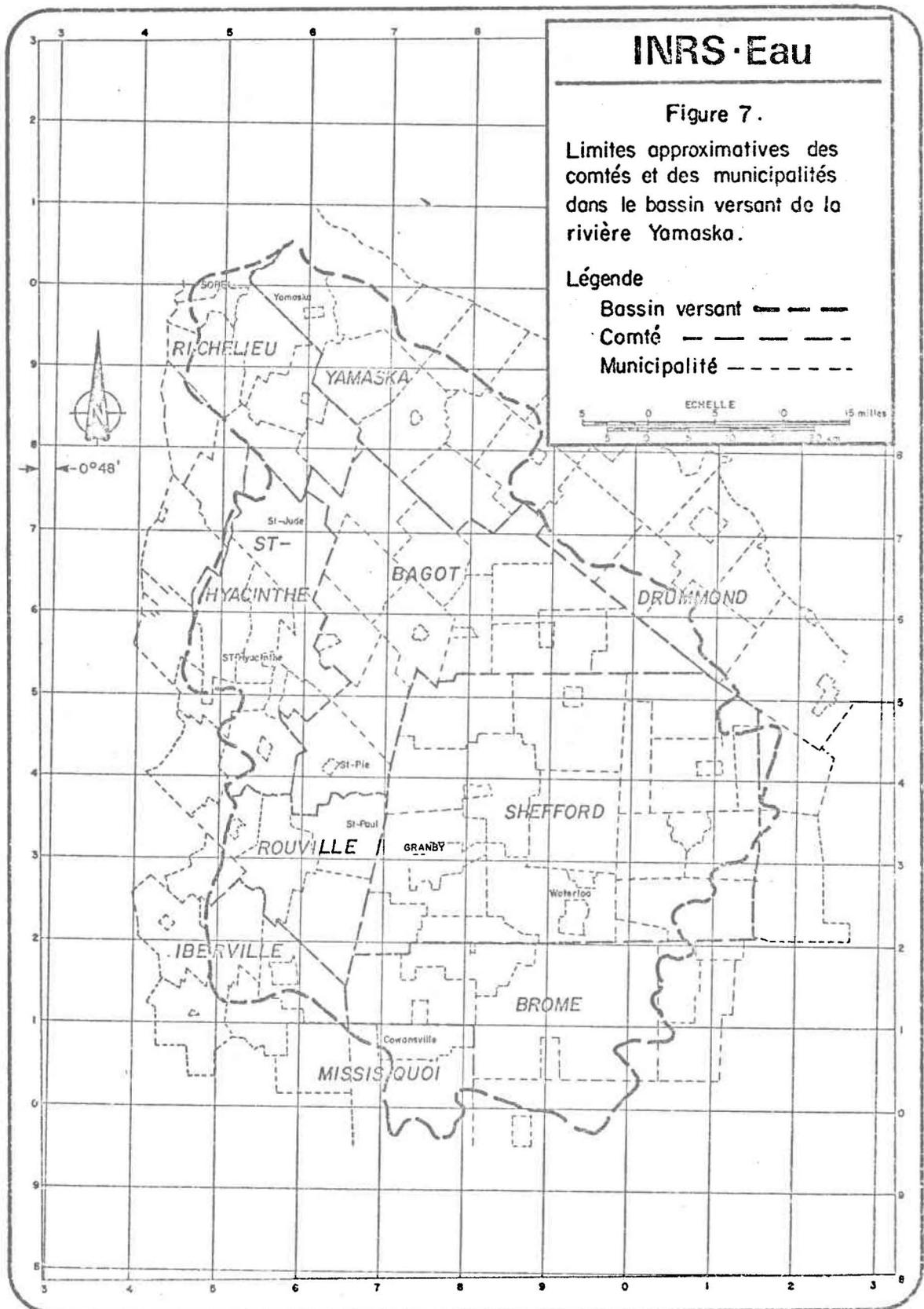
### 3.1 Facteurs naturels susceptibles d'influencer les apports d'éléments nutritifs dans le bassin de la rivière Yamaska

#### 3.1.1 Description générale du bassin

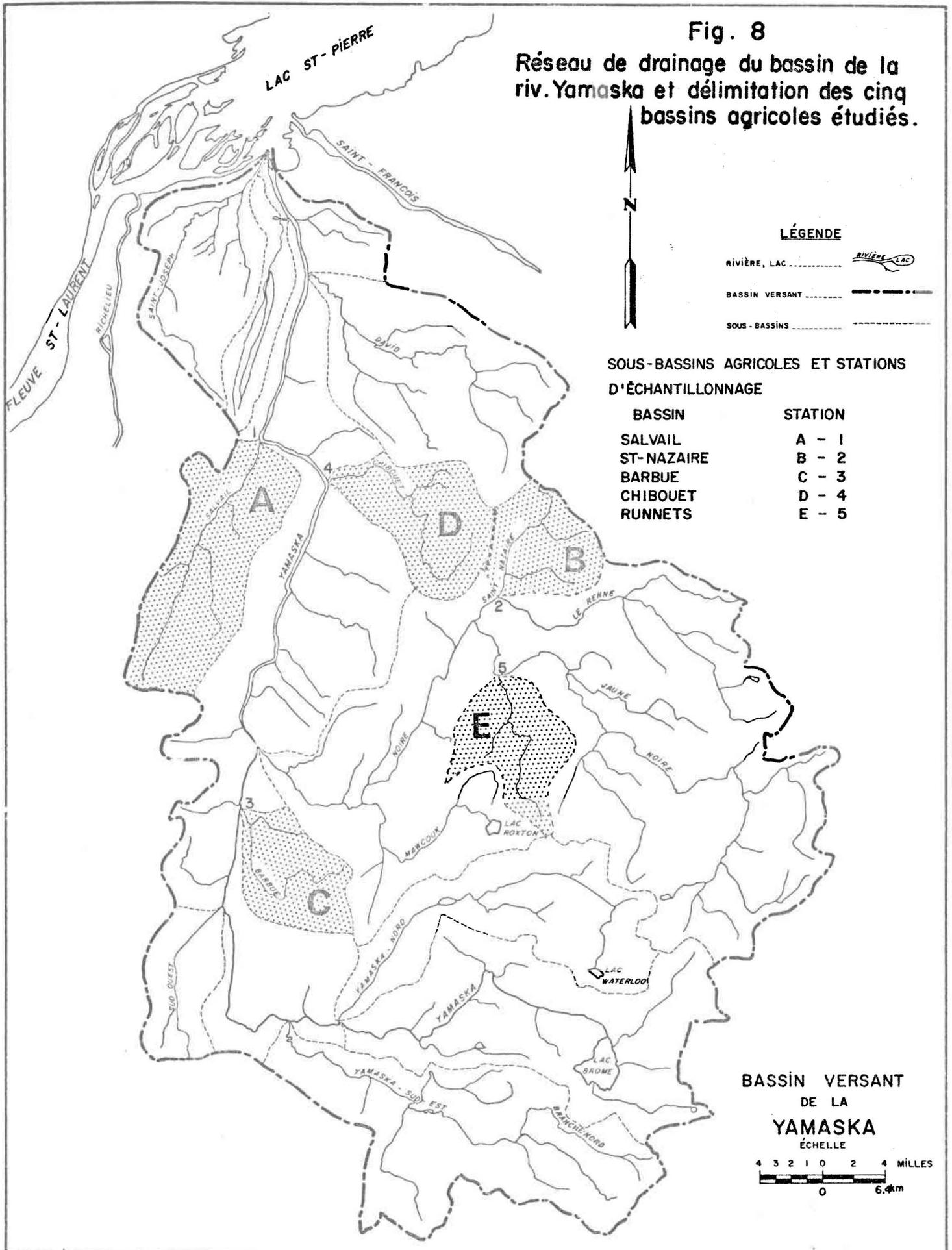
Le bassin de la rivière Yamaska s'étend sur une superficie de 4911 km<sup>2</sup>. Les limites des comtés et des municipalités faisant partie du bassin versant apparaissent sur la Figure 7.

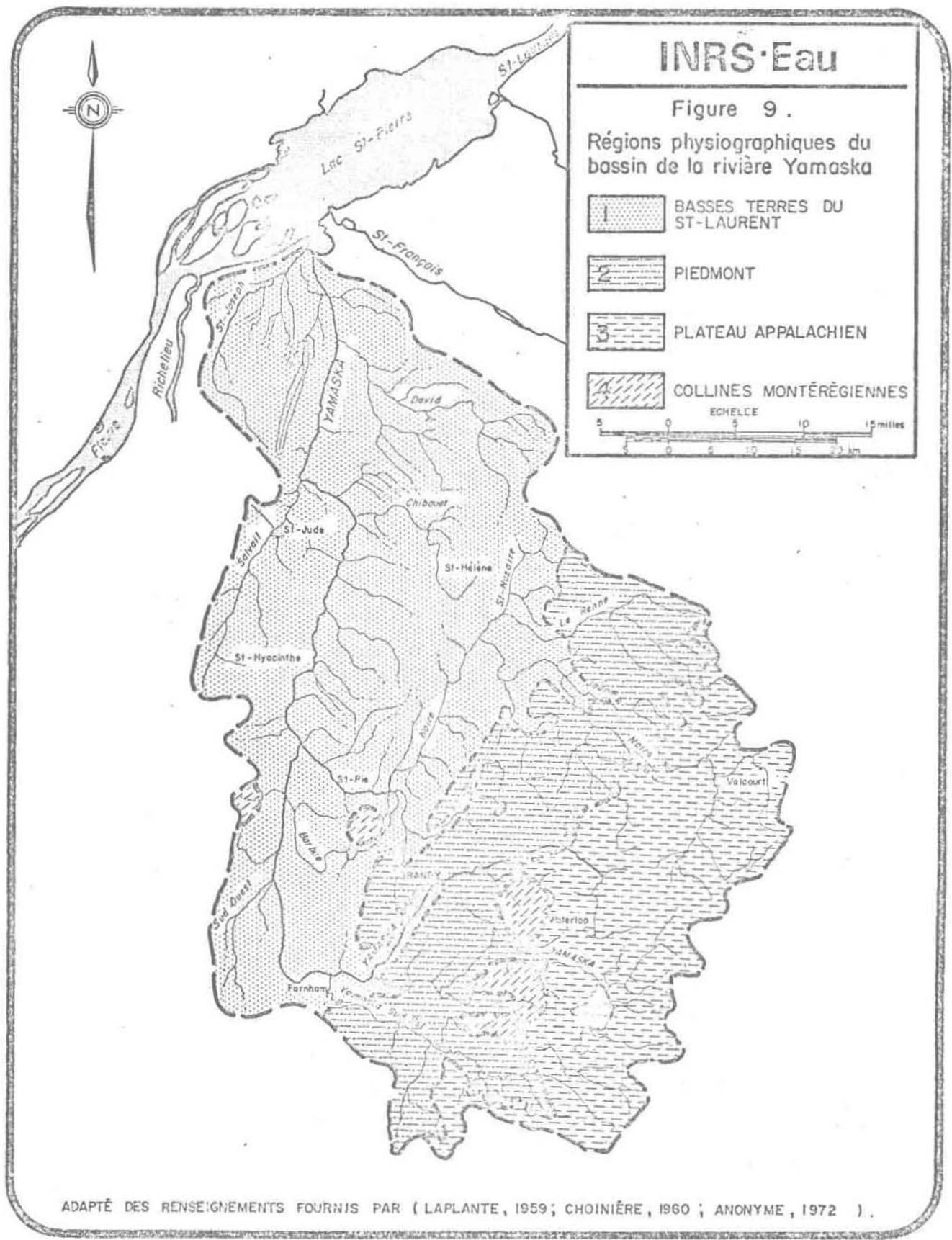
L'orientation générale de la rivière Yamaska est sud-nord (Figure 8). La majorité de ses affluents s'orientent d'est en ouest. L'étendue du réseau hydrographique est beaucoup plus faible dans la partie ouest du bassin vu la proximité du bassin de la rivière Richelieu.

Du point de vue physiographique, on distingue trois zones principales (Figure 9). Une plaine formée de sédiments marins (argile et sable) constitue la première zone. Ce terrain s'incline graduellement vers le fleuve Saint-Laurent. Son altitude varie entre 7.5 et 90 mètres environ. Il s'agit des meilleures terres agricoles de la province. Notons que les sédiments argileux de la mer de Champlain sont particulièrement sujets à l'érosion par l'eau. De nombreux rigolets et gouttières sillonnent les versants des cours d'eau (Laplante, 1959). Cette région appartient aux Basses-Terres du Saint-Laurent. A cette zone uniforme succède une zone ondulée à fortement valonnée formée de "till" appalachien et de minces dépôts marins reposant sur du "till". L'altitude de cette région varie de 90 à 180 mètres. Il s'agit du Piedmont qui constitue la zone de transition entre les Basses-Terres et la région des Appalaches. La troisième zone est une région montagneuse comprenant les structures montérégiennes isolées (Rougemont, Yamaska, Broome et Shefford) et les structures appalachiennes situées dans la partie sud-est du bassin. Le relief y est très accidenté; les affleurements rocheux



**Fig. 8**  
**Réseau de drainage du bassin de la**  
**riv. Yamaska et délimitation des cinq**  
**bassins agricoles étudiés.**





ADAPTÉ DES RENSEIGNEMENTS FOURNIS PAR ( LAPLANTE, 1959; CHOINIÈRE, 1960 ; ANONYME, 1972 ).

sont très nombreux. On note la présence de nombreux blocs erratiques, des dépôts morainiques et fluvio-glaciaires (Laplante, 1959).

Les trois zones subirent les effets des glaciations; seules les deux premières furent sujettes à l'invasion marine subséquente. On s'accorde généralement à fixer la limite de la mer de Champlain entre 150 et 180 mètres d'altitude (Dresser et Denis, 1946; Laplante, 1959).

### 3.1.2 Géologie du bassin de la rivière Yamaska

Le bassin versant de la rivière Yamaska chevauche deux provinces géologiques distinctes, séparées par la faille Champlain ou Ligne de Logan qui s'oriente nord-est (Figure 10).

La partie nord-ouest du bassin appartient aux Basses-Terres du Saint-Laurent formées de roches sédimentaires faiblement plissées et presque toutes d'âge Ordovicien. On rencontre principalement des schistes argileux, ardoisiers et des calcaires (Dresser et Denis, 1946; Clark, 1964a,b,c; Laurin, 1969). Les affleurements sont peu nombreux et souvent localisés près des cours d'eau (Laplante, 1959).

La province des Appalaches est constituée de roches fortement tectonisées. L'âge de ces roches varie entre le Précambrien et le Dévonien. La roche est de type très varié; on rencontre principalement des schistes argileux et ardoisiers, des grès, des "siltstone", et des roches volcaniques (Dresser et Denis, 1946; Clark, 1964 a,b,c; Laurin, 1969).

Les collines montérégiennes sont d'âge Dévonien ou Crétacé; elles sont constituées de roches ignées alcalines. Elles seraient disposées le long de lignes de fractures perpendiculaires à l'axe appalachien (Dresser et Denis, 1946).

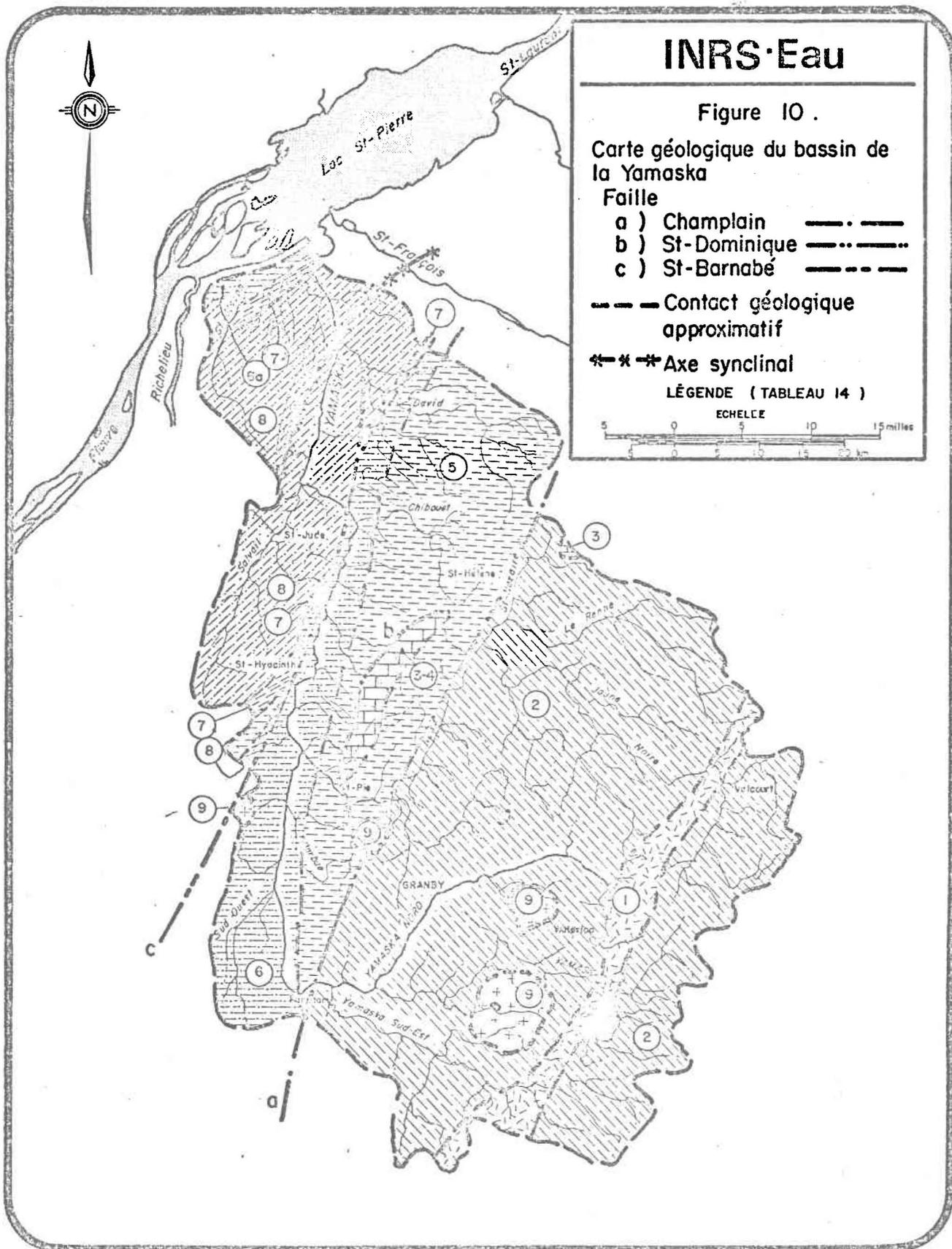


TABLEAU 14: Géologie du bassin de la rivière Yamaska - Légende de la Figure 10 (Dresser et Denis, 1946; Cann *et al.*, 1948; Laplante, 1959; Choinière, 1960; Clark, 1964a, b, c; Laurin, 1969).

Période	Formation et composition	No	Légende
Crétacé	Roches alcalines	9	
Dévonien	Groupe de Richmond		
	Formation de Bécancour (schistes argileux et grès)	8	
	Formation de Pontgravé (schistes calcareux)	7	
	Groupe de Lorraine		
	Formation de Nicolet (schistes argileux et grès)	6	
	Formation de Leclercville (schistes argileux et grès)	6a	
Ordovicien	Complexe Saint-Germain	5	
	Groupes d'Utica, de Lorraine et de Trenton (schistes argileux et ardoisiers)		
	Ecaille de Saint-Dominique		
	Groupe de Trenton (calcaire et schistes argileux)	4	
	Groupe de Black River (calcaire)	4	
	Groupe de Chasy (calcaire et grès)	4	
	Groupe de Beekmanton (calcaire)	3	
Cambro-Ordovicien et plus ancien	Formations de Sillery, de Farnham et de Magog (schistes argileux, Phyllades, quartzites, calcaires, grès, conglomérats, chert, roches volcaniques, "siltstone"...)	2	
	Roches volcaniques et schistes à chlorite	1	

Les glaciations du Pléistocène laissèrent plusieurs empreintes dans la région: dépôts fluvio-glaciaires et morainiques, etc. La mer de Champlain correspondait aux transgressions marines suivant le recul des glaces vers le nord (Dresser et Denis, 1946; Laplante, 1959). La ligne de rivage n'était pas fixe; ces fluctuations s'expliquent par des mouvements isostasiques différentiels et par la régression continue de cette mer (Dresser et Denis, 1946). Dans les zones profondes de cette mer, des épaisseurs considérables de sédiments clastiques fins se déposèrent: d'où les importants dépôts d'argile. Le sable et le gravier sont associés aux zones à proximité des anciens rivages (Laplante, 1959).

### 3.1.3 Pédologie et potentiel agricole des sols dans le bassin de la rivière Yamaska

On trouve dans une grande variété de sols dans le bassin de la rivière Yamaska: des sols dérivés d'alluvions fluviales, de dépôts lacustres, de sédiments de la mer de Champlain, de "till" appalachien et de dépôts fluvio-glaciaires; on trouve aussi des sols organiques et des alluvions non différenciés (Cann et al, 1948; Laplante, 1959; Choinière, 1960). Ces derniers sont associés aux plaines d'inondation. Ces sols sont riches en matière organique et possèdent une fertilité remarquable (Laplante, 1959). Les sables sont généralement moins riches en matière organique et en éléments nutritifs que les argiles. Les sols dérivés des sédiments de la mer de Champlain sont habituellement plus aptes à la grande culture que ceux dérivés des "tills" et des dépôts fluvio-glaciaires: ceci tient de la fertilité naturelle des sols, de la topographie et du drainage.

Le potentiel agricole des sols varie selon les zones physiographiques. Dans les Basses-Terres, une grande partie des sols possède un potentiel

agricole élevé et conviennent aux grandes cultures. Dans la zone de Piedmont, la qualité des sols est plus pauvre. On y cultive cependant le foin et les céréales, principalement sur les sols longeant les cours d'eau. Certaines zones servent aussi de pâturages. Le potentiel agricole du plateau appalachien est très faible, vu la nature pierreuse des sols et la topographie accidentée (Cann *et al.*, 1948; Laplante, 1959; Choinière, 1960; Anonyme 1972 b).

#### 3.1.4 Facteurs naturels pouvant influencer les apports d'éléments nutritifs dans les cinq sous-bassins agricoles

Les cinq sous-bassins choisis sont les suivants: Barbue, Chibouet, Saint-Nazaire, Salvail et Runnets. Les quatre premiers font partie des Basses-Terres du Saint-Laurent; seul le bassin du ruisseau Runnets s'écoule dans la zone de Piedmont (Figures 8 et 9).

Nous donnerons ici une brève description de chaque bassin et nous préciserons la nature du sous-sol, la granulométrie des sols et leur potentiel d'érosion.

##### Bassin de la rivière Barbue

Le bassin de la rivière Barbue se situe principalement dans le comté de Rouville; une petite partie du bassin appartient aux comtés de Bagot et de Saint-Hyacinthe (Figures 7 et 8). Il s'étend sur une superficie de 101 km<sup>2</sup>. L'écoulement s'oriente d'est en ouest pour la partie en amont et du sud au nord pour la partie en aval. Les eaux de drainage se jettent dans la rivière Yamaska. La pente du bassin versant est de 5.3% (0,94% sans le mont Yamaska).

Le sous-sol est principalement composé de schistes argileux et ardoisiers du Complexe Saint-Germain. Le relief se présente comme une plaine uniforme à ondulée (selon la classification proposée par Anonyme (1972). La présence du mont Yamaska vient rompre la monotonie du paysage. Des terrasses se sont formées à la base de la montagne.

Les sols prédominant sont les limons et les sables dérivés des sédiments Champlain; viennent ensuite les limons sablo-graveleux et les graviers dérivés de "till" appalachien. Dans la partie supérieure la rivière coule principalement sur le sable; en aval, elle coule sur des limons argileux. Ces derniers sont sensibles à l'érosion (Laplante, 1959). Sur la Figure 11 et dans le Tableau 15,I apparaissent la distribution et les caractéristiques des sols de cette région. Le facteur d'érodibilité des sols est de  $92 \text{ kg/km}^2$  (voir l'Annexe I).

#### Bassin de la rivière Chibouet

Le bassin de la rivière Chibouet s'étend sur une superficie de  $149 \text{ km}^2$ . Le cours d'eau s'oriente d'est en ouest et débouche sur la rivière Yamaska. La pente moyenne du bassin est de 0.46%. Sa topographie varie de plaine unie à légèrement ondulée (Laplante, 1959). Du point de vue géologique, on trouve essentiellement des schistes argileux et ardoisiers.

Près de 40% des sols dérivent des sédiments marins. On y retrouve des argiles, des "loams" à "loams" sableux et des sables (Figure 12, Tableau 15,II). Notons que l'argile de Rideau et les "loams" sablo-argileux de Sainte-Hélène sont particulièrement sujets à l'érosion (Laplante, 1959). Les sols dérivés de "tills" remaniés ou de dépôts fluvio-glaciaires représentent près de 50% de la superficie totale. Il s'agit de "loams" argileux à graveleux et d'argile limoneuse. On les trouve principalement dans

la partie supérieure du bassin (Figure 12 et Tableau 15,II). La topographie y est plus accidentée et les sols sont plus pauvres. Plus de 12% du territoire est occupé par des sols organiques. Ces derniers sont regroupés à l'amont du bassin.

La carte pédologique du bassin est présentée sur la Figure 12 et le Tableau 15,II résume les caractéristiques de chaque type de sol. Le facteur d'érodibilité de l'ensemble des sols du bassin est de  $78 \text{ kg/km}^2$  (voir Annexe I).

#### Bassin de la rivière Saint-Nazaire

Le bassin de la rivière Saint-Nazaire s'étendant sur  $114 \text{ km}^2$ , côtoie le bassin de la rivière Chibouet (Figure 8). Il se situe principalement dans le comté de Bagot; la partie supérieure du bassin appartient au comté de Drummond. La rivière s'écoule du nord-est vers le sud-ouest et débouche sur la rivière Noire, affluent de la rivière Yamaska. La pente moyenne du bassin est de 1.14%.

Le territoire se situe principalement sur les grès de la Formation de Sillery. On trouve un peu de calcaire et des chistes argileux et ardoisiers à l'amont du bassin. La topographie passe de plaine horizontale à fortement ondulée; on note la présence de terrasses (Laplante, 1959; Choinière, 1969).

Environ 30% des sols dérivent des sédiments de la mer de Champlain. Il s'agit de sable, d'argile et de "loams"; ces sols sont généralement propices aux grandes cultures (Laplante, 1959). Par ailleurs, 47% des sols dérivent de "tills" remaniés. Ce sont principalement des "loams", et on les retrouve dans la partie orientale du bassin. Environ 10% des sols sont d'ori-

gine fluvio-glaciaires. Il s'agit aussi de "loams". Notons que les "loams" argileux du Sault sont particulièrement sujets à l'érosion (Laplante, 1959); cependant, ils occupent moins de 2% du territoire. La rivière coule principalement sur des formations sableuses, et ces dernières contiennent moins de substances nutritives que les autres sols (Figure 13, Tableau 15, III). Les caractéristiques de chaque sol et leur distribution apparaissent à la Figure 13 et au Tableau 15, III. Le facteur d'érodibilité moyen de ces sols est de  $87 \text{ kg/km}^2$  (voir l'Annexe I).

#### Bassin de la rivière Salvail

Le bassin de la rivière Salvail occupe un territoire de  $198 \text{ km}^2$  situé presque entièrement dans le comté de Saint-Hyacinthe. Seule une partie en aval appartient au comté de Richelieu. La rivière se déverse dans la rivière Yamaska, le sens de l'écoulement va du sud au nord. La pente du bassin est très faible, soit 0.88%. La topographie se présente comme une plaine unie (Baril et Mailloux, 1942).

Du point de vue géologique, le substratum est composé de schistes argileux de la Formation de Bécancour. La partie ouest du bassin draine des formations sableuses deltaïques. Le sol prédominant est le sable; viennent ensuite les argiles et les limons argileux. La rivière coule directement sur des limons et des limons argileux. Aucune analyse de ces sols n'est disponible pour cette région; on peut cependant se référer aux analyses des sols des mêmes séries dans d'autres comtés (Tableau 15). Notons que les limons de la série de Yamaska sont très ravinés. Des renseignements supplémentaires sur la classification de ces sols et de leur répartition apparaissent sur la Figure 14 et dans le Tableau 15, IV). Le facteur d'érodibilité moyen de ces sols est de l'ordre de  $83 \text{ kg/km}^2$  (voir l'Annexe I).

Bassin du ruisseau Runnets

Le bassin du ruisseau Runnets occupe 86 km<sup>2</sup>. Il se draine dans la rivière Noire, affluent de la rivière Yamaska, le sens de l'écoulement étant du sud au nord. Ce bassin appartient au comté de Shefford. La topographie varie de plane à accidentée (Cann *et al.*, 1948) et la pente moyenne du bassin est de 1.25%.

Le ruisseau traverse principalement des grès et des chistes ardoisiers. On note la présence de nombreux affleurements minéralisés. Ces derniers se situent à proximité de la rivière et sont fortement minéralisés, principalement en cuivre. Plusieurs tranchées et une ancienne exploitation expose davantage cette zone (L'Espérance, 1961). Il y aurait ainsi possibilité de contamination de l'eau par le cuivre.

Les sols dérivent principalement de "tills" appalachiens, de matériaux fluvio-glaciaires et de dépôts lacustres. Dans cette région, on ne rencontre plus les argiles de la mer de Champlain. Dans l'ensemble, les sols sont à granulométrie plus grossière que dans les autres bassins; les terrains rocaillieux occupent une importante proportion du territoire, soit près de 30% de la superficie totale. Le rendement agricole est très variable selon le type de sol. On y cultive surtout le foin et le grain (Cann *et al.*, 1948). Les pâturages sont généralement pauvres. En amont, le ruisseau coule sur des limons; dans la partie centrale, le sol est constitué de sable fin; en aval, on retrouve des limons (Figure 15). La Figure 15 et le Tableau 15,V détaillent les caractéristiques et la distribution des différentes séries. Le facteur d'érodibilité des sols de ce bassin est de 82 kg/km<sup>2</sup> (voir l'Annexe I).

Le résumé des caractéristiques physiques pouvant influencer les apports d'éléments nutritifs apparaît dans le Tableau 16. La proportion du territoire occupée par des lacs et des marécages est très faible ou inexistante dans les cinq sous-bassins. Les pentes sont très faibles et il n'y a pas de différence significative entre les facteurs d'érodibilité des sols (voir l'Annexe IV).

### 3.2 Facteurs agricoles et humains pouvant influencer les apports d'éléments nutritifs dans le bassin de la rivière Yamaska

Nous considérerons ici toutes les sources humaines et agricoles d'éléments nutritifs dans tout le bassin de la rivière Yamaska et plus spécifiquement dans les cinq sous-bassins étudiés. Nous avons utilisé le modèle d'apports proposé par INRS-Eau afin d'évaluer ces apports (Cluis *et al.*, 1974).

#### 3.2.1 Modèle d'apports

Ce modèle nous permet d'évaluer la production de phosphore et d'azote dans un bassin. La surface du bassin est découpée de deux manières: un découpage en parcelles élémentaires carrées de dimensions égales (grille UTM, 10km par 10km) et un découpage en sous-bassins hydrologiques, ce qui permet un cheminement réaliste des eaux (Cluis *et al.*, 1974) (Figure 16).

Nous nous sommes servis de ce modèle pour représenter l'utilisation du territoire et la production d'azote et de phosphore sur le bassin de la rivière Yamaska. Notons que dans sa forme actuelle, ce modèle comporte certaines approximations dans la délimitation des sous-bassins.

Pour chaque carreau, les caractéristiques physiographiques et socio-économiques ont été définies. Ces dernières furent compilées par L.

FIGURE II: CARTE PEDOLOGIQUE DU BASSIN DE LA RIVIERE BARBUE  
(CHOINIÈRE ET AL., 1942; BARIL ET MAILLOUX, 1942; LAPLANTE, 1959)

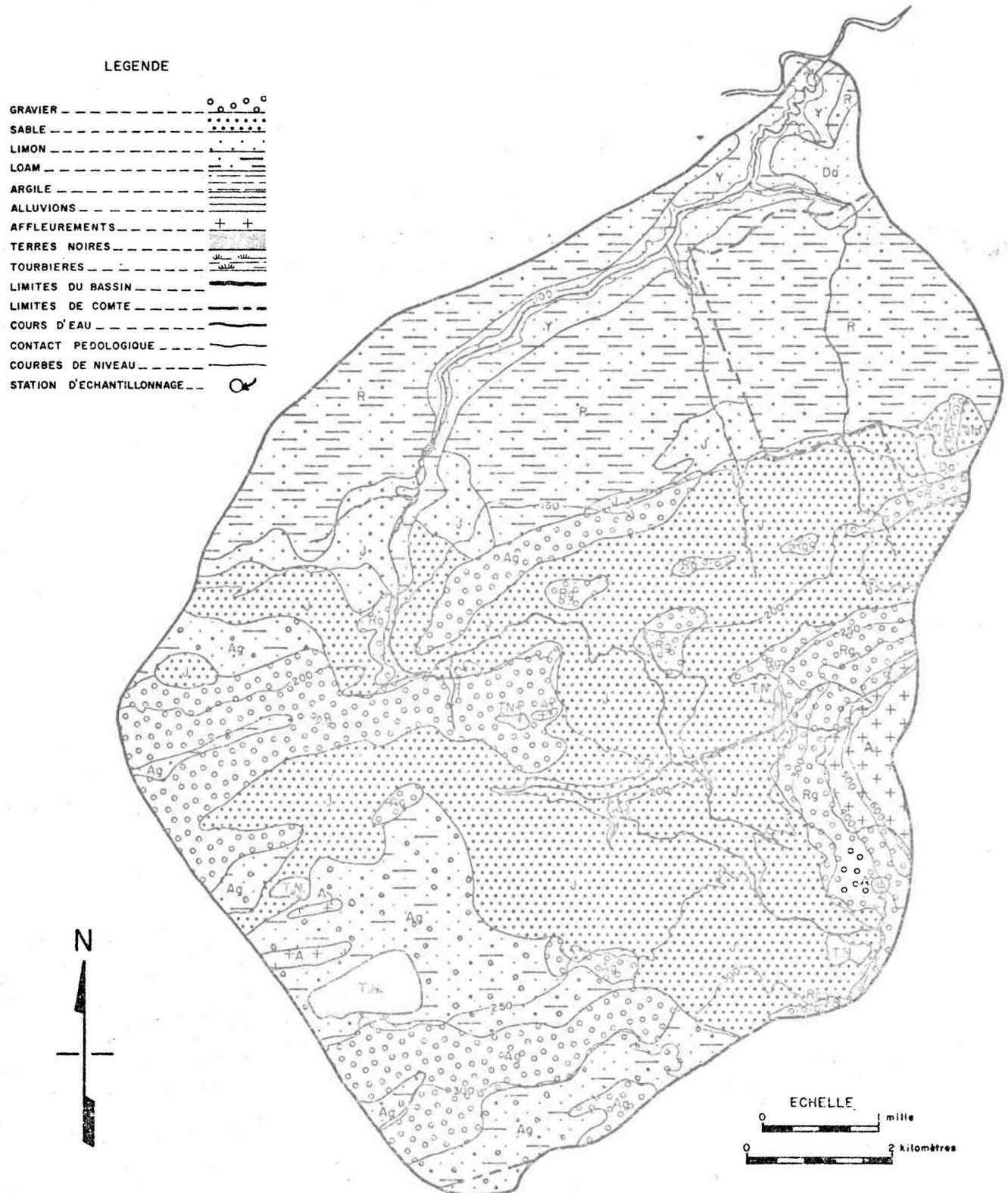
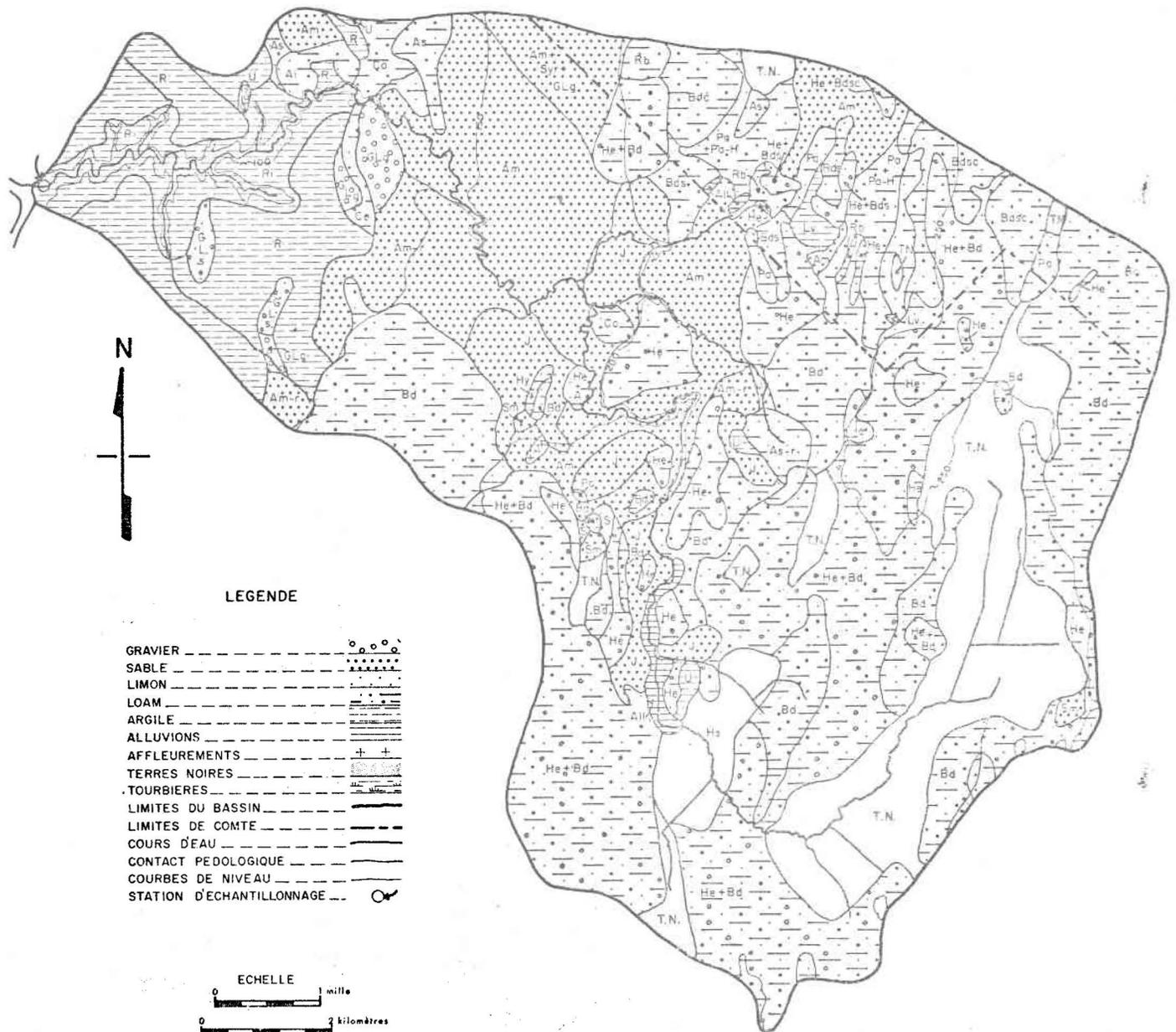


FIGURE 12: CARTE PEDOLOGIQUE DU BASSIN DE LA RIVIERE CHIBOUET  
(LAPLANTE, 1959; CHOINIERE, 1960)



NOTE: LA SIGNIFICATION DES LETTRES APPARAÎT AU TABLEAU 15

FIGURE 13: CARTE PEDOLOGIQUE DU BASSIN DE LA RIVIERE SAINT-NAZAIRE (LAPLANTE, 1959; CHOINIÈRE, 1960)

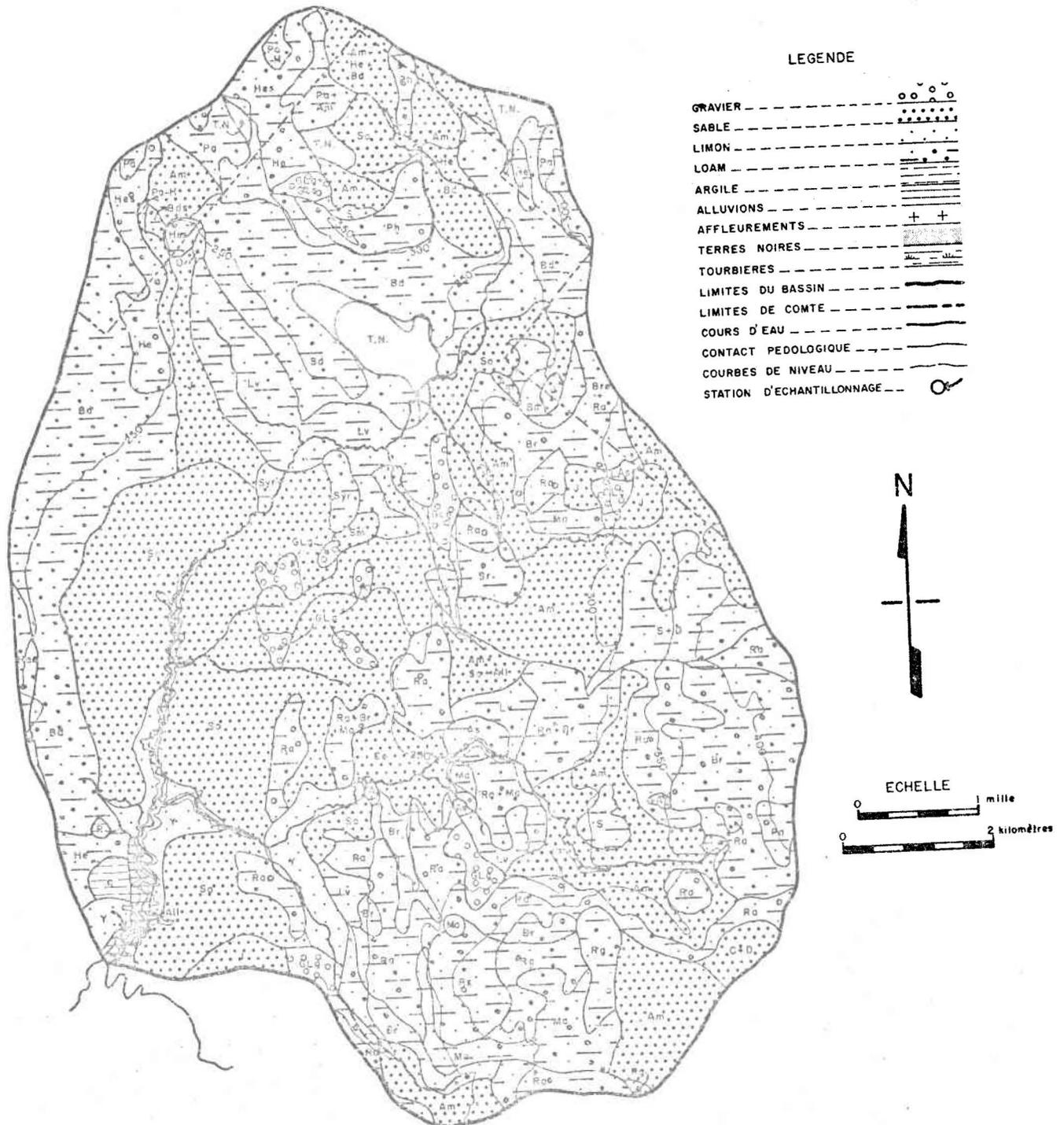
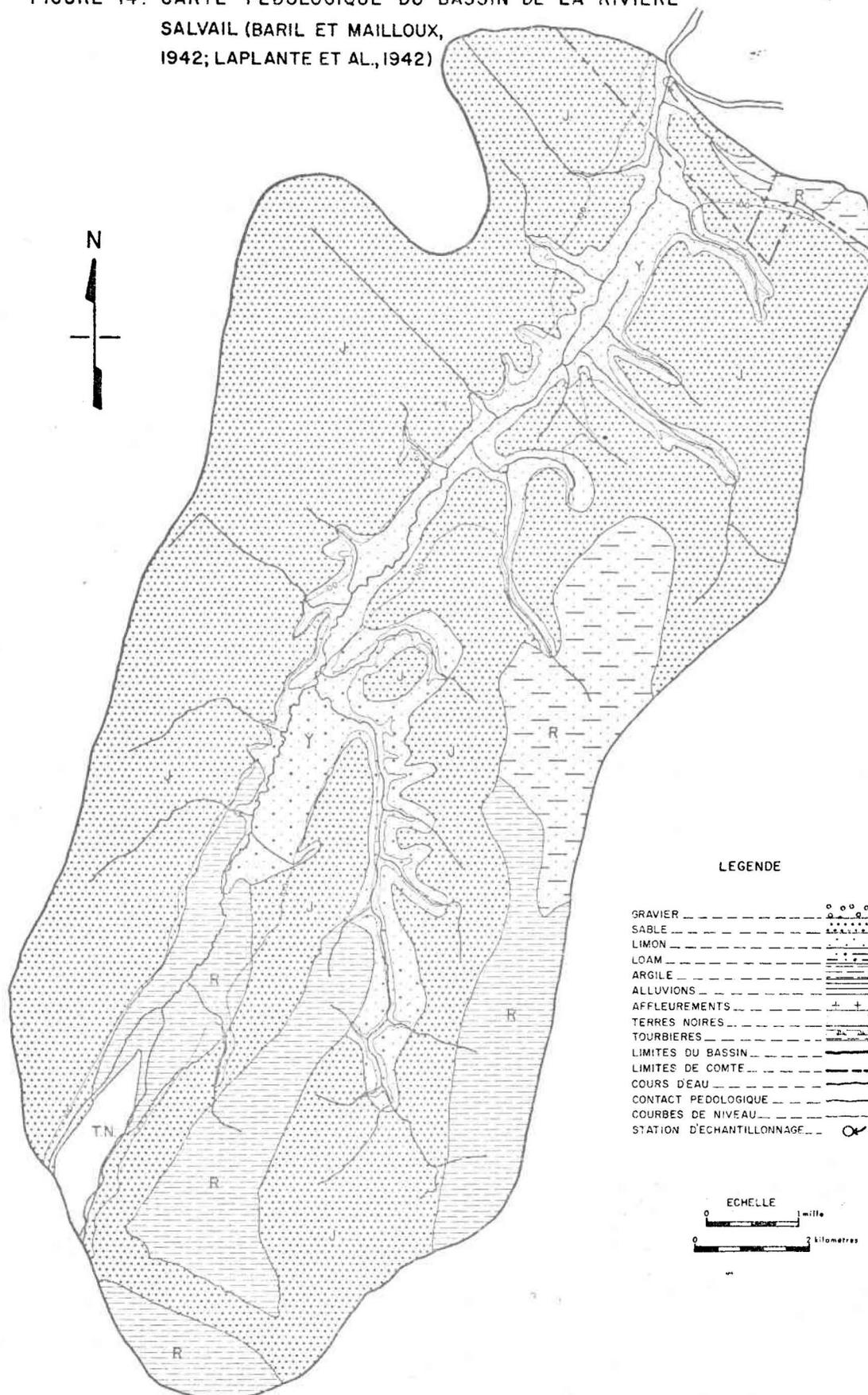
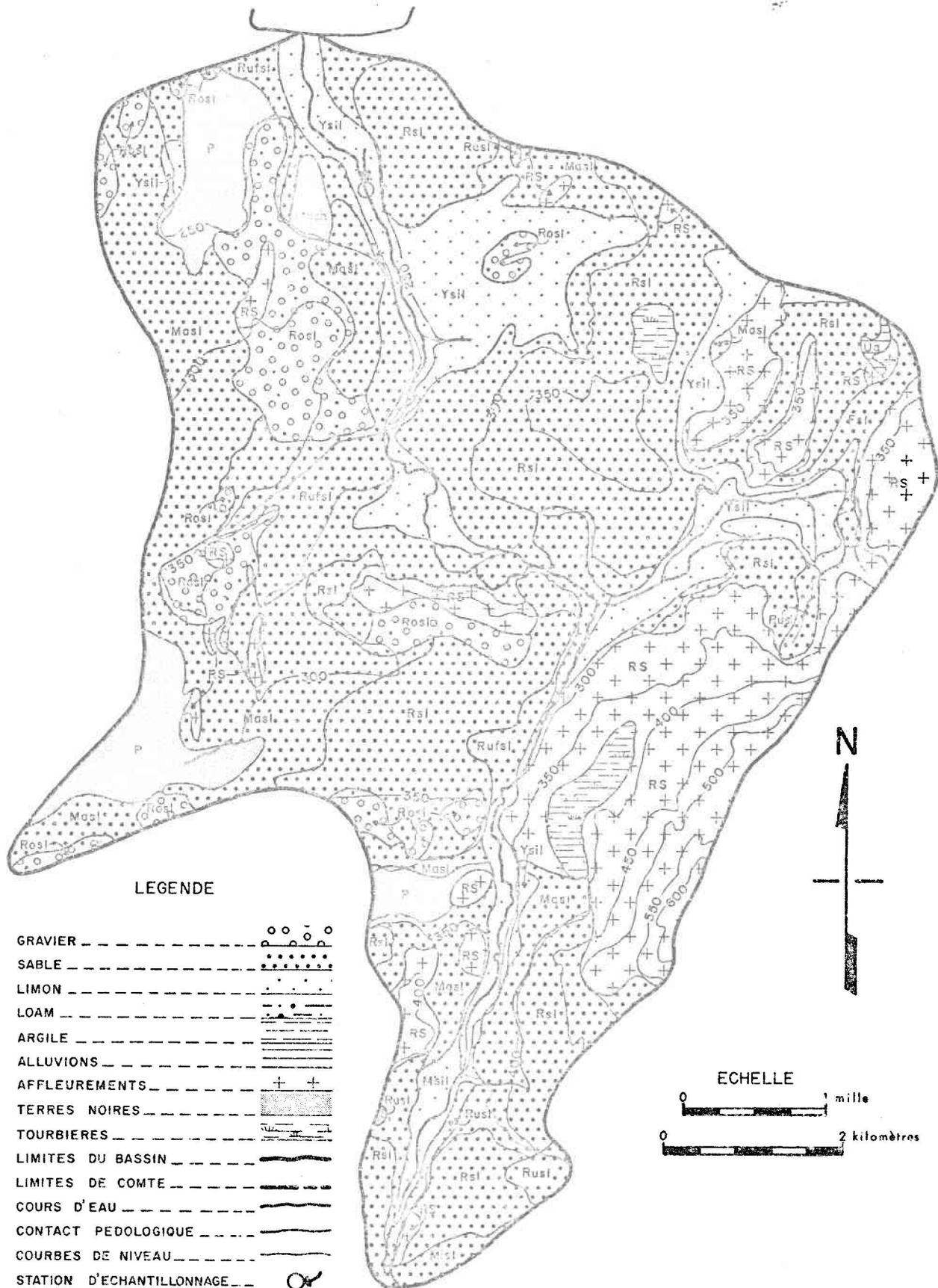


FIGURE 14: CARTE PEDOLOGIQUE DU BASSIN DE LA RIVIERE  
SALVAIL (BARIL ET MAILLOUX,  
1942; LAPLANTE ET AL., 1942)



NOTE: LA SIGNIFICATION DES LETTRES APPARAÎT AU TABLEAU 15

FIGURE 15: CARTE PEDOLOGIQUE DU BASSIN DU RUISSEAU  
RUNNETS (CANN ET AL., 1948)



NOTE: LA SIGNIFICATION DES LETTRES APPARAÎT AU TABLEAU 15

TABLEAU 15a: Nature des sols dans les cinq sous-bassins agricoles (Choinière *et al.*, 1942, Baril et Mailloux, 1942, Laplante *et al.*, 1942, Laplante *et al.*, 1954, Laplante, 1959, Choinière, 1960)

Classification des sols	Type de sol (type générique des sols <sup>1</sup> )	Série	% de la surface du bassin	Commentaires
I - Bassin de la Rivière Barbue				
A- sols dérivés des sédi- ments Champlain ou deltaïques				
1-sols dérivés d'élé- ments silicieux				
drainage lent	limon sableux	Saint-Jude (J)	3.6	Plaine unie
drainage très bon	sable	Saint-Jude (J)	21	Plaine unie et terrasse à pente douce; valeur agricole moyenne
drainage très mau- vais	sable	Saint-Jude (J)	11	Plaine unie
drainage bon à mau- vais	sable	Saint-Jude (J)	1.7	Sol très pauvre
2-sols dérivés d'élé- ments argileux				
drainage lent	limon argileux à argile	Sainte-Rosalie (R)	22	Plaine unie; bon sol

Classification des sols	Type de sol (type générique des sols <sup>1</sup> )	Série	% de la surface du bassin	Commentaires
3-sols dérivés de min- ces dépôts de sable sur l'argile				
drainage bon	limon argileux	Yamaska (Y)	5.4	Platières inférieures
drainage lent	limon	Saint-Damase (Da)	1.6	Plaine unie
4-sols dérivés de limons sablo- graveleux et ar- gilo-graveleux				
drainage lent	limon sablo- graveleux	Ange-Gardien (AG)	12	Plaine légèrement ondulée
drainage mauvais	limon sablo- graveleux	Ange-Gardien (AG)	0.3	Plaine légèrement ondulée
drainage très bon	gravier schisteux	Ange-Gardien (AG)	14	Plaine ondulée
B- Sols formés de maté- riaux assortis par l'eau				
1-sols dérivés de gra- viers acides				
drainage très bon	gravier	Rougemont (Rg)	0.02	Terrasse irrégulières

Classification des sols	Type de sol (type génétique des sols <sup>1</sup> )	Série	% de la surface du bassin	Commentaires
drainage mauvais	gravier	Rougemont (Rg)	0.2	Terrasse irrégulières
drainage très bon	gravier sableux	Rougemont (Rg)	2	Terrasse irrégulières
drainage bon à excessif	gravier sablo-caillouteux	Grande-Ligne (GLg)	0.2	Petites terrasses
C- sols organiques	terre noire	T.N.	1.2	
D- affleurement rocheux		A	1.8	
II - Bassin de la rivière Chibouet				
A- sols dérivés de dépôts lacustres				
1-sols dérivés d'éléments calcaires				
drainage mauvais	"loam" à "loam" sableux (GH, ST)	Saint-Patrice (Pa)	3.2	Localisé dans les dépressions près des terres noires
B- sols dérivés des sédiments Champlain ou deltaïques				

Classification des sols	Type de sol (type génétique des sols <sup>1</sup> )	Série	% de la surface du bassin	Commentaires
1-sols dérivés d'éléments silicieux				
drainage imparfait	sable (PG)	Saint-Jude (J)	5.2	Plaine horizontale; sols propices à la grande culture et aux pacages
drainage bon à mauvais	sable (P-PG-ST)	Saint-Amable (Am)	9	Topographie fortement ondulée ou légèrement vallonnée
drainage bon à mauvais	sable avec roches en surface	Saint-Amable (Am-R)	6.5	Sols peu propices aux grandes cultures
2-sols dérivés d'éléments argileux				
drainage modérément bon	argile (G)	Rideau (Ri)	3.1	Topographie vallonnée; sols sujets à l'érosion
drainage imparfait	argile (G)	Sainte-Rosalie (R)	8.7	Plaine unie; sols convenant à la grande culture
3-sols dérivés d'éléments calcaires				
drainage mauvais à imparfait	argile (G-ST)	Saint-Urbain (U)	0.4	Plaine subhorizontale; sol le plus riche du comté de Bagot

Classification des sols	Type de sol (type génétique des sols <sup>1</sup> )	Série	% de la surface du bassin	Commentaires
4-sols dérivés d'argile et de sable				
drainage très lent à mauvais	" <u>loam</u> " à " <u>loam</u> " sableux (G)	Saint-Aimé (A1)	0.4	Topographie unie; sols bons pour la grande cul- ture et propices à l'industrie laitière
5-sols dérivés de min- ces dépôts de sable sur l'argile				
drainage imparfait	" <u>loam</u> " sableux (G)	Courval (Co)	0.9	Topographie unie; sols propices à la grande culture et aux pâturages
drainage mauvais	" <u>loam</u> " sableux (G-ST)	Aston (As)	0.9	Topographie plane
	" <u>loam</u> " sableux avec roches en surface (G-ST)	Aston (As-R)	0.5	Topographie plane
6-sols dérivés de roches acides				
drainage imparfait	argile (G)	Lévrard (Lv)	0.2	Topographie unie subho- rizontale; sols suscep- tibles à l'érosion; sols propices à la grande cul- ture et à l'industrie laitière

Classification des sols	Type de sol (type générique des sols <sup>1</sup> )	Série	% de la surface du bassin	Commentaires
C- sols dérivés de " <u>tills</u> " divers remaniés par l'eau				
1-sols dérivés de roches calcaires				
drainage bon	argile limoneuse (BF)	Henryville (Hy)	0.1	Topographie ondulée; sols propices à la cul- ture du foin et du grain
drainage imparfait à mauvais	" <u>loam</u> " argileux à " <u>loam</u> " sableux (GGT)	Bedford (Bd, Bdc, Bds)	18.6	Topographie unie à légè- rement ondulée; sols pro- pices à la culture du foin et aux pâturages
drainage imparfait	" <u>loam</u> " sableux (G)	Raimbeault (Rb)	0.2	Topographie unie à légè- rement ondulée; sols propices à la grande culture et aux pâtu- rages
2-sols dérivés de roches acides (grès, schis- tes, ardoise)				
drainage modérément bon à imparfait	" <u>loam</u> " sableux (P)	Saint-Sylvère (Sy)		Topographie ondulée et buttes; mauvais pour la grande culture

Classification des sols	Type de sol (type génétique des sols <sup>1</sup> )	Série	% de la surface du bassin	Commentaires
D- sols formés de matériaux assortis par l'eau (fluvio-glaciaires et fluvio-marins)				
1-sols dérivés de graviers calcaires				
drainage bon	"loam" sablo-graveleux (P/G, BP)	Sainte-Hélène (He)	27.5	Topographie légèrement ondulée à valonnée; sols propices à la culture mixte et à l'industrie laitière
2-sols dérivés de sables et de graviers acides				
drainage bon à excessif	gravier sablo-graveleux à gravier sablo-caillouteux (BD)	Grande-Ligne (GLs, GLg)	0.9	Petites terrasses; gravières; fertilité pauvre; sols pouvant servir de pacages
E- sols dérivés d'alluvions fluviatiles				

Classification des sols	Type de sol (type génétique des sols)	Série	% de la surface du bassin	Commentaires
1-sols dérivés de "loam" argileux  drainage imparfait	"loam" à "loam" limoneux (G)	Sault (S)	0.1	Topographie plane; sols sujets à l'érosion; sols propices à la grande cul- ture et à l'élevage
F- sols organiques				
drainage très mau- vais	tourbe bien décom- posée	T.N.	11.1	
	terre noire sur sable	H.S.	1.8	
G- sols divers				
alluvions non diffé- renciées		All	0.6	
affleurements rocheux		A	0.2	
III- Bassin de la riviè- re Saint-Nazaire				
A- sols dérivés d'allu- vions fluviatiles				

Classification des sols	Type de sol (type générique des sols <sup>1</sup> )	Série	% de la surface du bassin	Commentaires
1-sols dérivés d'argile limoneuse				
drainage imparfait	" <u>loam</u> " argileux (G)	Lévrard (Lv)	10.9	Sols se trouvant par endroit épars dans la plaine alluvionnaire Champlain; sols propi- ces pour la grande cul- ture et l'élevage
2-sols dérivés de " <u>loam</u> " argileux				
drainage imparfait	" <u>loam</u> " à " <u>loam</u> " limoneux (G)	Sault (S)	2.1	Topographie plane; sols sujets à l'érosion; sols propices à la grande cul- ture et à l'élevage
B- sols dérivés de dépôts lacustres				
1-sols dérivés d'élé- ments calcaires				
drainage mauvais	" <u>loam</u> " à " <u>loam</u> " sableux (GH, ST)	Saint-Patrice (Pa)	1.3	Sols se trouvant dans les dépressions près des ter- res noires; valeur agrico- le pauvre

Classification des sols	Type de sol (type génétique des sols <sup>1</sup> )	Série	% de la surface du bassin	Commentaires
D- sols dérivés de "tills" appalachiens remaniés par l'eau				
1-sols dérivés de "tills" composés de grès, d'ardoises, de schistes et de roches ignées				
drainage bon	"loam" sablo- graveleux (P)	Racine (Ra)	14.2	Topographie ondulée; sols impropres à la culture (forêt)
	"loam" sablo- graveleux (P)	Roxton (Rx)	1.4	Sols principalement boisé
drainage mauvais	"loam" à "loam" sablo-graveleux (ST)	Brompton (Br)	10.1	Sols se trouvant dans les dépressions; impro- pres à la culture (forêt)
E- sols dérivés de "tills" divers remaniés par l'eau				
1-sols dérivés de "tills" limoneux issus de roches calcaires				

Classification des sols	Type de sol (type génétique des sols <sup>1</sup> )	Série	% de la surface du bassin	Commentaires
drainage imparfait à mauvais	" <u>loam</u> " argileux à " <u>loam</u> " sableux (GGT)	Bedford (Bd)	16.0	Topographie unie à légèrement ondulée; sols propices à la culture du foin et des céréales et aux pâturages
2-sols dérivés de " <u>tills</u> " limoneux à limoneux sableux issus de grès et de calcaires				
drainage mauvais	" <u>loam</u> " sablo- pierreux (ST)	Mawcook (Ma)	2.0	Sols pouvant servir de pâturages
F- sols dérivés de maté- riaux assortis par l'eau (fluvio-glaciai- res et glacio-marins)				
1-sols dérivés de gra- vier calcaire				
drainage bon	" <u>loam</u> " sablo-argi- leux et gravelo- caillouteux (GBD, BF)	Sainte-Philomène (Ph)	2.7	Topographie ondulée; sols propices à la culture; exploitation de gravier

Classification des sols	Type de sol (type génétique des sols <sup>1</sup> )	Série	% de la surface du bassin	Commentaires
2-sols dérivés de graviers calcaires et acides (grès, schistes, roches ignées)				
drainage bon	"loam" sablo-graveleux (P/G, BP)	Sainte-Hélène (He)	3.1	Topographie légèrement ondulée à valonnée; sols propices à la culture mixte et à l'industrie laitière
3-sols dérivés de graviers acides				
drainage bon	"loam" sablo-graveleux (P)	Rougemont (Rg)	0.8	Sols assez productifs (pomiculture)
4-sols dérivés de sable et de gravier sableux				
drainage bon à excessif	sable graveleux à gravier sableux (BP)	Grande-Ligne (GLs, GLg)	1.6	Petites terrasses; gravières; sols de fertilité pauvre, pouvant servir de pacages
G- sols organiques	terres noires bien décomposées	T.N.	0.1	

Classification des sols	Type de sol (type générique des sols)	Série	% de la surface du bassin	Commentaires
H- sols divers	dunes alluvions	D All	0.4	
I- affleurement rocheux		A	0.3	
IV - Bassin de la rivière Salvail				
A- sols dérivés des sédi- ments de la mer Cham- plain ou deltaïques				
1-sols dérivés de sa- ble siliceux				
drainage lent à mauvais	sable (PG)	Saint-Jude (J)	59.2	Plaines unies et crê- tes basses
2-sols dérivés d'élé- ments argileux				
drainage lent	argile (G)	Sainte-Rosalie (R)	13.8	Plaines unies
3-sols dérivés de min- ces dépôts de sable reposant sur l'argile				

Classification des sols	Type de sol (type génétique des sols)	Série	% de la surface du bassin	Commentaires
drainage lent	limon (PG)	Yamaska (Y)	15.3	Plaines unies (phase ravinée); sols sujets à l'érosion
	limon sableux	Yamaska (Y)	4.3	Plaine unie
B- sols organiques	terres noires	T.N.	1.0	
V - Bassin du Ruisseau Runnets				
A- sols dérivés de "tills"				
1-sols dérivés de "tills" sableux provenant d'ar- doises et de grès				
drainage bon	gravier sableux (P)	Roxton (Rols)	5.5	Sols de fertilité moyenne
drainage mauvais	sable (I,H)	Mawcook (Masl)	15.9	Topographie plane à ondulée; sols propices à la culture du foin; pâturages pauvres
drainage bon	sable (P)	Racine (Rsl)	26.3	Topographie ondulée à faiblement valonnée; sols propices à la cul- ture du foin, du grain, du maïs...bons pâturages

Classification des sols	Type de sol (type génétique des sols <sup>1</sup> )	Série	% de la surface du bassin	Commentaires
2-sols dérivés de " <u>tills</u> " provenant de schistes argileux et ardoisiers				
drainage mauvais	sable (I,H)	Milton (Misl)	0.4	Topographie plane à ondulée; sols propices aux pâturages et à la culture du foin et du grain
B- sols dérivés de maté- riaux assortis par l'eau				
1-sols dérivés d'élé- ments siliceux				
drainage imparfait	sable (BP)	Rubicon ou Saint- Amable (Rusl)	1.2	Topographie presque plane à ondulée; sols de faible valeur agri- cole
	sable fin (BP)	Rubicon (Rufsl)	6.1	Topographie presque pla- ne; sols propices à la culture du maïs, du grain et du foin
C- Dépôts d'alluvions récentes				

Classification des sols	Type de sol (type génétique des sols <sup>1</sup> )	Série	% de la surface du bassin	Commentaires
drainage imparfait	limon (A)	Milby (Ms11)	1.7	Sols situés dans le fond des vallées; topographie plane à ondulée; sols propi- ces à la culture du foin et du grain
D- dépôts alluvio-lacus- tres				
drainage imparfait	limon (I)	Yamaska (Ys11)	8.2	Topographie plane à légè- rement ondulée; sols su- jets à l'érosion, propi- ces à une grande variété de cultures
E- sols organiques				
matière organique mal décomposée	tourbe (B)	P	4.8	On les trouve dans les régions déprimées
matière organique bien décomposée	terre noire (B)	Mush	0.4	Sols propices à la cul- ture maraîchère; pauvres pâturages
F- sols divers				
1-terrains rocailleux		RS	27.9	Terrain accidenté et boisé

Classification des sols	Type de sol (type génétique des sols)	Série	% de la surface du bassin	Commentaires
2-alluvions non différenciées				
drainage mauvais		Ua	0.1	Terrain situé le long des cours d'eau
3-marécages			1.2	

(1) Type génétique des sols

Symbole	Type génétique des sols	Caractéristiques
P	Podzol	lessivage intense
BP	Brun podzologique	lessivage modéré
GBP	Gris-brun podzologique	lessivage partiel
BF	Brun forestier	lessivage très faible à partiel
G	Gley (" <u>low humic</u> ")	
PG	Podzol à gley	
ST, IH	Sols semi-tourbeux	
T, B	Sols tourbeux	
A	Sols alluvionnaires	
L	Lithosols	

TABLEAU 15b: Caractéristiques physiques et chimiques des sols dans les cinq sous-bassins agricoles (Choinière *et al.*, 1942; Baril et Mailloux, 1942; Laplante *et al.*, 1942; Laplante, 1959; Choinière, 1960)

Série	Type de sol	matière organique %	sable %	limon %	argile %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilable %	pH	lieu d'échantillonnage
I - Bassin de la Rivière Barbue										
Saint-Jude (J)	limon sableux	3.2	84.0	13.0	3.0	0.06	0.23	0.006	4.9	Drummond (comté)
Saint-Jude (J)	sable	4.9	87.4	9.9	3.6	0.14	0.24	0.006	5.5	Sainte-Hélène
Saint-Amable (Am)	sable	4.7	69.0	23.8	7.2	0.17	0.45	0.001	4.9	Shefford (comté)
Sainte-Rosalie (R)	limon argileux à argile	7.5	30.0	34.8	35.2	0.29	0.41	0.007	5.9	Saint-Pie
Yamaska (Y)	limon argileux	5.6	34.2	47.8	18.0	0.20	0.20	0.003	4.6	Yamaska (comté)
Ange-Gardien (AG)	limon sablo-graveleux	4.9	54.2	38.4	7.4	0.16	0.31	0.004	4.5	Shefford (comté)
Ange-Gardien (AG)	gravier schisteux	13.2	48.8	38.2	13.0	0.46	0.21	0.001	5.5	Shefford (Comté)
Rougenont (Rg)	gravier sableux	6.7	68.0	22.4	9.6	0.26	0.21	0.001	4.9	Saint-Théodore

Série	Type de sol	matière organique	sable	limon	argile	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilable	pH	lieu d'échantillonnage
		%	%	%	%	%	%	%		
II - Bassin de la Rivière Chi- bouet										
Saint-Patrice (Pa)	"loam" à "loam" sableux	4.0	70.9	17.2	11.9	0.16	0.32	0.014	6.2	Sainte-Hélène
Saint-Jude (J)	sable	4.9	87.4	9.0	3.6	0.14	0.14	0.006	5.5	Sainte-Hélène
Saint-Amable (Am)	sable	5.4	69.0	23.8	7.2	0.17	0.40	0.001	4.9	Shefford (comté)
Rideau (Ri)	argile	6.7	48.4	23.8	27.8	0.30	0.30	0.011	5.9	Sainte-Hélène
Sainte-Rosalie (R)	argile	5.3	22.0	38.0	40.0	0.19	0.31	0.009	6.1	Saint-Pie
Saint-Urbain (U)	argile	6.7	62.8	17.2	20.0	0.24	0.19	-	5.8	Saint-Guillaume
Saint-Aimé (Ai)	"loam" à "loam" sableux	3.7	74.8	16.4	8.8	0.17	0.10	-	5.6	Saint-François-du-Lac
Courval (Co)	"loam" sableux	3.5	74.2	15.4	10.4	0.11	0.32	0.009	6.3	Saint-Hugues
Aston (As)	"loam" sableux	6.1	72.6	15.2	12.2	0.20	0.34	0.008	5.2	Saint-Hugues
Lévrard (Lv)	argile	5.9	38.0	44.0	18.0	0.17	0.22	0.022	5.6	Drummond (comté)

Série	Type de sol	matière organique	sable	limon	argile	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilable	pH	lieu d'échantillonnage
		%	%	%	%	%	%	%		
Henryville (Hy)	argile limoneuse	8.8	20.0	46.0	34.0	0.39	0.29	0.001	6.1	Saint-Dominique
Bedford (Bd)	"loam" argileux à "loam" sableux	5.7	48.8	29.0	22.0	0.23	0.43	0.057	5.8	Saint-Nazaire
Saint-Sylvère (Sy)	"loam" sableux	8.7	65.0	27.0	8.0	0.26	0.13	0.002	5.6	Drummond (conté)
Sainte-Hélène (He)	"loam" sablo- graveleux	3.6	82.8	11.2	6.0	0.15	0.18	0.007	6.6	Sainte-Hélène
Grande-Ligne (GLs)	gravier sablo- graveleux	6.7	68.0	22.4	9.6	0.26	0.21	0.010	4.9	Saint-Théodore
Sault (S)	"loam" à "loam" limoneux	10.5	61.0	35.0	4.0	0.24	0.20	0.005	5.5	Drummond (conté)
H.S.	terres noires sur sable	55.1	-	-	-	1.68	0.37	0.168	5.0	Drummond (conté)
III- Bassin de la Rivière Saint-Nazaire										
Lévrard (Lv)	"loam" argileux	5.9	38.0	44.0	18.0	0.17	0.22	0.022	5.6	Drummond (conté)
Sault (S)	"loam" à "loam" limoneux	10.5	61.0	35.0	4.0	0.24	0.20	0.005	5.5	Drummond (conté)

Série	Type de sol	matière organique %	sable %	limon %	argile %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilable %	pH	lieu d'échantillonnage
Saint-Patrice (Pa)	"loam" à "loam" sableux	4.0	70.9	17.2	11.9	0.16	0.32	0.014	6.2	Sainte-Hélène
Sorel (So)	sable	2.8	88.6	7.8	3.6	0.08	0.11	0.007	5.5	Sainte-Hélène
Saint-Jude (J)	sable	4.9	87.4	9.0	3.6	0.14	0.14	0.006	5.5	Sainte-Hélène
Saint-Amable (Am)	sable	5.4	69.0	23.8	7.2	0.17	0.40	0.001	4.9	Shefford (comté)
Sainte-Rosalie (R)	argile	5.3	22.0	38.0	40.0	0.19	0.31	0.009	6.1	Saint-Pie
Aston (As)	"loam" sableux	6.1	72.6	15.2	12.2	0.20	0.34	0.008	5.2	Saint-Hugues
Racine (Ra)	"loam" sablo- graveleux	13.5	50.4	41.0	8.6	0.59	0.29	0.004	5.0	Sainte-Christine
Roxton (Rx)	"loam" sablo- graveleux	31.7	-	-	-	1.06	0.29	0.003	5.4	Saint-Théodore
Bedford (Bd)	"loam" argileux à "loam" sableux	5.7	48.8	29.0	22.0	0.23	0.43	0.057	5.8	Saint-Nazaire
Mawcook (Ma)	"loam" sablo- pierreux	12.5	51.4	30.0	18.6	0.58	0.34	0.006	5.5	Sainte-Hélène

Série	Type de sol	matière organique %	sable %	limon %	argile %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilable %	pH	lieu d'échantillonnage
Sainte-Philomène (Ph)	"loam" sablo- argileux et gravelo-caill- louteux	6.3	42.8	37.2	20.0	0.35	0.36	0.003	6.9	Saint-Nazaire
Sainte-Hélène (He)	"loam" sablo- graveleux	3.6	82.8	11.2	6.0	0.15	0.18	0.007	6.6	Sainte-Hélène
Rougemont (Rg)	"loam" sablo- graveleux	6.7	58.4	33.2	8.4	0.23	0.23	0.004	5.0	Saint-Théodore
Grande-Ligne (GLs)	sable graveleux à gravier sableux	6.7	68.0	22.4	9.6	0.26	0.21	0.010	4.9	Saint-Théodore
IV - Bassin de la Rivière Salvail										
Saint-Jude (J)	sable	3.7	82.8	12.0	5.2	0.20	0.34	-	6.4	Yamaska
Sainte-Rosalie (R)	argile	5.5	25.6	30.8	43.6	0.27	0.23	-	5.7	Yamaska
Yamaska (Y)	limon	5.6	34.2	47.8	18.0	0.20	0.32	0.003	4.6	Shefford (comté)
Yamaska (Y)	limon sableux	9.2	49.4	34.0	16.1	0.35	0.28	0.008	4.9	Saint-Théodore

Série	Type de sol	matière organique %	sable %	limon %	argile %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilable %	pH	lieu d'échantillonnage
V - Bassin du Ruisseau Runnets										
Roxton (Rols)	gravier sableux	12.9	60.4	28.4	11.2	0.45	0.25	0.001	4.8	Shefford (comté)
Mawcook (Mas1)	sable	4.4	54.2	38.4	7.4	0.16	0.31	0.004	4.5	Shefford (comté)
Racine (Rsl)	sable	10.6	53.5	35.7	10.7	0.37	0.30	0.003	5.3	Shefford (comté)
Milton (Misl)	sable	6.8	50.0	30.0	20.0	0.24	0.38	0.002	5.0	Shefford (comté)
Rubicon ou Saint-Amable (Rus1)	sable	4.7	69.0	23.8	7.2	0.17	0.40	0.001	4.9	Shefford (comté)
Milby (Ms11)	limon	12.1	23.6	56.4	20.0	0.42	0.38	0.005	4.8	Shefford (comté)
Yamaska (Ys11)	limon	5.6	34.2	47.8	18.0	0.20	0.33	0.003	4.6	Shefford (comté)

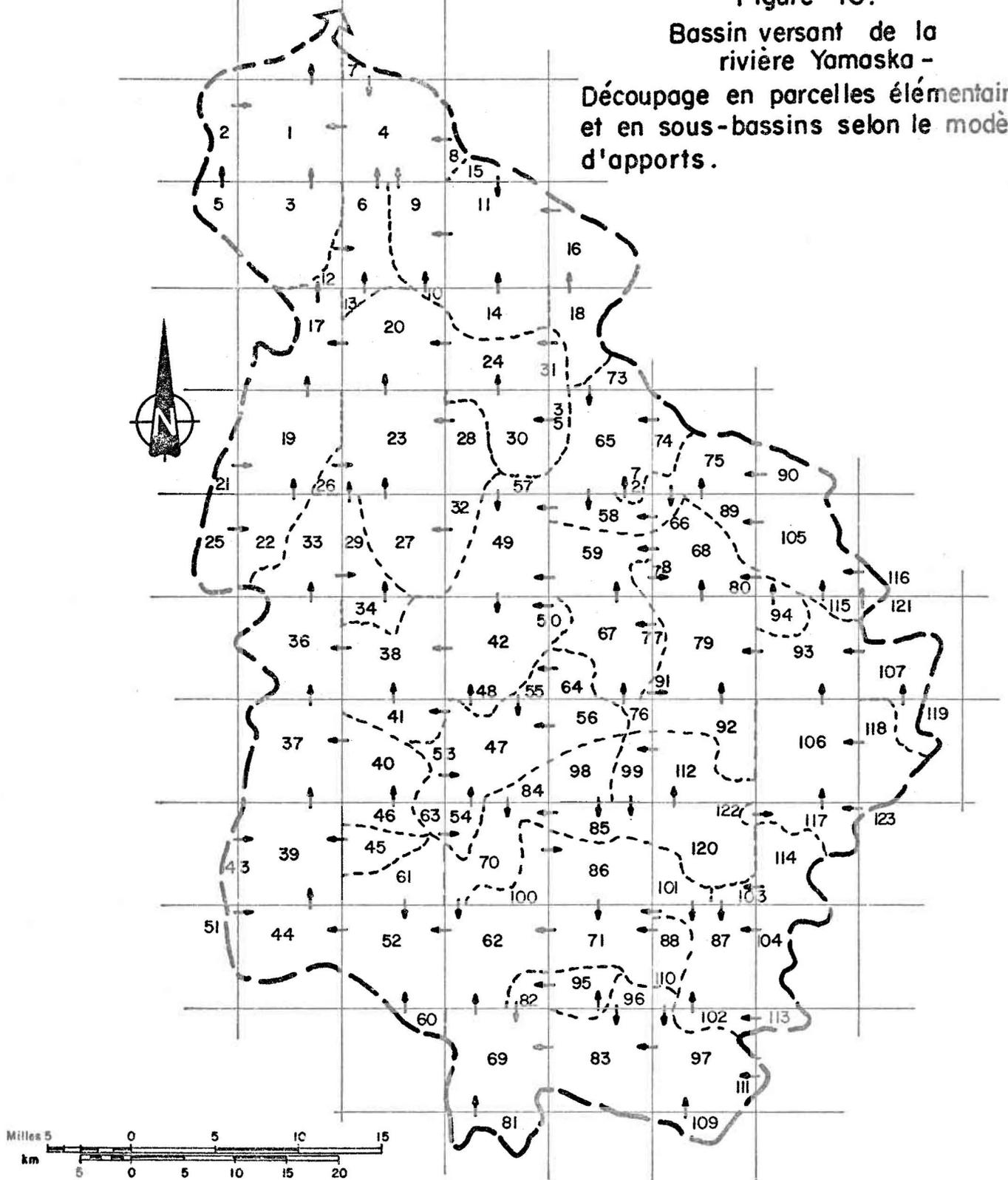
TABLEAU 16: Facteurs naturels pouvant influencer les apports d'azote et de phosphore dans les cinq sous-bassins agricoles

Bassin	Superficie	Lacs <sup>1</sup>		Marécages <sup>1</sup>		Forêts <sup>1</sup>		Sol nu <sup>1</sup>		Pente moyenne %	Coefficient d'érodibilité des sols <sup>2</sup> kg/km <sup>2</sup> x C	Nature du sous-sol
	km <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%			
Barbue	101	0.0	0	2.1	2.1	26.4	26.1	72.7	71.8	0.94	92	schistes argileux et ardoisiers
Chibouet	149	0.0	0	0.0	0	24.9	16.7	124.1	83.3	0.46	78	schistes argileux et ardoisiers
Saint-Nazaire	114	0.0	0	4.4	3.9	14.4	12.6	95.2	83.5	1.14	87	grès
Kunnets	86	0.2	0.3	0.0	0	40.8	45.0	45.0	52.2	1.26	72	grès et schistes ardoisiers
Salvail	198	1.4	0.7	0.0	0	54.9	27.7	141.9	71.6	0.88	82	schistes argileux

(1) Les superficies furent déterminées selon la méthode décrite à la section 2.2.1

(2) Voir l'Annexe I

Figure 16.  
Bassin versant de la  
rivière Yamaska -  
Découpage en parcelles élémentaires  
et en sous-bassins selon le modèle  
d'apports.



Potvin, D. Cluis, H. Durocher (Ministère des Richesses naturelles, Service de Qualité des Eaux). Les renseignements utilisés provenaient de diverses sources: bureau de recensement du Canada, Office de Planification du Québec (OPDQ), Aménagement rural et développement agricole (ARDA).

Pour chaque municipalité située sur le bassin de la Yamaska, on détermina la population humaine (desservie ou non d'un réseau d'égouts), et la population animale pour les principales espèces d'élevage (bovins, porcs, moutons, poulets, chevaux). On a aussi relevé aussi les surfaces cultivées et les surfaces fertilisées pour les différents types de culture (blé, avoine, orge, seigle, lin, céréales, foin, maïs, maïs-grain, patate, légumes). La technique utilisée suppose une distribution uniforme des caractères physiographiques et socio-économiques à travers toute la municipalité; elle consiste à répartir ensuite ces caractères suivant les parcelles élémentaires en considérant la proportion de chaque municipalité incluse dans les carreaux unitaires. Seule la population humaine est directement affectée aux sous-carreaux.

On connaît les apports spécifiques en azote et en phosphore pour les hommes et les espèces animales considérées, ainsi que les quantités d'engrais utilisées pour chaque type de culture (Tableau 17). On peut donc déterminer pour chaque parcelle la production d'azote et de phosphore des différents producteurs.

### 3.2.2 Utilisation du territoire

On distingue trois zones d'utilisation du territoire; elles correspondent aux zones physiographiques du bassin versant (Figures 9, 17, 18). Dans les Basses-Terres, on trouve principalement des sols mis en culture et des sols nus. On y distingue deux régions urbaines d'importance: Saint-Hyacinthe et Farnham (Figure 9). Les régions couvertes par plus de 30% de forêt

TABLEAU 17: Productions spécifiques d'azote et de phosphore selon les différentes utilisations du territoire (Cluis et Durocher, 1976)

Utilisation du territoire	Azote (N)	Phosphore (P)
Population humaine (g/personne-jr)	13.6	1.4
Population animale (g/tête-jr)		
bovin	186.9	33.6
porc	31.3	9.5
mouton	24.5	4.4
poulet	2.0	0.7
cheval	158.8	23.1
Engrais chimiques (kg/km <sup>2</sup> -jr)		
blé	15.4	9.4
avoine	4.6	9.4
orge	12.3	12.1
foin	15.4	9.1
maïs-grain	39.9	13.4
patates	24.6	22.8
betteraves	24.6	24.1
légumes	15.4	11.7
autres	30.7	11.4

Figure 17.

Bassin versant de la  
rivière Yamaska -

Production de phosphore par unité  
de surface par la population animale

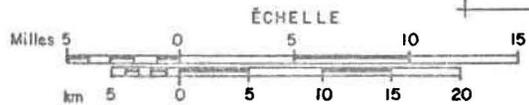
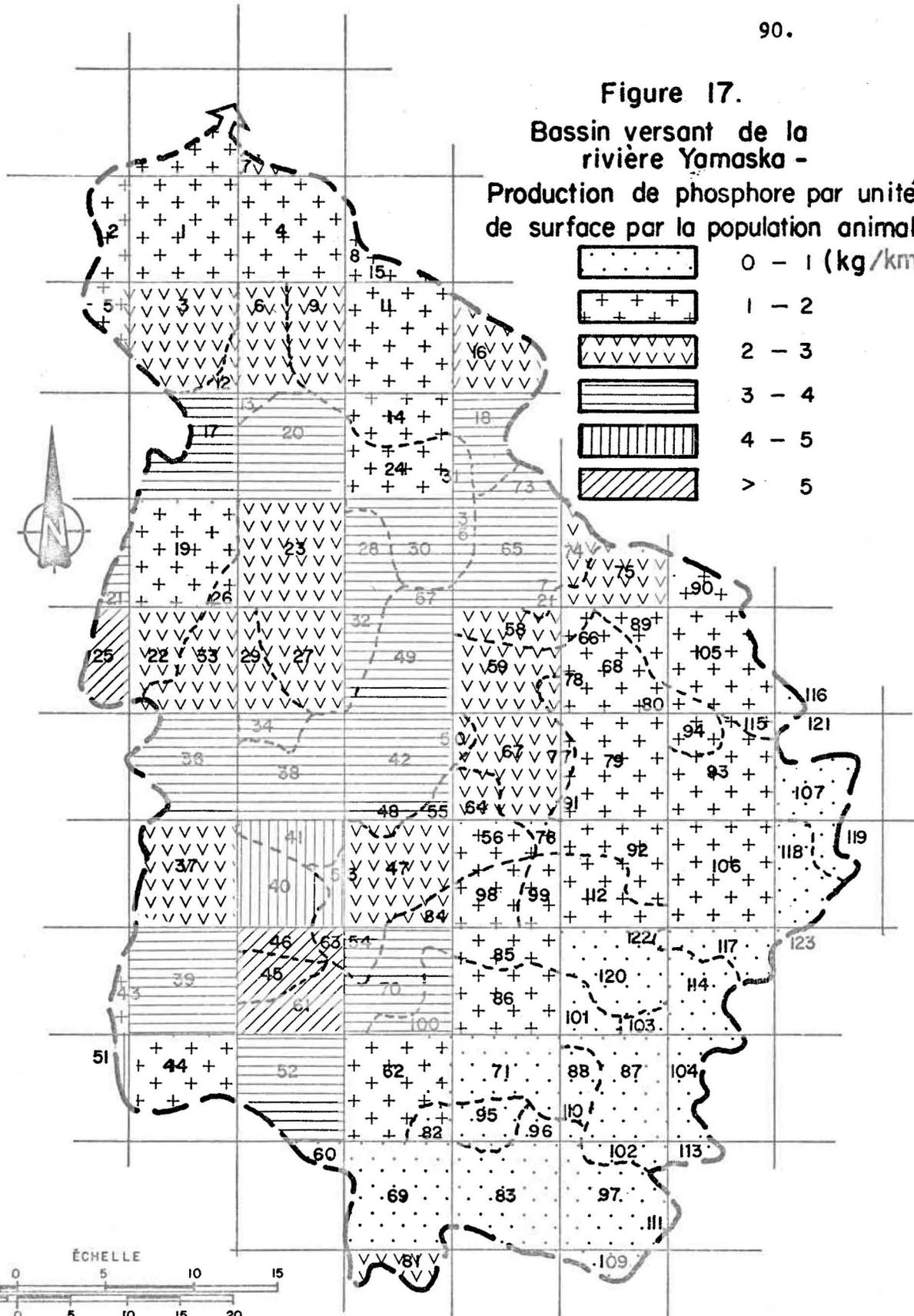
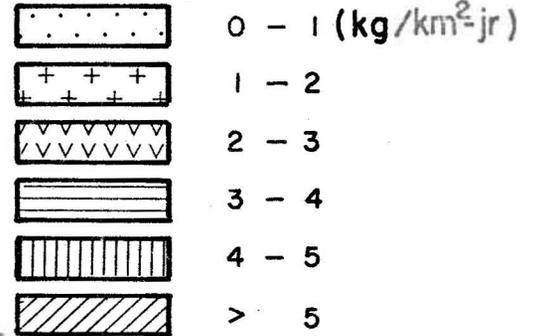
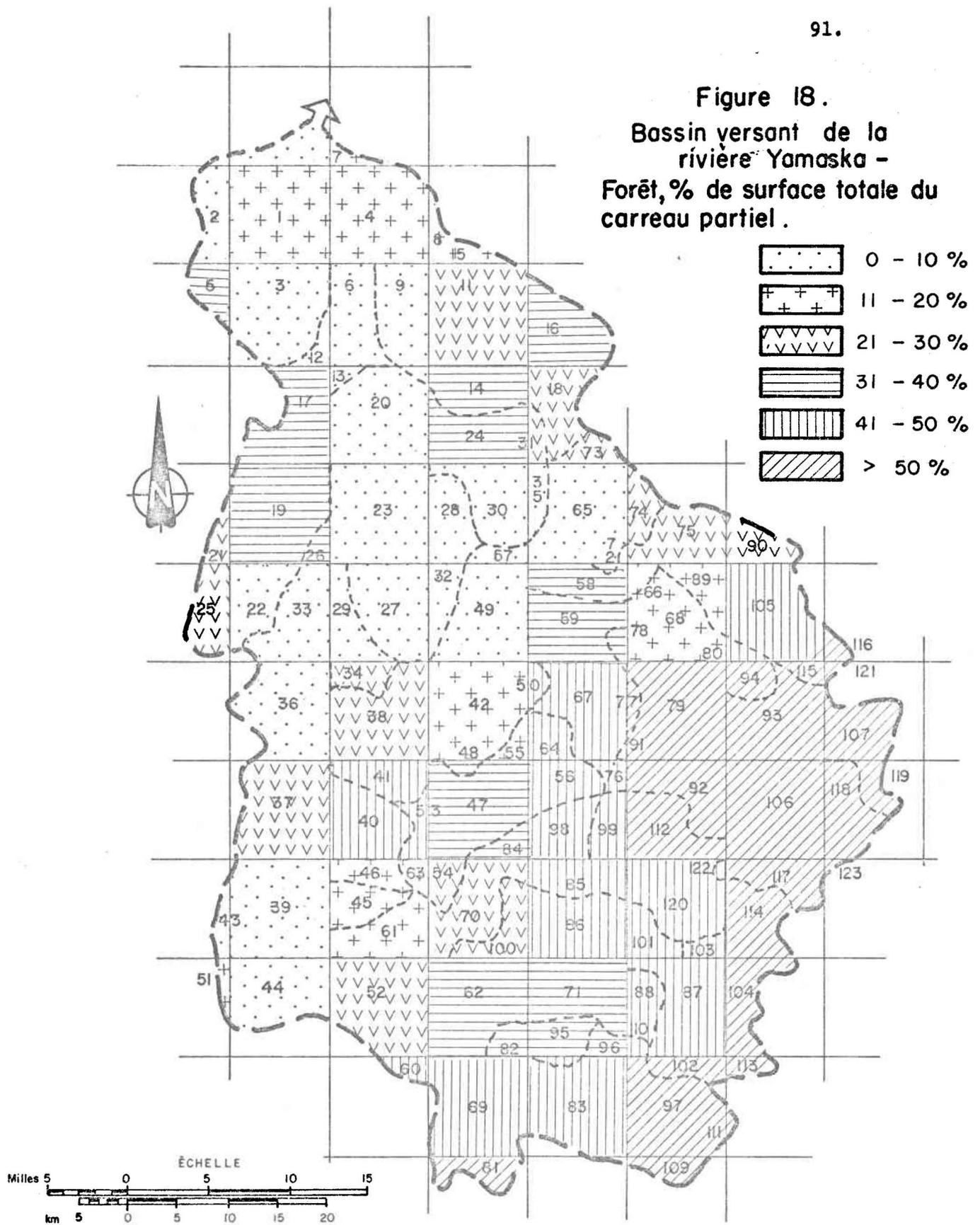


Figure 18.  
 Bassin versant de la  
 rivière Yamaska -  
 Forêt, % de surface totale du  
 carreau partiel .



dans cette zone présentent des sols de faible valeur agricole. Ainsi, dans les parcelles élémentaires 14, 16 et 24 situées dans le comté de Drummond, une grande partie des sols appartient aux séries de Saint-Amable et d'Henryville, peu recommandables pour la culture (Tableau 15). Dans les sous-carreaux 17 et 19, on trouve principalement les sables de la série de Saint-Jude dont la valeur agricole est plutôt moyenne. La présence du mont Yamaska explique la proportion plus élevée de terrain boisé dans les parcelles 40, 41 et 55.

La zone de Piedmont possède un caractère mixte (Figures 9, 17, 18). Les terrains en cultures se situent principalement le long des vallées. Granby constitue la région urbaine de première importance de la région, suivi de Cowansville et d'Acton Vale (Figure 9).

La zone du plateau appalachien est caractérisée par son fort pourcentage de couvert forestier. Les principaux centres urbains sont Waterloo et Brome.

### 3.2.3 Répartition de la population humaine

Dans la majeure partie du bassin, la densité de population est faible, inférieure à 30 habitants par km<sup>2</sup>. Seules les régions de Saint-Hyacinthe et de Granby ont une densité de population supérieure à 500 habitants par km<sup>2</sup> (Annexe II, Figure 1). Plus de 60% des déchets domestiques sont éliminés au moyen de réseaux d'égouts. Ces derniers se trouvent essentiellement dans les zones urbaines (Annexe II, Figure 2).

### 3.2.4 Répartition de la population animale

La répartition des bovins semble assez uniforme à travers le bassin. On trouve généralement entre 25 et 50 têtes par km<sup>2</sup>. Dans les Basses-

Terres, on remarque des régions de plus forte densité, principalement dans les sous-bassins des rivières Yamaska sud-ouest et Salvail (Annexe II, Figure 3).

La répartition de la population des porcs suit de manière plus évidente les zones physiographiques (Figures 9, Annexe II, Figure 4). La population est très faible dans les zone des Appalaches; elle croît dans la zone de Piedmont et devient très forte dans les Basses-Terres. La densité de population est particulièrement élevée dans la région des bassins des rivières Barbue et Chibouet.

La répartition de la population des poulets est assez hétérogène (Annexe II, Figure 5). Les plus fortes densités se trouvent dans les régions de Farnham, de Granby, au sud de Saint-Hyacinthe et dans le bassin des rivières Salvail et Barbue.

Les populations de chevaux et de moutons sont très faibles à travers tout le bassin.

### 3.2.5 Répartition des terrains fertilisés

La répartition des terrains fertilisés correspond aux zones physiographiques (Figure 9; Annexe II, Figure 6). Dans la majeure partie des Basses-Terres, plus de 15% des sols sont fertilisés; dans la zone de Piedmont, de 0 à 10% le sont; la majorité du territoire correspondant au plateau appalachien ne subit pas de fertilisation.

### 3.2.6 Utilisation du territoire dans les cinq sous-bassins agricoles choisis

Afin de déterminer les caractéristiques des cinq sous-bassins, nous faisons les approximations suivantes:

Bassins	Parcelles considérées
Barbue	39 (8.2%) + 40 + 46
Chibouet	24 + 30 + 31 + 35
Saint-Nazaire	65 + 72 + 73 + 74
Salvail	17 (70%) + 19 + 21 + 22 + 25
Runnets	76 + 67 + 71

les sous-bassins seront affectés des caractéristiques physiographiques et socio-économiques déterminées pour ces parcelles (Tableaux 18 et 19).

La densité de la population humaine est très faible dans les cinq sous-bassins, inférieure à 20 personnes par km<sup>2</sup>. La présence des réseaux d'égouts est très restreinte dans ces régions (Tableau 18).

La population de bovins se répartit assez uniformément dans les cinq sous-bassins. La densité varie entre 35 et 50 têtes par km<sup>2</sup>. La population des porcs varie beaucoup plus: c'est dans le bassin de la rivière Barbue que l'on note la plus grande densité de population, soit 176 têtes par km<sup>2</sup>, suivi du bassin de la rivière Chibouet (Tableau 18). Dans le bassin de la rivière Barbue, l'élevage des poulets est très important. On y trouve près de 400,000 têtes pour un territoire de 101 km<sup>2</sup> (Tableau 18).

Dans chacun des cinq sous-bassins, plus de 50% des sols nus sont mis en culture. C'est dans le bassin de la rivière Salvail que l'on trouve la plus grande proportion, soit 77% du territoire. Cependant seulement le tiers des sols cultivés est engraisé (Tableau 19). Les principales cultures sont celles du foin, de l'avoine et du maïs. Dans le bassin du ruisseau Runnets, plus de 70% des surfaces cultivées sont occupées par le foin. Dans les bassins des rivières Chibouet et Saint-Nazaire, la culture du foin acca-

TABLEAU 18a: Répartition de la population humaine dans les cinq sous-bassins agricoles

Bassin	Superficie km <sup>2</sup>	Population		Population desservie par un réseau d'égouts	Lieu de déversement du réseau d'égouts- no du carreau par- tiel (voir Fig. 16)
		nombre d'individus	densité <sup>1</sup>		
Barbue	101	2778	28	285	40
Chibouet	149	2180	15	155	30
Saint-Nazaire	114	1755	15	289	65
Salvail	198	3636	18	600	17,22
Runnets	86	815	9	0	-

(1) densité de population: nombre d'individus par km<sup>2</sup>

TABLEAU 18b: Répartition de la population animale dans les cinq sous-bassins agricoles

Bassin	Superficie (km <sup>2</sup> )	Nombre d'individus <sup>1</sup>				
		Bovins	Porcs	Moutons	Poulets	Chevaux
Barbue	101	3932 (39)	17821 (176)	16	395676 (3919)	50 (1)
Chibouet	149	6682 (45)	13814 (93)	26	124890 (838)	77 (1)
Saint-Nazaire	114	5558 (49)	7888 (69)	5	129567 (1137)	60 (1)
Salvail	198	7476 (38)	9744 (49)	269 (1)	374365 (1891)	115 (1)
Runnets	86	3072 (36)	4829 (56)	48 (1)	39679 (461)	116 (1)

(1) Les chiffres entre parenthèses correspondent au nombre d'individus par km<sup>2</sup>

TABLEAU 19: Répartition des diverses cultures dans les cinq sous-bassins agricoles

Bassin	Superficie (km <sup>2</sup> )	Surface cultivée		sol nu	blé	avoine grain	orge	seigle	lin	céréales	foin	maïs grain	maïs ens.	avoine ens.	patates	bette- raves	légumes	sols engraisés
		% surf. tot.	% sol nu															
Barbue	101	km <sup>2</sup>	42.1	72.7	0.71	6.0	0.33	-	-	1.56	18.7	7.86	2.95	1.0	0.57	0.7	1.94	14.41
		%	41.7	71.8	0.70	6.0	0.30	-	-	1.50	18.5	7.80	2.90	1.0	0.50	0.7	1.92	14.27
		%	57.9	-	1.70	14.3	0.78	-	-	3.70	44.4	18.70	7.00	2.4	1.34	1.7	4.60	34.23
Chibouet	149	km <sup>2</sup>	84.1	124.1	0.44	15.4	0.88	0.04	0.01	3.12	47.4	10.23	3.47	2.3	0.04	0.3	0.42	27.1
		%	56.8	83.3	0.29	10.4	0.58	0.02	0.01	2.09	31.8	6.86	2.33	1.6	0.03	0.2	0.28	18.2
		%	67.8	-	0.52	18.3	1.04	0.04	0.01	3.70	56.4	12.12	4.13	2.8	0.05	0.4	0.50	32.2
Saint-Nazaire	114	km <sup>2</sup>	53.4	95.2	0.12	9.0	0.40	-	-	1.68	32.1	4.3	1.51	0.4	0.06	-	0.20	14.7
		%	46.8	83.5	0.10	7.8	0.34	-	-	1.40	28.1	4.3	1.32	0.3	0.05	-	0.17	12.8
		%	56.0	-	0.22	16.8	0.75	-	-	3.14	60.1	9.2	2.83	0.7	0.10	-	0.37	27.5
Salvail	198	km <sup>2</sup>	109.3	141.9	5.00	15.8	1.20	0.01	-	4.30	37.5	19.3	7.40	1.4	0.50	4.2	10.14	41.9
		%	55.2	71.6	2.50	8.0	0.60	0.01	-	2.20	19.0	9.7	3.80	0.7	0.30	2.1	5.10	21.1
		%	77.0	-	4.60	14.5	1.10	0.01	-	4.00	34.4	17.6	6.80	1.3	0.46	3.8	9.30	38.3
Runnets	86	km <sup>2</sup>	29.0	45.0	0.14	3.8	0.06	0.01	-	0.44	21.2	0.7	1.47	1.1	0.01	-	0.01	6.9
		%	33.7	52.2	0.16	4.4	0.07	0.01	-	0.51	24.7	0.8	1.70	1.2	0.01	-	0.01	8.0
		%	64.4	-	0.48	13.1	0.19	0.03	-	1.50	71.3	2.5	5.10	3.7	0.03	-	0.03	23.6

pare respectivement 56% et 60% du territoire. La culture de l'avoine et du maïs occupe entre 9% et 26% des terrains cultivés.

### 3.3 Production d'azote et de phosphore dans le bassin de la rivière Yamaska

Dans l'établissement des productions d'azote et de phosphore, nous ne tenons pas compte de tous les apports naturels (précipitations, taux de dissolution des roches, fixation d'azote) faute de données disponibles à cette estimation.

Dans ce chapitre, nous tenterons de faire ressortir quel est le producteur le plus susceptible de contribuer à l'apport d'éléments nutritifs dans le milieu (Tableau 20).

#### 3.3.1 Production d'azote par la population humaine

La population humaine dont les déchets ne sont pas drainés au moyen d'égouts contribue très faiblement à la production d'azote. La contribution moyenne est de  $0.2 \text{ kg/km}^2\text{-jr}$ . Ceci constitue moins de 2% de la production totale d'azote pour tout le bassin. La population desservie par des réseaux d'égouts contribue à moins de 2% de la production totale d'azote; cependant ces apports sont regroupés dans l'espace et directement rejetés dans les cours d'eau (Annexe II, Figures 2 et 8). Dans le cas des centres urbains de Saint-Hyacinthe et de Granby, la production d'azote compte pour plus de 30% de la production des parcelles considérées mais pour 1% de la production totale du bassin versant (Annexe II, Figure 7). Exception faite des principaux centres urbains, la contribution humaine à la production d'azote dans le bassin semble négligeable.

TABLEAU 20: Production d'azote et de phosphore dans le bassin de la  
rivière Yamaska

Producteur	Production kg/km <sup>2</sup> -jr		% de la production totale	
	N	P	N	P
Production totale	12.13	3.43	100	100
Population humaine	0.51	0.05	4.2	1.5
desservie par un réseau d'égouts	0.32	0.03	2.6	0.9
non desservie par un réseau d'égouts	0.20	0.02	1.6	0.6
Population animale	9.64	2.19	79.5	63.8
bovins	6.16	1.11	50.1	32.4
porcs	1.65	0.50	13.6	14.6
poulets	1.68	0.56	13.8	16.3
Cultures engraisées	1.97	1.18	16.2	34.4

### 3.3.2 Production d'azote par la population animale

D'après les Figures 9 à 12 (Annexe II), il appert que les bovins soient les principaux producteurs d'azote chez les animaux, à l'exception de quelques régions où ce sont les porcs et les poulets qui deviennent les principaux producteurs. La contribution animale en azote dans tout le bassin représente 82% de la production totale. La contribution moyenne est de 9.5 kg/km<sup>2</sup>-jr.

### 3.3.3 Production d'azote par les cultures engraisées

La contribution d'azote par les engrais semble faible relativement à la production totale: (Annexe II, Figures 7 et 13). C'est dans la région du bassin de la rivière Salvail et dans la région de Saint-Hyacinthe que cette contribution s'avère la plus importante. Environ 16% de la production totale d'azote est attribuable aux cultures engraisées.

### 3.3.4 Production de phosphore par la population humaine

La contribution de phosphore par les excréments humains est négligeable relativement à la production totale (Annexe II, Figures 14,15). Notons cependant que nous n'avons pas tenu compte de la quantité de phosphore dérivée de l'usage des détersifs (soit 1.92 g/personne-jr selon Devey et Harkness, 1973), laquelle est plus importante que la quantité attribuée aux excréments (soit 1.4 g/personne-jr). La production moyenne de phosphore est de 0.05 kg(P)/km<sup>2</sup>-jr, ce qui correspond à 1.5% de la production totale dans le bassin. La contribution des populations des centres urbains de Granby et de Saint-Hyacinthe est d'environ 30% de la production locale de phosphore.

### 3.3.5 Production de phosphore par la population animale

La population animale contribue à 64% de la production totale de phosphore dans le bassin. La contribution moyenne est de  $3.4 \text{ kg/km}^2\text{-jr}$  (Annexe II, Figures 14,16). Les bovins sont les principaux producteurs dans presque tout le bassin sauf aux environs du bassin de la rivière Barbué où l'élevage des porcs et des poulets prend une grande importance (Annexe II, Figures 16 à 19). Bien que la proportion de phosphore produite par les animaux soit moindre que celle de l'azote, l'élevage demeure l'activité agricole la plus susceptible de devenir la cause première de la pollution agricole dans ce bassin.

### 3.3.6 Production de phosphore par les cultures engraisées

La production de phosphore par l'utilisation d'engrais chimiques est de l'ordre de  $1.2 \text{ kg/km}^2\text{-jr}$ . Cependant on distingue nettement deux zones. La production dans la zone de Piedmont et sur le plateau appalachien est négligeable; dans la région des Basses-Terres, elle est généralement inférieure à  $2 \text{ kg/km}^2\text{-jr}$ . On remarque cependant des régions où la production est beaucoup plus forte, soit en amont du bassin de la rivière Salvail, au sud de Saint-Hyacinthe et en amont du bassin de la Yamaska Sud-Ouest (Annexe II, Figure 20). La production de phosphore par les engrais chimiques représente 35% de la production totale de phosphore dans le bassin.

### 3.3.7 Production d'azote et de phosphore dans les cinq sous-bassins agricoles

Dans les cinq sous-bassins, la contribution humaine à la production d'azote et de phosphore est inférieure respectivement à 2%(N) et 6%(P) de la production totale. L'élevage contribue jusqu'à 80% de la production totale

d'azote et jusqu'à 75% de la production totale de phosphore. La contribution due à l'utilisation d'engrais chimiques varie entre 11% et 25% de la production totale d'azote et entre 24% et 39% de la production totale de phosphore (Tableau 21).

Ces cinq bassins furent spécialement étudiés en raison de leurs activités strictement agricoles. Pour chacun des bassins on remarque les caractéristiques suivantes:

<u>Bassins</u>	<u>Principales caractéristiques agricoles</u>
Barbue	Elevage des porcs et des poulets
Chibouet	Culture du foin et de l'avoine
Saint-Nazaire	Culture du foin et de l'avoine; élevage des bovins
Salvail	Culture de l'avoine, du foin et du maïs; élevage des poulets
Runnets	Faible proportion de sol mis en culture

### 3.4 Qualité de l'eau, charges d'azote et de phosphore dans cinq sous-bassins agricoles

#### 3.4.1 Echantillonnage

L'échantillonnage débuta en janvier 1974, pour se terminer en décembre de la même année, à raison de treize passes réparties uniformément au cours de l'année. Quatre à cinq échantillons furent prélevés par période de vingt-quatre heures à chaque station d'échantillonnage. Les stations furent choisies au point le plus près possible de l'embouchure du cours d'eau considéré (Figures 8, 11 à 15). Trois échantillons représentant l'intégration

TABLEAU 21a: Production spécifique d'azote dans les cinq sous-bassins agricoles

No de la station	Identification du sous-bassin	Superficie du bassin km <sup>2</sup>	Production spécifique d'azote (kg/km <sup>2</sup> -jr) <sup>1</sup>				
			Totale	Population animale	Cultures engraisées	Population humaine desservie par un réseau d'égouts	Population humaine non desservie par un réseau d'égouts
1	Salvail	198	16.97	12.50 (74)	4.22 (25)	0.041 (0.2)	0.21 (1.0)
2	Saint-Nazaire	114	16.36	13.64 (83)	2.19 (13)	0.035 (0.2)	0.50 (3.0)
3	Barbue	101	23.81	20.72 (87)	2.72 (11)	0.038 (0.2)	0.33 (1.0)
4	Chibouet	149	16.39	13.07 (80)	3.14 (19)	0.014 (0.1)	0.15 (1.0)
5	Runnets	86	10.05	8.77 (87)	1.15 (11)	0.000 (0.0)	0.13 (1.0)

(1) Les chiffres entre parenthèses correspondent aux pourcentages relatifs

TABLEAU 21b: Production spécifique de phosphore dans les cinq sous-bassins agricoles

No de la station	Identification du sous-bassin	Superficie du bassin km <sup>2</sup>	Production spécifique de phosphore (kg/km <sup>2</sup> -jr) <sup>1</sup>				
			Totale	Population animale	Cultures engraisées	Population humaine desservie par un réseau d'égouts	Population humaine non desservie par un réseau d'égouts
1	Salvail	198	4.11	3.08 (75)	1.00 (24)	0.004 (0.1)	0.022 (1.0)
2	Saint-Nazaire	114	4.42	3.10 (70)	1.30 (29)	0.003 (0.1)	0.018 (0.4)
3	Barbue	101	7.32	5.74 (78)	1.54 (21)	0.004 (0.1)	0.034 (0.5)
4	Chibouet	149	4.89	2.99 (61)	1.88 (38)	0.001 (<0.1)	0.016 (0.3)
5	Runnets	86	2.84	2.08 (73)	0.75 (26)	0.000 (0.0)	0.017 (1.0)

(1) Les chiffres entre parenthèses correspondent aux pourcentages relatifs.

verticale et horizontale de la colonne d'eau furent prélevés à chaque station; un échantillon composé était alors préparé.

### 3.4.2 Concentrations d'azote et de phosphore

Les concentrations des diverses formes d'azote et de phosphore pour chaque série d'échantillons sont présentées dans les Tableaux 22 à 25. Les variations des concentrations apparaissent aux Figures 19 à 28.

#### *Azote*

Pour les différents composés azotés, nous observons les phénomènes suivants:

- pendant la période estivale, les concentrations d'ammoniaque sont minimales sauf dans les eaux du bassin de la rivière Salvail;
- au début du mois d'avril, les concentrations d'ammoniaque sont très élevées dans les eaux de tous les bassins;
- les concentrations d'azote organique augmentent pendant les périodes estivale et automnale;
- le comportement des nitrites-nitrates est très variable d'un bassin à l'autre.

L'augmentation des concentrations d'azote organique et la diminution des concentrations d'ammoniaque en été coïncident avec l'intensification de l'activité biologique. L'ammoniaque est directement assimilable par les organismes autotrophes (Lunin, 1971; Keeny, 1972); les formes inorganiques d'azote sont alors transformées en azote organique. Notons de plus que les températures élevées peuvent favoriser la volatilisation de l'ammoniaque, s'il se présentait des conditions anoxiques (Bartholomew et Clark, 1965; Keeny, 1972).

TABLEAU 22: Concentrations des diverses formes d'azote dans l'eau des cinq sous-bassins agricoles (mg N/l, échantillon filtré)

Date	Jour d'échantillonnage de l'année	Barbue		Chibouet		Saint-Nazaire		Salvail		Runnets		
		NO <sub>2-3</sub>	NH <sub>3</sub>	N org.								
	9	1.96	0.70	1.04	0.68	1.37	0.55	0.92	0.58	0.33	0.20	0.16
	45	1.36	0.74	1.20	0.81	1.02	2.64	0.90	2.78	0.45	0.51	0.24
	72	0.40	0.63	0.89	0.32	0.73	0.36	0.53	0.38	0.30	0.12	0.18
	93	0.99	1.80	0.93	1.69	0.79	1.43	0.77	1.04	0.68	1.03	0.22
	121	1.43	0.61	1.02	0.51	0.63	0.51	0.32	0.31	0.53	0.21	0.42
	155	0.80	0.19	0.40	0.27	0.52	0.22	0.51	0.02	0.60	0.06	0.47
	184	0.86	0.36	0.86	0.17	0.59	0.19	0.38	0.45	1.08	0.10	0.46
	204	1.20	0.28	1.01	0.30	0.66	0.08	0.41	0.66	0.28	0.10	0.36
	236	0.65	0.20	0.74	0.37	0.59	0.22	0.15	0.11	0.12	0.20	0.22
	260	2.54	0.27	0.48	0.54	1.48	0.22	0.30	0.02	0.29	0.21	0.17
	289	1.10	0.35	0.62	3.24	0.63	0.16	0.52	0.29	0.53	0.18	0.20
	316	0.14	0.52	0.80	0.36	0.96	0.28	0.37	1.10	0.68	0.22	0.43
	352	2.02	0.73	0.96	1.33	1.57	0.49	0.19	1.00	0.02	0.32	0.20
Moyenne annuelle pondérée <sup>1</sup>		1.04	0.74	0.90	0.81	0.83	0.71	0.31	1.11	0.63	0.31	0.35
Ecart type		0.68	0.42	0.23	0.85	0.43	0.71	0.13	1.04	0.76	0.15	0.27

(1) Moyenne annuelle pondérée =  $\frac{\sum C_i Q_i}{\sum Q_i}$

$C_i$ : concentration moyenne journalière

$Q_i$ : débit moyen journalier

TABLEAU 23: Concentrations des diverses formes d'azote dans l'eau des cinq sous-bassins agricoles (mg N/l, échantillon non filtré)

Date d'échantillonnage	Jour de l'année	Barbue		Chibouet		Saint-Nazaire		Salvail		Runnets						
		NH <sub>3</sub>	N. org.	N tot.	NH <sub>3</sub>	N org.	N tot.	NH <sub>3</sub>	N org.	N tot.	NH <sub>3</sub>	N org.	N tot.			
09/01/74	9	0.95	0.38	2.29	0.86	1.41	2.32	0.71	0.29	2.37	0.91	0.39	2.22	0.27	0.20	0.80
14/02/74	45	0.82	0.34	2.59	0.05	0.44	2.49	2.83	0.52	4.37	2.94	0.67	4.51	0.58	0.27	1.30
13/03/74	72	0.66	0.54	1.60	0.34	0.55	1.78	0.37	0.39	1.49	0.42	0.34	1.29	0.13	0.22	0.65
03/04/74	93	2.16	0.32	3.47	1.74	0.20	2.87	1.45	0.20	2.44	1.64	0.85	3.26	1.03	0.36	2.05
01/05/74	121	0.69	0.26	2.38	0.58	0.44	2.04	0.58	0.40	1.61	0.35	0.67	2.41	0.24	0.53	0.98
04/06/74	155	0.21	0.73	1.74	0.31	1.10	1.81	0.25	0.64	1.41	0.03	0.76	1.24	0.07	0.59	0.74
03/07/74	184	0.41	0.55	1.82	0.19	0.98	2.03	0.21	0.48	1.28	0.51	1.36	5.87	0.11	0.57	0.91
23/07/74	204	0.30	0.57	2.07	0.34	1.20	2.55	0.09	0.46	1.21	0.74	0.49	3.68	0.06	0.48	0.64
20/08/74	236	0.23	0.52	1.40	0.42	0.61	1.77	0.25	0.19	1.03	0.13	0.23	0.61	0.14	0.33	0.67
17/09/74	260	0.30	0.39	3.23	0.96	0.57	2.01	0.23	0.41	2.12	0.05	0.33	0.59	0.17	0.36	0.74
16/10/74	289	0.39	0.70	2.19	3.88	2.32	6.84	0.16	0.63	1.42	0.30	0.64	1.41	0.21	0.60	0.89
12/11/74	316	0.58	1.24	1.96	0.40	0.80	2.08	0.31	0.47	1.74	0.42	0.89	2.41	0.46	0.50	1.18
18/12/74	352	0.74	0.42	3.18	1.35	0.64	2.95	0.55	0.24	2.36	1.16	0.43	2.39	0.21	0.26	0.79
Moyenne annuelle pondérée <sup>1</sup>		0.85	0.47	2.13	0.88	0.65	2.23	0.76	0.40	1.85	0.79	0.59	1.58	0.37	0.42	1.63
Ecart type		0.51	0.26	0.71	1.02	0.56	1.34	0.75	0.15	0.87	0.81	0.31	1.57	0.27	0.15	0.39

$$^1 \text{ Moyenne annuelle pondérée} = \frac{\sum C_i Q_i}{\sum Q_i}$$

C<sub>i</sub>: concentration moyenne journalière

Q<sub>i</sub>: débit moyen journalier

TABLEAU 24: Concentrations des diverses formes de phosphore dans l'eau des cinq sous-bassins agricoles (mg P/l, échantillon filtré)

Date	Jour	Barbue		Chibouet		Saint-Nazaire		Salvail		Rumets			
		P inorg.	P org. <sup>2</sup>	P inorg.	P org.	P inorg.	P org.	P inorg.	P org.	P inorg.	P org.		
09/01/74	9	0.04	0.01	0.05	0.03	0.06	0.02	0.01	0.03	0.07	0.01	0.01	0.02
14/02/74	45	0.03	0.02	0.05	0.06	0.07	0.09	0.02	0.11	0.21	0.04	0	0.04
13/03/74	72	0.04	0.01	0.05	0.04	0.05	0.02	0.02	0.04	0.05	0.01	0.01	0.02
03/04/74	93	0.15	0.03	0.18	0.14	0.17	0.09	0.03	0.12	0.13	0.16	0.11	0.14
01/05/74	121	0.10	0	0.10	0.05	0.05	0.04	0	0.04	0.06	0.07	0.04	0.05
04/06/74	155	0.14	0.01	0.15	0.14	0.15	0.09	0	0.09	0.05	0.06	0.01	0.10
03/07/74	184	0.07	0.06	0.13	0.21	0.24	0.01	0.08	0.09	0.02	0.10	0.02	0.10
23/07/74	204	0.11	0.19	0.30	0.17	0.26	0.05	0.01	0.06	0.48	0.01	0.02	0.03
20/08/74	236	0.08	0.04	0.12	0.08	0.11	0.03	0.04	0.07	0.02	0.04	0.05	0.06
17/09/74	260	0.11	0.02	0.13	0.09	0.11	0.05	0.02	0.07	0.04	0.05	0.03	0.05
16/10/74	289	0.04	0.01	0.05	0.06	0.07	0.04	0.01	0.05	0.06	0.03	0.01	0.04
12/11/74	316	0.05	0.02	0.07	0.05	0.08	0.03	0.01	0.04	0.10	0.05	0.03	0.03
18/12/74	352	0.04	0	0.04	0.06	0.07	0.02	0	0.02	0.11	0.02	0.08	0.10
Moyenne annuelle pondérée <sup>1</sup>		0.08	0.06	0.14	0.09	0.14	0.05	0.04	0.09	0.11	0.17	0.05	0.07
Ecart type		0.04	0.05	0.07	0.06	0.07	0.03	0.02	0.03	0.12	0.04	0.03	0.04

<sup>1</sup> Moyenne annuelle pondérée =  $\frac{\sum C_i Q_i}{\sum Q_i}$

$\sum Q_i$

$C_i$ : concentration moyenne journalière

$Q_i$ : débit moyen journalier

<sup>2</sup> P org. = P total - P inorganique

TABLEAU 25: Concentrations des diverses formes de phosphore dans l'eau des cinq sous-bassins agricoles (mg P/l, échantillon non filtré)

Date	Jour	Barbue		Chibouet		Saint-Nazaire		Salvail		Runnets						
		P inorg.	P org. <sup>2</sup>	P inorg.	P org.	P inorg.	P org.	P inorg.	P org.	P inorg.	P org.					
09/01/74	9	0.06	0.05	0.11	0.06	0.03	0.09	0.05	0.02	0.07	0.09	0.03	0.12	0.02	0.01	0.03
14/02/74	45	0.05	0.02	0.07	0.09	0.03	0.12	0.15	0.01	0.16	0.31	0.03	0.34	0.05	0.01	0.06
13/03/74	72	0.08	0.03	0.11	0.06	0.03	0.09	0.05	0.02	0.07	0.09	0.02	0.11	0.02	0.02	0.04
03/04/74	93	0.24	0.03	0.27	0.23	0.03	0.26	0.14	0.06	0.20	0.23	0.03	0.26	0.15	0.05	0.20
01/05/74	121	0.17	0	0.17	0.08	0	0.08	0.06	0.01	0.7	0.10	0.01	0.11	0.07	0.01	0.08
04/06/74	155	0.24	0.01	0.25	0.24	0	0.24	0.15	0	0.15	0.09	0.01	0.10	0.16	0.01	0.17
03/07/74	184	0.09	0.12	0.21	0.27	0.11	0.38	0.01	0.13	0.14	0.02	0.14	0.16	0.04	0.11	0.15
23/07/74	204	0.19	0.30	0.49	0.27	0.06	0.33	0.10	0.01	0.11	0.57	0.32	0.89	0.03	0.01	0.04
20/08/74	236	0.13	0.06	0.19	0.09	0.05	0.14	0.07	0.02	0.09	0.05	0.02	0.07	0.06	0.01	0.07
17/09/74	260	0.12	0.03	0.15	0.12	0.02	0.14	0.09	0.02	0.11	0.07	0.02	0.09	0.06	0	0.06
16/10/74	289	0.05	0.06	0.11	0.13	0.10	0.23	0.09	0.01	0.10	0.13	0.01	0.14	0.03	0.01	0.04
12/11/74	316	0.11	0.01	0.12	0.07	0.01	0.08	0.06	0	0.06	0.14	0.04	0.18	0.05	0	0.05
18/12/74	352	0.07	0.02	0.09	0.07	0.01	0.08	0.03	0.01	0.04	0.12	0.09	0.21	0.03	0.10	0.13
Moyenne annuelle pondérée <sup>1</sup>		0.14	0.05	0.19	0.14	0.08	0.22	0.09	0.01	0.10	0.17	0.06	0.23	0.07	0.03	0.10
Ecart type		0.07	0.08	0.11	0.08	0.03	0.10	0.04	0.04	0.05	0.15	0.09	0.22	0.05	0.04	0.06

$$^1 \text{Moyenne annuelle pondérée} = \frac{\sum C_i Q_i}{\sum Q_i}$$

$C_i$ : concentration moyenne journalière

$Q_i$ : débit moyen journalier

(2) P org. = P total - P inorganique

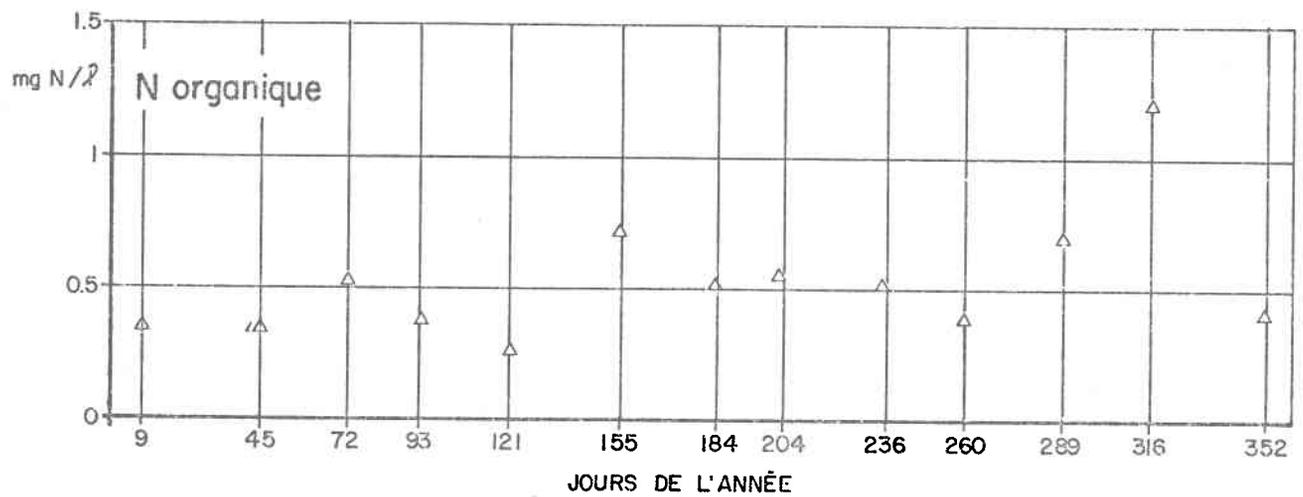
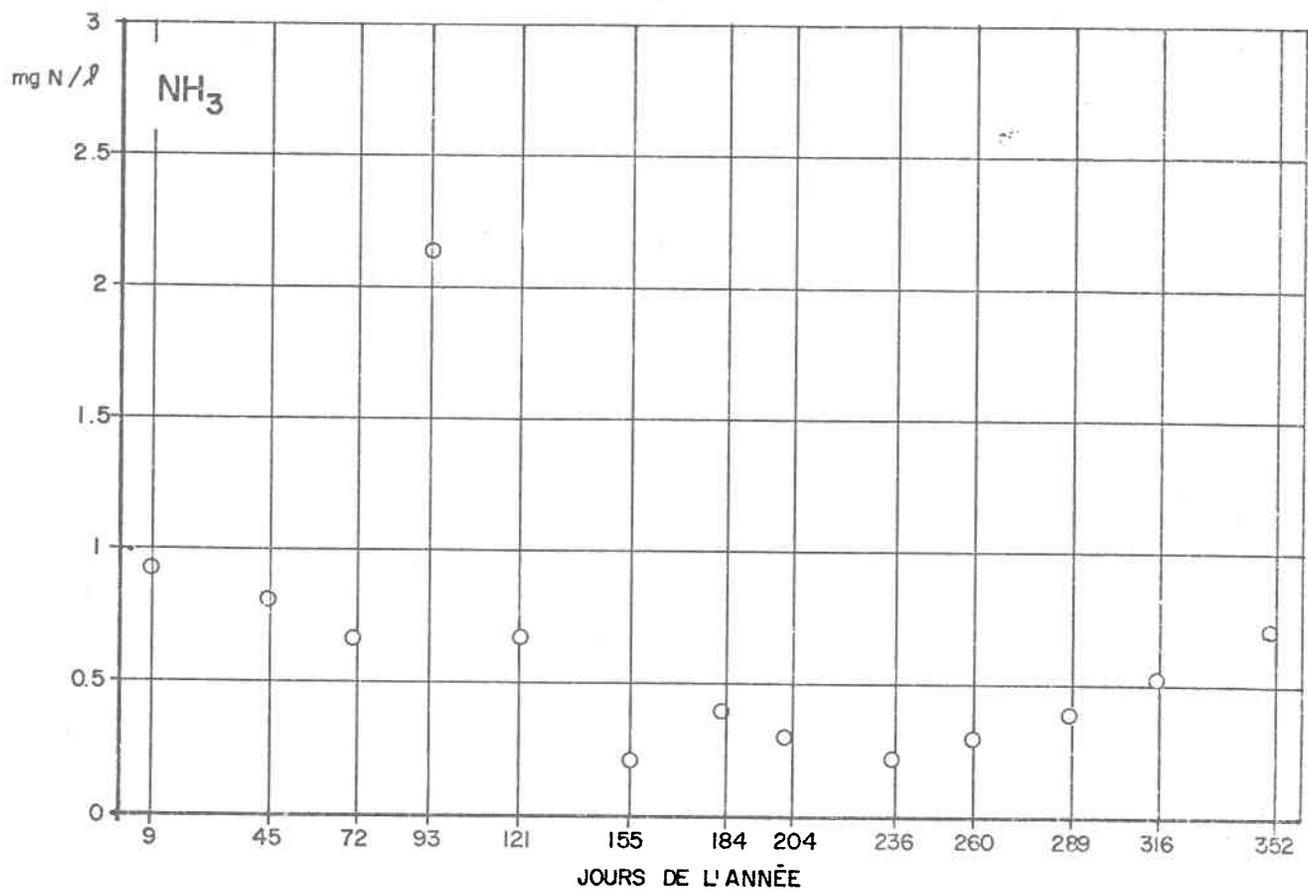


Fig .19a, b . Concentrations totales d'azote dans les eaux de la rivière Barbue .

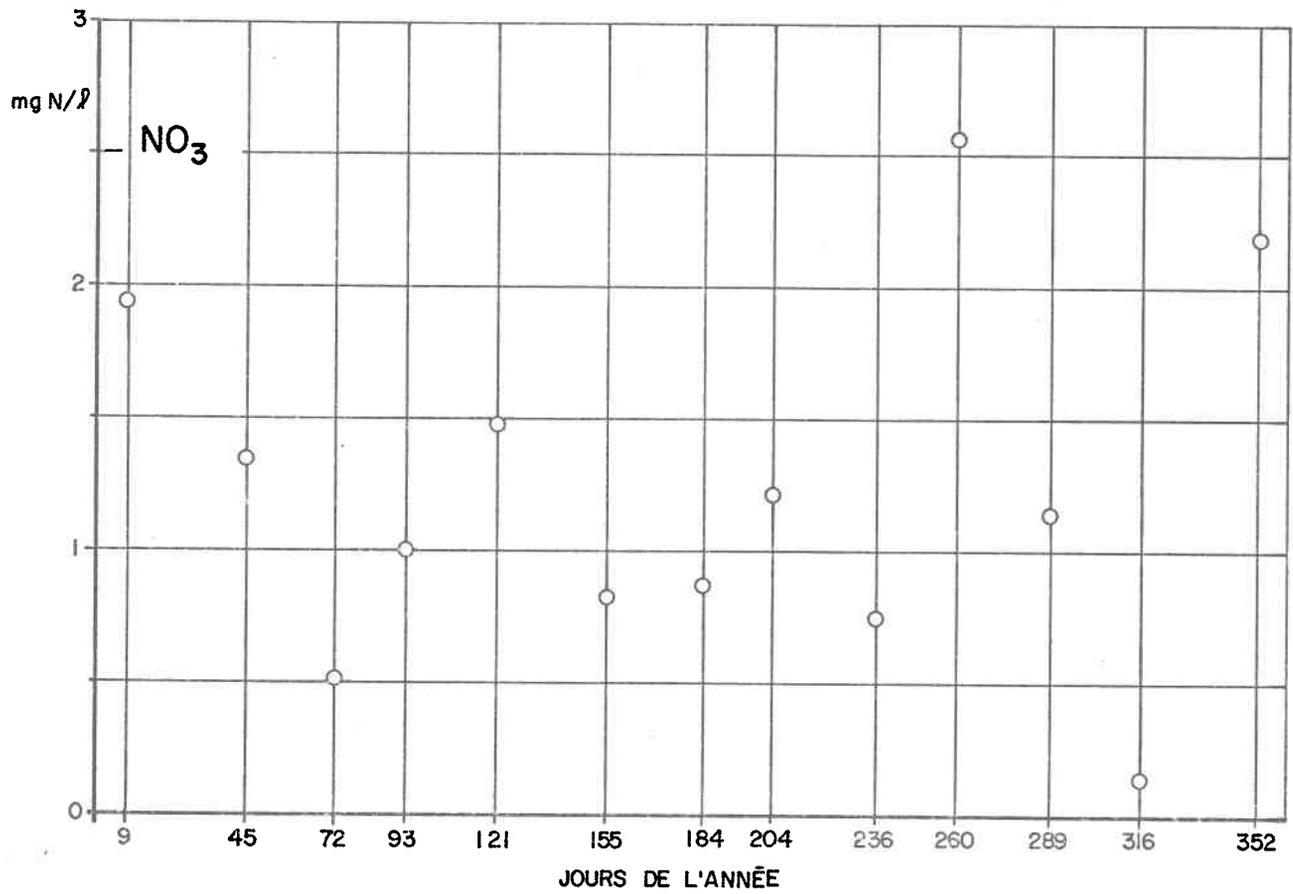


Fig. 19 c .Concentrations totales d'azote dans les eaux de la rivière Barbe .

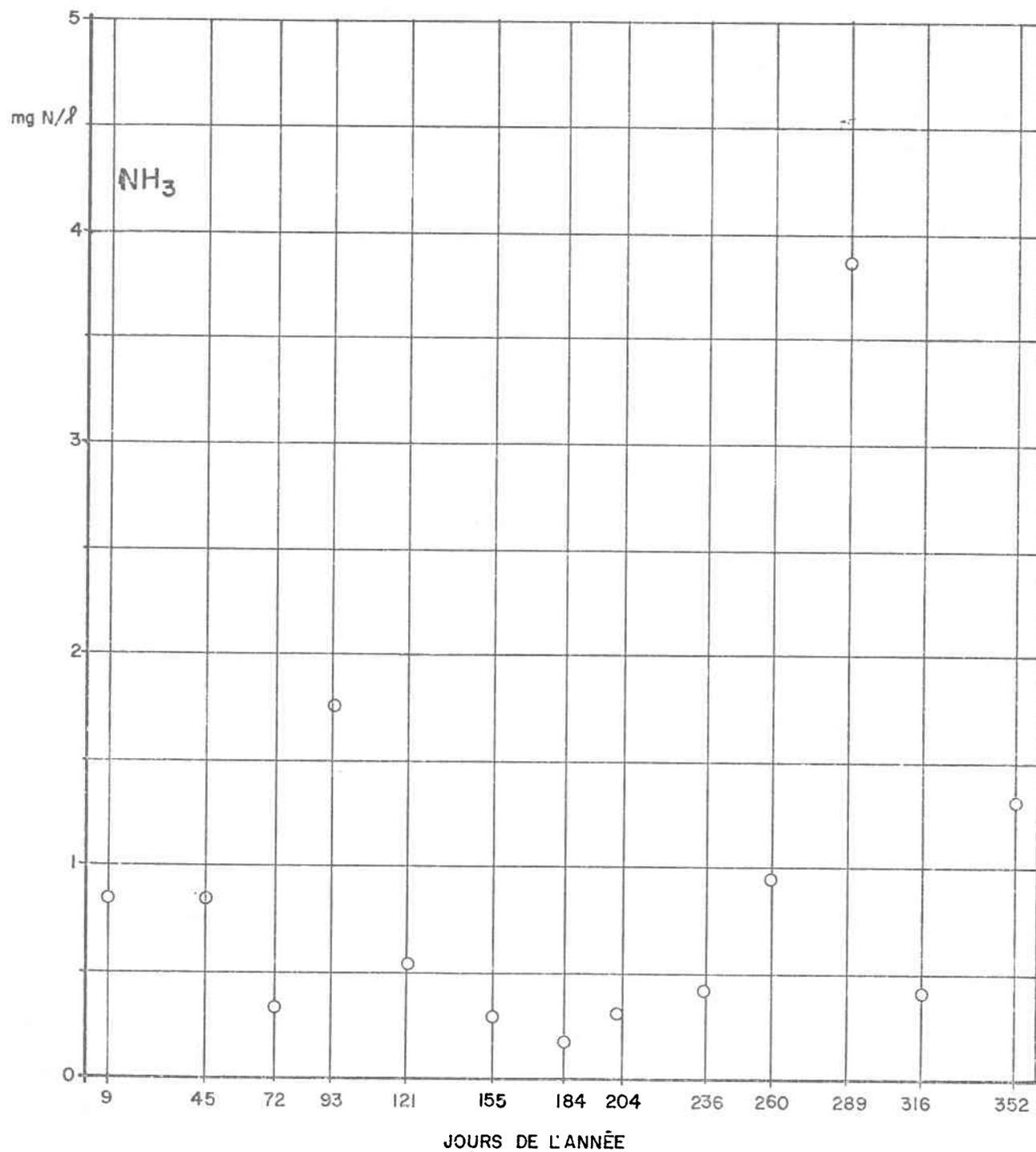


Fig. 20 a . Concentrations totales d'azote dans les eaux de la rivière Chibouet

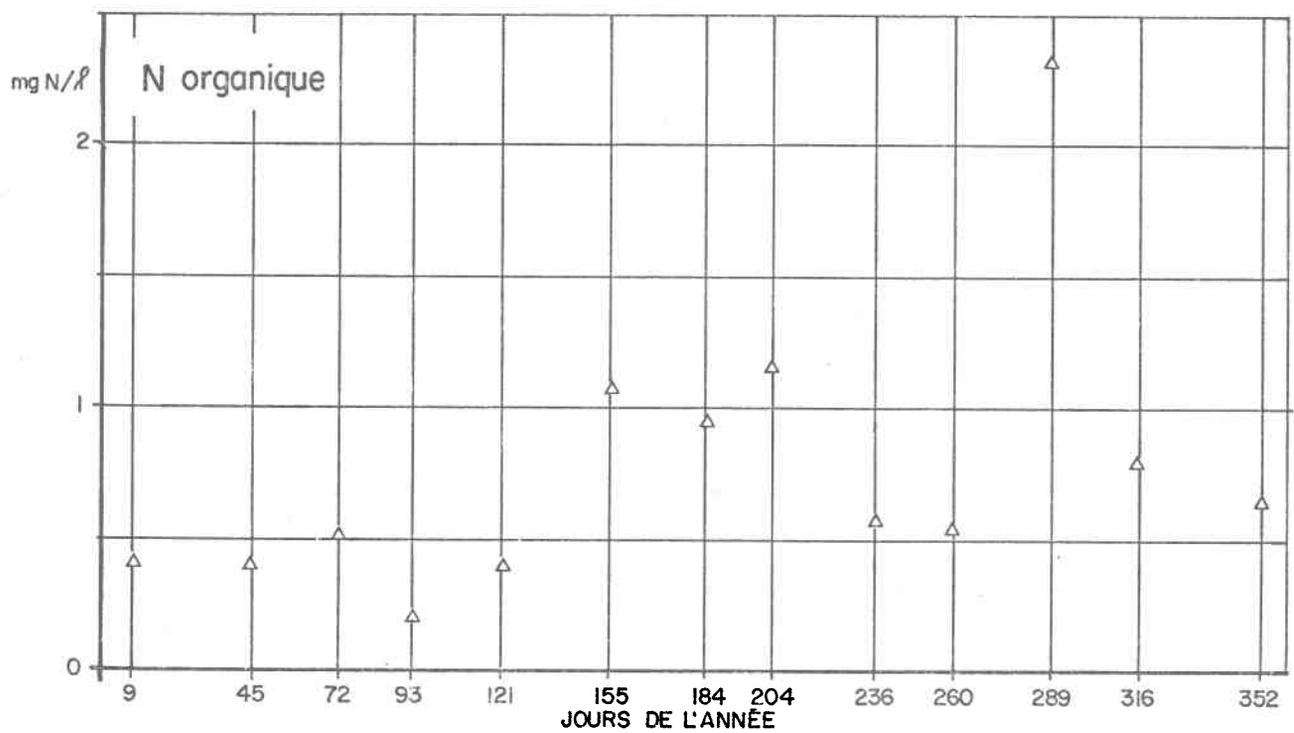
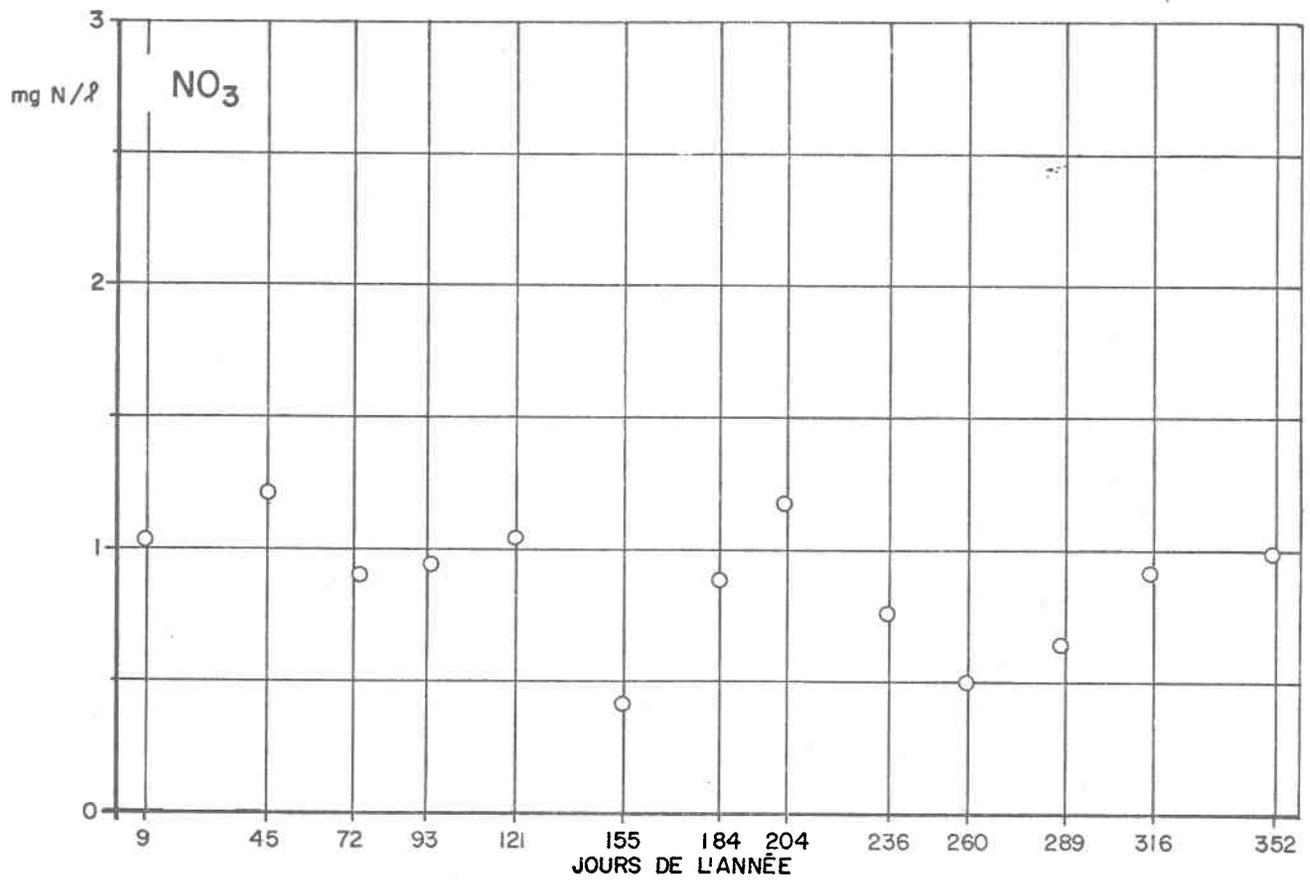


Fig. 20b,c . Concentrations totales d'azote dans les eaux de la rivière Chibouet .

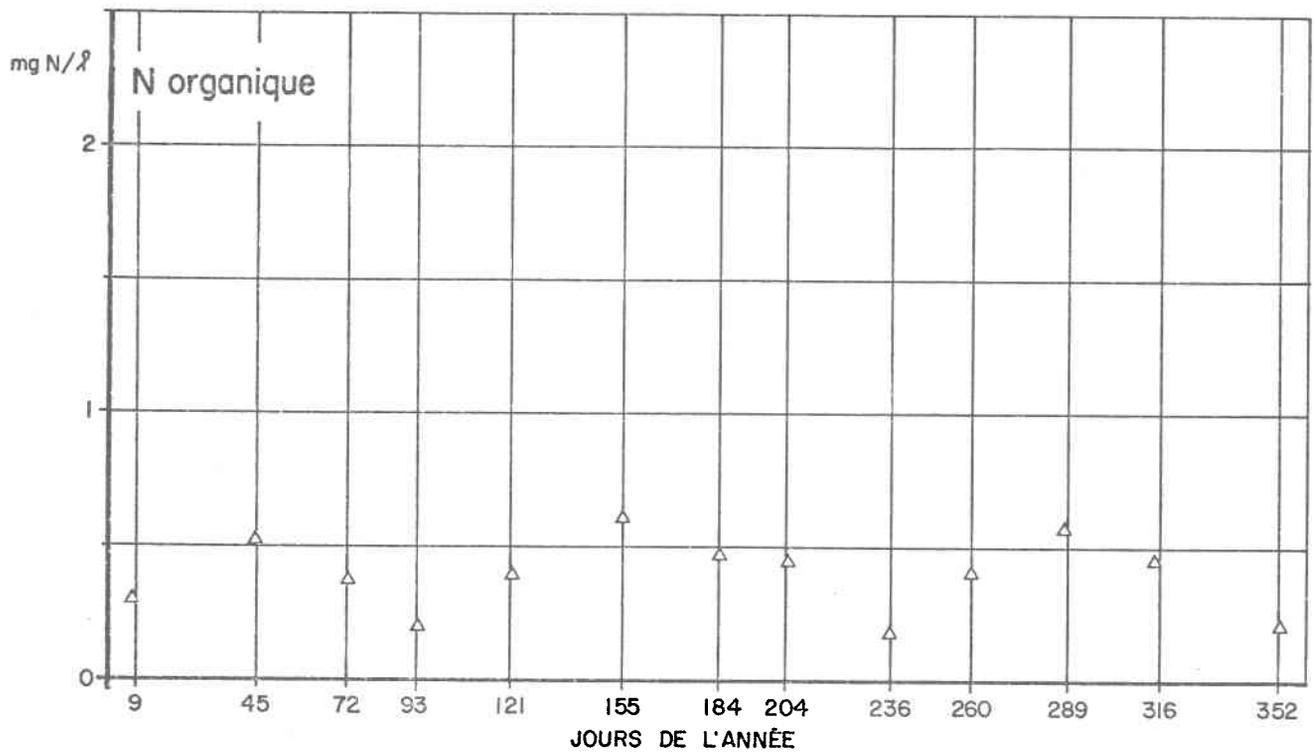
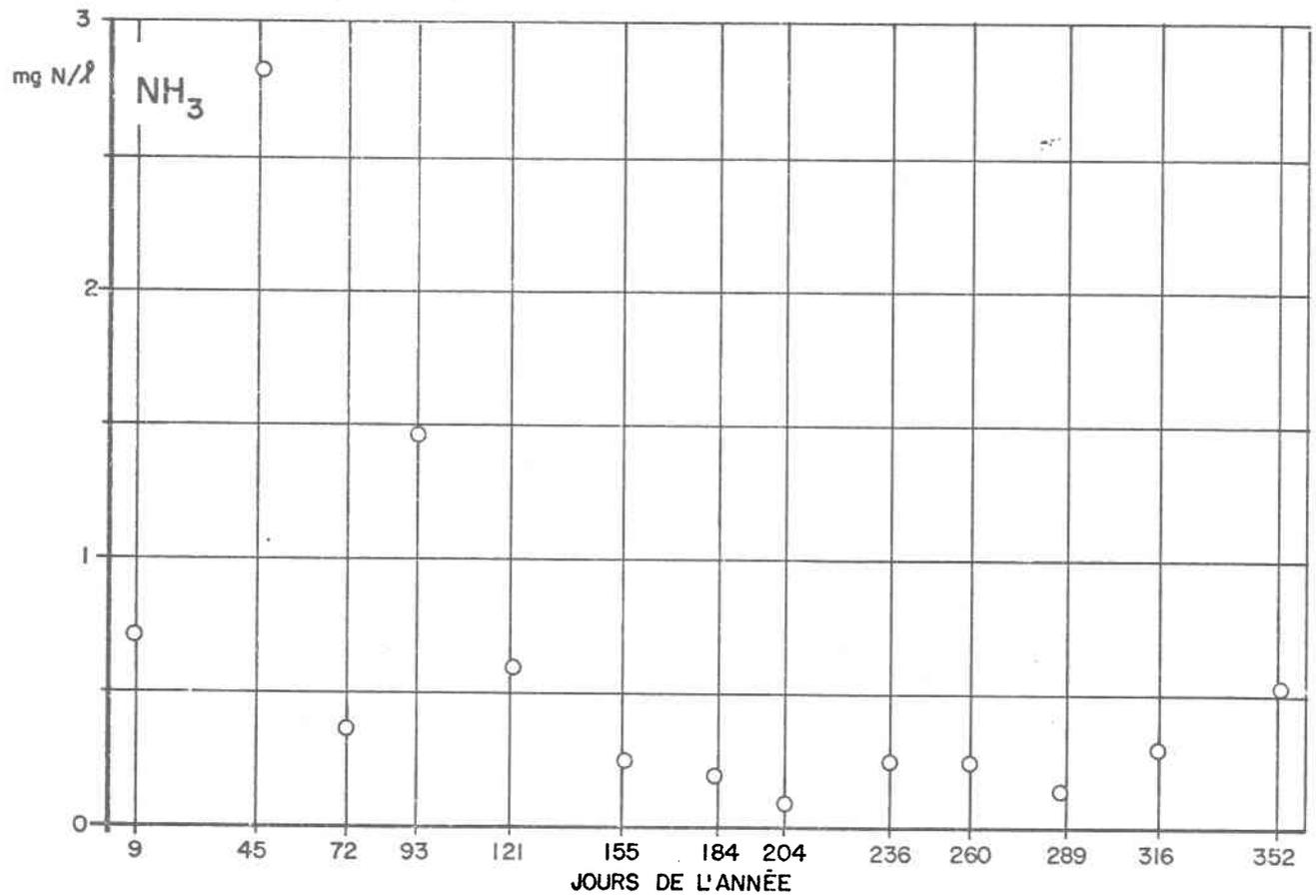


Fig. 21a, b. Concentrations totales d'azote dans les eaux de la rivière St-Nazaire.

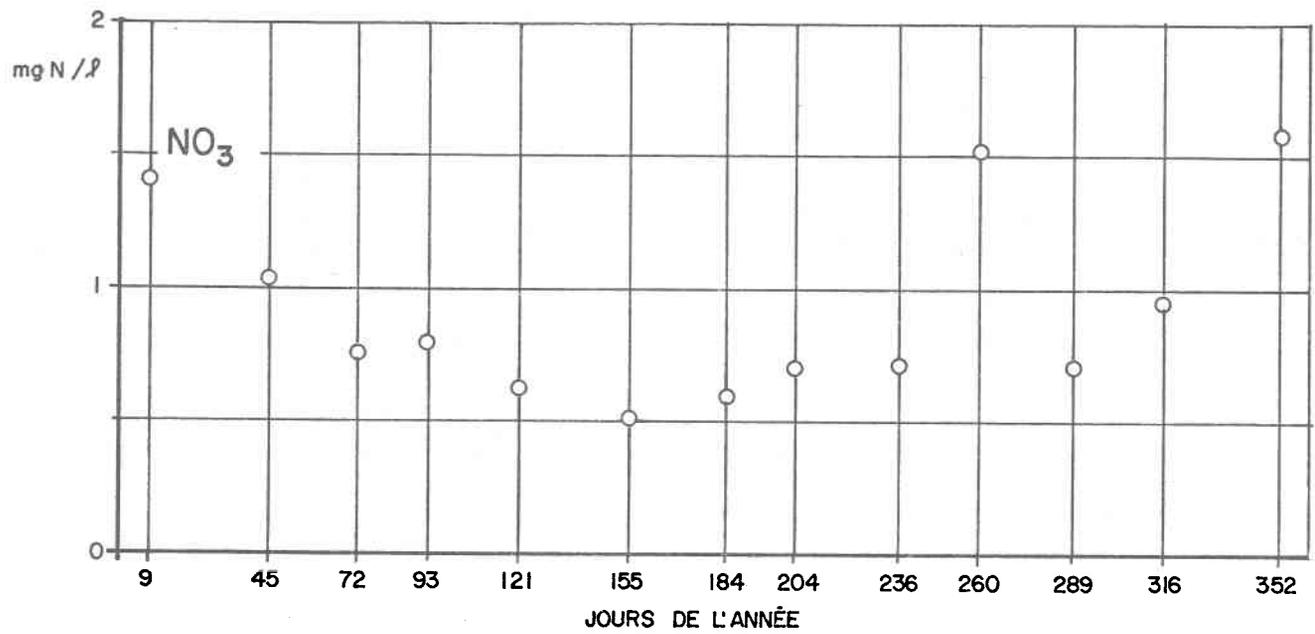


Fig. 21 c . Concentrations totales d'azote dans les eaux de la rivière St-Nazaire.

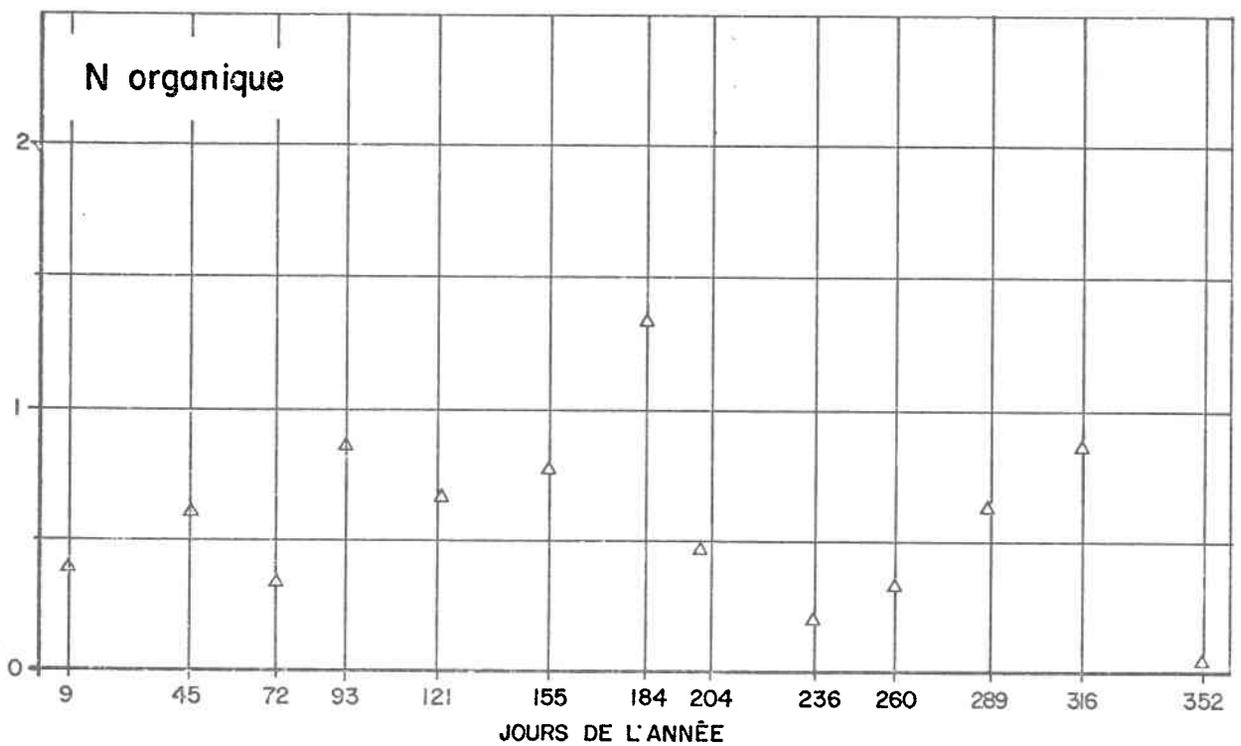
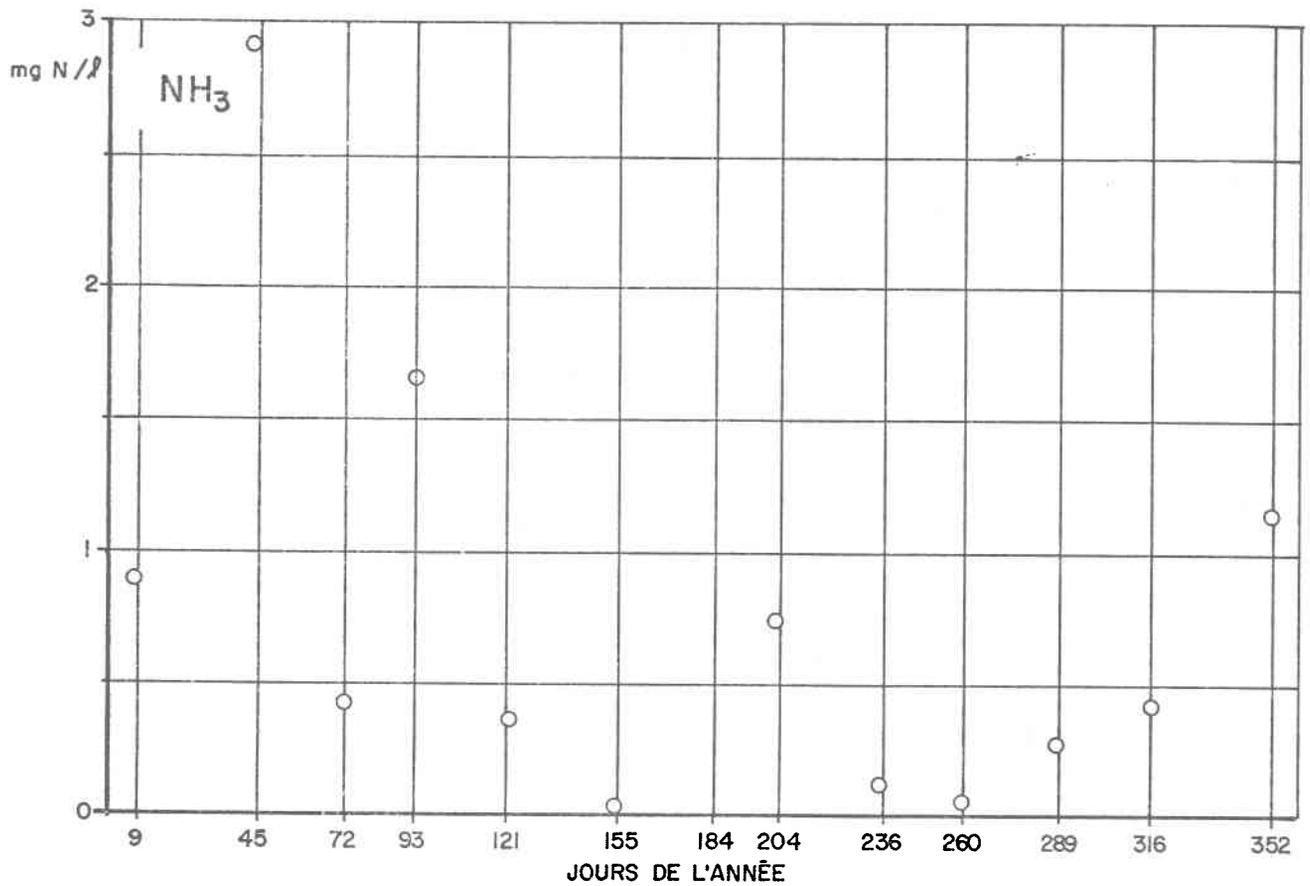


Fig .22a,b. Concentrations totales d'azote dans les eaux de la rivière Salvail .

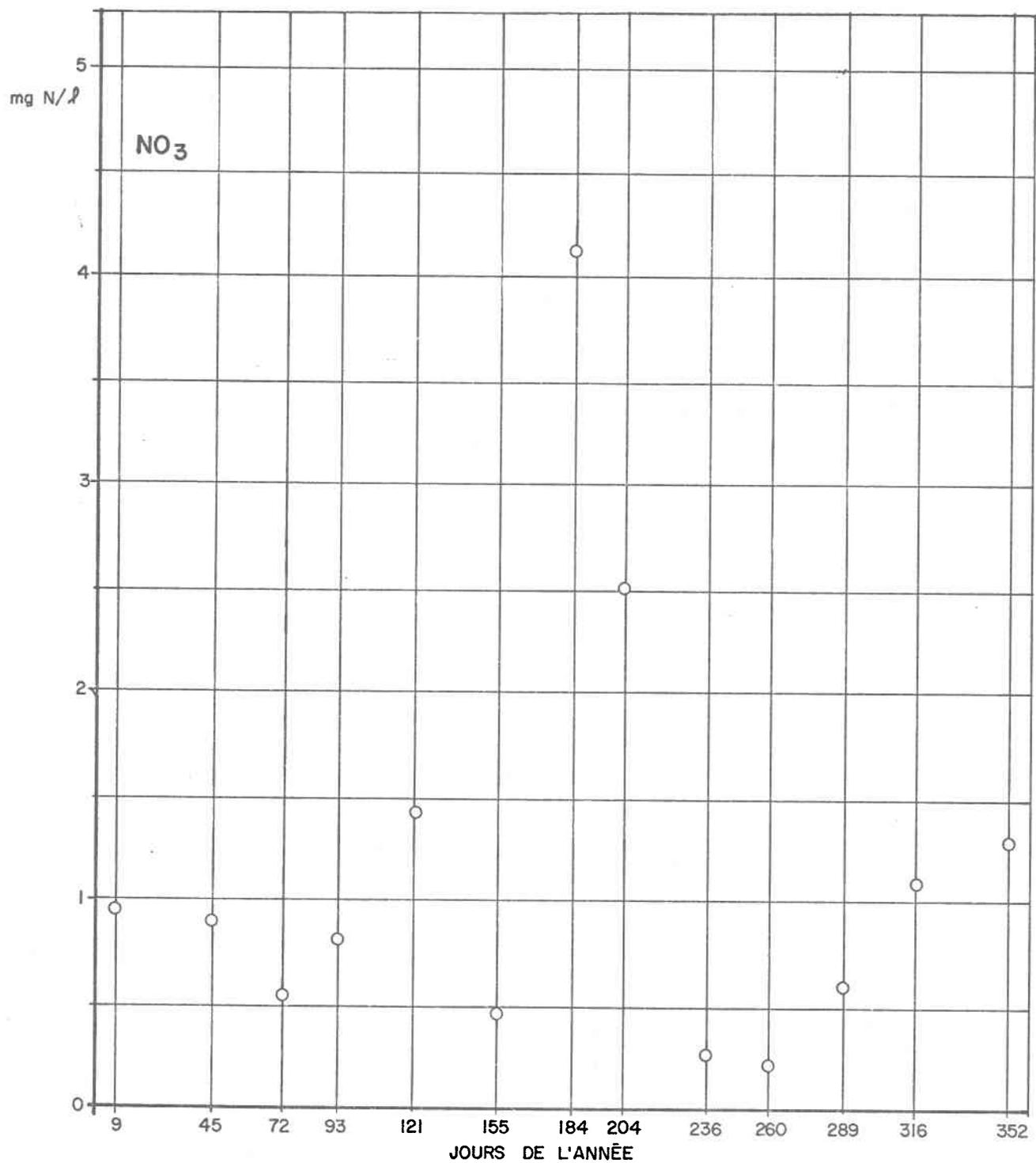


Fig.22c. Concentrations totales d'azote dans les eaux de la rivière Salvail .

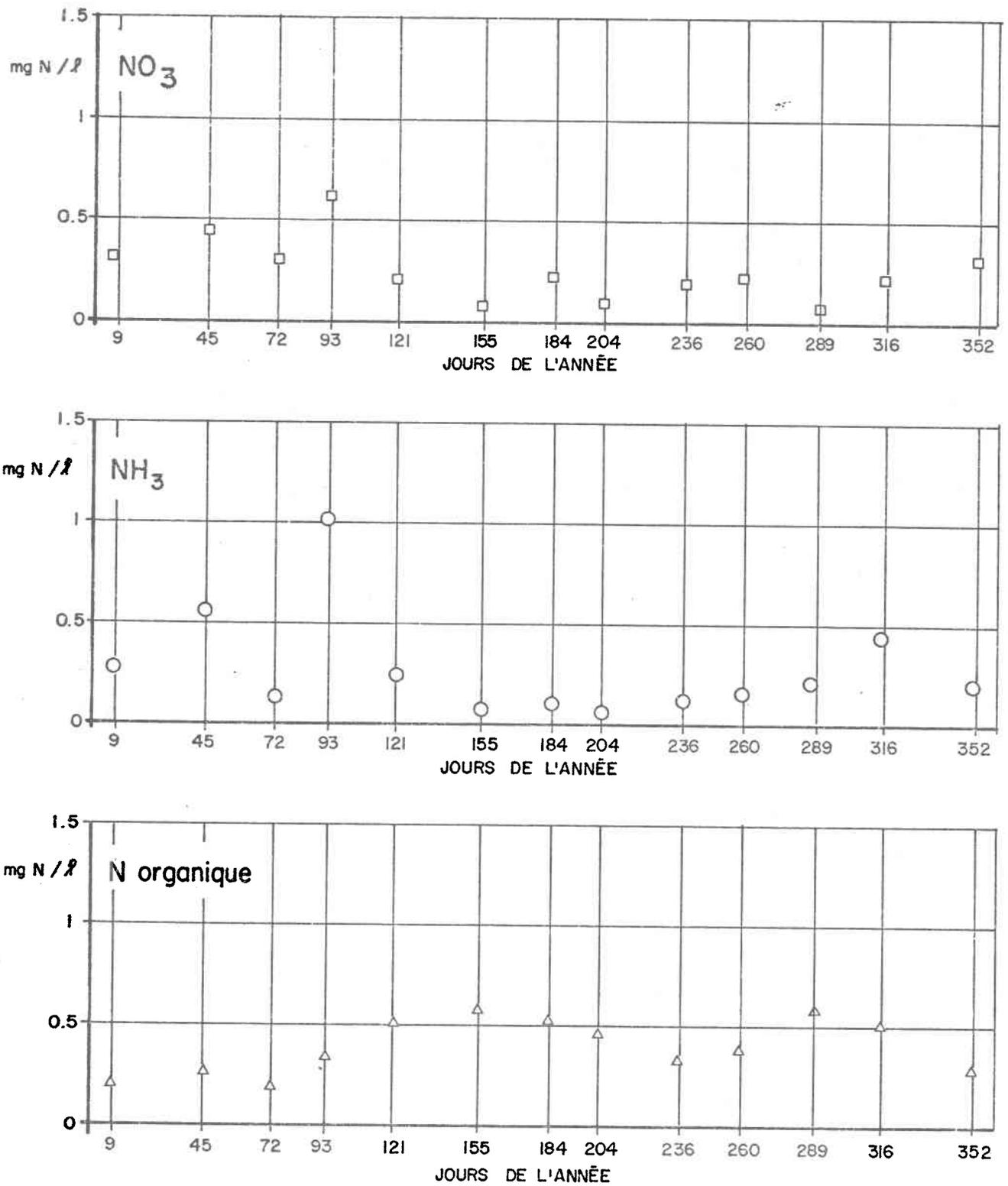


Fig. 23 a,b,c. Concentrations totales d'azote dans les eaux du ruisseau Runnets .

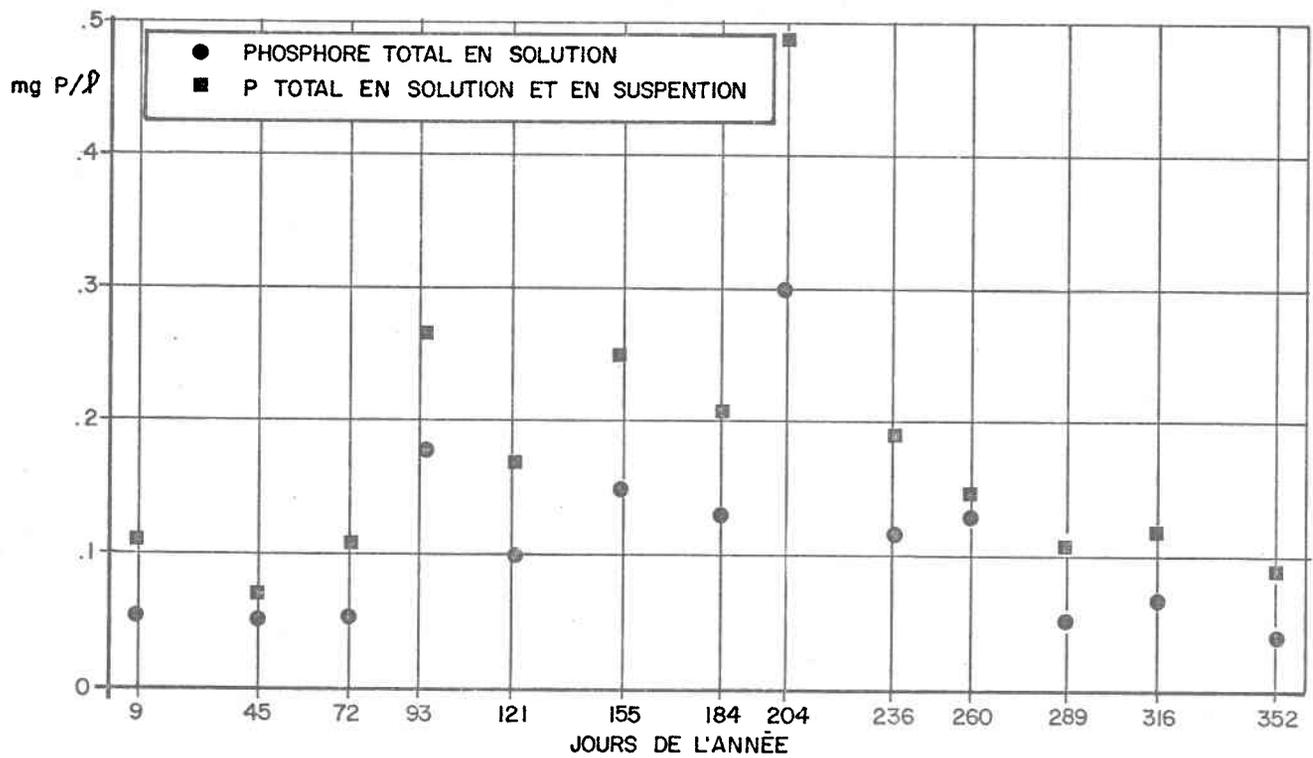
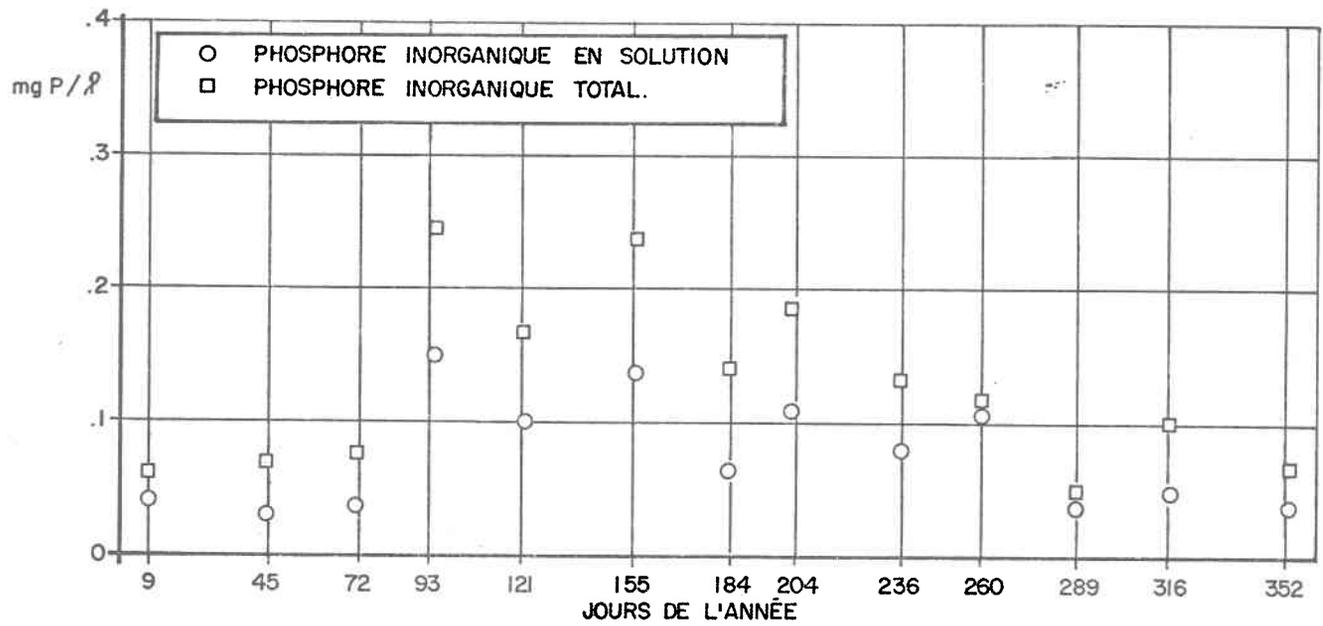


Fig .24a,b. Concentrations de phosphore dans les eaux de la rivière Barbe .

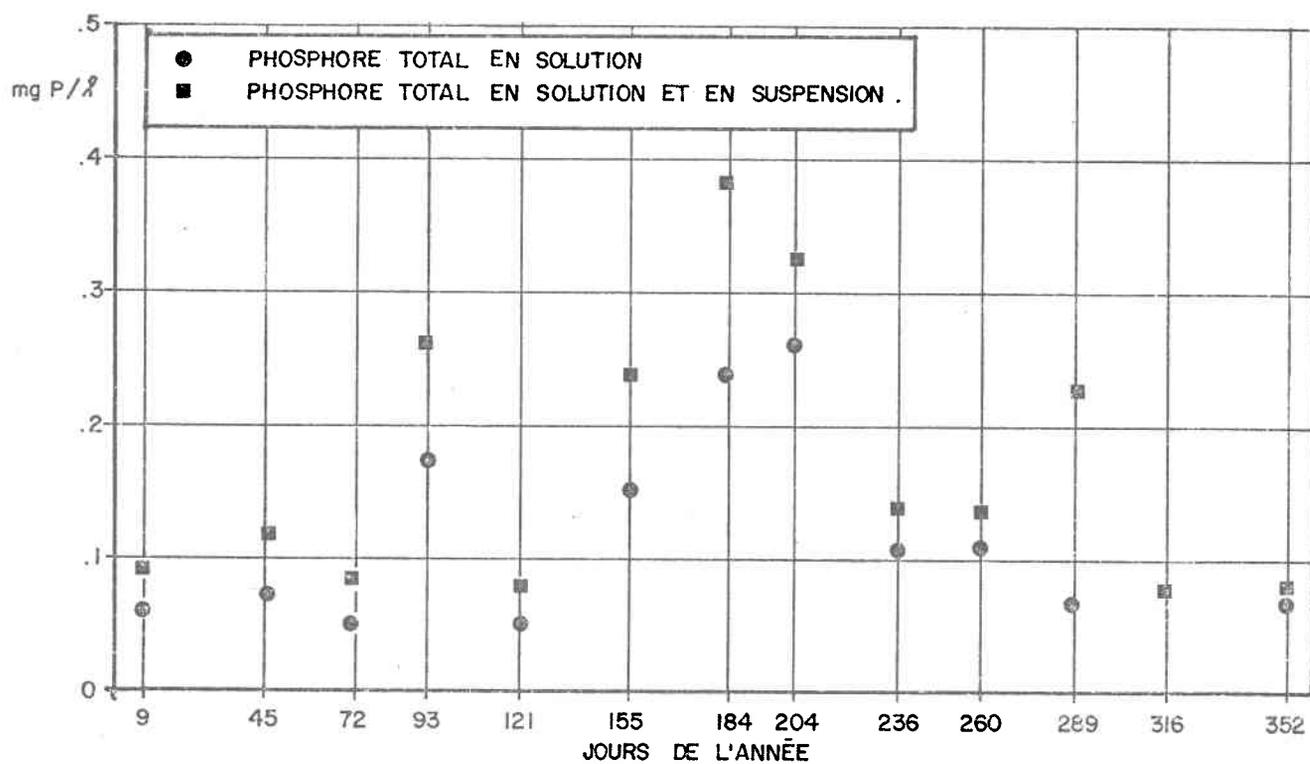
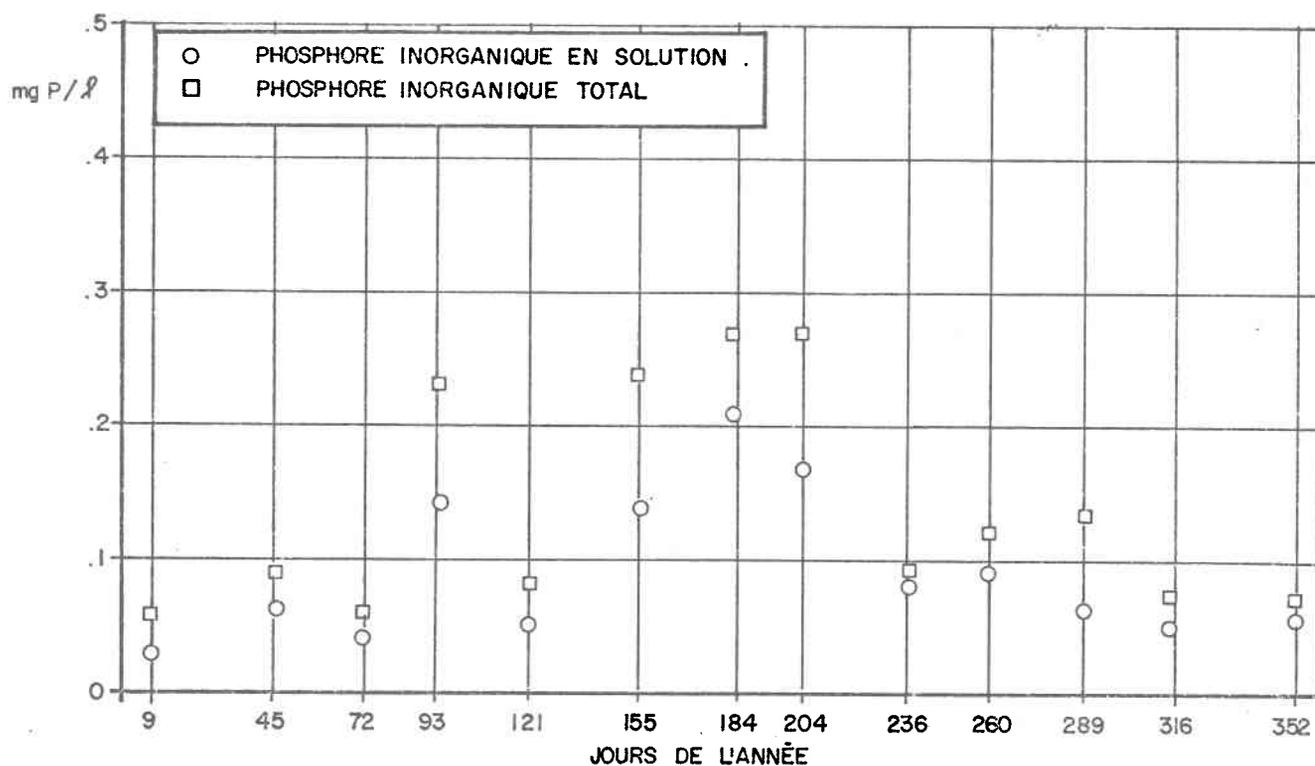


Fig.25a,b. Concentrations de phosphore dans les eaux de la rivière Chibouet.

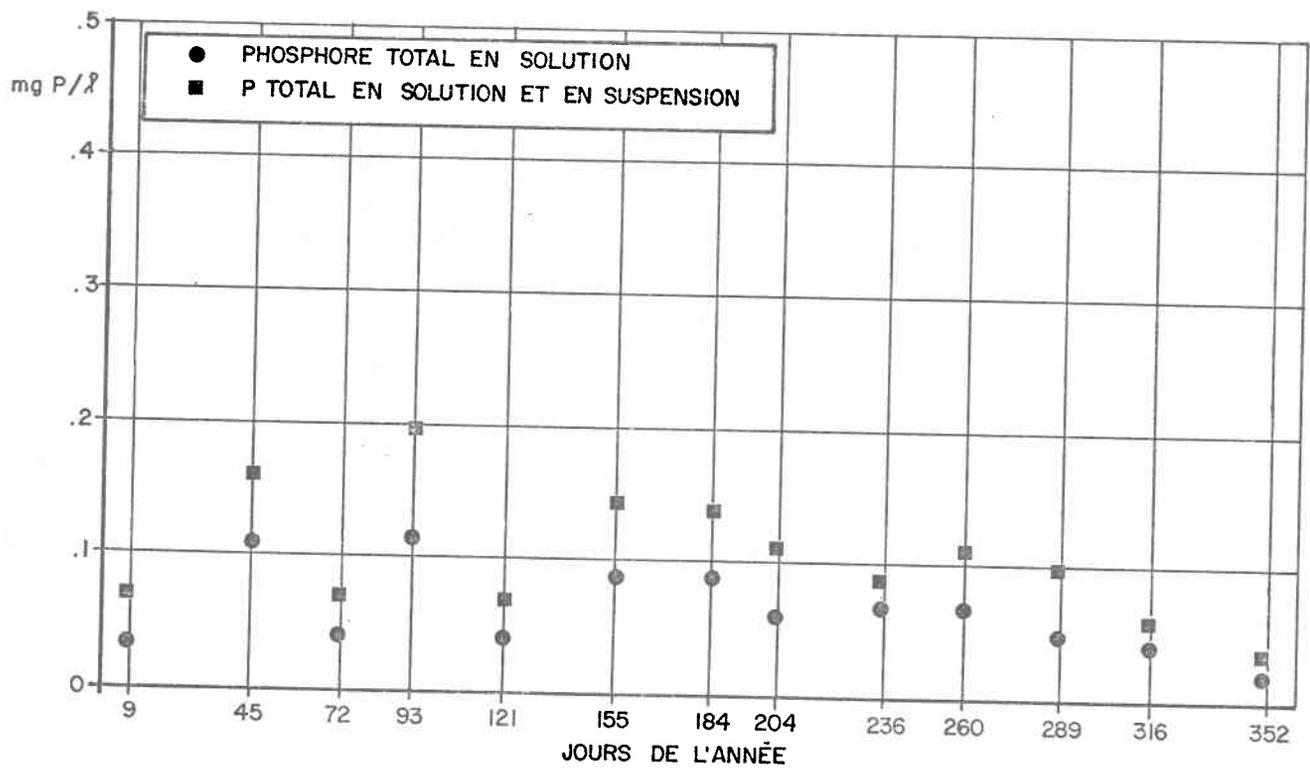
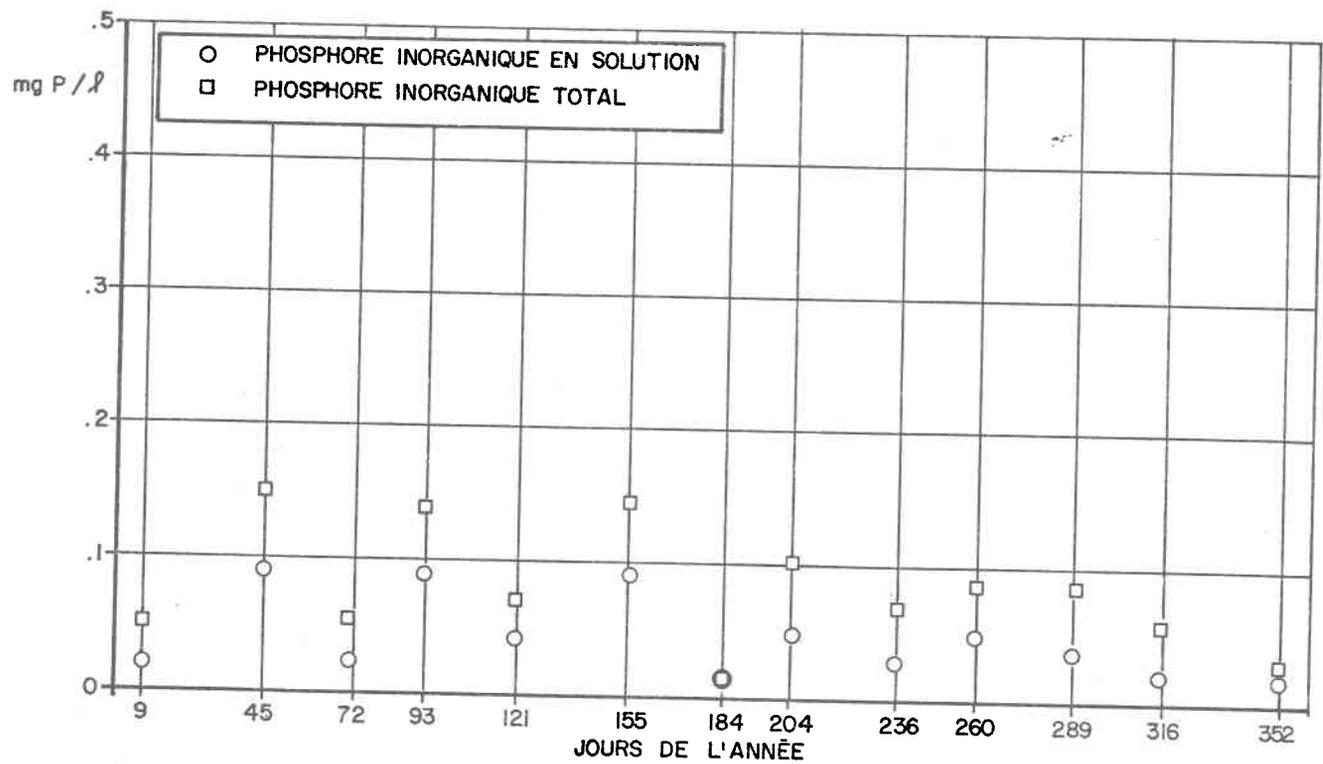


Fig. 26 a, b. Concentrations de phosphore dans les eaux de la rivière St-Nazaire.

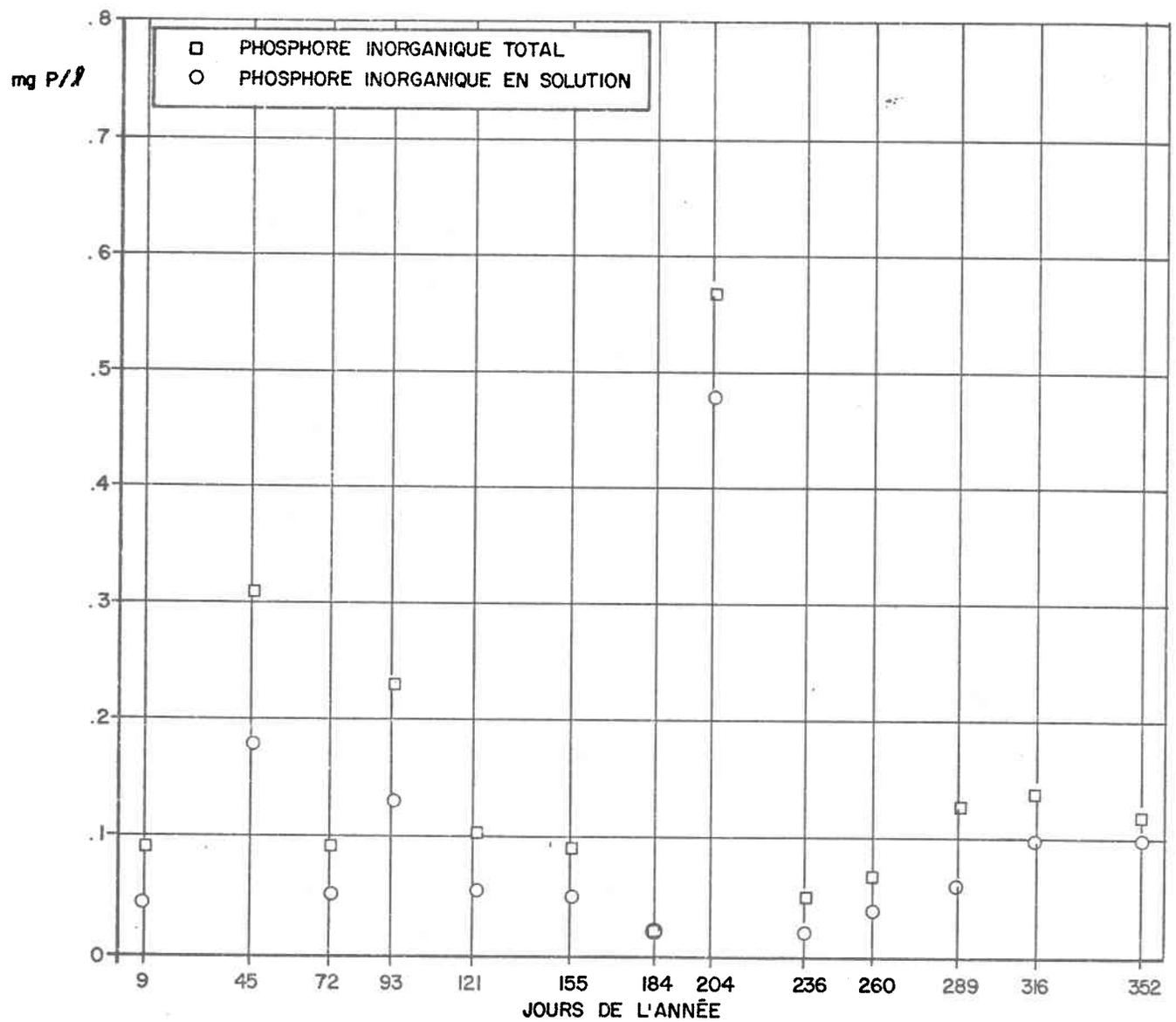


Fig. 27 a .Concentrations de phosphore dans les eaux de la rivière Salvail .

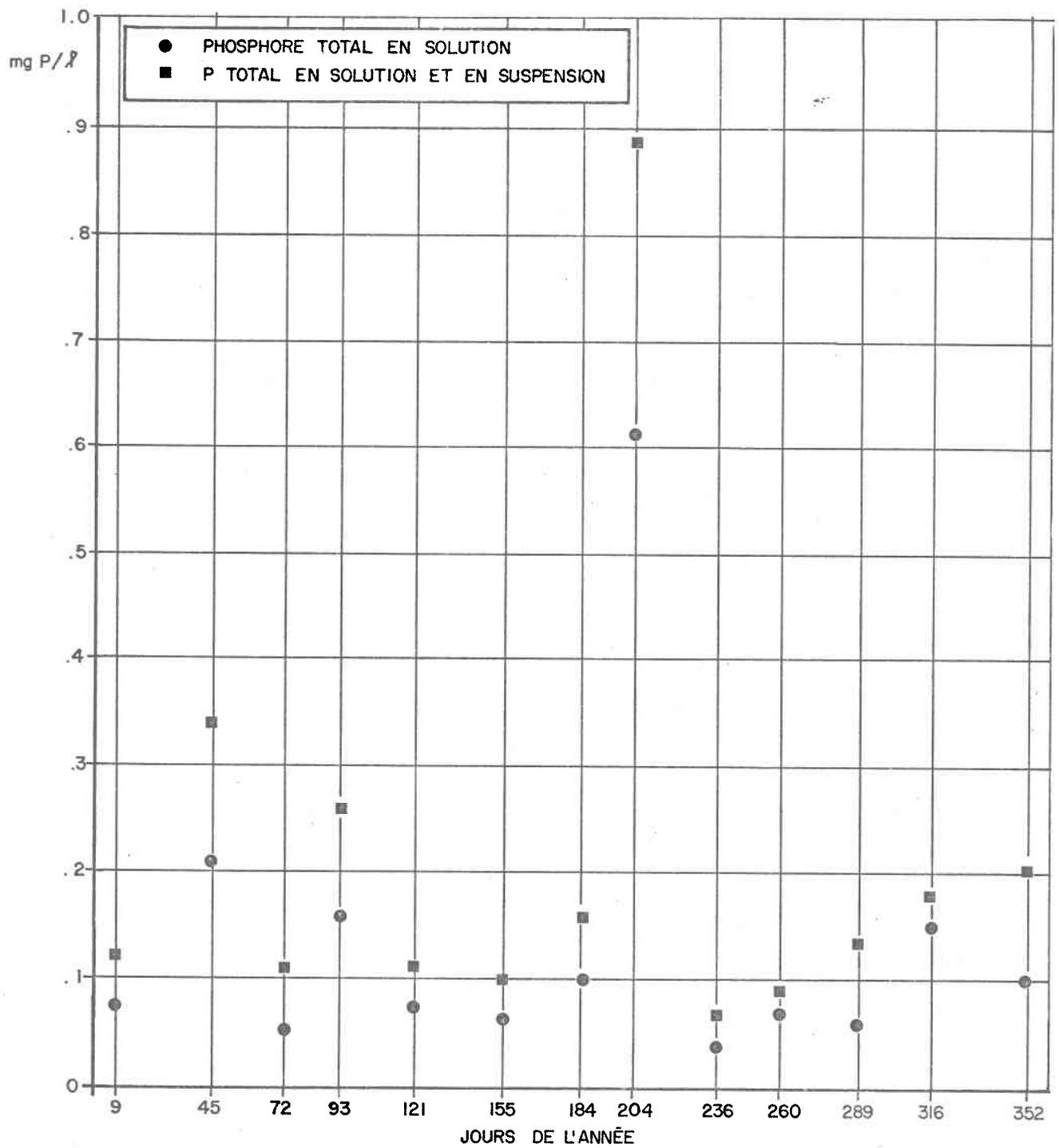


Fig.27 b .Concentrations de phosphore dans les eaux de la rivière Salvail .

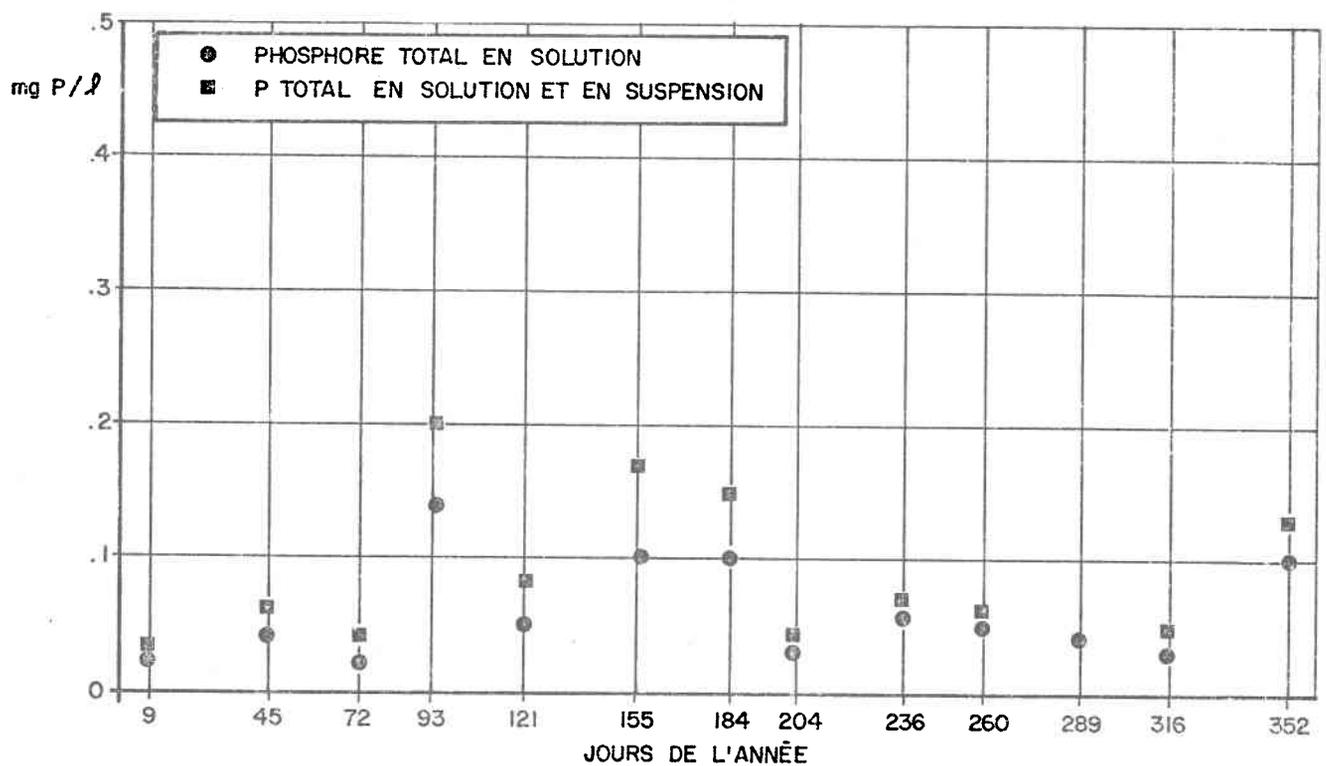
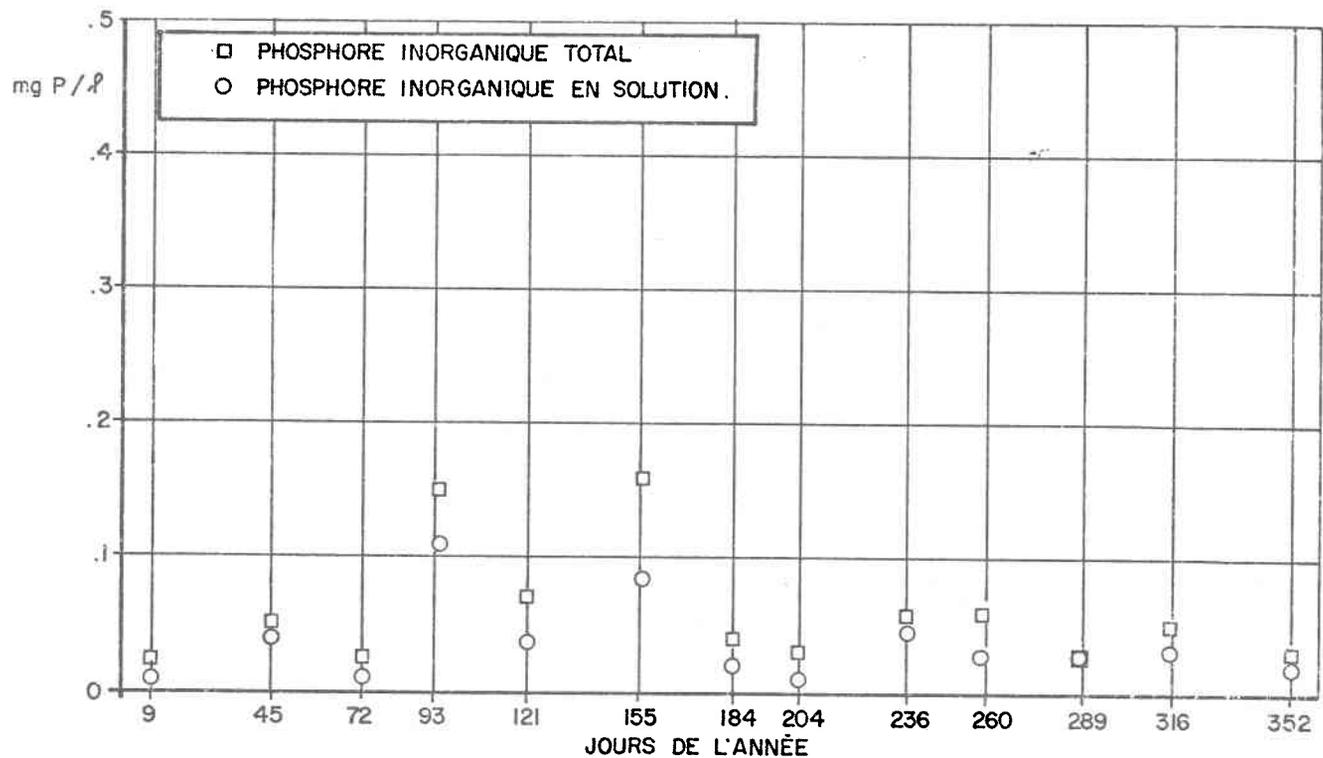


Fig.28 . Concentrations de phosphore dans les eaux du ruisseau Runnets.

L'augmentation des concentrations d'azote organique en automne serait attribuable à la dégradation de la végétation autant au niveau du sol que dans l'eau.

Au début d'avril, les concentrations élevées d'ammoniaque sont associées à la crue du printemps. A cette date, on remarque d'importantes précipitations sous forme de pluie (soit 0.91 cm et 0.89 cm pour les 2 et 3 avril; Anonyme, non publié). L'érosion des amas de fumier en cette période de l'année contribue de façon significative à la hausse de la teneur en ammoniaque dans les cours d'eau avoisinants. En effet, les concentrations d'ammoniaque dans le fumier en décomposition sont très élevées (McCalla *et al.*, 1970), et des études démontrent que l'érosion de l'ammoniaque à partir des "feedlots" est beaucoup plus importante que celle des nitrites-nitrates (Lunin, 1971). En regard avec cette hypothèse, nous constatons que les concentrations d'ammoniaque sont particulièrement élevées dans les eaux du bassin de la rivière Barbue où l'élevage est très intense (Annexe II, Figures 3 à 5, 9: Fig. 19a). De plus, le lessivage de l'ammoniaque accumulé dans le manteau nival (Hornbeck et Likens, 1974) jusqu'à ce jour peut contribuer aux concentrations élevées que l'on observe à cette période de l'année.

Le comportement des nitrites-nitrates est très variable d'un bassin à l'autre. Dans les eaux du bassin de la rivière Salvail, les concentrations sont très élevées pendant la période estivale; on note parallèlement que dans ce bassin plus de 75% du territoire est mis en culture et que l'usage des engrais azotés est très important (Tableau 21a; Figure 17, Annexe II, Figure 13). Ceci pourrait aussi expliquer les concentrations supérieures d'ammoniaque dans les eaux de ce bassin pendant l'été. Dans les eaux du ruisseau Runnets et de la rivière Saint-Nazaire, les concentrations de

nitrites-nitrates sont minimales pendant cette période. Ceci coïncide avec la période d'utilisation maximale des éléments nutritifs par les organismes autotrophes; les nitrates peuvent en effet être utilisés comme source d'azote par les plantes et les algues (Brezonik, 1972). De plus, l'usage des engrais azotés est relativement faible dans ce bassin. Dans le bassin de la rivière Chibouet, l'utilisation des engrais est élevée et l'on observe une augmentation des concentrations des nitrites-nitrates en été. Les teneurs de nitrites-nitrates varient de façon irrégulière dans les eaux du bassin de la rivière Barbue.

Dans l'ensemble, l'azote se présente principalement sous forme soluble (Tableau 26). Nous considérons que les nitrites-nitrates sont entièrement sous cette forme (Sylvester, 1961; Zeller et Lane, 1974). En moyenne 86% de l'ammoniaque total, 79% de l'azote organique total et 83% de l'azote total Kjeldahl se trouvent sous forme soluble. On note cependant d'importantes fluctuations dans ces rapports. Bien que ces valeurs soient plus élevées que celles mentionnées dans la littérature, elles se situent à l'intérieur des limites de variations déjà proposées (32% à 100%; Tableau 27).

Dans tous les cas, les concentrations d'azote assimilable ( $\text{NO}_{2-3}$ ,  $\text{NH}_4$  forme dissoute) dépassent la limite proposée pour le contrôle du développement des algues, soit 0.30 mg N/l. (Tableau 28). Bien que cette limite ait été proposé pour des milieux lacustres, nous la considérons valable dans la mesure où les problèmes de qualité sont transférés en aval dans des zones de stagnation (lacs, réservoirs) (Campbell *et al.*, 1976).

### Phosphore

Pour les différentes formes de phosphore, nous observons les variations suivantes: les concentrations de phosphore organique et inorganique

TABLEAU 26: Proportion d'azote en solution dans les eaux des cinq bassins agricoles

Bassin	$\left\{ \frac{\text{N organique (forme dissoute)}}{\text{N organique (total)}} \right\}$		$\left\{ \frac{\text{NH}_3 \text{ (forme dissoute)}}{\text{NH}_3 \text{ (total)}} \right\}$	
	%	s <sup>1</sup>	%	s <sup>1</sup>
Barbue	73.0	10.9	87.9	14.0
Chibouet	81.4	8.7	85.0	14.1
Saint-Nazaire	79.3	12.5	93.8	12.5
Salvail	77.0	12.7	77.1	15.9
Runnets	82.9	11.4	85.5	25.7
Moyenne	79		86	

(1) s: écart type

TABLEAU 27: Comparaison des proportions d'azote en solution dans différents bassins

$\left\{ \frac{\text{NTK}^2 \text{ (forme dissoute)}}{\text{NTK (total)}} \right\}$	$\left\{ \frac{\text{NTK}^2 \text{ (forme dissoute)}}{\text{N (total)}} \right\}$	Remarques	Référence
83% (32% à 100%)	58%	Eaux de drainage de cinq bassins agricoles	Cette étude
	36%	Eaux de ruissellement d'un bassin agricole	Sylvester (1961)
81% (67% à 100%)		Eaux de ruissellement dérivées de la fonte des neiges	Harms <i>et al.</i> (1974)
57% (32% à 88%)		Eaux de ruissellement dérivées de la pluie	Harms <i>et al.</i> (1974)

(2) NTK: azote total Kjeldahl (N organique + NH<sub>3</sub>)

TABLEAU 28: Concentrations critiques des substances nutritives dans les eaux naturelles (Campbell et al., 1976)

Auteur	Milieu	Paramètre	Forme	Concentration (µg/l de N ou P)	Remarques
Sawyer (1947)	lac	N-inorg. P-inorg.	S S	300 <sup>2</sup> 10 <sup>2</sup>	concentration au-delà desquelles il y a danger de fleurs d'eau ("bloom d'algues")
Sylvester (1961)	lac	N-NO <sub>3</sub> P-total	S S	200 <sup>2</sup> 10 <sup>2</sup>	concentrations au-delà desquelles il y a danger de fleurs d'eau ("bloom d'algues")
Vollenweider (1968)	lac	N-inorg.	S + P	<200	concentration donnant lieu à un état ultra-oligotrophe
				200-400	état oligo-mesotrophe
				300-650	état meso-eutrophe
				500-1500	état eu-polytrophe
				>1500	état polytrophe
		P-total	S + P	<5	concentration donnant lieu à un état ultra-oligotrophe
				5-10	état oligo-mesotrophe
				10-30	état meso-eutrophe
				30-300	état eu-polytrophe
				>100	état polytrophe
Dillon et Rigler (1975)	lac	P-total	S + P	10 <sup>2 3</sup>	concentration donnant lieu à des teneurs en chlorophylle-a de ~ 2 mg/l; récréation possible; pêche d'eaux froides
				56 <sup>2 3</sup>	concentration donnant lieu à des teneurs en chlorophylle-a de ~ 25 mg/l; pas de récréation; pêche d'eaux tièdes
Mackenthum (1968)	rivière (entrée d'un lac ou réservoir)	P-total	S + P	50	concentration au-delà de laquelle il y a danger de surproduction d'algues dans le lac ou le réservoir en aval
	rivière	P-total	S + P	100	concentration au-delà de laquelle il y a danger de surproduction d'algues dans le cours d'eau
Nisbet et Verneaux (1970)	rivière	N-NO <sub>3</sub>	(S) <sup>4</sup>	<225	eaux très peu productives
				225-675	eaux peu productives
				675-1130	eaux moyennement productives
				1130-2260	eaux très productives
				2260-3390	eaux polluées
				>3390	eaux nettement polluées
		N-NH <sub>4</sub>	S	<10	situation normale à douteuse
				10-1000	pollution insidieuse sensible
				≥1000	pollution critique
		Phosphates <sup>6</sup>	S	<10	eaux très peu productives
				10-50	eaux peu productives
				50-150	eaux moyennement productives
				150-300	eaux très productives
				300-500	eaux polluées
				>500	eaux nettement polluées
Wurhmann et Eichenburger (1975)	ruisseau expérimental	N-inorg. P-inorg.	S (S) <sup>7</sup>	500-700	concentrations au-delà desquelles la production de périphyton (microphytes) n'augmente plus
				8	
Wong et Clark (1976)	ruisseau	P-total	S + P	60	concentration au-delà de laquelle la production de <i>Cladophora</i> n'augmente plus

(1) Explication des symboles: S = soluble; P = particulaire.

(2) Concentration mesurée dans un lac à l'isothermie printanière (brassage vernal).

(3) Concentrations limites établies pour des lacs où le phosphore est le facteur chimique limitant la production primaire (rapport (N/P) >12 selon Dillon et Rigler, 1975).

(4) La forme des Nitrates n'est pas spécifiée; compte tenu de la chimie des nitrates, cependant, on peut supposer que la quasi-totalité de l'azote nitrique se trouve en solution.

(5) La forme de l'élément nutritif n'est pas spécifiée; contrairement aux cas (4) et (7), on ne peut faire d'hypothèse quant à la forme prédominante.

(6) Le paramètre n'est indiqué que par le sigle "phosphates"; il pourrait s'agir d'orthophosphates, de phosphore inorganique, de phosphore organique, ou encore de phosphore total.

(7) La forme du phosphore n'est pas spécifiée; puisqu'il s'agit d'une eau d'origine souterraine, cependant, on peut supposer que le phosphore était présent surtout sous forme soluble.

tendent vers un maximum pendant l'été et vers un minimum pendant l'hiver; ceci s'applique pour tous les sous-bassins sauf celui de la rivière Salvail; au début d'avril, les concentrations de phosphore inorganique sont très élevées dans tous les bassins.

Les concentrations élevées de phosphore organique pendant l'été coïncident avec l'accroissement de l'activité des organismes autotrophes. L'augmentation des concentrations de phosphore inorganique serait attribuable aux épandages d'engrais pendant la saison estivale. De plus, le lessivage du phosphore à partir de certaines cultures peut contribuer de façon significative à l'apport de phosphore aux eaux de surface (Holt *et al.*, 1970). Campbell *et al.*... (1976) observèrent un phénomène semblable dans le cas du bassin de la rivière Yamaska-Nord (sous-bassin de la rivière Yamaska). Ils attribuent alors cette hausse des concentrations à la diminution des débits et à la persistance des apports provenant de sources ponctuelles; il pourrait s'agir d'un phénomène semblable. Les sources ponctuelles dans le cas des cinq sous-bassins étudiés sont de nature agricole.

L'augmentation des concentrations de phosphore inorganique associée à la crue printanière serait attribuable à l'érosion des amas de fumier<sup>1</sup> et à l'érosion de la couche superficielle du sol. A cette période de l'année le sol est dénudé et particulièrement sujet à l'érosion.

Les concentrations de phosphore anormalement élevées dans les eaux de la rivière Salvail au mois de juillet sont difficilement explicables (Tableaux 24, 25). On serait tenté de croire à l'érosion excessive, mais à cette période aucune précipitation ne fut enregistrée (Anonyme, non publié).

<sup>1</sup>

Dans le fumier, le phosphore se présente principalement sous forme inorganique (Peperzak *et al.*, 1958).

Vu les fortes concentrations de phosphore organique et l'usage assez limité de fertilisants phosphorés dans ce bassin, il ne peut s'agir d'apports dérivés de la fertilisation. En fait ceci pourrait dériver de l'érosion accidentelle d'amas de fumier situés à proximité du cours d'eau; on note parallèlement à la hausse des concentrations de phosphore des concentrations plus élevées d'azote ammoniacal et des nitrites-nitrates.

En moyenne, 62% du phosphore total se présente sous forme soluble dans les cinq sous-bassins agricoles (Tableau 29). Les écarts sont cependant très prononcés (12% à 100%). Selon différents auteurs, ce rapport varie considérablement (Tableau 30). Plusieurs explications peuvent être suggérées. Jones *et al.*, (1976) rapportent que dans les eaux de ruissellement en provenance de "feedlots" les concentrations de phosphore sont très élevées et que seulement 25% du phosphore se trouvent sous forme solide; l'élevage intense dans les cinq sous-bassins serait alors responsable des fortes concentrations de phosphore en solution dans les eaux de surface. Mais les cultures peuvent aussi être considérées comme source potentielle de phosphore en solution; la rupture de la matière organique dérivée des plantes produit du matériel facilement soluble et transportable dans l'eau de ruissellement (Stoltenberg et White, 1953; Harms *et al.*, 1974). De plus Holt *et al.*, (1970) trouvèrent que la contribution de phosphore dissous dans les eaux de surface à proximité des cultures de foin était importante; le phosphore proviendrait du lessivage des plantes. Dans les bassins concernés, il est intéressant de noter que la principale culture est celle du foin (Tableau 19).

Dans tous les cas, les concentrations de phosphore assimilable<sup>1</sup> dépassent la limite proposée pour le contrôle du développement des algues,

<sup>1</sup> Phosphore assimilable = Phosphore inorganique (forme dissoute).

TABLEAU 29: Proportion de phosphore en solution dans les eaux des cinq bassins agricoles

Bassin	$\left. \begin{array}{l} \text{P inorganique (forme dissoute)} \\ \text{P inorganique (total)} \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} \text{P total (forme dissoute)} \\ \text{P total (total)} \end{array} \right\}$			
	%	s <sup>1</sup>	%	s <sup>1</sup>
Barbue	64	11	60	12
Chibouet	68	15	69	18
Saint-Nazaire	56	16	59	10
Salvail	63	21	60	11
Runnets	63	21	65	23

(1) s: écart type

TABLEAU 30: Comparaison des proportions de phosphore en solution dans différents bassins

$\left. \begin{array}{l} \text{P total (forme dissoute)} \\ \text{P total (total)} \end{array} \right\}$	Remarques	Référence
63% (12%-100%)	Eaux de drainage de 5 bassins agricoles	Cette étude
54% (23%-98%)	Eaux de ruissellement dérivées de la fonte des neiges	Harms <i>et al.</i> (1974)
38% (12%-68%)	Eaux de ruissellement dérivées de la pluie	Harms <i>et al.</i> (1974)
7%-10%	Eaux de drainage dans 4 bassins agricoles du Missouri	Schuman <i>et al.</i> (1975)
59%	Eaux de drainage dans un bassin agricole (Wilson Creek)	Sylvester (1961)

soit 0.01 mg P/l. (Tableau 28). Les commentaires émis au sujet des concentrations limites d'azote sont aussi applicables pour le cas du phosphore. Pour l'ensemble des cinq sous-bassins agricoles, nous trouvons des concentrations moyennes de 2.2 mg N/l. d'azote total et 0.17 mg P/l. de phosphore total. Ces concentrations se trouvent à l'intérieur des limites de variations proposées par différents auteurs (Tableau 11).

Nous avons évalué à l'aide des tests statistiques s'il y avait ou non des différences significatives entre les concentrations d'azote et de phosphore dans les eaux des cinq sous-bassins agricoles. A un niveau de signification  $\alpha:5\%$ , les concentrations d'azote peuvent être considérées comme significativement différentes (Annexe III). Il appert que les concentrations d'azote total dans les bassins des rivières Chibouet, Barbue et Salvail sont plus grandes que dans le ruisseau Runnets; les concentrations trouvées dans les eaux de la rivière Saint-Nazaire peuvent être considérées égales à celles trouvées dans les quatre autres rivières. On ne trouve pas de différence significative ( $\alpha:5\%$ ) entre les concentrations de phosphore total dans les eaux des cinq bassins agricoles.

Compte tenu de la faiblesse du test (non égalité des variances) et de l'impossibilité de vérifier l'égalité des productions d'azote et de phosphore, nous avons tenté d'exprimer le rapport pouvant exister entre les productions et les concentrations moyennes d'azote et de phosphore par des rangs (Tableaux 31, 32).

Aux productions d'azote et de phosphore les plus faibles correspondent les concentrations les plus faibles; cependant la relation corollaire n'existe pas pour les concentrations plus élevées. Néanmoins, l'ordre d'utilisation des engrais azotés correspond à celui des concentrations moyennes

TABLEAU 31: Relations entre les concentrations moyennes et les charges des diverses formes d'azote et les productions d'azote dans les cinq sous-bassins agricoles<sup>1</sup>

Bassin	Production des animaux d'élevage			Utilisation		Concentrations moyennes (mg N/L.)					Charges spécifiques <sup>4</sup>			
	Production totale kg N/km <sup>2</sup> /jr	Total Bovins	Porcs	Poulets	d'engrais Kg N/km <sup>2</sup> -jr	NO <sub>2-3</sub> (F) <sup>2</sup>	NH <sub>3</sub> (NF) <sup>3</sup>	NH <sub>3</sub> (NF) <sup>3</sup>	N <sub>org.</sub> (F) <sup>2</sup>	N <sub>org.</sub> (NF) <sup>3</sup>	N <sub>tot.</sub> (NF) <sup>3</sup>	N <sub>tot.</sub> (NF) <sup>3</sup>	kg N/km <sup>2</sup> -jr (F) <sup>2</sup> N <sub>ass.</sub>	(F) <sup>2</sup> N <sub>ass.</sub>
Barbue	23.8 (1)	20.7(1)	15.1(1)	21.5(1)	2.7 (3)	1.04(2)	0.74(2)	0.85(2)	0.35(3)	0.47(3)	2.36(3)	3.60(4)	3.25(4)	2.72(4)
Chibouet	16.4 (3)	13.0(3)	8.0(2)	4.6(4)	3.1 (2)	0.90(3)	0.81(1)	0.88(1)	0.52(1)	0.65(1)	2.43(2)	5.00(2)	4.58(2)	3.51(2)
Saint-Nazaire	16.3 (4)	13.6(2)	25.1(1)	5.9(3)	2.2 (4)	0.83(4)	0.71(3)	0.76(4)	0.31(5)	0.40(5)	1.99(4)	4.41(3)	4.11(3)	3.43(3)
Salvaill	16.9 (2)	12.5(4)	18.4(5)	4.8(4)	4.0 (1)	1.11(1)	0.63(4)	0.79(3)	0.46(2)	0.59(2)	2.49(1)	6.52(1)	5.78(1)	4.58(1)
Runnets	10.0 (5)	9.0(5)	19.5(4)	10.4(2)	1.1 (5)	0.31(5)	0.35(5)	0.37(5)	0.33(5)	0.42(5)	1.74(5)	2.10(5)	1.88(5)	1.25(5)

(1) Les relations sont exprimées en rang (nombre entre parenthèses)

(2) (F): échantillon filtré

(3) (NF): échantillon non filtré

(4) Charge spécifique  $\frac{1}{365}$  charges journalières  
superficie

(5) N<sub>ass.</sub> = NH<sub>3</sub> + NO<sub>2-3</sub> (formes dissoutes)

TABLEAU 32: Relations entre les concentrations moyennes et les charges des diverses formes de phosphore et les productions de phosphore dans les cinq sous-bassins agricoles<sup>1</sup>

Bassin	Production		Production des animaux d'élevage		Utilisation		Concentrations moyennes			Charges spécifiques <sup>4</sup>		
	totale	kg P/km <sup>2</sup> -jr	Porcs	Poulets	d'engrais	kg P/km <sup>2</sup> -jr	P <sub>inorg.</sub> (F) <sup>2</sup>	P <sub>inorg.</sub> (NF) <sup>3</sup>	P <sub>tot.</sub> (F) <sup>2</sup>	P <sub>tot.</sub> (NF) <sup>3</sup>	P <sub>inorg.</sub> (F) <sup>2</sup>	P <sub>tot.</sub> (F) <sup>2</sup>
Barbue	7.32 (1)	3.6(3)	4.6(1)	7.5(1)	1.5 (2)	0.08 (3)	0.14 (2)	0.11 (2)	0.19 (3)	0.13 (3)	0.17 (3)	0.29 (3)
Chibouet	4.89 (2)	4.1(2)	2.4(2)	1.6(4)	1.9 (1)	0.09 (2)	0.14 (2)	0.11 (2)	0.22 (2)	0.18 (2)	0.22 (2)	0.35 (2)
Saint-Nazaire	4.42 (3)	4.5(1)	1.8(3)	2.2(3)	1.3 (3)	0.05 (4)	0.09 (4)	0.07 (4)	0.10 (4)	0.11 (4)	0.16 (4)	0.25 (4)
Salvail	4.11 (4)	3.0(3)	1.5(4)	1.8(5)	1.0 (4)	0.11 (1)	0.17 (1)	0.15 (1)	0.10 (4)	0.30 (1)	0.38 (1)	0.60 (1)
Runnets	2.84 (5)	2.0(5)	1.3(5)	3.6(2)	0.7 (5)	0.05 (5)	0.07 (4)	0.10 (4)	0.09 (5)	0.13 (5)	0.13 (5)	0.19 (5)

(1) Les relations sont exprimées en rang (nombre entre parenthèses)

(2) (F): échantillon filtré

(3) (NF): échantillon non filtré

(4) Charge spécifique =  $\frac{1}{365} \frac{\sum \text{charges journalières}}{\text{superficie}}$

d'azote total. Il est intéressant aussi de noter que les concentrations moyennes d'azote et de phosphore organique sont supérieures dans les eaux du bassin de la rivière Chibouet; ceci serait attribuable à la présence d'une grande superficie du bassin occupée par des sols organiques (Tableau 15a). Les tourbières constituent en effet une source importante d'azote et de phosphore organique (Viets, 1971; Golterman, 1973).

Selon la connaissance actuelle du milieu, il ne semble pas y avoir de relation simple entre la production d'azote et de phosphore tel que définie par le modèle INRS-Eau et les concentrations trouvées dans le milieu.

#### 3.4.3 Charges d'azote et de phosphore

Les débits massiques furent établis pour chaque journée d'échantillonnage (Tableaux, 33, 34). Les charges spécifiques moyennes annuelles furent calculées à partir de la relation suivante:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n c_i Q_i}{n S}$$

C: charge spécifique moyenne annuelle

$c_i$ : concentration moyenne journalière

$Q_i$ : débit journalier

n: période de temps considérée (365 jours)

S: superficie du bassin versant

Cette relation tient compte de la variabilité journalière des débits. Leur variabilité étant d'une importance relative beaucoup plus grande que celle des concentrations, elle influence davantage la valeur des charges. Les débits journaliers furent estimés pour chaque sous-bassin (Cluis et Durocher, 1976); les hydrogrammes apparaissent aux Figures 29 à 33.

TABLEAU 33: Débits massiques des diverses formes d'azote dans les cinq sous-bassins agricoles (kg N/jr)

Date	Jour	Barbue			Chibouet			Saint-Nazaire			Salvaal			Runnets		
		$N_{ass.}$	$N_t(F)$	$N_t(NF)$	$N_{ass.}$	$N_t(F)$	$N_t(NF)$	$N_{ass.}$	$N_t(F)$	$N_t(NF)$	$N_{ass.}$	$N_t(F)$	$N_t(NF)$	$N_{ass.}$	$N_t(F)$	$N_t(NF)$
01/01/74	9	36.9	41.2	49.7	38.0	45.3	51.3	47.9	53.6	58.0	52.7	63.6	77.9	8.0	10.4	12.1
14/02/74	45	49.6	56.0	59.4	150.2	183.5	186.1	191.5	212.5	229.0	269.2	308.7	329.8	31.5	39.3	42.5
13/03/74	72	31.4	43.6	48.7	91.5	124.8	134.6	88.2	106.6	115.5	86.2	114.7	122.2	18.7	24.8	26.7
03/04/74	93	3402	3720	4232	6847	7266	7500	5415	5707	5952	6937	9544	12496	2535	2868	3079
01/05/74	121	793	875	925	1566	1925	2088	855	1095	1207	2097	2750	2973	195	390	455
04/06/74	155	43.2	68.5	76.0	51.1	117.4	138.0	55.9	94.5	106.9	52.5	119.6	138.6	6.0	26.2	31.7
03/07/74	184	38.3	52.1	57.2	64.9	114.1	128.0	44.3	65.9	72.7	368.7	458.2	486.4	10.9	26.1	30.0
23/07/74	204	52.6	63.4	74.5	83.8	143.3	163.2	46.0	71.4	75.1	314.0	342.3	368.7	6.5	22.0	27.6
20/08/74	236	26.9	39.9	44.4	65.9	94.4	105.0	40.8	48.4	51.9	41.6	55.5	69.8	11.7	19.7	24.4
17/09/74	260	64.8	72.0	74.5	45.7	67.7	89.8	61.8	72.7	77.1	20.5	46.3	53.6	11.2	18.8	21.8
16/10/74	289	37.2	51.5	56.1	338.2	500.3	597.6	83.1	139.3	153.3	94.3	130.1	225.6	14.2	36.7	37.1
12/11/74	316	117.8	265.9	349.7	250.7	378.0	420.4	274.1	355.9	384.6	443.6	648.8	727.1	84.9	143.3	173.0
18/12/74	352	104.6	117.5	120.9	236.6	285.2	304.8	159.3	174.0	182.5	372.4	375.7	401.9	20.2	29.9	30.7
Charge spécifique moyenne		2.7	3.3	3.6	3.5	4.6	5.0	3.4	4.1	4.4	4.6	5.8	6.5	1.3	1.9	2.1

(1)  $N_{ass.}$ : Azote assimilable ( $NH_3 + NO_{2-3}$ )(2)  $N_t(F)$ : Azote total (échantillon filtré)(3)  $N_t(NF)$ : Azote total (échantillon non filtré)(4) Charge spécifique moyenne:  $\frac{1}{365} \sum$  charges journalières (kg/jr -  $km^2$ )

superficie

TABLEAU 34: Débits massiques des diverses formes de phosphore dans les cinq sous-bassins agricoles (kg P/jr).

Date	Jour	Barbue	Chibouet	Saint-Nazaire	Salvail	Runnets
d'échantillonnage	de l'année	$P_t(F)^1 P_t(NF)^2 P_{in}(F)^3$				
09/01/74	9	0.7	1.3	0.8	2.6	0.3
14/02/74	45	1.1	5.5	5.9	15.6	1.4
13/03/74	72	1.6	3.5	2.5	4.7	0.8
03/04/74	93	216	333	444	613	216
01/05/74	121	40.2	66.1	37.6	51.2	21.7
04/06/74	155	6.4	10.9	6.1	11.2	14.7
03/07/74	184	4.2	6.7	2.3	14.9	4.3
23/07/74	204	10.9	17.5	3.8	16.8	1.3
20/08/74	236	3.7	6.1	2.4	6.7	2.1
17/09/74	260	3.1	3.5	2.5	5.1	1.3
16/10/74	289	1.3	2.7	0.9	5.8	1.5
12/11/74	316	13.1	20.8	9.5	15.5	4.4
18/12/74	352	1.4	2.7	1.4	6.9	4.0
Charge spécifique <sup>4</sup> moyenne		0.17	0.29	0.13	0.22	0.13

(1)  $P_t(F)$ : Phosphore total (échantillon filtré)(2)  $P_t(NF)$ : Phosphore total (échantillon non filtré)(3)  $P_{in}(F)$ : Phosphore inorganique (échantillon filtré)(4) Charge spécifique moyenne:  $\frac{1}{365} \frac{\Sigma}{I}$  charges journalières (kg/jr - km<sup>2</sup>)

superficie

Fig. 29: HYDROGRAMME DE LA RIVIERE BARBUE (1974)

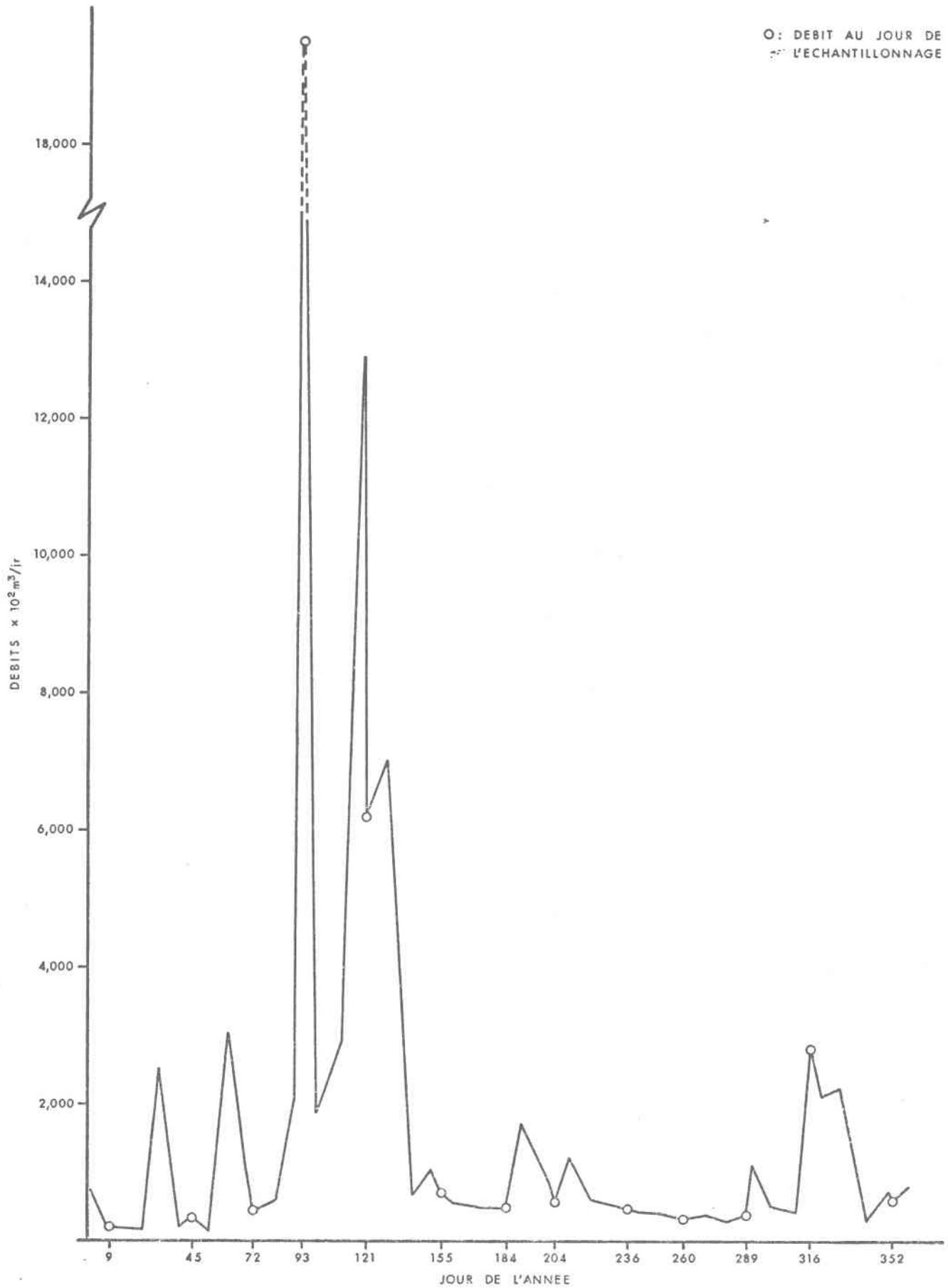


Fig. 30: HYDROGRAMME DE LA RIVIERE CHIBOUET (1974)

O: DEBIT AU JOUR DE L'ECHANTILLONNAGE

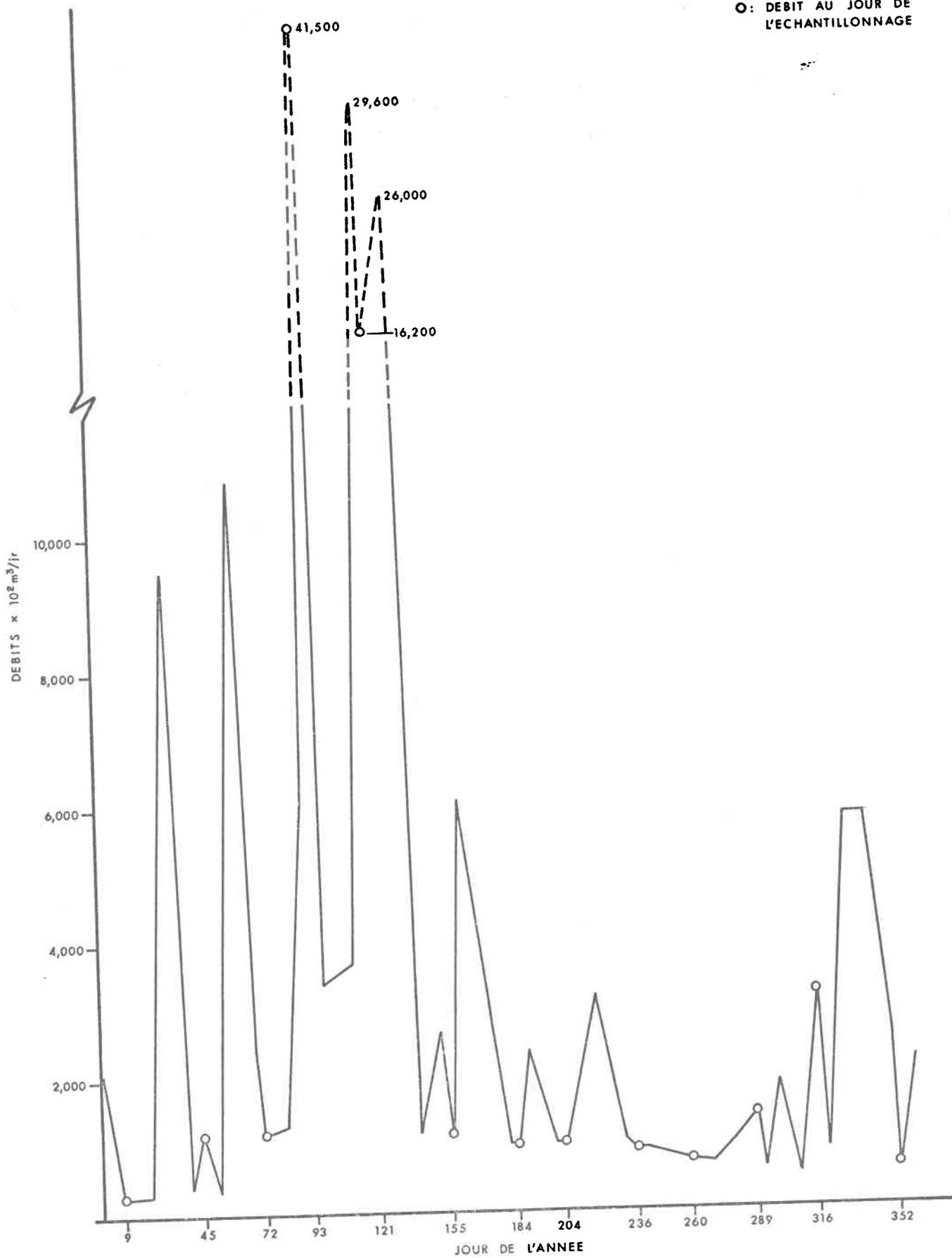


Fig. 31: HYDROGRAMME DE LA RIVIERE SAINT-NAZAIRE (1974)

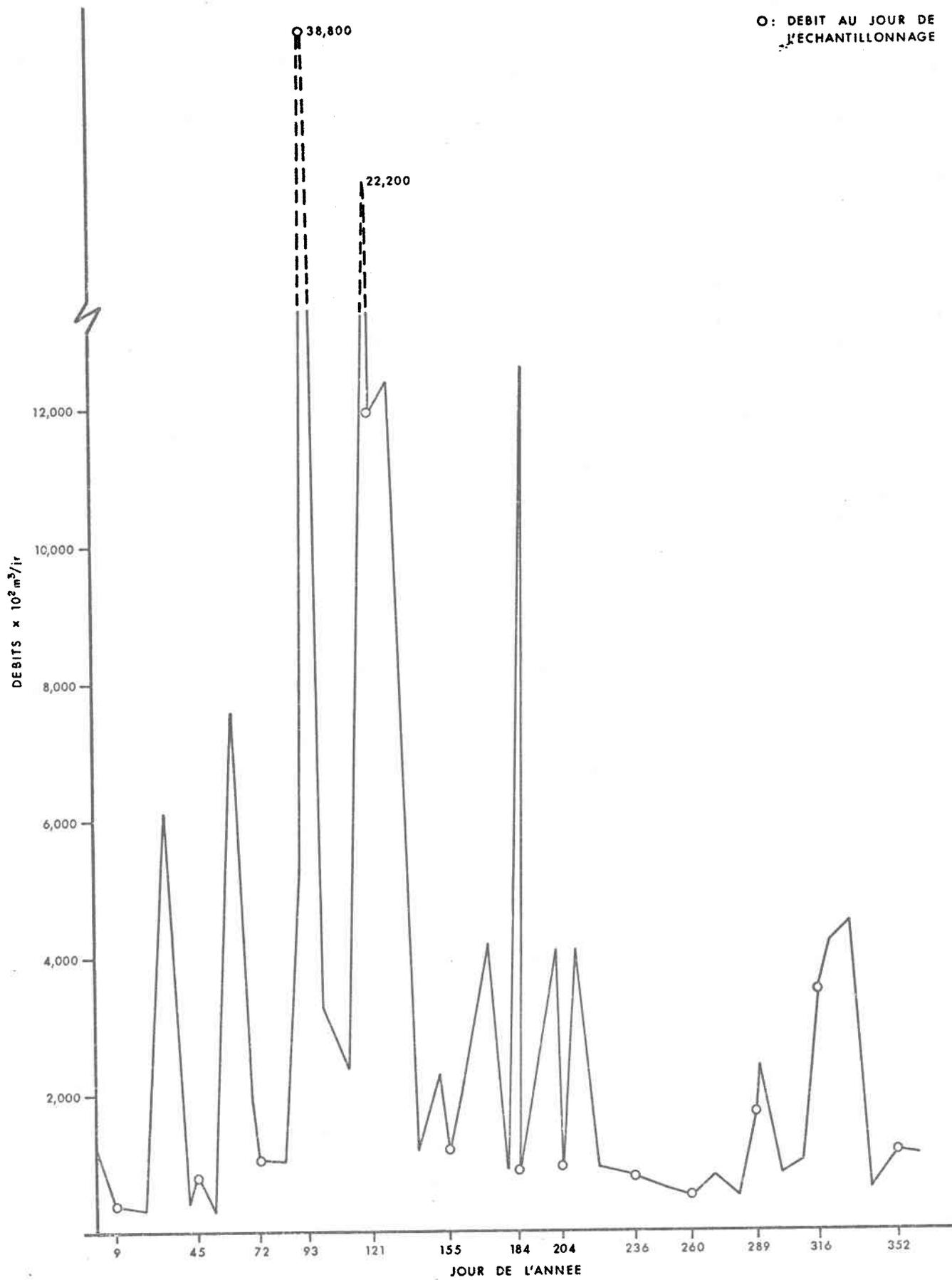


Fig. 32: HYDROGRAMME DE LA RIVIERE SALVAIL (1974)

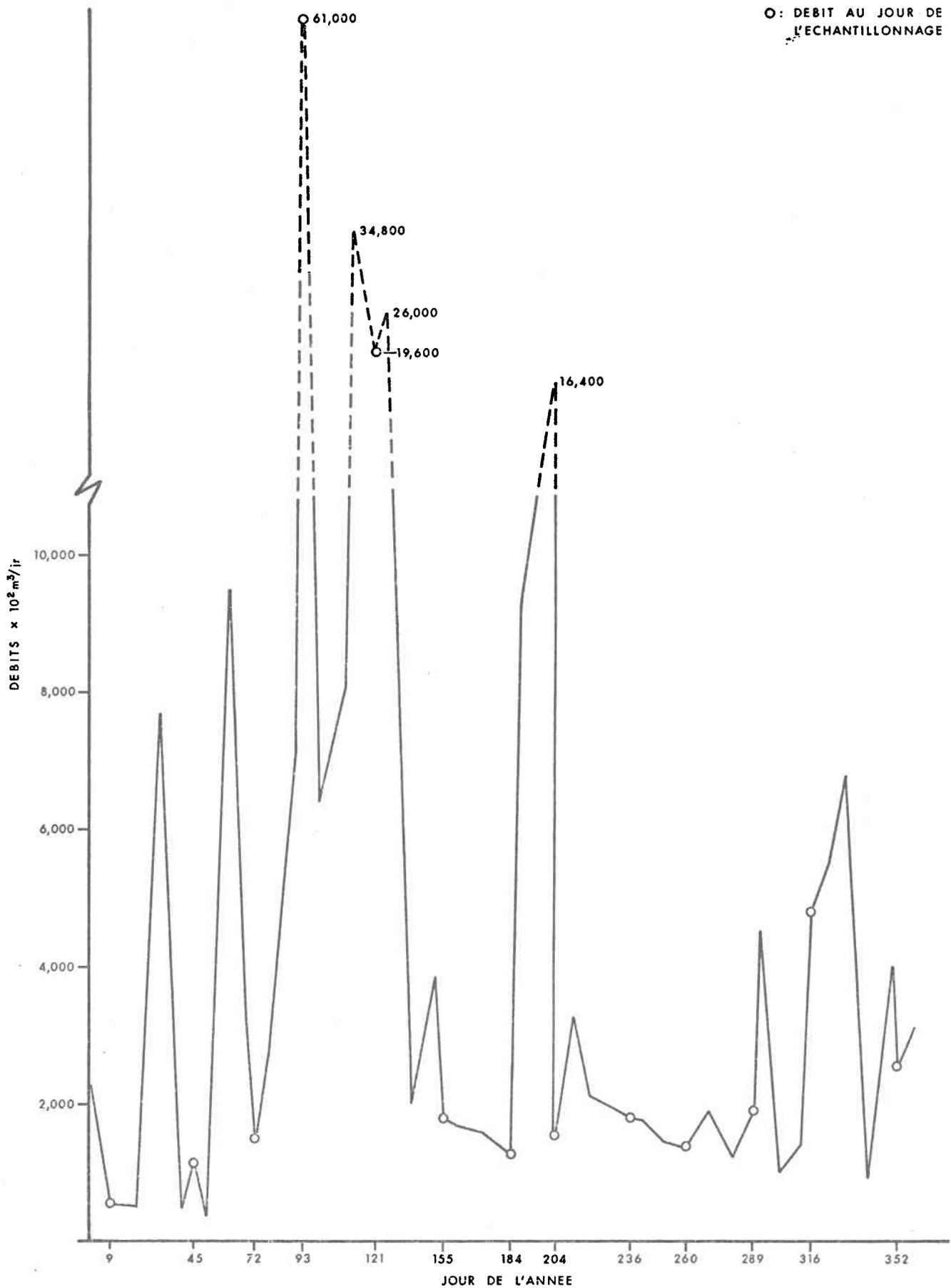
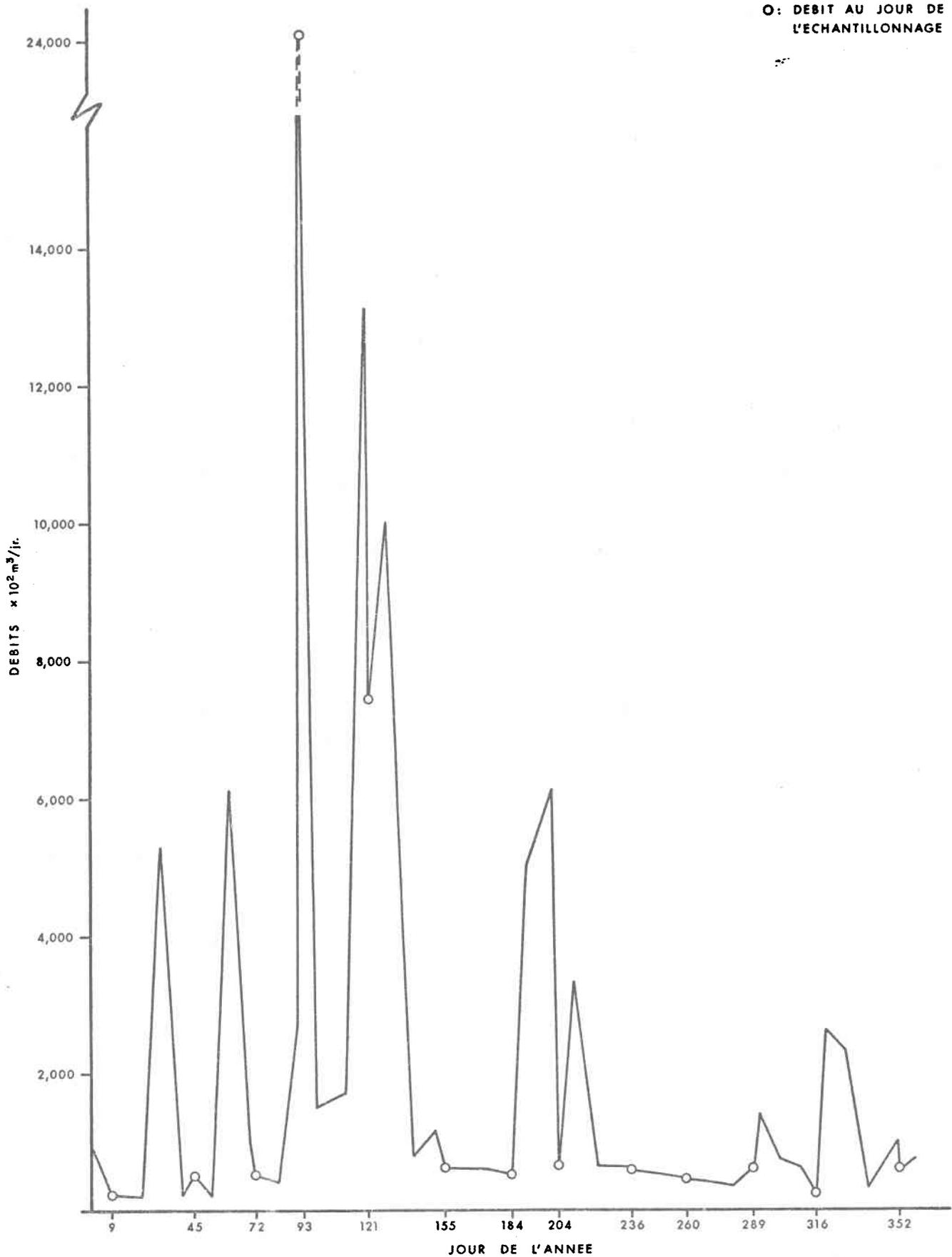


Fig. 33: HYDROGRAMME DU RUISSEAU RUNNETS (1974)



Les charges sont principalement assujetties au comportement des débits; c'est pourquoi nous observons que les charges maximales coïncident aux périodes de crue et que les charges minimales correspondent aux périodes d'étiage.

Dans les cinq sous-bassins agricoles, les apports moyens d'azote et de phosphore varient respectivement de 2.1 à 6.5 kg N/km<sup>2</sup>-jr et de 0.19 à 0.60 kg P/km<sup>2</sup>-jr. Ces apports sont relativement élevés si on les compare aux résultats obtenus dans différents milieux agricoles (Tableau 12). En moyenne, 80% des charges d'azote et 47% des charges de phosphore se trouvent sous forme assimilable (c'est-à-dire sous forme soluble et minérale).

Nous avons établi une correspondance entre les productions d'azote et de phosphore et les charges trouvées dans les cinq sous-bassins (Tableaux 31, 32). On trouve une bonne relation entre les charges d'azote et les quantités d'engrais azotés utilisés. Cependant l'ordre des rivières Saint-Nazaire et Barbue est interverti; on remarque toutefois que les productions spécifiques d'azote dérivées de l'usage d'engrais sont semblables dans ces deux bassins. Pour les charges de phosphore, aucune relation avec les différents producteurs n'apparaît, si ce n'est qu'aux plus faibles productions correspondent les charges les plus faibles.

Le fait de trouver une certaine relation entre les concentrations moyennes d'azote, les charges d'azote et l'utilisation des engrais azotés et de ne trouver aucune correspondance pour les substances phosphorées vient appuyer l'hypothèse que les mécanismes de transfert de l'azote et du phosphore sont différents et qu'il est dangereux de considérer toutes les sources avec la même probabilité de transfert. *Ainsi le transfert de l'azote à partir des pratiques de cultures semble plus efficace que le transfert à partir*

*des différentes pratiques d'élevage pour une période annuelle.*

D'autres éléments peuvent influencer le transfert des substances nutritives de leur source vers le milieu aquatique. La capacité d'adsorption des sols et des sédiments varie d'un bassin à l'autre. Les argiles et les limons possèdent une plus grande capacité d'adsorption que les sables. Ceci peut influencer la teneur des différents éléments nutritifs dans le milieu: comme nous l'avons mentionné précédemment, l'ammoniaque et le phosphore peuvent être sorbés aux argiles. Nous pensons donc que la capacité d'adsorption des sédiments de fond<sup>1</sup> des rivières Barbue et Saint-Nazaire (sable) est moins grande que celle des sédiments de la rivière Salvail (limons et limons argileux); celle de la rivière Chibouet (sable et argile) et du ruisseau Runnets (sable et limons) seraient intermédiaires. Nous pouvons aussi ajouter que les échanges à l'interface sédiments-eau peuvent influencer la qualité de l'eau dépendamment des conditions d'oxygène dissous et de température. Dans le cadre de cette étude, nous n'avons pu quantifier ces influences. De plus, la proximité des amas de fumier du réseau de drainage et les périodes des épandages d'engrais sont des facteurs que nous n'avons pu considérer. Tous ces facteurs influent sur les mécanismes de transfert des éléments nutritifs de la source vers le milieu aquatique, et viennent interférer dans l'établissement d'une relation directe entre les productions locales d'éléments nutritifs, d'une part, et les concentrations et les charges dans les eaux de drainage de la région concernée, d'autre part.

---

<sup>1</sup>

La nature des sédiments de fond fut extrapolée à partir de la nature des sols à proximité des cours d'eau considérés (Fig. 11 à 15).

### 3.5 Généralisation des résultats

Le calcul des charges spécifiques nous permet d'établir des coefficients de transfert moyens pour les substances azotées et phosphorées dans un milieu typiquement agricole. On les a alors appliqué aux charges trouvées dans les eaux de la rivière Yamaska et ainsi évalué dans quelle mesure les apports agricoles contribuent à la détérioration du milieu en comparaison aux apports municipaux.

Nous avons appliqué le modèle qualitatif de cheminement des substances nutritives au transfert des différentes formes d'azote et de phosphore dans les eaux de surface des cinq sous-bassins agricoles (Fig. 6). Puis, nous avons généralisé les résultats obtenus pour les cinq bassins agricoles au bassin de la rivière Yamaska et ainsi évalué le rapport existant entre les sources agricoles que l'on peut qualifier de diffuses et les sources urbaines généralement ponctuelles.

La méthode consiste à définir les apports directs dans le milieu aquatique (égouts municipaux) et les apports diffus (population humaine non desservie par un réseau d'égouts, l'utilisation d'engrais et l'élevage). Les apports potentiels de chaque groupe apparaissent au Tableau 20. Puis connaissant les apports spécifiques et les charges spécifiques moyennes des substances nutritives dans le milieu aquatique, nous déterminons des coefficients de transfert à l'aide de la relation suivante:

$$\text{Coefficient de transfert (\%)} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{charges spécifiques journalières}}{\text{Production spécifique moyenne locale}} \times 100$$

n: période de temps considérée (jour)

Il s'agit en fait d'une estimation puisqu'on ne tient pas compte du fait que la fertilisation advient à un moment précis de l'année et que les pratiques d'élevage varient selon les lieux et les saisons.

Pour l'ensemble des bassins agricoles étudiés, nous trouvons les coefficients de transfert suivants: 7.6% pour le phosphore et 25.5% pour l'azote (Tableaux 35, 36)<sup>1</sup>. Ces derniers sont légèrement supérieurs à ceux proposés par Vollenweider (1968), soit de 1% à 5% pour le phosphore et de 10% à 25% pour l'azote.

La différence entre les valeurs des coefficients de transfert de l'azote et du phosphore est attribuable au fait que les formes d'azote sont plus solubles que les formes de phosphore, ainsi plus facilement transportables par les eaux de ruissellement (vecteur R); de plus, les nitrates peuvent être apportés par les eaux souterraines (vecteur AE). Le transport des éléments nutritifs sorbés aux solides en suspension est régi par la compétence (fonction de la vitesse d'écoulement) et par la capacité (fonction du volume d'eau) des écoulements de surface; leur transfert est alors plus restreint.

Nos résultats ne permettent pas d'évaluer la proportion des apports des nitrates s'écoulant par les eaux souterraines, ni d'estimer les pertes par sédimentation ou par volatilisation. Cependant, les coefficients de transfert tiennent compte de ces apports et de ces pertes, mais ils négligent les apports des précipitations. Ces derniers sont appréciables dans

<sup>1</sup>

Nous avons ici considéré les moyennes mensuelles des coefficients plutôt que les coefficients aux jours d'échantillonnage. Vu la variabilité des débits et de leur influence sur les débits massiques, nous croyons donner ainsi une meilleure estimation en appliquant ces résultats aux débits massiques de la rivière Yamaska, l'échantillonnage de cette dernière ayant eu lieu à des dates différentes.

TABLEAU 35: Coefficients de transfert de l'azote dans les cinq sous-bassins agricoles (%)<sup>1</sup>.

Période de l'année	Bassin versant					Moyenne <sup>2</sup>
	Barbue	Chibouet	Saint-Nazaire	Salvail	Runnets	
Janvier	6.2	14.6	19.0	10.6	9.5	12.0
Février	6.6	16.1	22.2	20.1	9.8	15.0
Mars	17.3	52.5	54.0	44.4	22.8	38.2
Avril	75.0	94.7	93.9	115.4	92.5	94.3
Mai	18.1	42.4	31.9	35.1	25.6	30.6
Juin	3.0	12.3	9.3	8.4	4.6	7.5
Juillet	18.0	29.8	19.7	86.8	23.2	35.5
Août	4.0	10.4	6.7	21.8	4.1	9.4
Septembre	4.2	12.5	9.1	22.5	3.6	10.4
Octobre	6.2	24.1	10.6	7.5	4.2	10.5
Novembre	13.6	32.7	27.8	7.7	21.5	20.7
Décembre	14.0	27.6	26.1	52.9	22.6	28.6
Moyenne <sup>3</sup> annuelle	15.5	30.9	26.4	34.1	19.4	25.5

(1) Coefficient de transfert (%)  $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n$  charges spécifiques journalières  $\times 100$  (n: nbre jrs dans le mois)

Production spécifique moyenne

(2) Moyenne:  $\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 x_i$  ( $x_i$ : coefficient de transfert affecté au bassin i)

(3) Moyenne annuelle:  $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n$  charges spécifiques journalières  $\times 100$

Production spécifique moyenne

(n: 365 jours)

TABLEAU 36: Coefficients de transfert du phosphore dans les cinq sous-bassins agricoles (%)<sup>1</sup>

Période de l'année	Bassin versant					Moyenne <sup>2</sup>
	Barbue	Chibouet	Saint-Nazaire	Salvaill	Runnets	
Janvier	0.6	2.1	2.3	3.3	1.6	2.0
Février	0.8	2.6	3.1	6.7	2.5	3.1
Mars	3.2	9.7	9.2	16.3	5.3	8.7
Avril	18.4	24.5	24.6	41.9	33.0	28.5
Mai	5.5	10.3	8.0	8.3	12.2	8.9
Juin	1.3	6.2	3.7	1.5	3.4	3.2
Juillet	9.8	14.1	7.2	48.3	11.7	18.2
Août	2.2	3.6	1.9	22.2	1.3	6.2
Septembre	0.7	2.2	1.8	2.5	1.0	1.6
Octobre	1.0	2.9	2.2	3.2	1.2	2.1
Novembre	2.2	4.0	3.4	9.8	4.6	4.8
Décembre	1.4	2.6	1.7	9.8	4.8	4.1
Moyenne annuelle <sup>3</sup>	3.9	7.1	5.7	14.6	6.8	7.6

(1) Coefficient de transfert (%):  $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n$  charges spécifiques journalières  $\times 100$  (n: nbre jrs dans le mois)

Production spécifique moyenne

(2) Moyenne:  $\frac{1}{5} \sum_{x_1=1}^5 x_1$  ( $x_1$ : coefficient de transfert affecté au bassin i)

(3) Moyenne annuelle:  $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n$  charges spécifiques journalières  $\times 100$   
 Production spécifique moyenne (n: 365 jours)

le bassin de la rivière Yamaska, soit  $587 \text{ kg NO}_3\text{-N/km}^2\text{-an}$ ,  $654 \text{ kg NH}_4\text{-N/km}^2\text{-an}$  et  $35.6 \text{ kg P/km}^2\text{-an}$  (Lachance et Sasseville, 1976). Le lessivage des roches échappe aussi à cette estimation, mais on peut le considérer négligeable vu la nature du sous-sol.

A l'aide des résultats obtenus, nous pouvons évaluer le transfert de l'azote et du phosphore dans le bassin de la rivière Yamaska (Tableau 37). Nous considérons tout d'abord le transfert des excréments humains: le coefficient de transfert des éléments nutritifs produits par la population desservie par un réseau d'égouts est égal à 100%. Pour les populations humaines non desservies par un réseau d'égouts, et pour les apports agricoles (utilisation d'engrais et élevage) nous utilisons les coefficients déterminés dans cette étude, soit 7.6% pour le phosphore et 25.5% pour l'azote. Les apports de phosphore provenant de l'usage des détergers est estimé à 137% des apports de phosphore de la population humaine (ceci en considérant que les apports dus aux excréments sont de  $1.4\text{g./personne-jr}$  (Cluis et Duchrocher, 1976) et que ceux dérivés de l'usage des détergers sont de  $1.92 \text{ g./personne-jr}$  (Devey et Harkenness, 1973). Pour ce qui est des précipitations, nous les affectons des coefficients définis pour l'agriculture.

D'après les résultats présentés au Tableau 38, il appert que l'agriculture est le premier facteur responsable de la mauvaise qualité de l'eau dans le bassin de la rivière Yamaska; viennent ensuite les apports urbains (apports de la population humaine). *Cependant, vu les variations saisonnières des coefficients de transfert, l'importance relative de la contribution des activités agricoles et du milieu urbain varie considérablement* (Tableau 38). Ainsi, en période de crue les apports d'azote et de phosphore en provenance des municipalités représentent moins de 10%, de la charge totale,

TABLEAU 37: Concentrations et charges d'azote et de phosphore à l'embouchure de la rivière Yamaska<sup>1</sup> (Campbell *et al.*, 1976).

Date d'échantillonnage	Concentrations mg./l.		Débits 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /jr	Débits massiques spécifiques <sup>3</sup> (kg/km <sup>2</sup> -jr)	
	N <sub>tot.</sub>	P <sub>tot.</sub>		N	P
30/01/74	N.D. <sup>2</sup>	0.08	17676	-	0.30
27/02/74	2.08	0.19	10132	2.83	0.43
27/03/74	1.52	0.13	6306	2.07	0.18
01/04/74	2.17	0.14	16642	7.80	0.50
29/05/74	0.81	0.03	20493	3.60	0.15
27/06/74	0.80	0.09	3109	0.54	0.06
23/07/74	0.91	0.11	9461	1.86	0.22
21/08/74	0.50	0.11	3679	0.40	0.09
18/09/74	0.87	0.19	1869	0.35	0.08
17/10/74	1.39	0.14	4351	1.89	0.19
13/11/74	1.28	0.12	2521	0.70	0.07
11/12/74	1.36	0.12	17937	5.26	0.47
Moyenne <sup>4</sup> annuelle	1.46	0.13		3.07	0.27

(1) La station d'échantillonnage était localisée à Yamaska

(2) N.D.: données non disponibles

(3) Débits massiques spécifiques: Charges journalières

S

(4) Moyenne annuelle: Concentration:  $\bar{C} = \frac{\sum C_i Q_i}{\sum Q_i}$

Débits massiques spécifiques:  $\frac{\sum_{i=1}^n C_i Q_i}{nS}$

nS

Q<sub>i</sub>: débit au jour i

C<sub>i</sub>: concentration mesurée ou estimée au jour i

S: superficie du bassin versant

n: nombre de jours (365 jours)

TABLEAU 38: Contribution relative des municipalités et des activités agricoles aux apports d'azote et de phosphore dans le bassin de la rivière Yamaska<sup>1</sup>

Source	Production		Apports spécifiques					
	kg/km <sup>2</sup> -jr.		Période de crue (avril)		Période d'étiage (août septembre) <sup>2</sup>		Moyenne annuelle	
	N	P	N	P	N	P	N	P
Population humaine desservie par un réseau d'égouts	0.37	0.04	0.37(3)	0.04(5)	0.37(84)	0.04(50)	0.37(10)	0.04(13)
Usage des détersifs	-	0.05	-	0.05(6)	-	0.05(63)	-	0.05(17)
Population humaine non desservie par un réseau d'égouts	0.20	0.02	0.19(2)	0.01(1)	0.02(5)	0.01 -	0.05(1)	0.01 -
Agriculture	11.87	3.44						
-élevage	9.87	2.27	11.19(92)	0.88(100)	1.18(268)	0.13(163)	3.03(83)	0.26(88)
-cultures engraisées	2.00	1.17						
Précipitations	3.40	0.10	3.21(26)	0.03(3)	0.34(77)	0.01 -	0.87(24)	0.01(3)
Production totale et charge spécifique pour la rivière Yamaska	27.71	7.09	12.13(100)	0.88(100)	0.44(100)	0.08(100)	3.65(100)	0.30(100)

(1) Le nombre entre parenthèses exprime le rapport entre l'apport donné et la charge à l'embouchure de la rivière Yamaska (%)

(2) La période d'étiage s'étend du jour 235 à 265.

tandis que les apports agricoles équivalent à 88% de la charge totale. Par contre, en étiage, les apports municipaux constituent un apport important, leur contribution équivalent à 30% des apports d'azote en provenance de l'agriculture et à 70% des apports de phosphore.

En appliquant les coefficients de transfert trouvés dans les cinq sous-bassins agricoles, nous trouvons que les charges théoriques sont plus élevées que les charges réelles à l'exutoire du bassin de la rivière Yamaska, ceci en négligeant tout apport industriel. Il apparaît donc exister des mécanismes qui tendent à soustraire des quantités appréciables d'éléments nutritifs dans le système (absorption sur les sédiments de fond, utilisation par les organismes autotrophes, volatilisation, nitrification). L'application des coefficients de transfert définis pour des petits bassins versants peut ainsi induire des variations dans l'évaluation des apports, en augmentant l'effet de ces mécanismes.

## CHAPITRE 4

### 4. Conclusions

Nous avons établi une relation entre les sources d'éléments nutritifs et la qualité des eaux courantes de la rivière Yamaska et plus particulièrement de cinq sous-bassins agricoles.

La qualité de ces eaux de drainage est en effet très détériorée. Les concentrations d'azote et de phosphore assimilables<sup>1</sup> dépassent les critères proposés pour une bonne qualité de vie aquatique dans tous les cas. Les variations saisonnières des concentrations des diverses formes d'azote et de phosphore suivent assez bien la cyclicité des phénomènes physiques et biologiques: la diminution des concentrations d'azote ammoniacal et l'augmentation des concentrations d'azote et de phosphore organique coïncident avec l'accroissement de l'activité des organismes autotrophes pendant la période estivale. A la crue de printemps correspond une augmentation notable des concentrations d'azote ammoniacal et de phosphore inorganique, attribuable en grande partie à l'érosion des accumulations de fumier; ceci met en évidence l'élevage comme source importante de pollution. L'influence des engrais se fait sentir en été surtout dans les bassins des rivières Chibouet et Salvail où l'on note l'augmentation des concentrations de nitrites-nitrates. Il est intéressant de noter que l'azote et le phosphore se présentent principalement sous forme soluble: azote ammoniacal, 86%, azote organique, 79%, phosphore total, 62%.

<sup>1</sup>

Azote assimilable: azote ammoniacal + nitrites-nitrates (forme dissoute)

Phosphore assimilable: phosphore inorganique (forme dissoute)

Les apports moyens d'azote et de phosphore dans les cinq sous-bassins agricoles varient respectivement entre 2.1 et 6.5 kg N/km<sup>2</sup>-jr et de 0.19 à 0.60 kg P/km<sup>2</sup>-jr. A l'embouchure de la rivière Yamaska ces apports sont de 3.07 kg N/km<sup>2</sup>-jr et de 0.27 kg P/km<sup>2</sup>-jr. Ces apports sont relativement élevés par rapport à ceux mentionnés dans des études du même genre.

Dans les cinq sous-bassins à caractère strictement agricole le transfert des substances phosphorées via les eaux de ruissellement s'effectue avec une efficacité moyenne de 7.6%. Les substances azotées dont une partie parvient au cours d'eau par les eaux souterraines sont en moyenne récupérées à 26.1% de la production totale. Malgré ces coefficients de transfert relativement faibles en comparaison aux coefficients affectés aux apports des centres urbains (100%, car les émissaires d'égouts se jettent généralement directement dans le cours d'eau sans traitement préalable), nous trouvons que les activités agricoles sont les premières responsables de la mauvaise qualité d'eau dans le bassin de la rivière Yamaska. Cependant, on doit souligner le fait que le taux de transfert est en grande partie régi par les débits; ainsi les apports relatifs des municipalités et des activités agricoles varient selon les saisons. Les apports agricoles sont maximums en période de crue. Bien que les apports agricoles soient toujours les plus importants, il arrive qu'en étiage, les apports municipaux constituent une contribution importante à la charge en substances nutritives.

## GLOSSAIRE

Bloc erratique: bloc arrondi ou anguleux qui subsiste après le recul d'un glacier.

Caliche: nitrate natif impur associé à des carbonates de sodium au Chili et au Pérou.

"Builder": composé généralement phosphaté contenu dans les détergents synthétiques. Les "builders" phosphatés agissent comme adoucisseur d'eau, émulsifiant, et tampon. Ils associent à l'eau de lavage une bonne alcalinité et sont des agents dispersants.

Capacité: mesure de la quantité de détritrus pouvant être transportés en un point donné par unité de temps par un courant.

Coefficient de transfert: rapport établi entre les charges spécifiques et la production spécifique moyenne locale pour une substance donnée.

Capacité au champs: se réfère à la quantité d'eau retenue dans le sol par capillarité.

Charges: ce terme est utilisé dans le texte au même sens que débit massique.

Capacité: se réfère à la dimension maximum des particules d'une densité que donnée qu'un courant pourra transporter pour une vitesse donnée.

Calcul classique: évaluation de la quantité d'une substance passant par une section d'un cours d'eau (débit x concentration en un point d'un cours d'eau).

Colonne lithostatique: unité de base lithostatigraphique; se réfère à une succession de couches possédant des caractéristiques distinctives en relation avec leur position.

Composé organique: sol composé d'un mélange d'argile, de "silt"; de sable et de matière organique.

Corrélation: se rapportant à l'étude du relief.

Coefficient d'efficacité: propriété des roches ou des sols se référant aux intercommunications; elle est exprimée en pourcentage du volume occupé par les pores.

Basin central: bassin central peu profond d'une plaine désertique où l'eau s'accumule et s'évapore.

Sédiment clastique: sédiment clastique dont le diamètre des particules varie entre 1/16 et 2 mm (échelle de Wentworth).

Siltstone: roche formée de sédiments plastiques consolidés dont la majorité des particules est de la taille des "silts".

Sable: matériel détritique dont le diamètre des particules varie entre 2 et 1/16 mm (échelle de Wentworth).

Surfactant: ingrédient contenu dans les détergents synthétiques, favorisant la formation de la mousse. Il est soluble dans l'eau et dans l'huile, ce qui permet l'enlèvement efficace des huiles et graisses.

"Till": sédiment désasortie et non stratifié transporté et déposé sous l'action des glaciers.

## BIBLIOGRAPHIE

- ANONYME. (1967). "Sources of Nitrogen and phosphorus in water supplies". Jour. A.W.W.A. mars, p. 344-366.
- ANONYME. (1970a). "Chemistry of nitrogen and phosphorus in water". Jour. A.W.W.A. 62, feb. p. 127-140.
- ANONYME. (1970b). "Sediment sources and sediment yields". Proc. ASCE, Hyd. Div. Paper no 7337, 96(HY6), p. 1283-1329.
- ANONYME. (1972). "Classification canadienne des sols". Ministère de l'agriculture du Canada, 270 p.
- ANONYME. (1974). "Relationships between drainage area characteristics and non-point source nutrients in streams". NERC/EPA working paper No. 25, 50 p.
- ANONYME. (non publié). "Rapport climatologique". Ministère de l'Environnement atmosphérique (données 1974).
- ARMSTRONG, D.E., ROHLICH, G.A. (1970). "Effects of agricultural pollution and eutrophisation". Agricultural Practices and Water Pollution, Ed. Willrich, T.L., Smith, G.D., chap. 23.
- BARIL, R., MAILLOUX, A. (1942). "Carte pédologique des comtés de Saint-Hyacinthe et Bagot". Ministère de l'Agriculture, Province de Québec.
- BARTHOLOMEW, W.V., CLARK, F.E. (1965). "Soil nitrogen". American Society of Agronomy, No. 10, p. 573-607.
- BARTSCH, A.F. (1972). "Role of phosphorus in eutrophisation". Ecological Research Series EPA-R3-72-001 août, National Env. Research Center, U.S. Env. Protection Agency, Corvallis, Iregan 97330, 45 p.
- BLACK, C.A. (1970). "Behavior of soil and fertilizér phosphorus in relation to water pollution". Dans Agricultural Practices and Water

- Pollution, Ed. Willrich, T.L., Smith, G.E., chap. 8.
- BREZONIK, P.L. (1972). "Nitrogen: Sources and Transformations in natural waters", dans Nutrients in Natural Waters, chap I, Ed John Wiley and Sons.
- BUCKMAN, H.O., BRADY, N.C. (1965). Les Sols: Nature et propriétés, Intercontinental Editions, Inc., New York, N.Y., 499 p.
- CAMPBELL, P.G., MEYBECK, M., TESSIER, A. (1974). "Planification de l'acquisition des données de qualité de l'eau au Québec - Tome 1: Relations entre l'utilisation de la ressource eau et sa qualité". Ministère des Richesses naturelles, direction générale des eaux, Service Qualité des Eaux - INRS-Eau, 18 p.
- CAMPBELL, P.G., COUTURE, P., LACHANCE, M., TALBOT, L. (1976). "Etude intégrée de la qualité des eaux des bassins versants des rivières Saint-François et Yamaska - Vol 2: Secteur des Substances nutritives". Ministère des Richesses naturelles, direction générale des eaux, Service Qualité des Eaux - INRS-Eau, 119 p.
- CANN, D.B., LAJOIE, P., STOBBE, P.C. (1948). "Etude des sols des comtés de Shefford, Brome et Mississiquoi dans la province de Québec". Ministère de l'Agriculture, Ottawa, 94 p.
- CHOINIERE, L., PAGEAU, E., MAILLOUX, A. (1942). "Carte pédologique du comté de Rouville". Ministère de l'Agriculture, Province de Québec.
- CHOINIERE, L. (1960). "Etude pédologique du comté de Drummond". Bulletin Technique No 7, Province de Québec, Ministère de l'Agriculture - Division des Sols, 167 p.
- CLARK, T.H. (1964a). "Région d'Upton comtés de Bagot, Drummond, Richelieu, Saint-Hyacinthe et Yamaska". Rapport géologique 100, Gouvernement du Québec, Ministère des Richesses naturelles, 39 p.

- CLARK, T.H. (1964b). "Région de Saint-Hyacinthe (moitié ouest) - comtés de Bagot, de Saint-Hyacinthe et de Shefford". Rapport géologique 101, Gouvernement du Québec, Ministère des Richesses naturelles, 148 p.
- CLARK, T.H. (1964c). "Région de Yamaska-Aston - comtés de Nicolet, Yamaska, Berthier, Richelieu et Drummond". Rapport géologique 102, Gouvernement du Québec, Ministère des Richesses naturelles, 208 p.
- CLUIS, D., COUILLARD, D. et POTVIN, L. (1974). "Planification de l'acquisition des données de qualité des eaux au Québec - Utilisation du territoire d'un bassin et modèle d'apports". Tome 4. Gouvernement du Québec, Ministère des Richesses naturelles, direction générale des eaux, 135 p.
- CLUIS, D. et DUROCHER, H. (1976). "Etude intégrée de la qualité des eaux des bassins versants des rivières Saint-François et Yamaska". Vol 3 - Secteur du modèle d'apports, Gouvernement du Québec, Ministère des Richesses naturelles - Service de Qualité des Eaux.
- COOKE, G.W. et WILLIAMS, R.J.B. (1973). "Significance of man made sources of phosphorus: fertilizers and farmings". Water Research, Pergamon Press, vol. 7, p. 111-128.
- DELWICHE, C.C. (1970). "The nitrogen cycle". Scientific American, sept., p. 137-146.
- DEVEY, D.G. et HARKNESS, N. (1973). "The significance of man-made sources of phosphorus: detergents and sewage". Water Research, Pergamon Press, vol. 7, p. 35-84.
- DILLON, P.J. et KIRCHNER, W.B. (1975). "The effects of geology and land use on the export of phosphorus from watersheds". Water Research, Pergamon Press, vol. 9, p. 135-148.

- DORNBUSH, J.N., ANDERSON, J.R. et HARMS, L.L. (1974). "Quantification of Polluants in agricultural runoff". Environmental Protection Technology Series, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. 20460, EPA-660/2-74-005, Feb., p. 1-39.
- DRESSER, J.A. et DENIS, T.C. (1946). "La Géologie du Québec". Rapport géologique no 20, vol II, Province de Québec, Ministère des Mines, 647 p.
- DUNBAR, C.O. et RODGERS, J. (1966). "Principles of Stratigraphy". Ed. John Wiley & Sons, Inc. p. 6.
- DUPONT, C. (1976). "L'érosion". Gouvernement du Québec - Services de Protection de l'environnement, mars, 60 p.
- EDOUARDS, W.H. et LLOYD, L.H. (1970). "Agricultural Pollution of Water Bodies". The Ohio Journal of Science, vol. 70 no 1, Jan., p. 50-56.
- FETH, J.H. (1966). "Nitrogen compounds in natural water - a review". Water Resources research, vol. 2 (1), p. 41-58.
- FRUH, E.G. (1967). "The overall picture of eutrophisation". Journal WPCF, vol. 39 (9), sept. p. 1449-1463.
- GOLDBERG, M.C. (1970). "Sources of nitrogen in water supplies". Dans Agricultural Practices and Water Quality. Ed. Willrich, T.L. et SMITH, G.E., chap. 7.
- GOLDSCHMIDT, V.M. (1958). "Geochemistry". Ed. Alex Muir, Oxford, Clarendon Press, 730 p.
- GOLTERMAN, H.L. (1973). "Natural phosphate sources in relation to phosphate budget: a contribution to the understanding of eutrophisation". Water Research, Pergamon Press, vol. 7, p. 3-17.

- GOULDEN, P.D., TRAVERSY, W.J. et KEW, G. (1970). "Detergents, phosphates, and water pollution". Inland Waters Branch, Dept of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada, Technical bulletin No 22, 8 p.
- GUIVER, K. (1971). "River water quality - Effects of effluent discharges and agricultural runoff". Effluent and Water Treatment Journal, May, vol. 11(5): 243-249.
- HARMS, L.L., DORNBUSH, J.N. et ANDERSEN, J.R. (1974). "Quantifying non-point pollutants in agricultural runoff". Cornell Univ. Conference, p. 24-38.
- HENSLER, R.F. et ATTOE, O.J. (1970). "Rural sources of nitrates in water". Univ. of Illinois, Coll. Eng., p. 86-98.
- HERNWALL, J.B. (1949). "The fixation of phosphorus by soils". Adv. Agron., 9, p. 95-113.
- HOBBIE, J.E. et LIKENS, G.E. (1973). "Output of phosphorus dissolved organic carbon and fine particulate carbon from Hubbard Brook watersheds". Limnology and oceanography, vol. 18 (5), sept., p. 734-742.
- HOLT, R.F., TIMMONS, D.R. et LATTERELL, J.J. (1970). "Accumulation of phosphates in water". Journal of Agricultural and Food Chemistry, no. 18, p. 781-784.
- HORNBECK, J.W. et LIKENS, G.E. (1974). "Importance of the chemical composition of the snowpack". Interdisciplinary symposium on advanced concepts and techniques in the study of snow and ice resources, Monterey, Calif. 2-6 déc., 11 p.
- JAWORSKI, N.A. et HETLING, L.J. (1970). "Relative contributions of nutrients to the Potomac river basin from various sources". Cornell Univ. Conf. jan. 19-21. Relationship of agriculture to soil and water pollution, p. 134-146.

- JONES, G.D. et ZWERMAN, P.J. (1972). "Rates and Timing of nitrogen fertilization in relation to nitrate - nitrogen outputs and concentrations in the water from interceptor tile drains". Search Agriculture, vol. 2(6), 31 p.
- JONES, J.R., BOROFKA, B.P. et BACHMAN, R.W. (1976). "Factors affecting nutrients loads in some Sovia Streams". Water Research, vol 10. p. 117-122.
- JUNG, J. (1972). "Factors determining the leaching of nitrogen from soil, including some aspects of maintenance of water quality". Qual. Plant. Mater. Veg. XXI, 4: 343-366..
- KEENY, D.R. (1972). "The fate of nitrogen in aquatic ecosystem". Literature review no. 3, the University of Wisconsin, W.R.C., 57 p.
- KEENY, D.R. et GARDNER, W.R. (1970). "The dynamics of nitrogen transformations in the soil". American Association for the advancement of science, p. 96-103.
- KEENY, D.R. et WALSH, L.M. (1972). "Available Nitrogen in rural ecosystems: sources and fate". Hort Science, Vol. 7 (3), juin. p. 219-228.
- KEUP, L.E. (1968). "Phosphorus in flowing waters". Water Research. Pergamon Press. Vol. 2, p. 373-386.
- KURTZ, L.T. et SMITH, G.E. (1966). "Nitrogen Requirements", in Advances in Corn Production (W.H. Piere, S.R., Aldrich et W.P. Martin Ed). Iowa State Univ. Press, chap. 9.
- LACHANCE, M et SASSEVILLE, J.L. (1976). "Etude submergée de la qualité des eaux des bassins versants des rivières Saint-François et Yamaska". Vol 4: Secteur des eaux atmosphériques. Entente Ministère des Richesses naturelles et INRS-Eau.
- LAPLANTE, L., ALAIRE, A. et MAILLOUX, A. (1942). "Carte pédologique du comté de Richelieu". Ministère de l'Agriculture, Québec.

- LAPLANTE, L. et CHOINIERE, L. (1954). "Etude pédologique des sols du comté de Yamaska". Ministère de l'Agriculture, Province de Québec, bulletin technique No 3, 151 p.
- LAPLANTE, L. (1959). "Etude pédologique du Comté de Bagot". Division des sols, Ministère de l'Agriculture, province de Québec, Bulletin technique no. 6, 159 p.
- LARSEN, S. (1967). "Soil phosphorus". Adv. Agron. 18, p. 151-210.
- LAURIN, A. (1969). "Carte géologique du Québec". Ministère des Richesses naturelles, Direction Générale des Mines.
- LEE, G.F. (1973). "Role of phosphorus in eutrophisation and diffuse source control". Water Research, Pergamon Press, vol. 7, p. 111-128.
- L'ESPERANCE, P.J. (1961). "Région d'Acton". Rapport préliminaire no 496, Gouvernement du Québec, Ministère des Richesses naturelles 9 p.
- LOCHS, R.C. et ASCE, M. (1972). "Agricultural runoff - characteristics and control". Journal of Sanitary Engineering Div. Proc. of the Amer. Soc. of Civil Eng., déc. p. 1849-1872.
- LUNIN, J. (1971). "Agricultural wastes and environmental pollution". Advances in Environmental Science and Technology, vol. 2, p. 215-261.
- MAYNARD, D.N. et BAKER, A.V. (1972). "Nitrate content of vegetable crops". Hort. Science, vol. 7(3): 224-226.
- McCALLA, T.M., FREDERICK, L.R. et PALMER, G.L. (1970). "Manure decomposition and fate of breakdown products in soil", dans Agricultural Practices and Water Pollution, Ed. Willrich, T.L., Smith, G.E., Chap. 17.
- McCALLA, T.M. (1974). "Use of Animal Wastes as a Soil Amendment". Journal of Soil and Water Conservation, Sept-Oct, p. 213-216.
- MILLER, F.P. (1970). "Pollution are fertilizers at fault". Crops and Soils Magazine. Aug-Sept. p. 15-20.

- MINER, J.R. et WILLRICH, T.L. (1970). "Livestock operations and field spread manure as source of pollutants", dans Agricultural Practices and Water Pollution, Ed. Willrich, T.L., Smith, G.E., Chap. 16.
- MINSHALL, N.E., ASCE, F., WITZELL, S.A. ASCE, M. et NICHOLS, M.J. (1970). "Stream enrichment from farm operations". Journal of the Sanitary Engineering Div. Proc. of the Amer. Soc. of Civil Eng., April, p. 513-524.
- NELSON, L.B. (1972). "Agricultural chemicals in relation to environmental quality: chemical fertilizer, present and future". J. of Environmental Quality, Vol. 1(1): 2-6.
- PATRICK, W.H. et TUSNEEM, M.E. (1972). "Nitrogen Loss from flooded soil". Ecology, vol. 53(4): 735-737.
- PAPERZAK, P., CALDWILL, A.G., HUNZINGER, R.R. et BLACK, C.A. (1958). "Phosphorus fractions in manures". Soil Science, vol. 87, p. 293-302.
- RIPLEY, P.O., KALBFLEISCH, W.M. GOURGET, S.J. et COOPER, D.J. (1962). "Erosion du sol par l'eau, dommages, moyens préventifs, répression". Service de recherches, Ministère de l'Agriculture du Canada, Publication 1083, Mars, 37 p.
- ROBINSON, A.R. (1971). "A primer an agricultural pollution - Sediment". Journal of Soil and Water Conservation, vol. 26(2): 44-60.
- SCHUMAN, G.E., SPAMER, R.G. et PIEST, R.F. (1973). "Phosphorus losses from four agricultural watersheds in Missaie valley Loss". Soil Sci. Amer. Proc., vol. 37, p. 424-427.
- SCHWIMM, D.E. et BONNEAU, H.D. jr. (1972). "Nitrogen and phosphorus variations in domestic wastewater". WPCF Journal vol 44 (11), p. 2059-2065.

- SKUKLA, S.S., SYERS, J.K., WILLIAMS, J.D.H., ARMSTRONG, D.E. et HARRIS, R.F. (1971). "Sorption of inorganic phosphate by lake sediments". Soil Sci. Soc. Amer. Proc., vol. 35, p. 244-249.
- STEVENSON, F.J. et WAGNER, G.H. (1970). "Chemistry of nitrogen in soils". Agricultural Practices and Water Pollution, Ed. Willrich, T.L., Smith, G.E., chap. 8.
- STEWART, B.A., VIETS, F.G. et HUTCHINSON, G.L. (1968). "Agriculture's effect of nitrate pollution of groundwater". Journal of Soil and Water Conservation, Jan.-Feb., vol. 23(1), p. 13-15.
- STOLTENBERG, N.L. et WHITE, J.L. (1953). "Selective loss of plant nutrients by erosion". Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 17, p. 406-410.
- STUMM, W. et MORGAN, J.J. (1970). "Aquatic Chemistry". Ed. Wiley Interscience, chap. 10.
- STUMM, W et STUMM-ZOLLINGER, E. (1972). "The role of phosphorus in eutrophisation". Dans Water Pollution Microbiology, Ed. Ralph Mitchell Wiley Interscience, 416 p.
- SYLVESTER, R.O. (1961). "Nutrient content of drainage water from forested, urban and agricultural areas". Algae and Metropolitan Wastes, U.S. public health serv., Sec. TRW61-3, p. 80-87.
- VERDUIN, J. (1970). "Significance of phosphorus in water supplies". Dans Agricultural Practices and Water Pollution, Ed. Willrich, T.L., Smith, G.E., Chap. 5.
- VIETS, F.G. Jr. (1971). "Water quality in relation to farm use of fertilizer". Bioscience, vol. 21, May, 15. p. 460-467.
- VIETS, F.G. Jr. et HAGERMAN, R.H. (1971). "Factors affecting the accumulation of nitrate in soil, water and plants". Agricultural Handbook No. 413, Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C. 59 p.

- VOLLENWEIDER, R.A. (1968). "Les bases scientifiques de l'eutrophisation des lacs et des eaux courantes sous l'aspect particulier du phosphore et de l'azote comme facteurs d'eutrophisation". Organisation de coopération et de développement économiques, Paris, juillet, 182 p.
- WALKER, K.C. et WADLEIGH, C.H. (1968). "Water pollution from land runoff". Plant Food Review, no 1, p. 1-4.
- WEAVER, P.J. (1969). "Phosphates in surface waters and detergents". Journal WPCF sept. p. 1647-1653.
- WELSBER, L.R. et ELRICK, D.E. (1967). "The Soil and Lake Eutrophisation". Proceedings, tenth conference on great lakes research, p. 404-412.
- WEIBEL, S.R., ANDERSON, R.J. et WOODWARD, R.L. (1964). "Urban Land runoff as a factor in stream pollution". Journal WPCF, vol. 36(7):, july, p. 914-924.
- WEIDNER, R.B., CHRISTIANSON, A.G., WEIBER, S.R. et ROBECK, G.G. (1969). "Rural runoff as a factor in stream-flow pollution". Journal WPCF, vol 41 (3), mass. p. 377-384.
- WISCHMEIER, W.H. et MANNERING, J.V. (1969). "Relation of Soil Properties to its erodibility". Soil Sci. Soc. Amer. Proc. vol. 33, p. 131-137.
- WISCHMEIER, W.H. et SMITH, D.D. (1962). "Soil-Loss estimation as a tool in soil and water management planning". Int. Assoc. Sci. Hydrol. Publ. 59, p. 148-159.
- WISHMEIER, W.H. et SMITH, D.D. (1960). "A Universal Soil-Loss equation to guide conservation farm planning". 7e intern. congress of soil science, Madison, Wisconsin, USA. p. 418-425.
- ZELLER, R.W. et LANE, R.K. (1974). "Quality Control and data assurance committee - communication of International Joint Commission". International Reference Group on Upper Lakes Pollution, 5 p.

ANNEXE I

Facteur d'érodibilité des sols

Le facteur d'érodibilité des sols a été établi à partir de l'équation proposée par Wischmeier et Mannering (1969):

$$K \propto (0.043 R + \frac{0.62}{OM} + 0.0082 S - 0.0062 C) \% Si$$

R: "réaction" (proportionnel au pH)

OM: contenu en matière organique

S: % de sable

C:  $\frac{\% \text{ argile}}{\% \text{ sable} + \% \text{ "silt"}}$

Si: "silt"

L'érodibilité inhérente d'un sol dépend de sa capacité d'infiltration et de sa capacité à résister à la désaggrégation et au ruissellement. La relation entre ces paramètres et les qualités physiques et chimiques des sols fut étudiée pour les sols du "Corn Belt" des Etats-Unis. Les principales propriétés des sols qui influencent leur potentiel d'érosion sont les suivantes: le contenu relatif de sable, de "silt" et d'argile et la proportion de matière organique, le pH, la structure, la pente. Tous ces paramètres sont intégrés dans l'équation universelle de perte de sol (Wischmeier et Smith, 1960; Wischmeier et Smith, 1962; Wischmeier et Mannering, 1969; Anonyme, 1970b)

$$A = R K L S C P$$

R: potentiel d'érosion des pluies (carte non disponible pour le Canada)

K: facteur d'érodibilité des sols. Il représente la perte moyenne de sol en tonnes/acre par unité du potentiel d'érosion des

pluies

L: longueur de la pente

S: degré de la pente

C: nature de la végétation, type de récoltes, intervalles entre les récoltes, niveau de productivité du sol, disposition des résidus

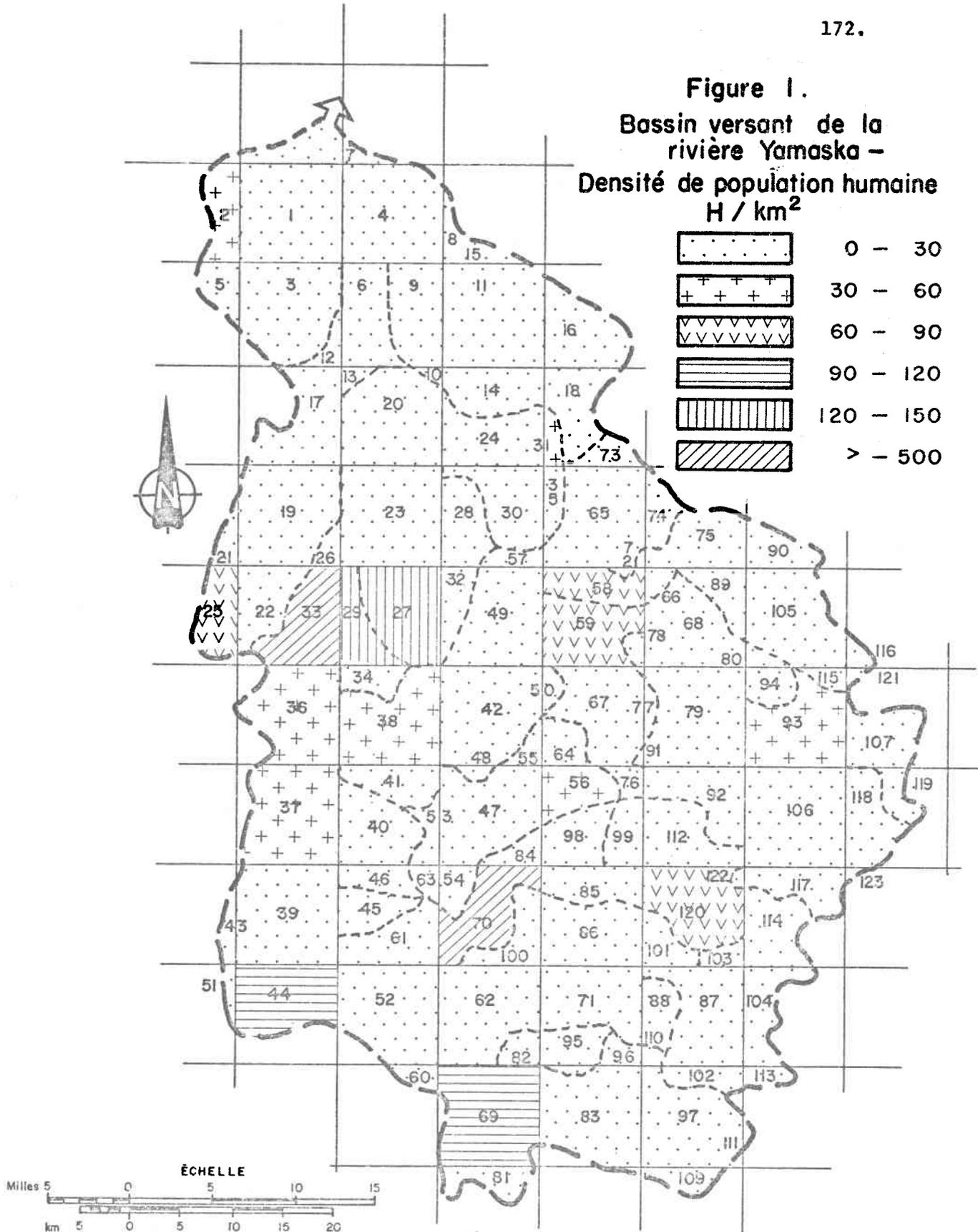
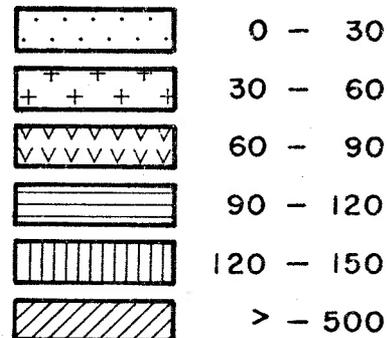
P: pratique de conservation des sols.

Notons que K est généralement calculé après les autres variables et obtenu au moyen d'un test standard. Cependant vu les connaissances limitées du milieu et de la non disponibilité des divers indices pour la région étudiée, nous nous sommes limités à l'évaluation du paramètre K. En fait, nous voulons être en mesure de déterminer s'il y a ou non une différence significative entre les potentiels d'érosion des sols dans les cinq sous-bassins agricoles (voir l'Annexe II).

ANNEXE II

Bassin versant de la rivière Yamaska

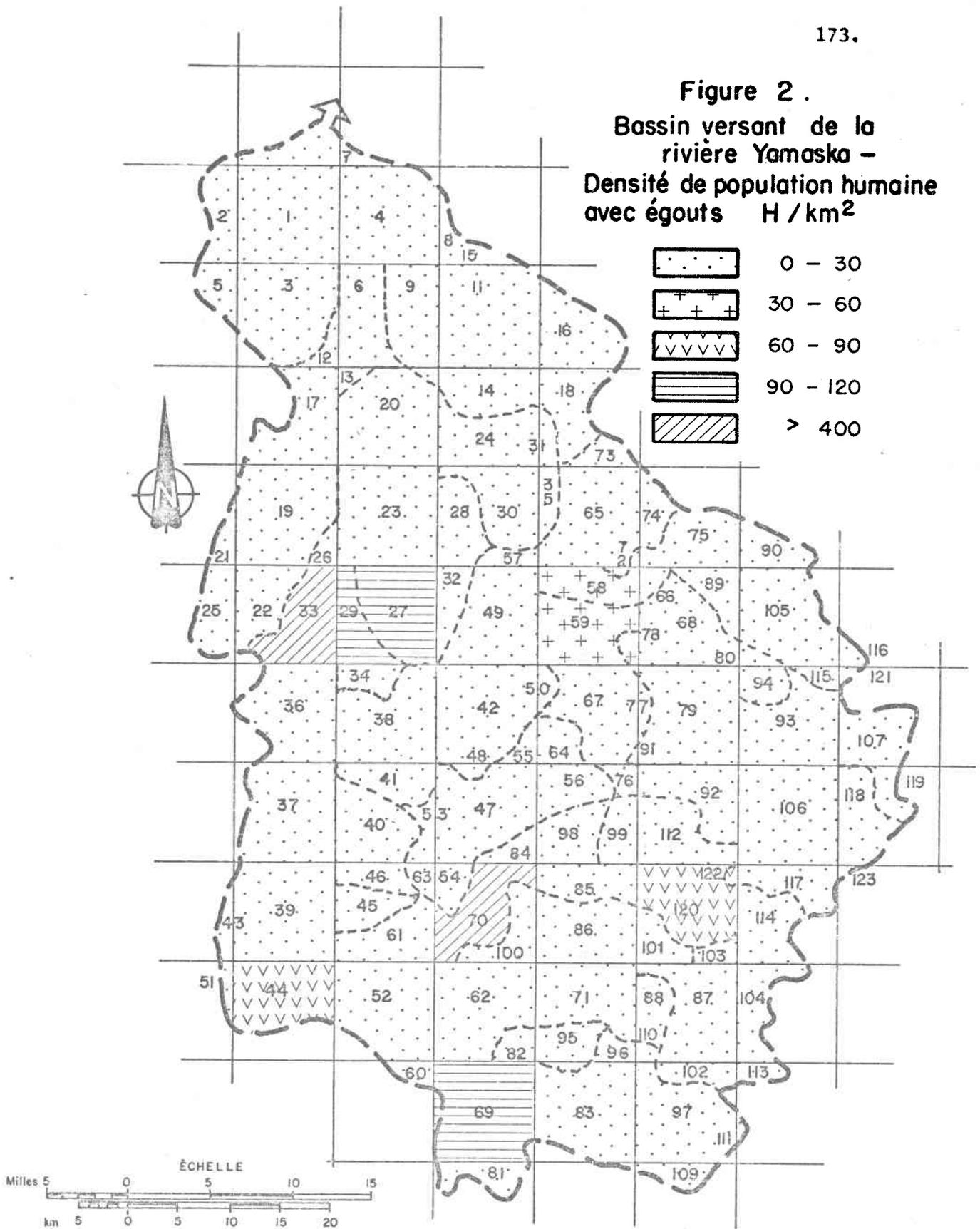
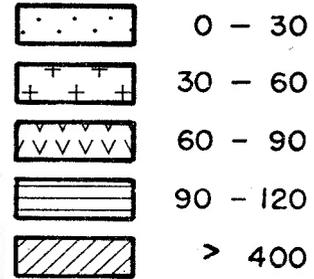
**Figure 1.**  
**Bassin versant de la**  
**rivière Yamaska -**  
**Densité de population humaine**  
**H / km<sup>2</sup>**



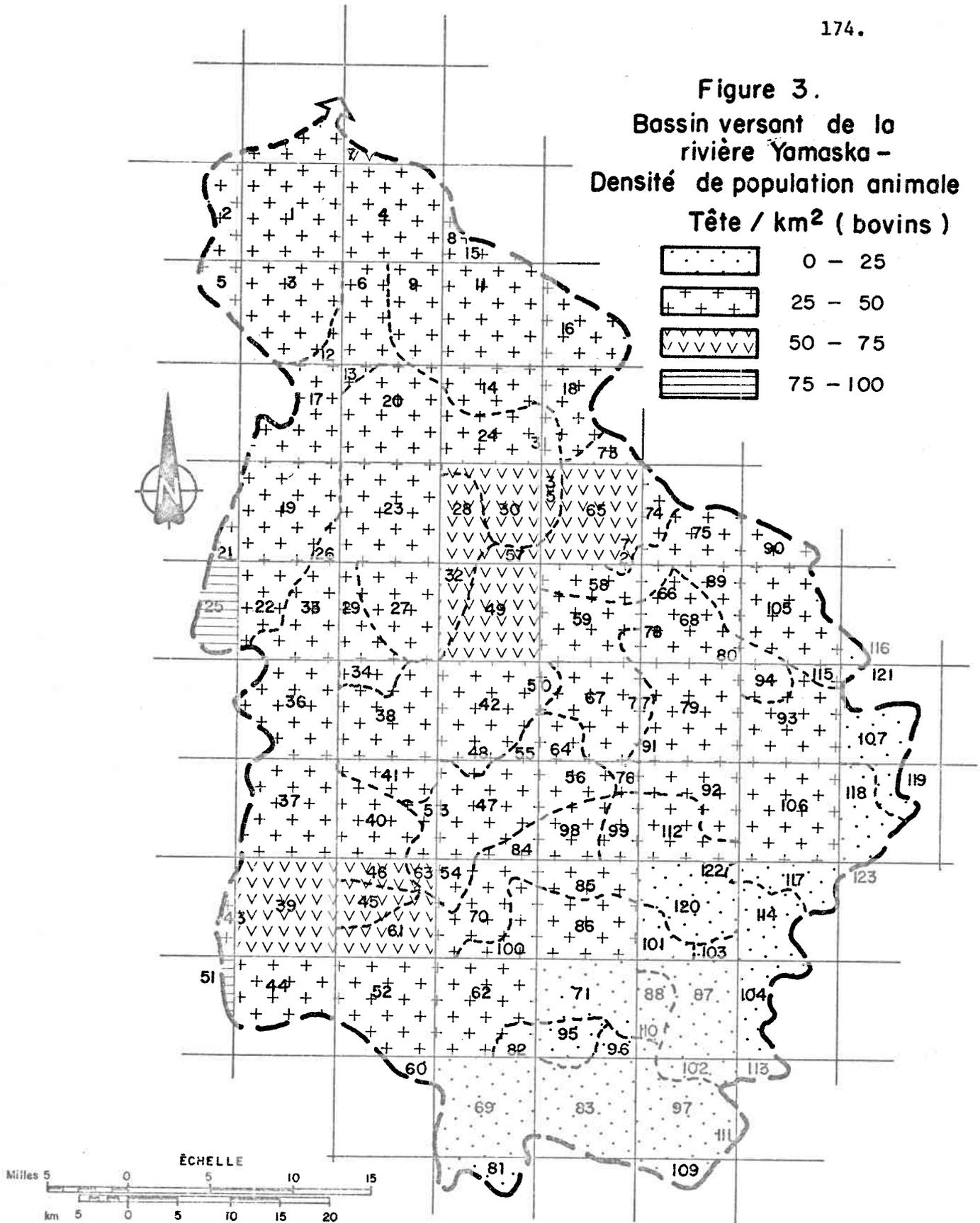
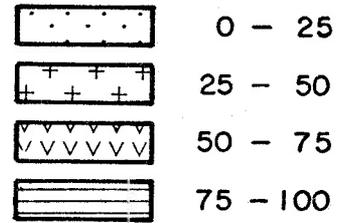
ST-HYACINTHE = 33 (No du carreau partiel )  
 GRANBY = 70  
 COWANSVILLE = 69  
 ACTON VALE = 58

STE - ROSALIE , ST- JOSEPH ,  
 LA PROVIDENCE = 27 et 29  
 FARNHAM = 44  
 WATERLOO , WARDEN = 120

**Figure 2.**  
**Bassin versant de la**  
**rivière Yamaska -**  
**Densité de population humaine**  
**avec égouts H / km<sup>2</sup>**



**Figure 3.**  
**Bassin versant de la**  
**rivière Yamaska -**  
**Densité de population animale**  
**Tête / km<sup>2</sup> ( bovins )**



**Figure 4.**  
**Bassin versant de la**  
**rivière Yamaska -**  
**Densité de population animale**  
**Tête / km<sup>2</sup> ( porcs )**

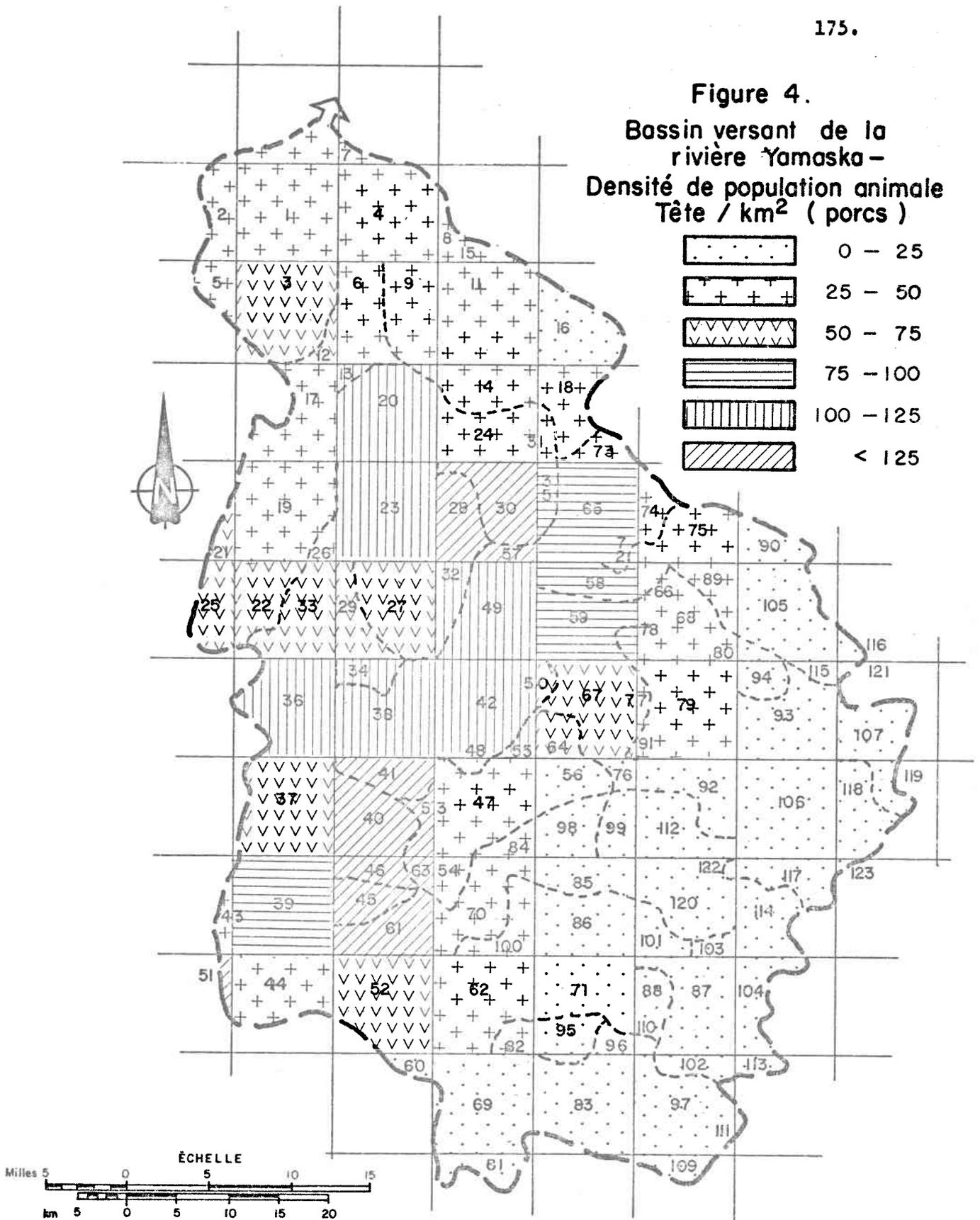
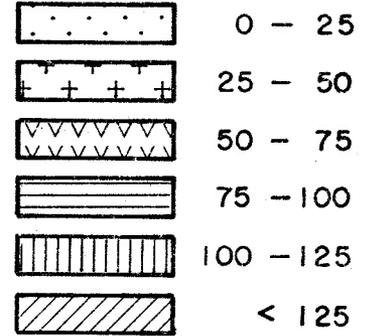


Figure 5.

Bassin versant de la  
rivière Yamaska -  
Densité de population animale  
Tête / km<sup>2</sup> ( poulets )

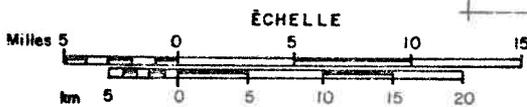
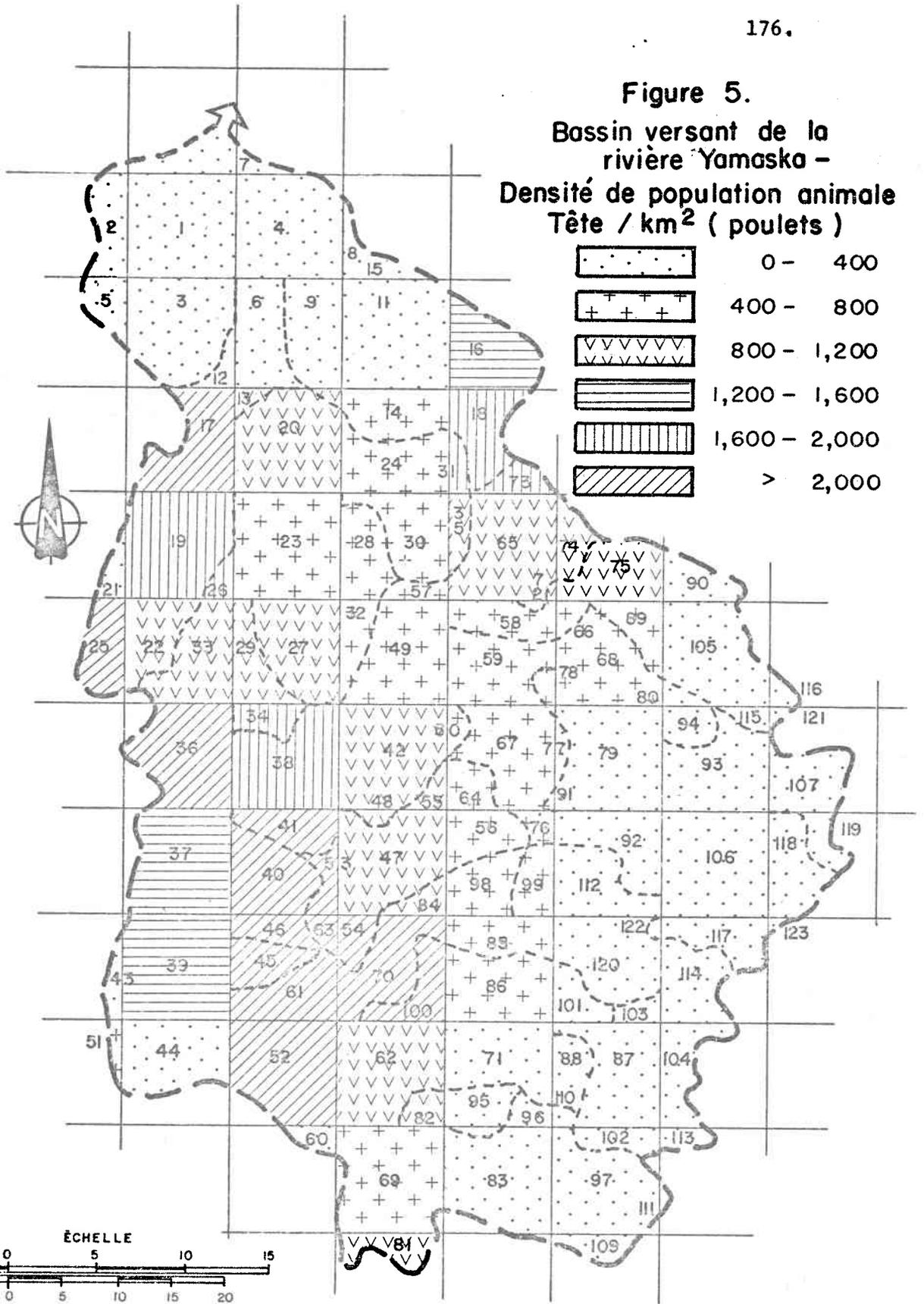
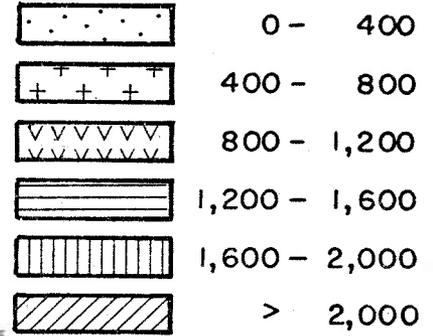


Figure 6.  
Bassin versant de la  
rivière Yamaska-  
Proportion des sols engraisés.  
% de la surface totale du carreau partiel.

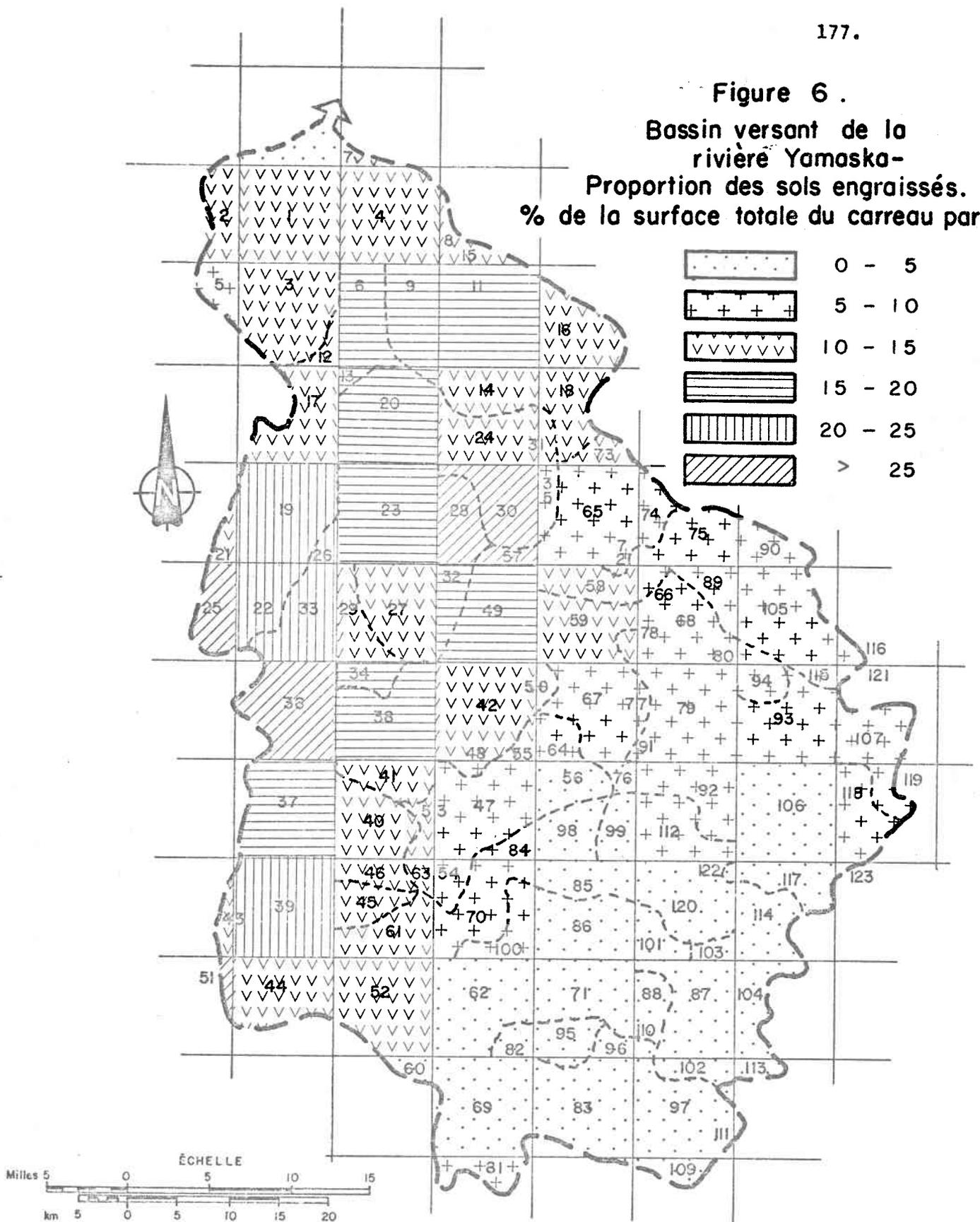


Figure 7.

Bassin versant de la  
rivière Yamaska -  
Production totale d'azote par unité  
de surface  $\text{kg}/\text{km}^2\text{-jr}$ .

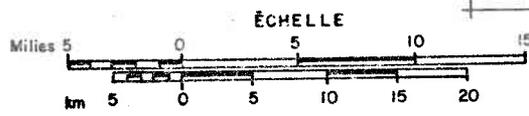
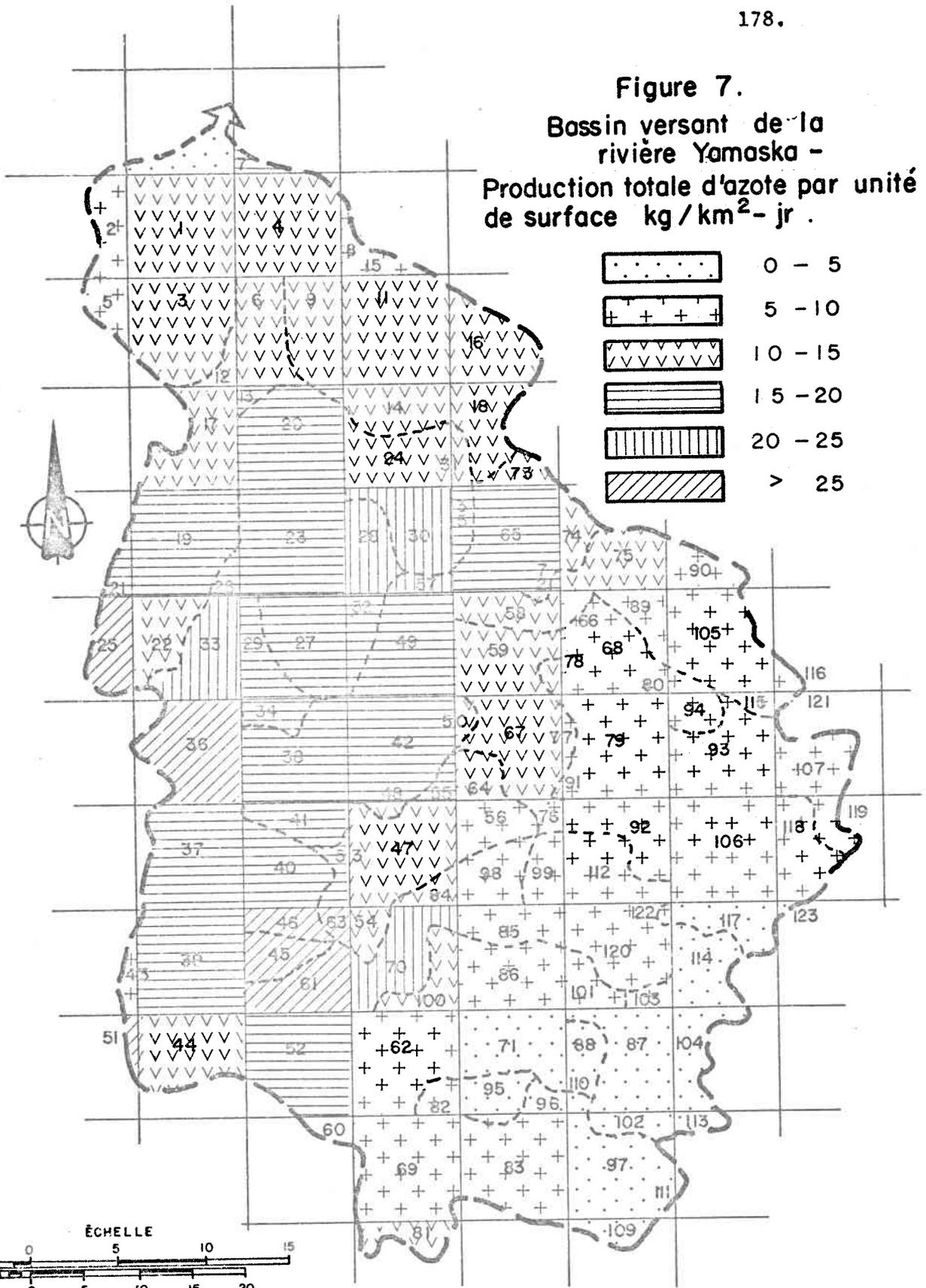
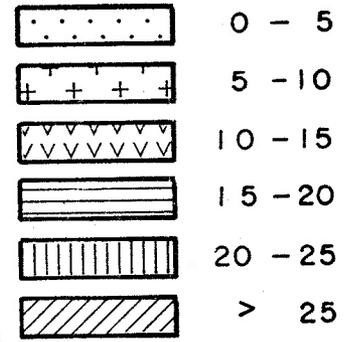
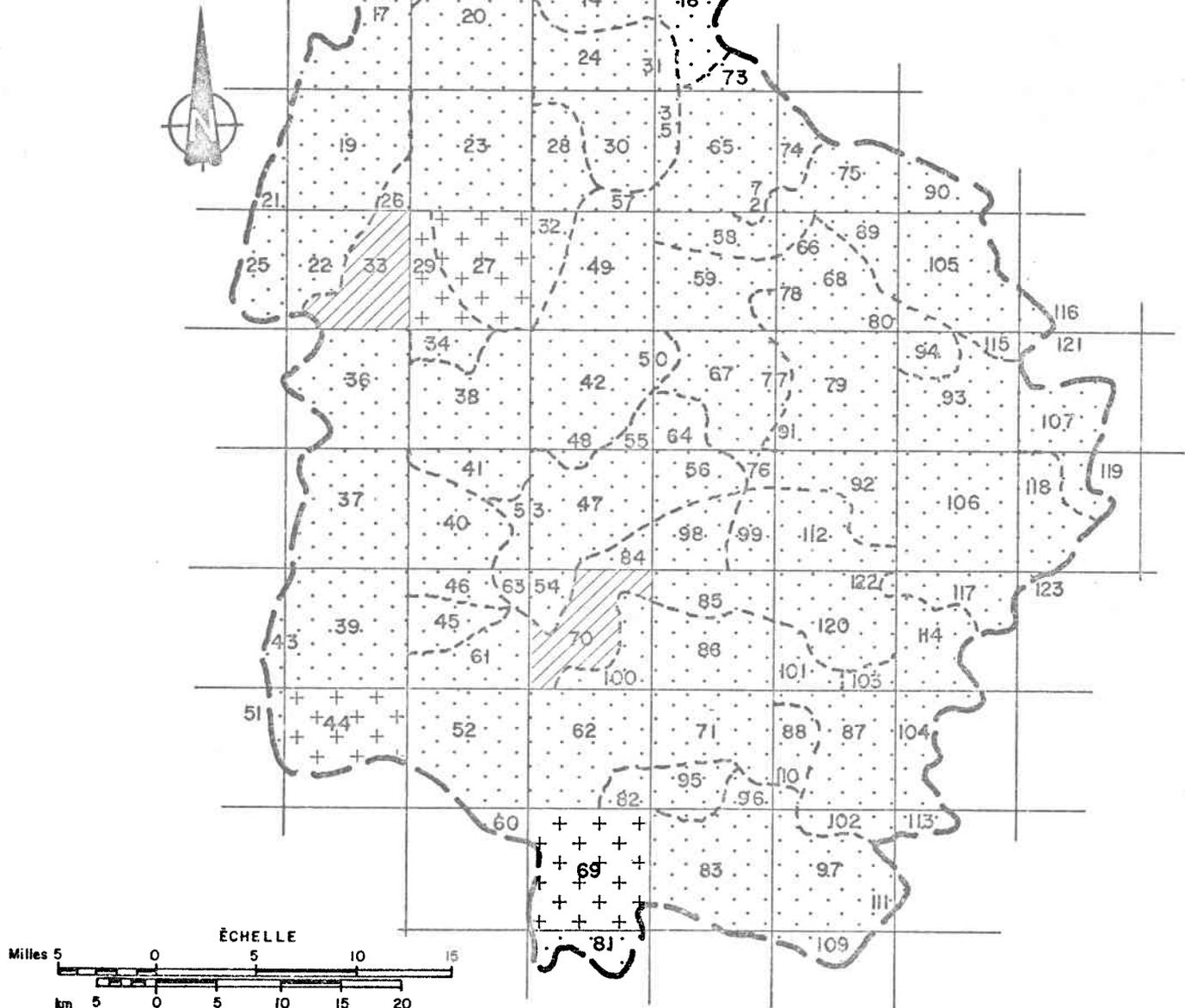
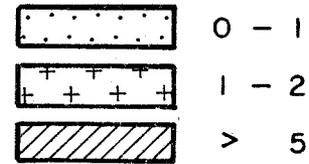


Figure 8.

Bassin versant de la  
rivière Yamaska

Production d'azote par unité de  
surface par la population humaine  
kg / km<sup>2</sup> - jr



**Figure 9.**  
**Bassin versant de la**  
**rivière Yamaska -**  
**Production d'azote par la population**  
**animale kg / km<sup>2</sup>-jr .**

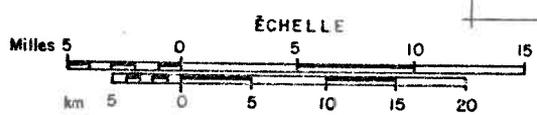
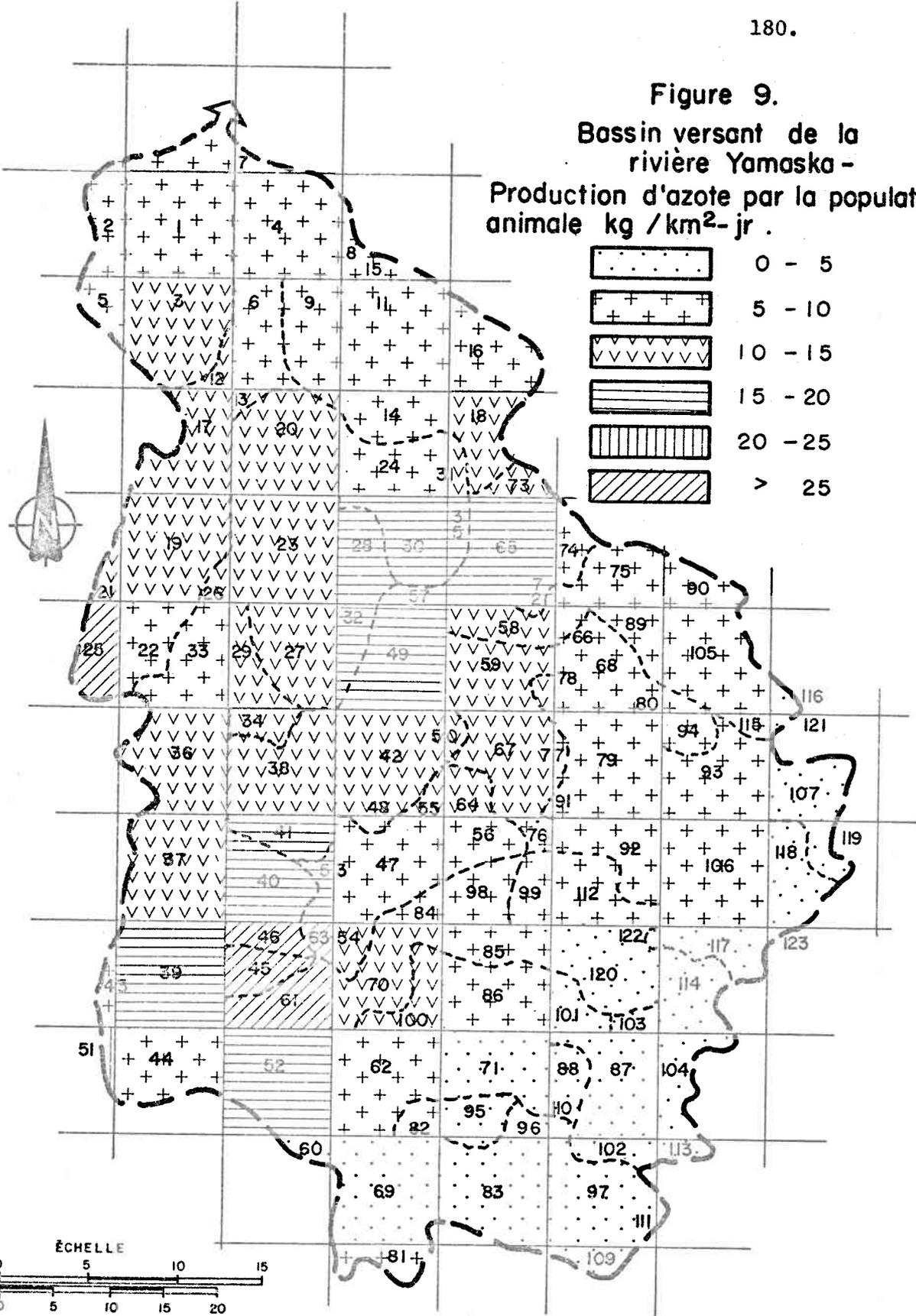
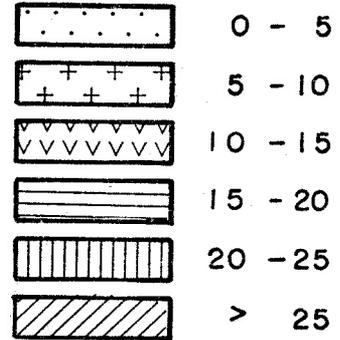


Figure 10.

Bassin versant de la  
rivière Yamaska -  
Production d'azote par unité de  
surface ( bovins )  $\text{kg}/\text{km}^2\text{-jr.}$

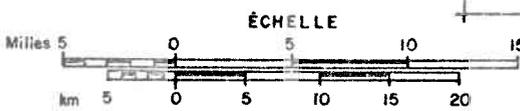
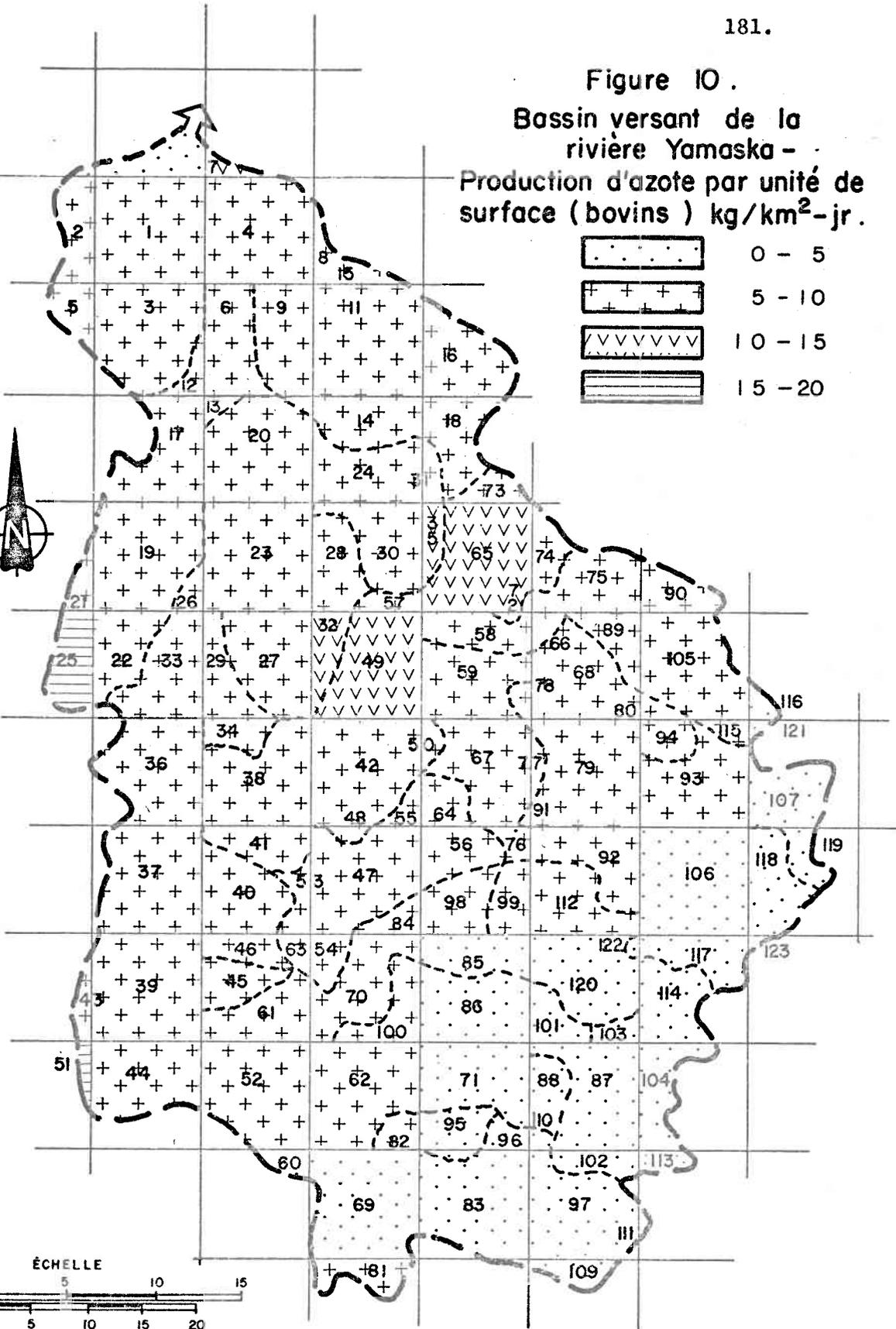
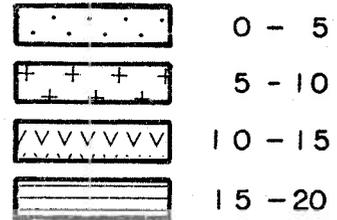


Figure II.

Bassin versant de la  
rivière Yamaska  
Production d'azote par unité de  
surface (porcs)  $\text{kg}/\text{km}^2\text{-jr}$

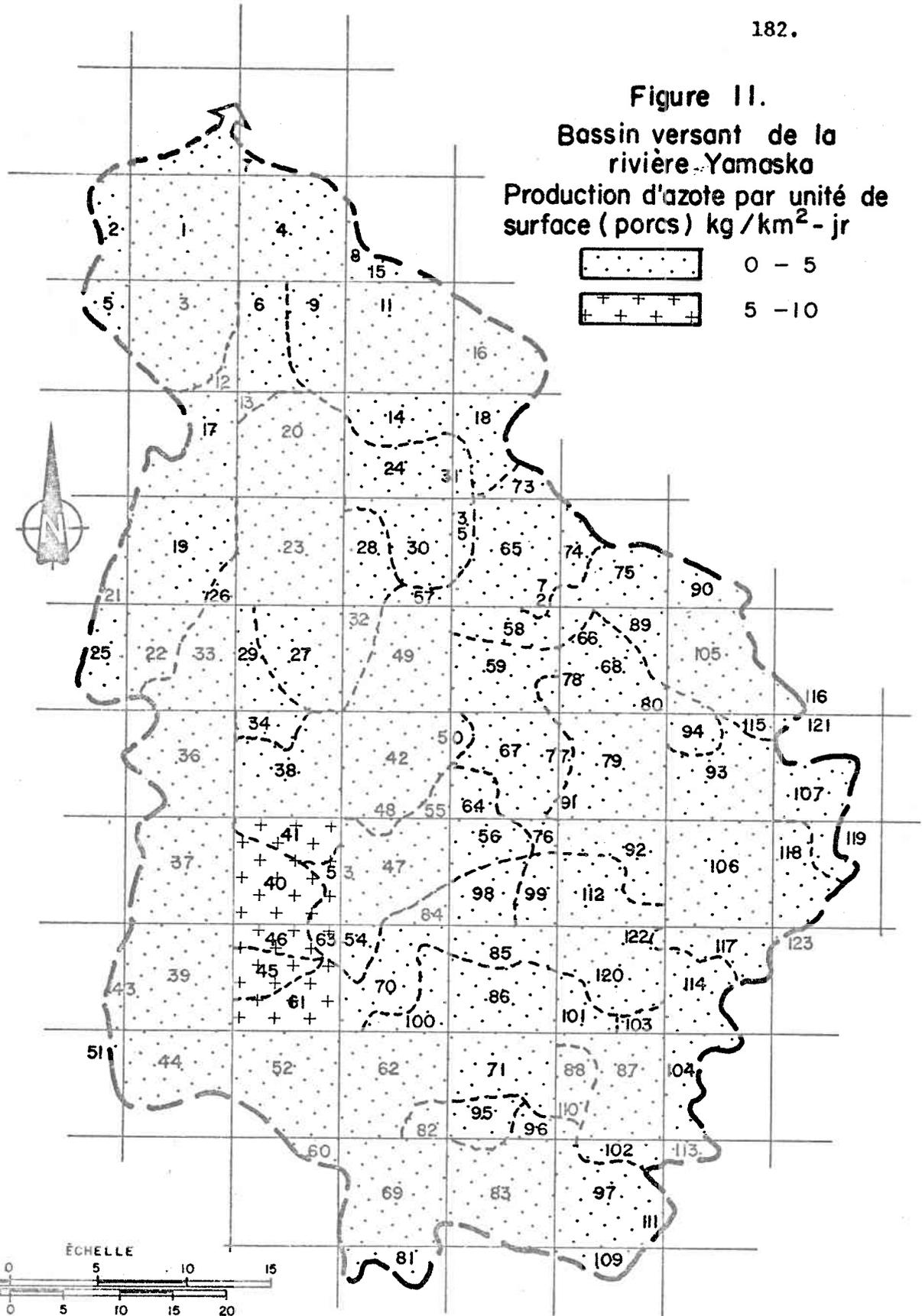
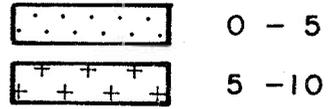


Figure 12.

Bassin versant de la  
rivière Yamaska -  
Production d'azote par unité de  
surface ( poulets )  $\text{kg}/\text{km}^2 \text{ jr}$

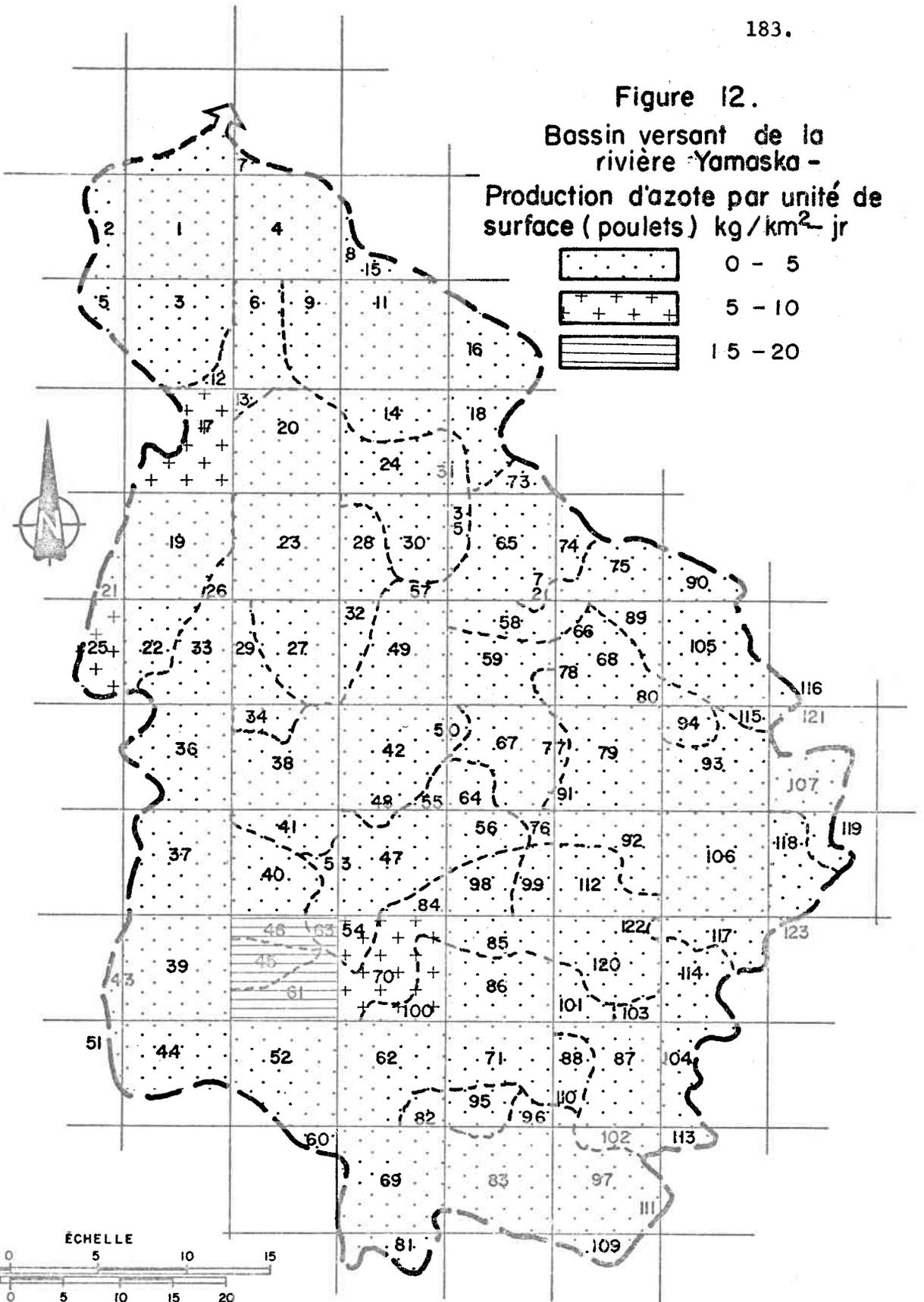
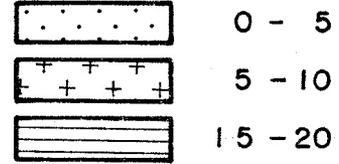




Figure 14.

Bassin versant de la  
rivière Yamaska -  
Production totale de phosphore par  
unité de surface . kg / km<sup>2</sup> - jr

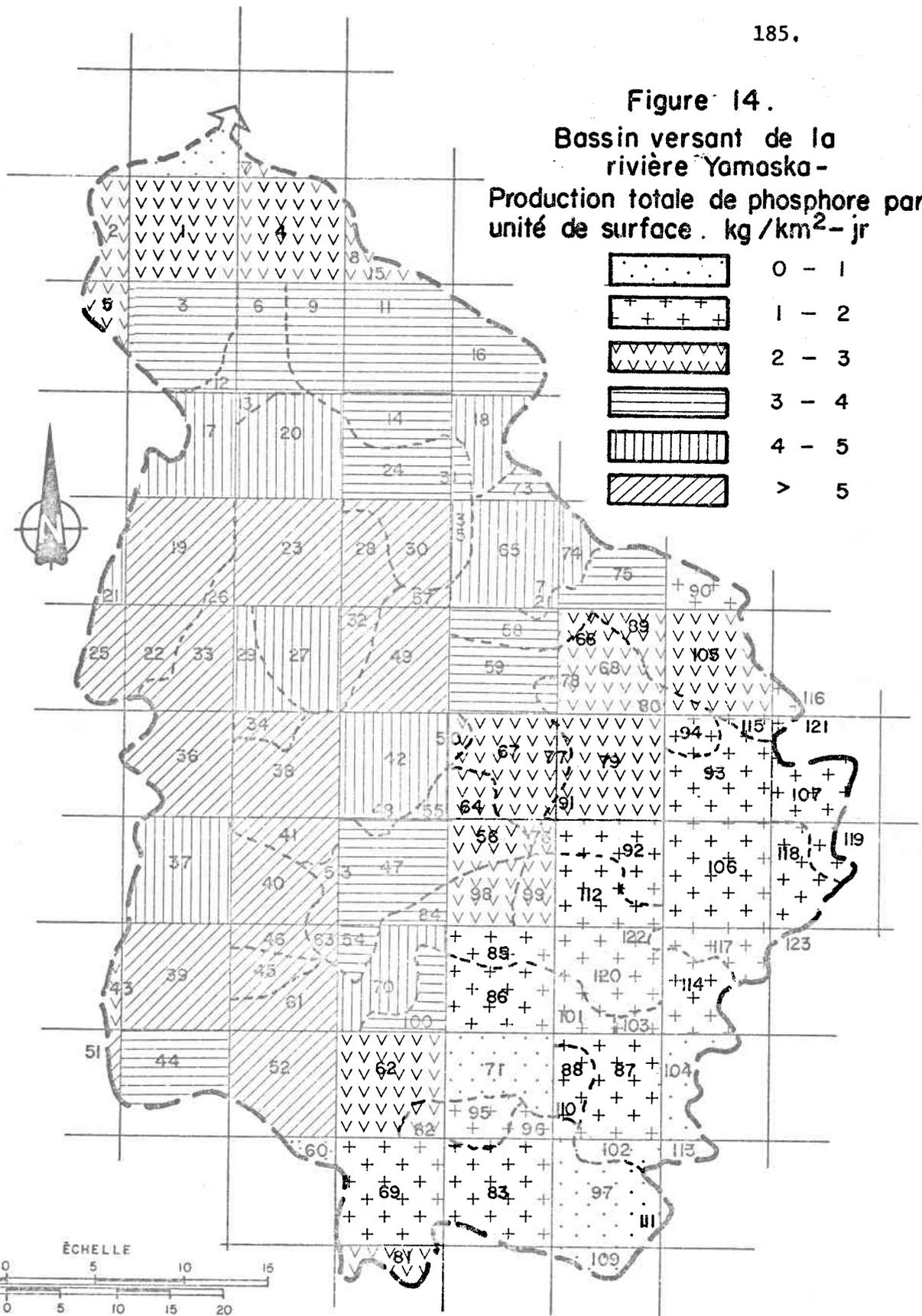
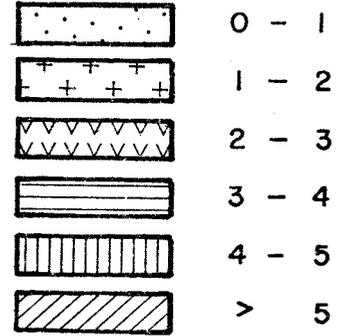


Figure 15 .

Bassin versant de la  
rivière Yamaska -  
Production de phosphore par la  
population humaine  $\text{kg}/\text{km}^2\text{-jr.}$

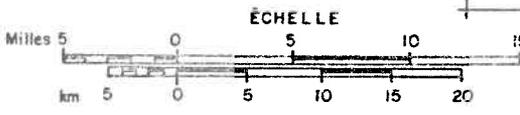
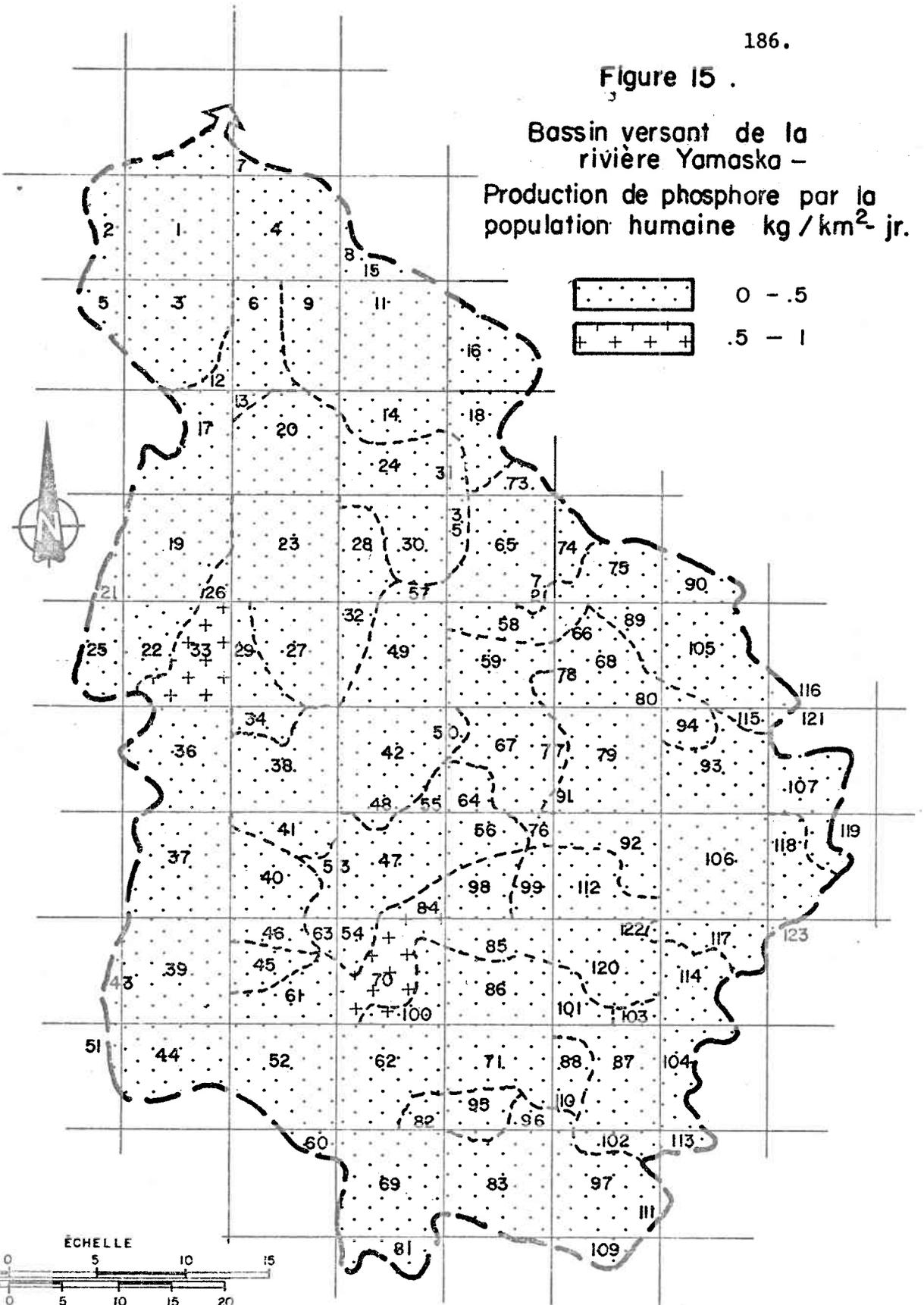
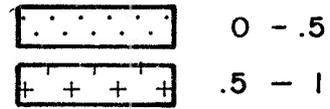
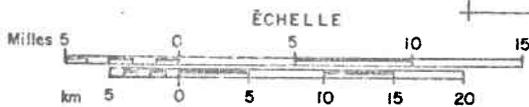
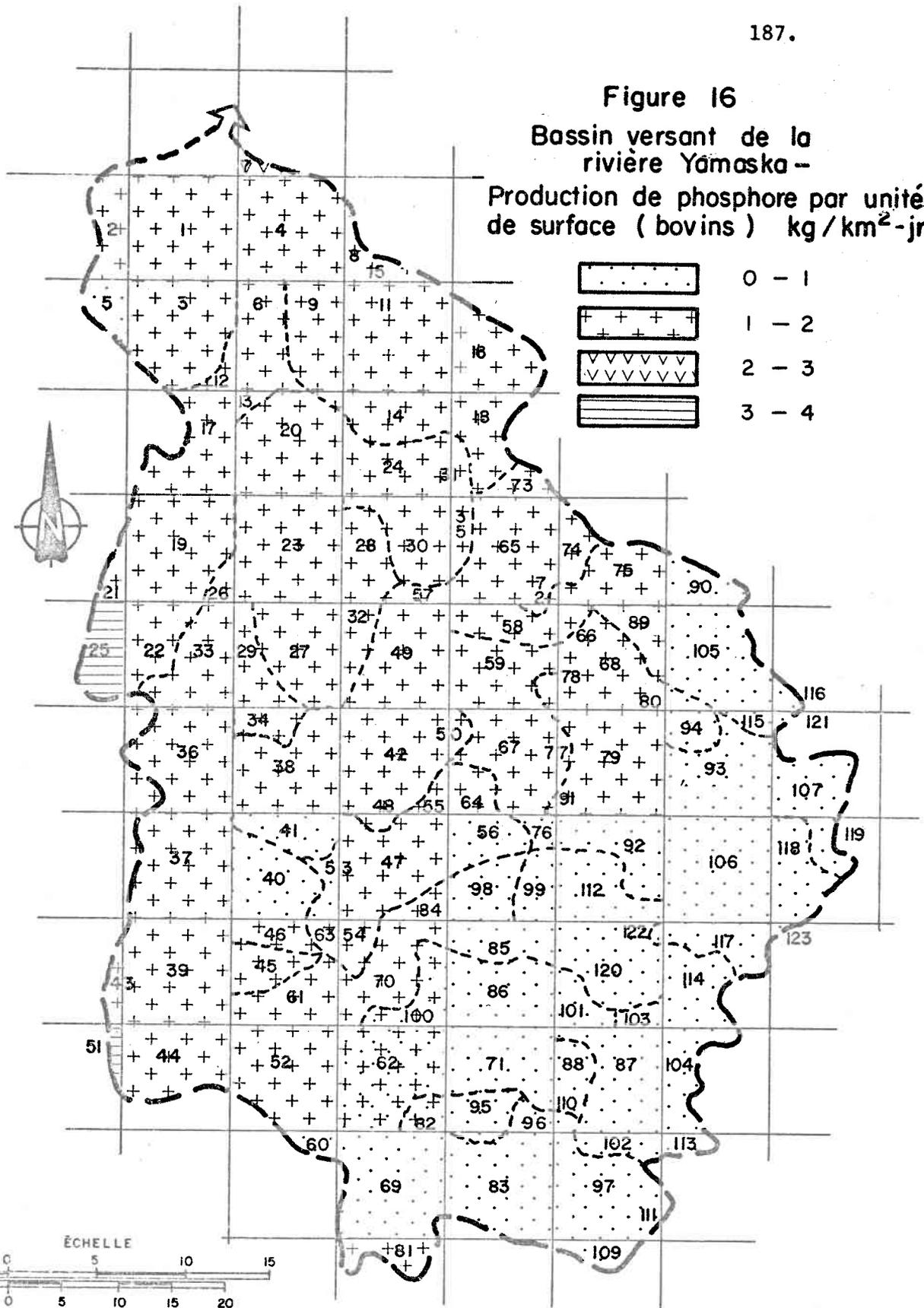
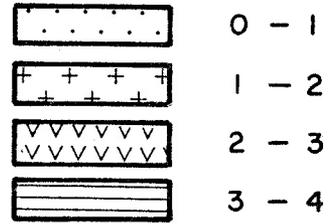


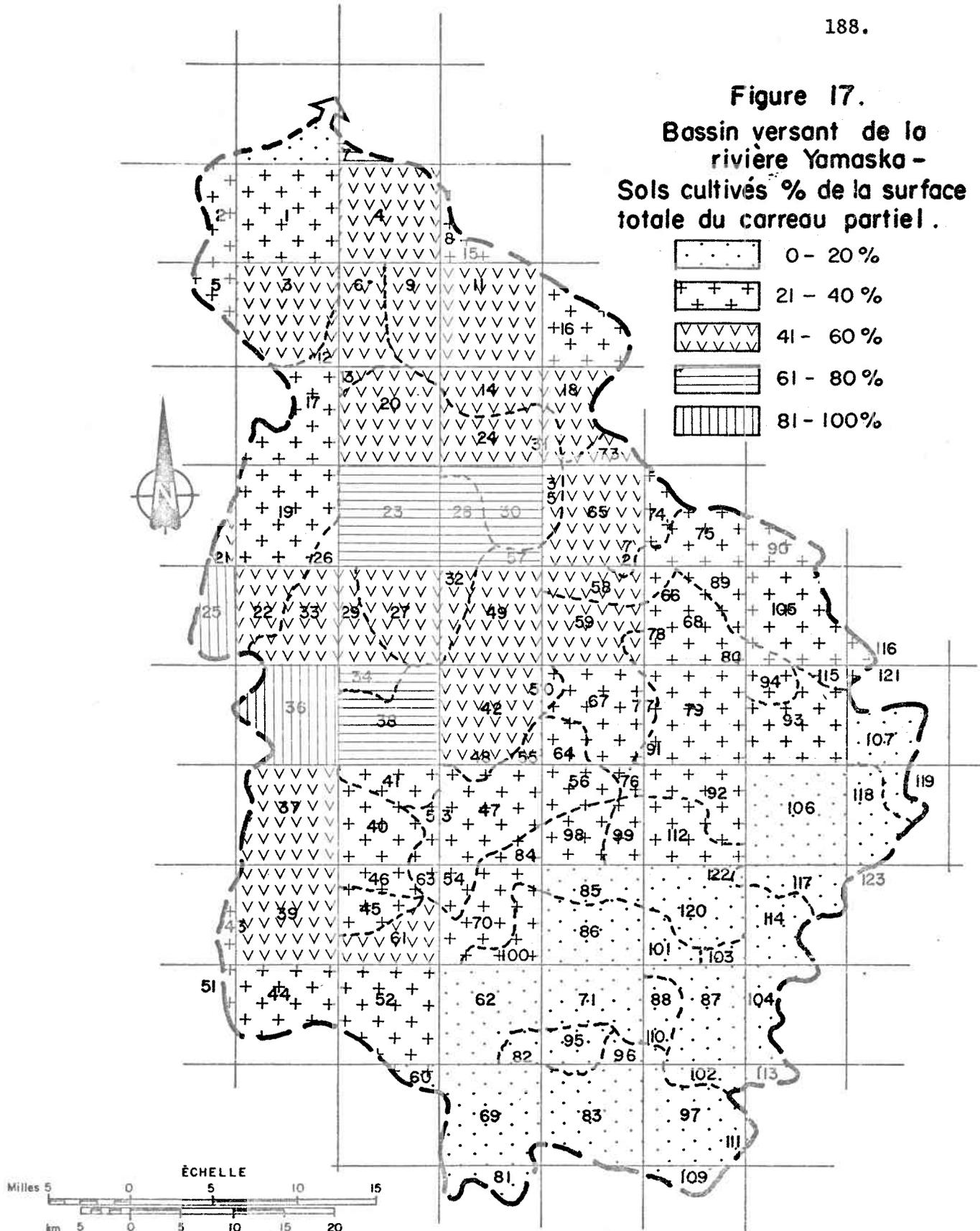
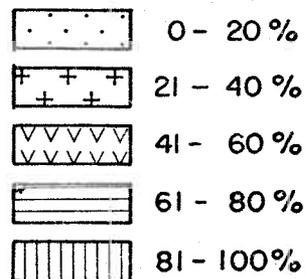
Figure 16

Bassin versant de la  
rivière Yamaska -

Production de phosphore par unité  
de surface ( bovins )  $\text{kg}/\text{km}^2\text{-jr}$ .



**Figure 17.**  
**Bassin versant de la**  
**rivière Yamaska -**  
**Sols cultivés % de la surface**  
**totale du carreau partiel .**



**Figure 18.**  
**Bassin versant de la**  
**rivière Yamaska -**  
**Production de phosphore par unité**  
**de surface ( porcs )**  
**kg / km<sup>2</sup> - jr**

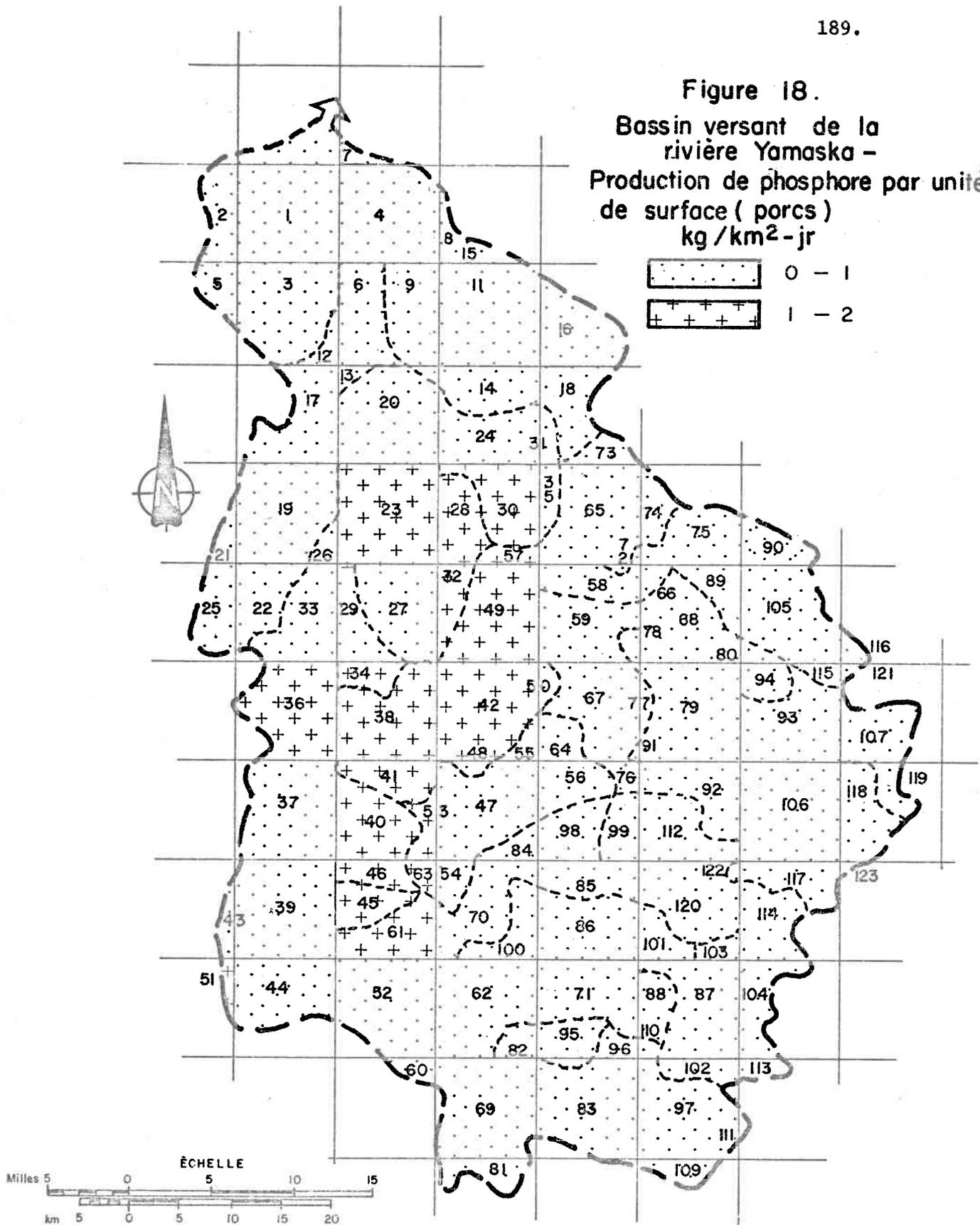
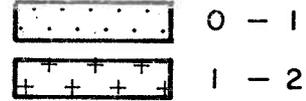


Figure 19

Bassin versant de la  
rivière Yamaska -  
Production de phosphore par  
unité de surface (poulets)kg/km<sup>2</sup>-jr.

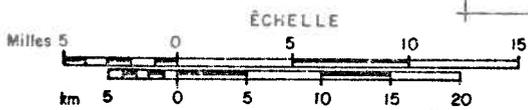
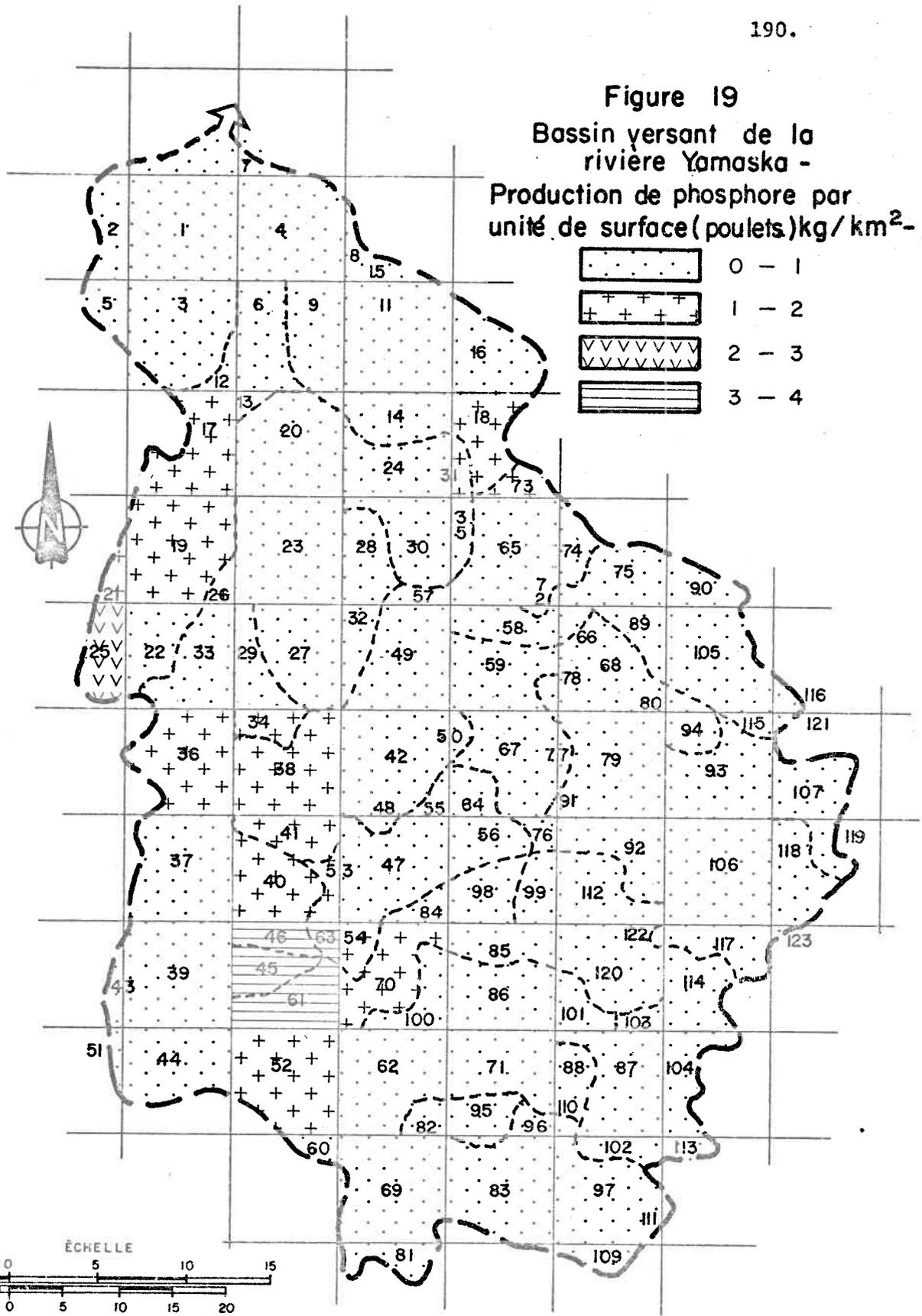
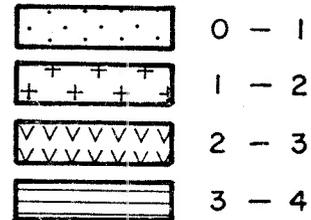
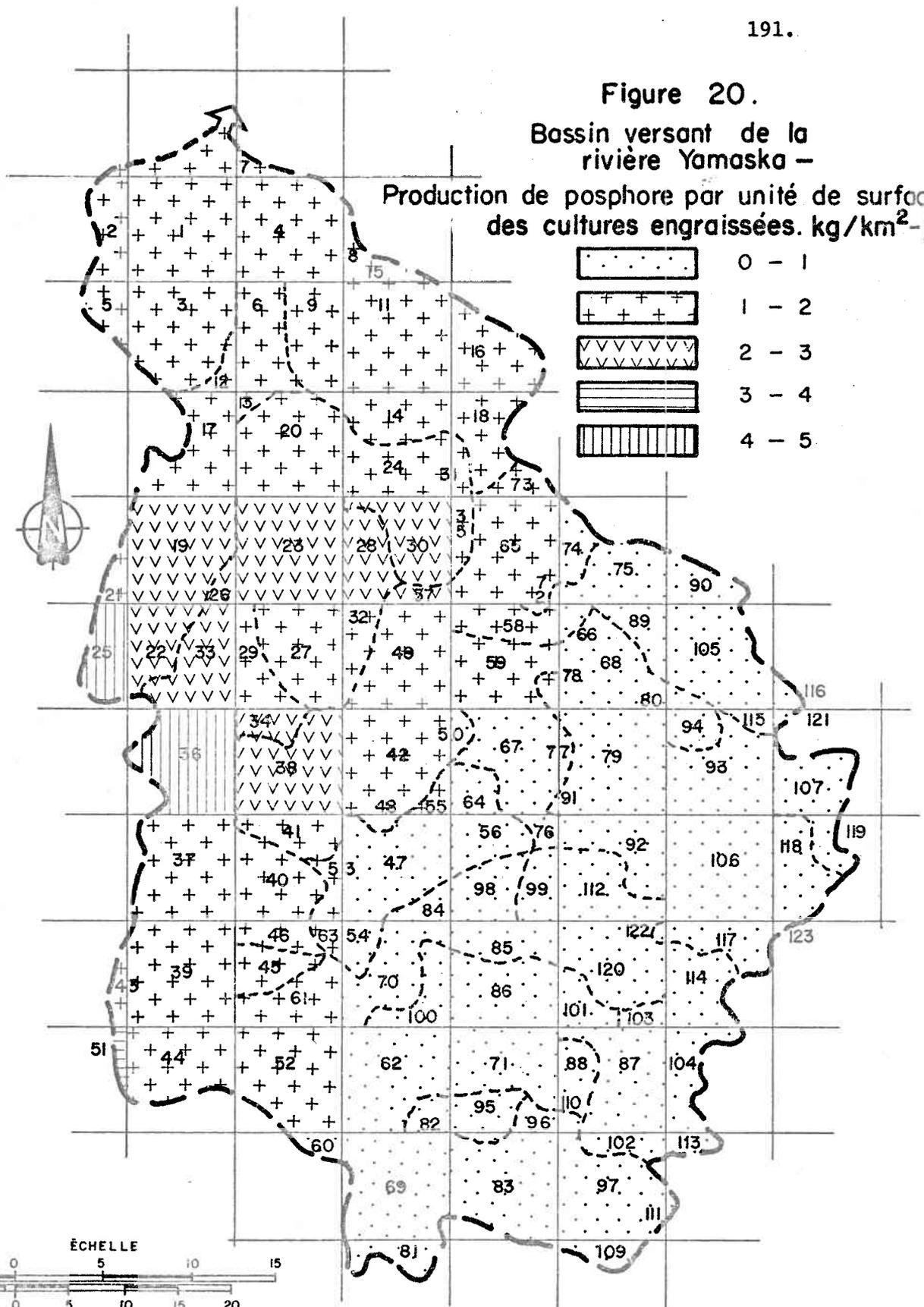
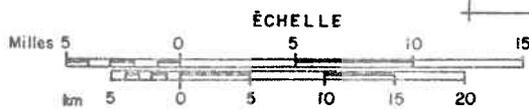
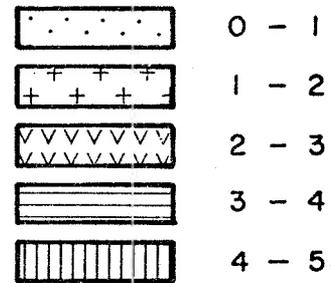


Figure 20.

Bassin versant de la  
rivière Yamaska —

Production de posphore par unité de surface  
des cultures engraisées.  $\text{kg}/\text{km}^2\text{-jr}$



ANNEXE III

Calculs statistiques

## 1. Coefficients d'érodibilité des sols

L'analyse de variance nous permet de déterminer si les coefficients d'érodibilité des sols des cinq sous-bassins sont égaux.

Hypothèses de base

- On suppose les distributions normales
- Vérification de l'égalité des variances (test de Bartlett)  
 $\alpha : 5\%$ ,  $F = 0.10$ ,  $F$  théorique  $\leq 2.5$

Les coefficients d'érodibilité des sols peuvent donc être considérés égaux.

## 2. Concentrations d'azote et de phosphore dans les cinq sous-bassins agricoles

L'analyse de variance nous permet de tester si les concentrations moyennes d'azote et de phosphore dans les cinq sous-bassins agricoles peuvent être considérées égales. Comme hypothèse de base, on suppose les distributions normales et l'égalité des variances doit être vérifiée.

### 2.1 Vérification de l'égalité des variances (test de Bartlett)

Azote total (NF)<sup>1</sup>  $\alpha$  : 1%  $\mu = 23.52$   $\chi^2 = 13.27$

Phosphore total (NF)<sup>1</sup>  $\alpha$  : 1%  $\mu = 29.01$   $\chi^2 = 13.27$

Le fait que l'égalité des variances n'est pas vérifiée affaiblit la valeur des résultats obtenus au moyen de l'analyse de variance.

### 2.2 Analyse de variance

Azote total (NF)<sup>1</sup>  $\alpha$  : 5%  $F = 5.49$ ,  $F$  théorique = 2.5

Phosphore total (NF)<sup>1</sup>  $\alpha$  : 5%  $F = 2.08$ ,  $F$  théorique = 2.5

Les concentrations moyennes d'azote total ne peuvent donc pas être considérées égales dans les eaux des cinq bassins agricoles, par contre les concentrations de phosphore total sont comparables. Notons que l'analyse de variance ne pourrait déceler la différence persistante entre deux stations où la variation temporelle des concentrations est grande.

### 2.3 Test de Scheffe

Ce test nous permet de comparer les moyennes entre elles, lorsque l'égalité des moyennes est rejetée (c'est-à-dire dans le cas de l'azote total).

<sup>1</sup> (NF): échantillon non filtré

Azote total (NF)<sup>1</sup>

Les concentrations mesurées dans les eaux des rivières Chibouet, Salvail et Barbue sont comparables mais significativement différentes de celles du ruisseau Runnets.

Les concentrations mesurées dans les eaux des rivières Chibouet, Salvail, Barbue et Saint-Nazaire sont comparables.

Les concentrations mesurées dans les eaux des rivières Saint-Nazaire et Runnets peuvent être considérées égales.

---

<sup>1</sup> (NF): échantillon non filtré.