

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

Mémoire
présenté
à
l'Institut National de la Recherche Scientifique
INRS-Eau

comme exigence partielle
de la
Maîtrise ès sciences
(Sciences de l'eau)

par

Marie-Emmanuelle Quentin
B.Sc. Mathématiques-Informatique

"Systèmes d'information géographique
appliqués à
une problématique environnementale"

Mai 1990

REMERCIEMENTS

Au risque d'oublier de citer des soutiens précieux ayant jalonné la réalisation de ce mémoire, je tiens à remercier nommément:

- de l'INRS-Eau, mon directeur de mémoire Monsieur Daniel Cluis, ainsi que Monsieur Denis Couillard qui a bien voulu accepter d'apporter ses corrections à ce travail,

- de la Direction de l'Assainissement Agricole du Ministère de l'Environnement du Québec, Monsieur Georges Gangbazo et Madame Yolaine Blais, pour leur apport à l'établissement de l'application concrète faisant l'objet de ce mémoire,

- du bureau régional du Ministère de l'Environnement du Québec à l'Assomption, Monsieur Martin Mimeault et Madame Dominique Jutras pour leur aide à la collecte des données de terrain,

- du Laboratoire de Traitement de l'Information Géographique du Département de Géographie de l'Université Laval, Monsieur Marius Thériault dont les notes correctives ont été fortement appréciées et Monsieur Marc Miller qui a manifesté pour le sujet abordé un intérêt constructif.

RÉSUMÉ

Ce travail de maîtrise se situe dans le cadre du développement récent et rapide des systèmes d'information géographique qui ont encore été peu utilisés dans le domaine de l'environnement. Tout en situant ce type de logiciel par rapport aux capacités de logiciels antérieurs (cartomatique), on a voulu déterminer leur utilité pour des applications en sciences de l'eau.

La problématique de pollution d'un cours d'eau due à une gestion inadéquate du lisier de porc dans le cas précis du sous-bassin versant du Ruisseau-des-Anges (bassin de la rivière l'Assomption) a servi d'application concrète.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	i
RÉSUMÉ	ii
TABLE DES MATIÈRES	iii
LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES TABLEAUX	vi
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1: DESCRIPTION DES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE	3
1.1 Origine	3
1.1.1 Cartographie	3
1.1.2 Mathématiques	5
1.1.3 Acquisition des données	5
1.1.4 Informatique	7
1.2 Définition des SIG	10
1.3 Revue bibliographique de l'utilisation des SIG	25
1.3.1 Applications courantes	25
1.3.2 Applications liées à l'eau	28
CHAPITRE 2: PROBLEMATIQUE DE LA POLLUTION DES EAUX PAR EPANDAGE DU LISIER DE PORC	32
2.1 Problème de surplus de lisier	32
2.2 Aspect spatial du problème: l'épandage	45
2.3 Réglementation gouvernementale	50
2.4 Solutions envisageables	52
CHAPITRE 3: ETABLISSEMENT D'UN PROTOTYPE DE SIG ADAPTE A LA GESTION DU LISIER DE PORC	57
3.1 Outils informatiques utilisés	57
3.1.1 Micro-informatique	57
3.1.2 Logiciels	58
3.2 Bassin versant du Ruisseau-des-Anges	70
CHAPITRE 4: METHODOLOGIE ET RESULTATS	76
4.1 Entrées des données	76
4.2 Traitement des données	83
4.3 Pistes de recherche	94
CONCLUSION	96
BIBLIOGRAPHIE	97

ANNEXE A: CARTES	102
ANNEXE B: BANQUE DE DONNEES STATISTIQUES	114
ANNEXE C: MACRO-COMMANDES	121
ANNEXE D: MATERIEL ET LOGICIELS UTILISES	130
ANNEXE E: ORGANISMES DIFFUSEURS DE DONNEES	132
ANNEXE F: GLOSSAIRE	133

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1: Composantes d'un SIG au niveau logiciel	13
Figure 1.2: Composantes d'un SIG au niveau matériel	16
Figure 1.3: Trois types de structure de données matricielle	17
Figure 1.4: Approches possibles pour la conception d'un SIG	20
Figure 1.5: Principe du recouvrement ("overlay")	24
Figure 2.1: Zones de concentration porcine au Québec	34
Figure 3.1: Interfaces entre les logiciels utilisés	69
Figure 3.2: Localisation du bassin versant du Ruisseau- des-Anges	71
Figure 4.1: Données numérisées	80
Figure 4.2: Base de donnée du Ruisseau-des-Anges (pMAP)	82
Figure 4.3: Méthodes d'obtention des résultats	85
Figure 4.4: Graphique statistique sur les producteurs porcins du bassin du Ruisseau-des-Anges	87

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1: Comparaison entre les structures matricielle et vectorielle	19
Tableau 1.2: Fonctions disponibles dans les SIG	23
Tableau 2.1: Evolution de l'élevage porcin entre 1951 et 1982	35
Tableau 2.2: Caractéristiques du lisier de porc	37
Tableau 2.3: Coefficients d'utilisation de N, P, K dans le lisier de porc	39
Tableau 2.4: Comparaison entre le potentiel polluant du lisier de porc et des déjections humaines	43
Tableau 2.5: Contraintes d'épandage	46
Tableau 2.6: Facteurs affectant le ruissellement de l'eau sur un bassin versant	49
Tableau 2.7: Doses d'épandage permises par le MENVIQ	51
Tableau 2.8: Critères de qualité de l'eau potable	53
Tableau 3.1: Structure interne d'une base de données de pMAP	61
Tableau 3.2: Commandes de pMAP	63
Tableau 3.3: Utilisation du sol dans le bassin versant du Ruisseau-des-Anges	72
Tableau 4.1: Résultat des requêtes effectuées sur les données statistiques des producteurs porcins	86

LISTE DES CARTES

Carte 1: Hydrographie	103
Carte 2: Courbes de niveau et points cotés	104
Carte 3: Courbes de niveau	105
Carte 4: Production porcine 1989	106
Carte 5: Utilisation du sol 1985	107
Carte 6: Doses d'épandage permises	108
Carte 7: Epandage de lisier de porc 1989	109
Carte 8: Surplus ou déficit en lisier	110
Carte 9: Réseau routier de la cuve 11 aux champs	111
Carte 10: Potentiels de réception d'éléments polluants du lisier dans le réseau hydrographique	112
Figure A: Relief	113

NOTE: afin de regrouper les sorties couleurs concernant le Ruisseau-des-Anges, on a inclus dans l'Annexe A (Cartes) la Figure A qui ne présente pourtant pas une carte à proprement parler.

INTRODUCTION

Information: voilà un des mot-clés de notre époque. Assaillis de partout par des informations d'essence et de forme des plus variées, il a fallu apprendre à gérer le flot de données et à le traiter afin d'en retirer toujours plus d'informations. Dans ce contexte, l'informatique arrive à point et participe à l'accélération du phénomène.

Environnement: ce terme n'a été mis à la mode que plus récemment, avec la prise de conscience de l'importance de la dégradation de l'écosystème dont les êtres humains font partie. Il n'a pas tardé à tenir lui aussi la vedette dans la vie de tous les jours. Ce qui se répercute alors dans le domaine de la recherche, où les connaissances des processus de pollution des ressources naturelles sont loin d'être complètes.

Pour lier ce que recouvre ces deux mots, on peut parler des systèmes d'information géographique (SIG). Ces outils sont eux aussi relativement jeunes et méritent donc d'être explorés. C'est dans cette optique que les grandes lignes de l'exposé qui suit ont été tracées.

Après une description théorique des SIG et une rapide mention des applications trouvées dans la littérature, les aspects spatiaux de la problématique de dégradation de la qualité de l'eau par pollution diffuse d'origine agricole seront mis en évidence pour déboucher enfin sur la partie propre à ce mémoire, une application concrète utilisant un SIG basé sur micro-informatique pour un petit bassin versant du Québec. Cette application sera présentée en deux temps: d'une part la description et la justification du choix des données de base, d'autre part les résultats obtenus en spécifiant les méthodes employées auxquelles s'ajoutera une analyse critique.

Afin d'alléger le texte, des abréviations ont été employées: elles sont consignées dans le Glossaire de l'Annexe F, avec certains termes dont la définition peut s'avérer utile au lecteur non spécialisé dans les domaines abordés.

CHAPITRE 1: DESCRIPTION DES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

1.1 Origine

Dans sa volonté de maîtriser l'espace dans lequel elle évolue, l'humanité a dû développer des concepts et techniques liés à la dimension spatiale. Intégrant une partie importante de ces acquis, les systèmes d'information géographique (SIG) figurent actuellement parmi les systèmes les plus évolués de manipulation de données à référence spatiale. Afin de mieux comprendre dans quel cadre s'inscrit l'apparition de ces SIG, un bref rappel historique des disciplines qui leur ont donné naissance s'impose.

1.1.1 Cartographie

Historique

1) Evolution de l'utilisation de la cartographie

Depuis les premières cartes ébauchées par des savants grecs il y a plus de six mille ans, la cartographie était longtemps restée uniquement un moyen de mémoriser les lieux et voies de communication.

Ce n'est qu'à partir du XVII^{ème} siècle que se développe l'analyse des données géographiques: la cartographie devient un outil de planification, en particulier dans le domaine militaire, et de développement des connaissances pour les milieux scientifiques. Avec le XXI^{ème} siècle qui voit se multiplier les moyens de communiquer l'information rapidement (photocopieur, télévision, micro-ordinateur), le domaine visuel s'est taillé une place prépondérante. En effet, "un petit dessin vaut mieux qu'un long discours" étant donné la densité d'information que peut contenir

une image. Du fait qu'aux données statistiques s'ajoutent par définition des coordonnées spatiales, la carte est le moyen permettant de représenter le plus grand nombre d'informations par unité de surface. Par exemple, Tufte (1983) estime qu'une carte des Etats-Unis présentant les taux de cancer par Etat contient environ 21 000 nombres; comme point de repère, mentionnons que cette page contient au plus 2 275 caractères (35 lignes x 65 caractères). Ainsi, considérée comme outil de communication, la carte a une efficacité à divers degrés:

- au niveau informatif puisqu'elle permet la transmission d'une grande quantité d'information,
- au niveau de la vulgarisation car son format moins rébarbatif que des données statistiques brutes donne une accessibilité de l'information à un public plus large,
- au niveau pédagogique étant donné que là encore, il est plus facile de comprendre et d'assimiler des résultats présentés sous forme de carte plutôt que sous forme de texte ou de tableau de chiffres.

2) Types de carte

On distingue d'abord les cartes **topographiques**, sur lesquelles on peut retrouver: - le relief du terrain

- les objets qui s'y trouvent en permanence.

A partir du XVIème siècle, on voit apparaître les cartes **thématiques** qui présentent un sujet bien précis (régions administratives, forêts, routes,...) sur un fond repère. Ce type de carte connaît un essor considérable au XIXème siècle avec les cartes géologiques, politiques et économiques. Il est intéressant de constater que la carte a été la première forme graphique de représentation de données statistiques, les courbes ou diagrammes n'ayant été introduits qu'à la fin du XVIIIème siècle.

Définition actuelle de la cartographie

A la fois science par le degré de connaissance qu'elle implique et art par son côté graphique, la cartographie englobe la conception, la préparation, la réalisation et l'interprétation des cartes et des plans.

1.1.2 Mathématiques

Comme les capacités des SIG seront étudiées plus loin, les principaux domaines mathématiques auxquels les SIG font appel ne sont que brièvement rappelés ici.

La **géométrie**, qui a connu son essor dans la Grèce antique, est un outil de base pour tout ce qui concerne le graphisme, que ce soit pour des représentations planes d'objets à 2 dimensions tels que les frontières d'un territoire ou à 3 dimensions comme le relief d'un terrain (qui est du ressort de la géométrie projective).

Le développement récent de l'analyse **statistique** (avant 1900, la statistique restait purement descriptive) permet le traitement de gros volumes de données. De nombreuses méthodes statistiques font appel aux notions déjà bien établies d'**algèbre linéaire** (matrices). Conjointement, bien que développées à partir du XVII^{ème} siècle pour l'étude des jeux de hasard, les **probabilités** se sont introduites dans les divers domaines scientifiques comme outil de prévision et d'analyse d'erreur.

L'utilisation de modèles mathématiques s'accroît avec la naissance du concept d'**optimisation**, lui-même issu de l'avènement du calcul différentiel au XVII^{ème} siècle. L'**analyse numérique** apporte des méthodes de résolution et d'approximation, mais faute de moyens de calculs efficaces, l'intérêt pour ce domaine décline vers la fin du XIX^{ème} siècle et ne resurgira qu'avec l'apparition des ordinateurs.

1.1.3 Acquisition des données

Données cartographiques

En ce domaine, les techniques efficaces sont récentes. En effet, pour compléter les traditionnels levés sur le terrain (arpentage), il faut attendre l'apparition des moyens de transport aériens au début de ce siècle. C'est alors que la **télédétection** prend son essor:

- tout d'abord avec les **photographies aériennes**. En particulier, il faut noter l'utilisation des films infrarouge couleurs (IRC) adaptés pour l'étude de la pollution de l'eau, pour les études hydrographiques et hydrologiques. Les techniques de photo-interprétation, dont la photogrammétrie, augmentent la précision des cartes topographiques et le nombre de terres cartographiées.

- à partir de 1972, date du lancement du premier satellite Landsat destiné à la télédétection des ressources terrestres, les **images satellites** vont s'imposer. Ces documents possèdent deux caractéristiques fondamentales pour le sujet qui nous intéresse:

* une image satellite est constituée de pixels et se prête donc bien au traitement matriciel,

* les données sont disponibles sous forme numérique, ce qui les rend directement utilisables pour le traitement informatique. Il est à noter que, à cause de la grande quantité de données rendue ainsi disponible et de la complexité de leur interprétation, l'exploitation de ces images en est encore à ses balbutiements. La recherche sur les méthodes et techniques permettant l'utilisation rapide et efficace des données spatiales (Landsat, SPOT depuis 1986, et le satellite canadien Radarsat qui doit être lancé dans les années à venir) est encore en plein développement.

Données statistiques

Trois points majeurs peuvent freiner l'emploi de données statistiques:

- le coût économique de l'acquisition de ces données,
- la qualité des données obtenues (précision, homogénéité),
- la facilité d'accès à ces données (dépendant du support sur lequel elles ont été colligées).

Or depuis quelques dizaines d'années, les divers paliers de gouvernement (fédéral, provincial, municipal) accumulent une quantité considérable de données statistiques (recensements, inventaires), en particulier sur la ressource eau et plus récemment sur les questions environnementales. On trouvera à l'Annexe E une liste des principaux bureaux où l'on peut retrouver ces informations.

Afin d'éviter le gaspillage qu'entraîne la collecte d'un même ensemble de données par divers organismes, et pour accroître l'accessibilité à l'information recueillie, on constate de plus en plus une volonté de standardisation dans le format sous lequel ces données sont distribuées (en particulier, numérisation sur support informatique des données). Cette tendance est rendue d'autant plus nécessaire avec l'introduction d'outils de traitement qui ne sont efficaces que dans la mesure où les données d'entrée sont facilement disponibles et fiables. Au Canada, une partie de ce travail est effectuée par l'Office des normes générales qui comprend en particulier un Comité des normes sur les SIG.

1.1.4 Informatique

Nés de la recherche opérationnelle et de la physique nucléaire, les premiers ordinateurs apparaissent après la Seconde Guerre mondiale. Les possibilités de traitement de l'information sont alors décuplées.

Matériel ("hardware")

Clés de l'utilisation croissante de l'informatique dans les milieux scientifiques, la vitesse de traitement et la capacité de mémoire

des micro-ordinateurs sont en progression constante. L'arrivée, lors de la décennie précédente, de la micro-informatique à un prix de revient qui décroît rapidement a permis une plus grande accessibilité à cette technologie.

A un rythme plus lent, se perfectionnent aussi les périphériques essentiels à l'entrée-sortie des données graphiques: tablettes numérisantes, souris, photostyles, écrans graphiques, traceurs. Le critère fondamental qui mène le développement de ces appareils dans les années 60 est l'accroissement de leur pouvoir de résolution.

Logiciel ("software")

Outre l'application de méthodes mathématiques coûteuses en temps de calcul (statistique, calcul numérique), des spécialisations surgissent:

- l'**infographie** ou graphisme assisté par ordinateur:

Les premiers systèmes graphiques (années 50) doivent leur création aux investissements d'organismes militaires (système américain SAGE de défense et de contrôle aérien) et de manufacturiers d'avions et d'automobiles. Avec la baisse des prix du matériel graphique (années 70), le marché du logiciel graphique va progresser.

Mentionnons ici deux applications importantes de l'infographie:

- * la conception assistée par ordinateur (CAO) qui comprend les logiciels permettant de calculer et de visualiser des formes graphiques à 2 ou 3 dimensions. La CAO est utilisée principalement dans les domaines de l'automobile, de l'aéronautique, de la mécanique et de l'électronique, le plus connu de ce type de logiciel étant sans doute AutoCAD;

- * la visualisation de modèles numériques d'altitude (MNA).

- le **traitement d'images numériques**

Ce domaine est né avec le programme d'exploration planétaire de la NASA au milieu des années 60. De l'analyse des images d'objets célestes à l'étude des images obtenues par les satellites d'observation terrestre (Seasat, GOES, Landsat,...), le pas a été

vite franchi.

Une image numérique est une matrice constituée de pixels (picture element) dont la valeur est une intensité numérique. A noter, entre autres, la technique d'obtention d'une image multispectrale par superposition de ses composantes spectrales.

- le problème du stockage et du traitement de gros volumes de données - problème particulièrement aigu dans la plupart des entreprises et dans les instituts statistiques - a donné naissance aux **systèmes de gestion de bases de données** (SGBD) à partir du milieu des années 60. Les SGBD de deuxième génération, basés sur le modèle relationnel et développés depuis 1970, n'ont commencé à être commercialisés qu'au début des années 80. Cette branche de la bureautique est donc encore en pleine évolution. De plus en plus, les bases de données sont organisées en banques de données accessibles par modem.

- à la fin des années 60, le scientifique français Bernard Dubuisson propose un nouveau terme pour désigner les méthodes et techniques touchant aux systèmes de collecte, manipulation, affichage et diffusion des données numériques à référence géographique: la **géomatique**. On y retrouve:

- * la **cartomatique**, appelée tout d'abord **cartographie automatique** (ce terme étant toutefois moins approprié puisque l'intervention humaine reste nécessaire pour bien des étapes de la cartographie); ce domaine a par la suite été qualifié de **cartographie assistée par ordinateur** avant la création du mot **cartomatique**. Ce type de logiciel sera discuté plus en détail dans le cadre de l'application concrète étudiée plus loin.

- * les **systèmes d'information géographique**.

Face à la multiplication des marques d'ordinateurs, frein majeur à l'emploi de la technologie informatique, l'incompatibilité entre les divers systèmes d'exploitation, tend à disparaître: la portabilité des programmes est devenue fondamentale dans le domaine de la micro.

Un phénomène similaire s'observe au niveau du transfert de données entre des logiciels différents: des formats standards (DIF pour les bases de données, ASCII) permettent l'importation et l'exportation de l'information d'un programme à l'autre. Il est important que cet aspect se développe car, dans un projet informatique, la phase de saisie de données est souvent la plus longue et la plus fastidieuse.

Pour illustrer cette volonté de portabilité en ce qui concerne les SGBD, on peut citer en particulier le système purement relationnel ORACLE.

Ce rapide survol historique montre combien le domaine informatique est relativement récent: cela explique l'absence de normes tant au niveau du vocabulaire employé (souvent emprunté à l'anglais) que des fonctions offertes par des logiciels pourtant classés dans une même famille.

1.2 Définition des SIG

Historique des SIG

Le concept de SIG a été défini au début des années 60 et on peut considérer que le premier système opérationnel au niveau national est le Système d'Information Géographique du Canada mis sur pied en 1964. Le système LUNR (Land Use and Natural Resources Inventory of New York State) né en même temps s'est révélé être un échec. L'investissement en matériel étant considérable, ce n'est qu'avec les années 80 que les SIG commencent à être largement utilisés. Tomlinson (1984) estimait qu'il y avait environ 1 000 SIG en opération aux Etats-Unis en 1983 et c'est le système ARC/INFO GIS de l'Environmental Systems Research Institute (ESRI) qui semble présentement en tête [Maguire, 1989]. Toutefois, il importe de distinguer actuellement:

- les SIG commerciaux, qui bien souvent n'ont pas encore les capacités d'avant-garde qui rendent la technologie des SIG prometteuse,
- les SIG de recherche, développés dans les universités, dont la convivialité laisse à désirer.

Causes de l'apparition des SIG

Le concept de SIG trouve sa source dans les caractéristiques propres aux données géographiques.

Burrough (1986) distingue trois composantes dans une donnée géographique:

- la position par rapport à un système de coordonnées relié à la Terre: c'est pourquoi on utilise parfois le terme d'information à **référence géographique** (dans la littérature, le terme **spatial** est parfois utilisé bien qu'il englobe un type de données plus large),

- l'attribut non lié à la position

- la relation avec les autres données géographiques: cette topologie s'exprime le plus souvent sous des formes géométriques (courbes, polygones).

Eventuellement, une quatrième composante pourrait être ajoutée:

- la dimension temporelle.

On voit dès lors que les problèmes liés au traitement des données géographiques découlent de:

- leur abondance,

- la qualité des données difficile à contrôler dès qu'il s'agit de l'environnement naturel.

Toutefois, pour de nombreux types de données géographiques, l'aspect spatial est lentement variable ou quasi constant (pédologie, cadastre, ...): ce facteur est donc fort intéressant car il diminue la fréquence nécessaire de mise à jour des données. Maguire (1989) identifie alors quatre facteurs expliquant le développement des SIG:

- la prolifération de données à référence géographique, en particulier sous forme numérisée (sur support informatique),
- le progrès des théories et techniques géographiques,
- l'aspect **multi-dimensionnel** des données ne pouvant être géré par des SGBD traditionnels,
- l'existence d'un marché (c'est-à-dire d'une demande).

Terminologie

Au sens large du terme, un SIG serait tout système traitant de données géographiques. Dans le cadre de ce mémoire et d'après la littérature sur le sujet considéré, on considère la définition encore très générale suivante:

un SIG est un système **informatique intégré** permettant de **collecter, gérer, analyser et présenter des données géographiques** (voir Figure 1.1).

La notion d'**intégration** est fondamentale puisqu'elle confère aux SIG leur puissance et donc leur raison d'être. Elle suppose donc des interfaces de qualité entre:

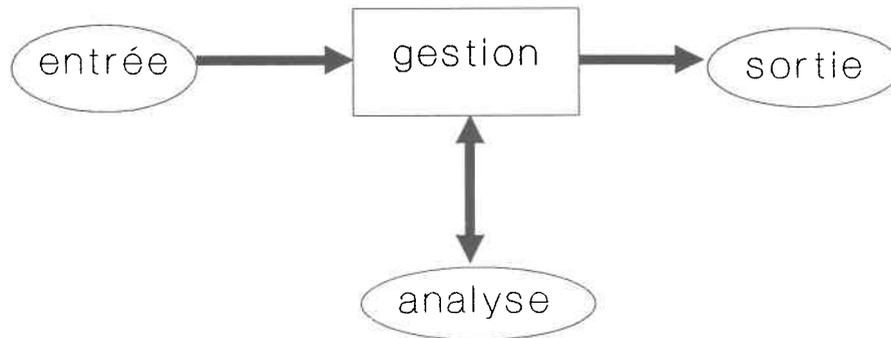
- les composantes matérielles du système,
- les composantes au niveau logiciel du système,
- le niveau matériel et le niveau logiciel.

Il est à noter que dans la littérature le terme de SIG réfère souvent uniquement aux composantes de type logiciel de ces systèmes.

La **collecte** ou **entrée** des données permet le transfert de données externes au système dans un format utilisable par le système: elle se fait par l'intermédiaire du clavier, d'une tablette numérisante ou d'un fichier.

La **gestion** des données concerne le transfert des données entre le lieu de stockage (fichiers) et l'unité centrale de traitement.

Figure 1.1: Composantes d'un SIG au niveau logiciel



L'**analyse** des données aboutit à l'obtention de nouveaux résultats. C'est principalement sur ce plan que les SIG ont innové.

Enfin, la **présentation** ou **sortie** des données est le processus permettant le transfert des données d'un format interne au système à un format externe, que ce soit dans un fichier, sur écran ou sur papier grâce à une imprimante ou un traceur.

Même si de nombreux SIG se développent en vue d'une application bien précise (voir par exemple le logiciel pMAP présenté au Chapitre 3), le logiciel de SIG conserve un caractère plus **général**. Un même logiciel peut donc être utilisé pour monter plusieurs SIG spécialisés, ce qui limite la redondance dans l'élaboration des systèmes et la saisie des données.

Pour tous les domaines liés à l'espace géographique, un SIG complet devrait donc permettre:

- un **inventaire** des données géographiques disponibles,
- une meilleure **gestion** suite à l'analyse de ces données,
- une **planification** grâce à des simulations à partir de ces données,
- un développement dans la **recherche** par le soutien que peut apporter un SIG à la modélisation du monde réel.

Performance d'un SIG

Un SIG sera plus ou moins performant en espace mémoire et en temps requis selon:

- les caractéristiques du matériel,
- le modèle de structure de données adopté,
- les algorithmes choisis et la façon dont ils ont été implantés.

Types de matériel servant de support aux SIG

Vue la quantité d'information à traiter, les SIG les plus performants sont encore sur ordinateur central ("mainframe") ou

sur mini-ordinateur. Toutefois, les limites de la micro-informatique sont repoussées: notons en particulier l'arrivée de systèmes d'exploitation multitâches et où la capacité de mémoire vive n'est plus une contrainte (OS/2). Ainsi, de plus en plus de SIG existent en version micro.

La Figure 1.2 présente une configuration classique d'un SIG au point de vue matériel.

Types d'organisation interne des logiciels de SIG

1) Structures de données

La spécificité des données géographiques a nécessité la mise au point de structures de données particulières. Basées sur le type d'encodage de l'aspect spatial des données (on se réfère ici à la structure de la géobase et non de la base des données-attributs), on distingue deux structures possibles:

* **structure matricielle ("raster")**

L'espace géographique considéré est divisé en cellules de superficie égale. L'unité homogène est la cellule et sa dimension donne la résolution. L'attribut non spatial (variable) est le nombre associé à la cellule considérée. La topologie est implicite. Puisqu'une matrice ou **couche** ("layer") correspond en fait à une carte thématique sur laquelle ne figure qu'un thème (ou variable) bien défini, tous les éléments d'une carte classique (sur papier) devront souvent être représentés par plusieurs matrices. A partir de ces concepts de base, Tomlin (1983) identifie trois façons de structurer les données qui se différencient par le niveau d'accès auquel est situé chaque facette d'une donnée géographique. Ces trois méthodes sont illustrées à la Figure 1.3.

La structure matricielle réduit considérablement le temps de certains traitements mais peut être coûteuse en espace mémoire. Certaines méthodes de compaction permettent de réduire cet inconvénient ("run length code", "quadtree").

Figure 1.2: Composantes d'un SIG au niveau matériel

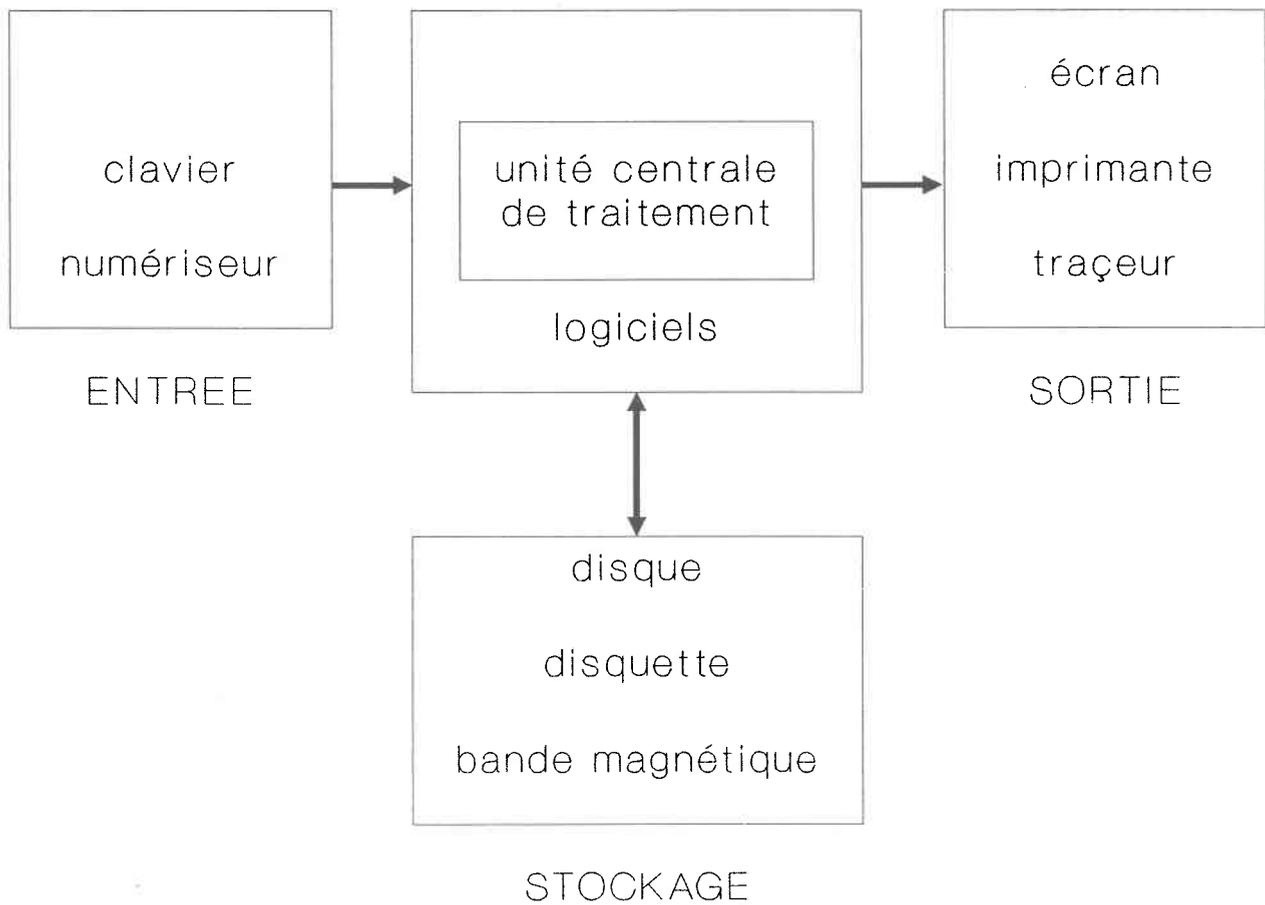
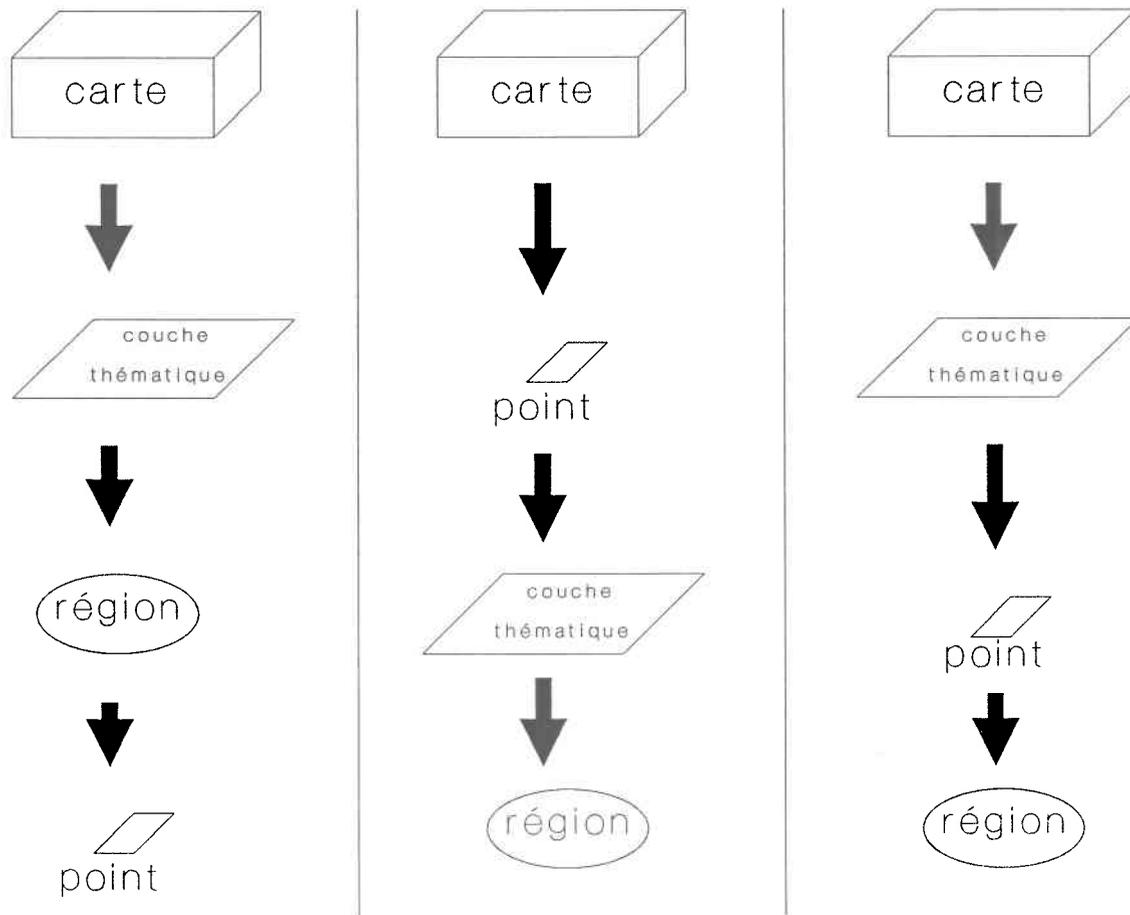


Figure 1.3: Trois types de structure de données matricielle



* structure vectorielle

L'unité homogène est le point, la ligne (ensemble de points) ou le polygone (ligne fermée). On enregistre les coordonnées des points par rapport à un système de référence fixé. La résolution dépend alors de l'espace mémoire alloué pour une coordonnée. A chacune des entités vectorielles est associé un attribut non spatial. La topologie étant explicite (noeuds et arcs), cette structure est idéale pour les analyses de graphes (réseaux). Par contre, elle devient inefficace pour les algorithmes faisant appel au principe de recouvrement ("overlay").

Le Tableau 1.1 résume la comparaison entre ces deux modèles.

Il faut remarquer que jusqu'à présent, la dimension **temps** ajoutant à la complexité du traitement d'une donnée géographique, elle n'a pas encore été intégrée dans les SIG de façon explicite.

2) Systèmes de gestion de la base de données géographiques

Les SGBD développés pour les données non spatiales servent d'intermédiaires entre la base de données et les programmes d'application des divers usagers: cela permet de conserver l'intégrité des données et de rendre les programmes indépendants de la structure de données.

Actuellement, Aronoff (1989) distingue quatre tendances dans la conception des SIG (voir Figure 1.4):

1/ accès direct à la base de données

Le MAP (Map Analysis Package) mis au point par Tomlin (1983) utilise ce mode de gestion.

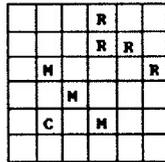
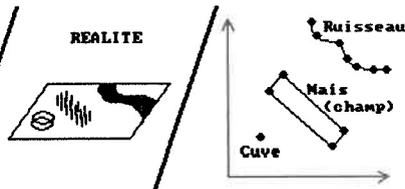
2/ système hybride comprenant:

- un SGBD pour les données non spatiales
- un logiciel pour données spatiales avec accès au SGBD.

C'est le cas d'ARC INFO GIS où INFO est un SGBD semi-relationnel.

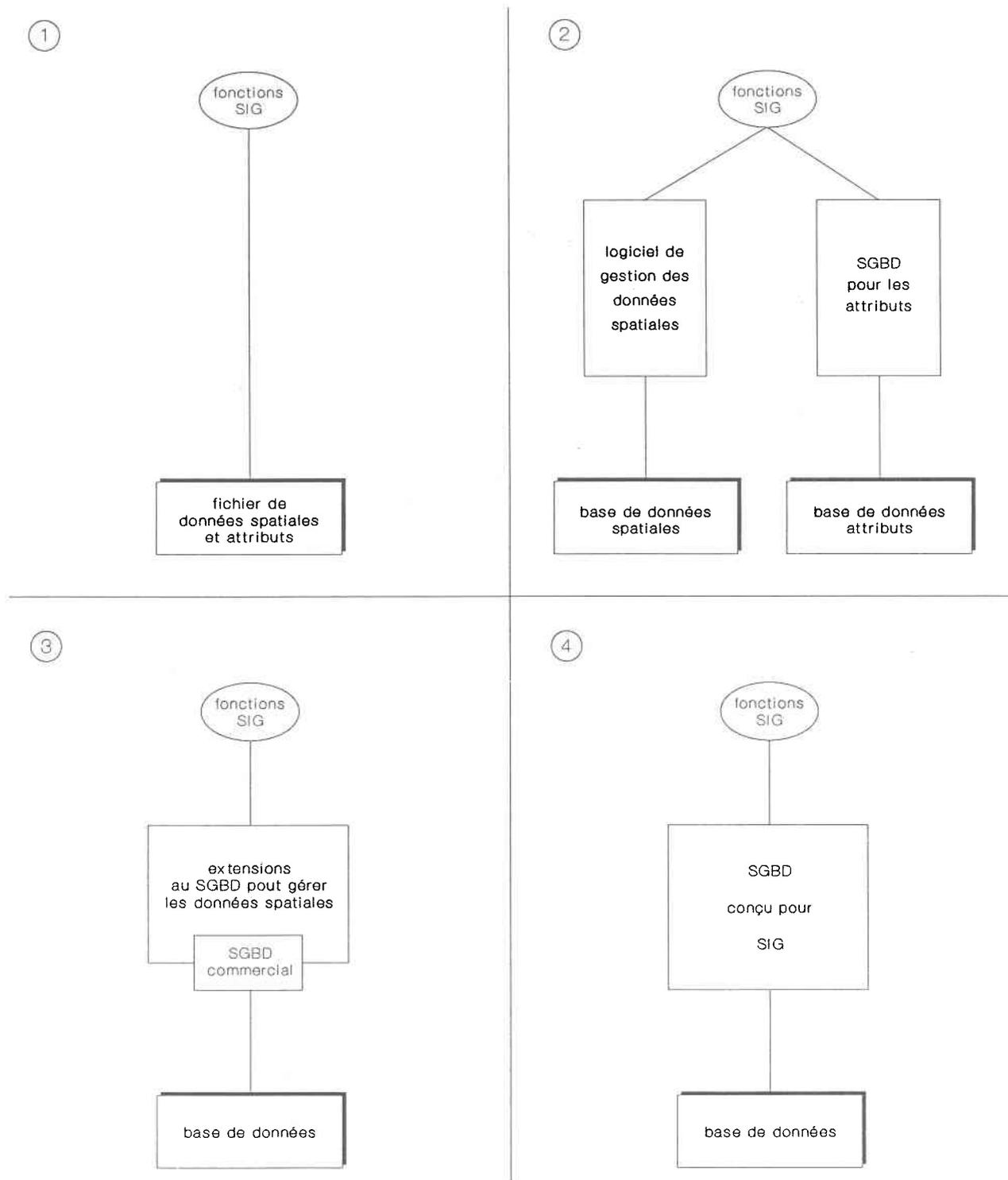
3/ le SGBD est le centre du système autour duquel les concepteurs greffent ce qui manque pour en faire un SIG.

Tableau 1.1: Comparaison entre les structures matricielle et vectorielle

	Structure matricielle	Structure vectorielle
Représentation		
Unité homogène	cellule	point -> ligne -> polygone
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - structure simple - efficace pour les opérations de recouvrement ("overlay") - économique si la variabilité spatiale est élevée 	<ul style="list-style-type: none"> - structure compacte - topologie explicite ==> efficace pour les opération d'analyse de réseau - permet d'obtenir plus facilement une plus grande précision ainsi qu'une bonne qualité graphique
Désavantages	<ul style="list-style-type: none"> - utilise beaucoup d'espace-mémoire (NB: il existe des techniques de compression) - topologie implicite ==> difficile à manipuler et à représenter - précision et qualité des sorties graphiques plus difficiles à obtenir (en particulier, perte d'information si la cellule couvre une grande superficie de terrain) 	<ul style="list-style-type: none"> - structure complexe - opérations de recouvrement non efficaces - peu intéressant si la variabilité spatiale est grande

[Source: Aronoff (1989)]

Figure 1.4: Approches possibles pour la conception d'un SIG



[Source: Aronoff (1989)]

4/ véritable SGBD intégrant les données spatiales et non spatiales. Bien que la quatrième solution soit à prime abord la plus appropriée, la plupart des systèmes en sont encore à l'approche fichier (1/).

3) Interface avec l'utilisateur

Les SIG se situent à un niveau supérieur aux langages de programmation: certains procèdent par langage de commande (langage descriptif qualifié parfois de langage de 4ème génération), mais la plupart des SIG commerciaux tendent vers la convivialité et fonctionnent donc par menus.

Une particularité intéressante des langages de commande est la possibilité de créer des "macro-commandes" qui consistent en une suite de commandes exécutées séquentiellement.

4) Interface avec des programmes externes

Cet aspect, pourtant essentiel à la flexibilité d'utilisation des SIG, laisse encore à désirer: les concepteurs tiennent encore à ne pas divulguer les structures de données internes et les algorithmes qu'ils ont mis au point.

Pourtant, par leur caractère général, les SIG ont des limites dans la manipulation des données, limites pouvant être repoussées par des programmes développés pour des applications spécialisées: les données doivent donc être rendues accessibles hors du SIG.

Fonctions disponibles dans un SIG

Suivant les données traitées, on peut grouper ces fonctions en trois classes:

- 1/ fonctions ne traitant que l'aspect spatial des données
- 2/ fonctions ne traitant que l'attribut non spatial
- 3/ fonctions intégrant les aspects spatiaux et non spatiaux des données géographiques.

Le Tableau 1.2 fait une revue des fonctions idéalement disponibles dans un SIG.

Base d'une bonne partie des fonctions de la troisième catégorie, le principe de recouvrement ("overlay") est capital dans les SIG: il est expliqué par la Figure 1.5 . Autre concept important et récent dans le développement des SIG: la **modélisation cartographique** [Tomlin, 1983]. Se situant dans le contexte de la planification environnementale, Tomlin a constaté un manque au niveau d'outils permettant la synthèse des diverses informations géographiques. Il a donc défini ce qu'il appelle une "algèbre cartographique" qu'il a illustrée par le développement d'un langage de haut niveau, le Map Analysis Package (MAP). La modélisation cartographique consiste alors à combiner ces primitives de manipulation de données géographiques en une séquence logique afin de résoudre des problèmes spatiaux plus complexes. Cette définition implique que la puissance d'un SIG au niveau de la modélisation dépend:

- des primitives ou fonctions de base disponibles,
- de l'algorithme choisi pour implanter ces primitives.

Certaines primitives relativement complexes sont en fait déjà une séquence de fonctions de base: elles ont en général été développées dans l'optique d'une application spécifique. Un exemple qu'on retrouvera plus loin concerne la notion de drainage amont-aval, essentielle dans les applications liées à l'eau.

Particularités des SIG

Les éléments suivant mettent en évidence la spécificité des SIG:

- par rapport aux systèmes géographiques non informatisés:
 - * économie d'espace de rangement,
 - * rapidité d'accès aux données,
 - * rapidité dans le traitement des données,

Tableau 1.2: Fonctions disponibles dans les SIG**Opérations sur l'aspect spatial des données géographiques**

- transformation du format (matriciel <--> vectoriel)
- transformations géométriques (changement de projection, d'échelle, zoom)
- édition et mise à jour
- contrôle de qualité des données
- présentation cartographique des sorties

Opérations sur les attributs non spatiaux des données géographiques

- édition et mise à jour
- requêtes
(pour plus de détails, se référer aux SGBD classiques)

Opérations intégrant l'aspect spatial et les attributs non spatiaux des données géographiques**Opérations sur les points** (cellules)

- algèbre classique: + - x ÷ exp log
opérations trigonométriques
opérations booléennes (ET/OU)
- statistiques: moyenne, extrêmes, division en classes (discrétisation), fréquences

Opérations sur les régions (ensemble de cellules de même valeur d'attribut)

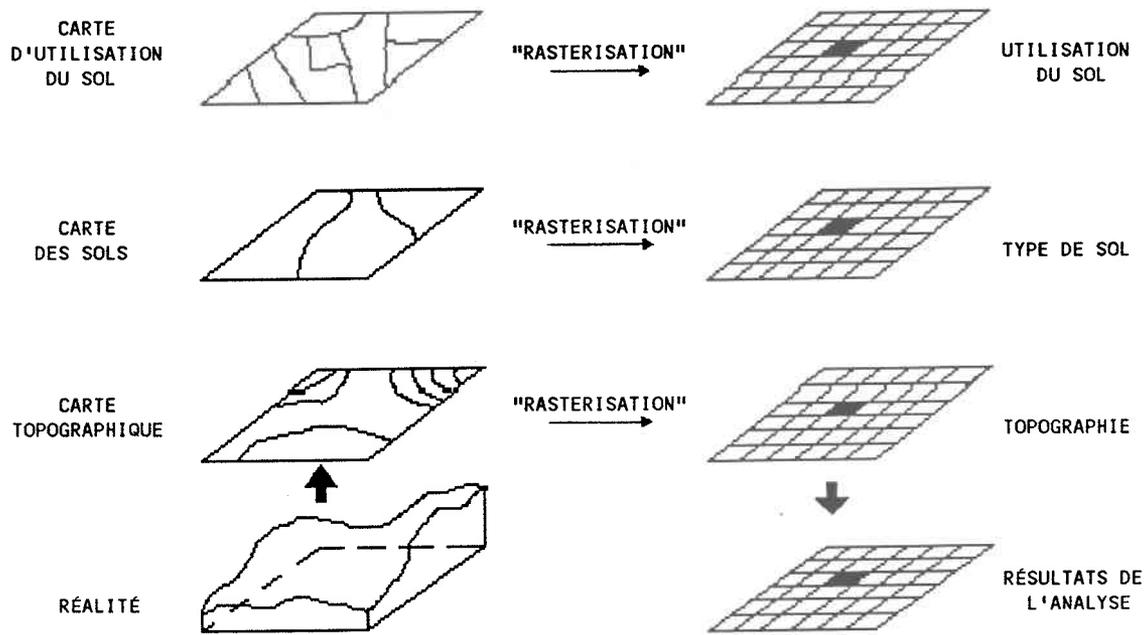
- reclassification
- mesures: superficie, périmètre, forme
- intersection

Opérations sur le voisinage d'un point (ensemble de cellules localisées par rapport à une cellule)

- algèbre ou statistiques sur le voisinage
- isolignes, pente, orientation
- interpolation
- fonctions de connexité (distance, contiguïté)
- opérations sur une surface continue et tenant compte de barrières absolues ou relatives

[Source: Berry (1987)]

Figure 1.5: Principe du recouvrement ("overlay")



[Source: Aronoff (1989)]

* conservation de la qualité des données (alors qu'un support papier est sujet à l'usure du temps et à des déformations en particulier si on considère les reproductions de grandes cartes);

- par rapport aux systèmes graphiques non géographiques:

- * association d'attributs thématiques aux entités spatiales,
- * structuration autour du concept de base de données;

- par rapport aux systèmes informatiques de cartographie:

- * création de nouvelles cartes à l'aide de fonctions intégrant les aspects spatiaux et thématiques des données géographiques.

Il est à noter qu'un SIG idéal devrait **intégrer** toutes les fonctions disponibles dans les logiciels actuels de cartographie informatisée.

1.3 Revue bibliographique de l'utilisation des SIG

Cette partie vise à situer jusqu'à quel point les capacités SIG sont présentement utilisées, en particulier pour ce qui concerne la ressource eau. Bien que freins à l'avancée des SIG, les problèmes organisationnels qu'engendrent l'introduction de cette technologie dans une institution n'entrent pas dans le cadre de cette étude.

1.3.1 Applications courantes

Eventuellement, un SIG est susceptible d'être utile pour tous les domaines qui doivent manipuler des informations à référence géographique. Toutefois, le coût de revient de ces systèmes en a

restreint l'accès aux organismes voués à la gestion de données d'utilisation du territoire.

1) Gestion municipale

Ce domaine a donné naissance à des SIG spécialisés: les Systèmes d'Information Urbaine à Référence Spatiale ("Land [Records] Information System").

Somers (1987) rapporte qu'environ 70 à 80 % de l'information manipulée par les municipalités est à référence spatiale. Le modèle conceptuel de base est le modèle de cadastre à usages multiples qui comprend:

- un réseau de points de contrôle géodésiques
- le réseau routier (graphique) incluant les pâtés de maisons
- le cadastre (graphique)
- les données non graphiques liées au cadastre (données fiscales, administratives, sur les ressources naturelles, ...)

Dans ce type de modèle, l'entité fondamentale du SIG est le cadastre ou propriété foncière.

Les besoins auxquels doit répondre un tel système sont nombreux: gestion, évaluation et taxation foncières; conception de plan de développement et d'utilisation du territoire; émission de permis; inspections; gestion des services publiques (police, transport en commun); gestion de réseaux (eau, égouts, électricité, télécommunications, routes); information du public (cartes).

Les exemples les plus cités concernent les SIG développés pour les villes suivantes: Minneapolis (Minnesota), Los Angeles (Californie), Houston (Texas), Calgary (Alberta), Burnaby (Colombie Britannique), San Diego (Californie) [Aronoff, 1989]. Au niveau du Québec, c'est dans la ville de Granby que la mise au point d'un SIURS est la plus avancée, un tel type de projet faisant l'objet d'études dans plus d'une trentaine de villes.

2) Gestion des ressources naturelles

- Les institutions publiques responsables de la **gestion de la forêt et de la faune** (au Québec: secteur Forêts et Terres du Ministère d'Energie et Ressources; Ministère Loisir, Chasse et Pêche) sont de grosses consommatrices de données à référence spatiales. Les SIG y constituent les outils privilégiés pour effectuer des inventaires forestiers et fauniques et des études d'impact suite à des activités humaines ou des catastrophes naturelles.

- En **géologie**, les compagnies d'exploration minière ou pétrolière ont tiré avantage du principe de recouvrement des SIG pour établir, à partir d'échantillon de données et de modèles statistiques, les sites de gisement potentiels.

- Dans le **domaine agricole**, la gestion du territoire a aussi amené les organisations concernées à se munir de SIG dont l'entité de base est le cadastre. Comme dans le cas des zones urbaines, Ventura et al. (1988) insiste sur l'intérêt des SIG à usages multiples.

D'autre part, les SIG on aussi servi à estimer la production agricole par des modèles de simulation de la croissance des cultures mais ce type d'application est encore rare.

- Les **problématiques environnementales globales** ne tiennent pas compte des frontières administratives. De plus, la télédétection fournit des données à l'échelle de la planète. Les éléments nécessaires à l'emploi des SIG sont donc réunis. Aronoff (1989) cite trois exemples de ce type d'utilisation:

. en combinant un modèle de classification, un modèle de circulation générale et des méthodes propres aux SIG, le Service Canadien de la Faune a pu faire des prévisions sur les tendances climatiques au Canada suite à l'augmentation du taux de dioxyde de carbone dans l'atmosphère (effet de serre);

. depuis 1985, la Communauté Européenne a mis sur pied un programme de Coordination de l'Information sur l'Environnement Européen (CORINE) qui doit permettre inventaires et analyses pour des

échelles variant de l'ordre de 1 km² à la grandeur de l'Europe. Implanté à partir du système ARC/INFO, ce SIG a déjà permis d'appuyer certaines études environnementales.

. le Programme des Nations-Unies pour l'Environnement (PNUE) subventionne plusieurs projets basés sur les SIG: estimation des risques de désertification en Afrique réalisée en intégrant à un SIG des modèles développés par la FAO (Organisation des Nations-Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture), projet GRID (Global Resource Information Data Base) lancé en 1985 devant permettre, entre autres, des estimations globales des ressources forestières et de la dégradation des terres.

Etant donné leur ampleur, la plupart des applications citées ci-haut se sont faites sur du matériel plus puissant que les ordinateurs personnels.

Finalement, on peut citer d'autres domaines qui commencent à utiliser des SIG mais sur lesquels la bibliographie est encore très restreinte:

- sociologie (démographie),
- économie (secteur commercial),
- communication (information du public).

1.3.2 Applications liées à l'eau

D'après Wallis (1988), l'utilisation des SIG dans des domaines relatifs à l'eau est en expansion. D'abord implantés au niveau des institutions de distribution de l'eau, ces systèmes sont particulièrement intéressants pour une planification intégrée entre les divers paliers de gouvernement, d'autant plus que les préoccupations croissantes sur l'environnement se reflètent dans une législation plus sévère sur le contrôle de la qualité de cette ressource vitale. Wallis conclut que les inévitables progrès

technologiques que connaîtront les SIG, idéalement appuyés par une recherche accrue dans les universités, ne feront qu'accentuer cette tendance.

Dans ce qui va suivre, on s'est intéressé plus spécialement aux applications qui avaient pour objectif d'explorer l'apport des fonctions d'analyse des SIG.

1) Modèles hydrologiques

Les SIG ont principalement été utilisés dans le calcul de paramètres hydrologiques de divers modèles de pluie/ruissellement/débit.

Par exemple, la méthode d'évaluation du volume ruisselé suite à un évènement pluvieux, développée par le Service de Conservation des Sols du Ministère de l'Agriculture des Etats-Unis (SCS-USDA), nécessite le calcul d'un coefficient de ruissellement (numéro de courbe) qui dépend de caractéristiques variables dans l'espace (texture du sol, utilisation du sol, conditions d'humidité avant l'évènement pluvieux). Afin d'étudier la variabilité spatiale du numéro de courbe dans un bassin du Sud de l'Italie de 410 km², Mancini et Rosso (1989) ont utilisé un SIG à structure matricielle (chaque cellule couvrait une superficie de 0.04 km²).

MAPHYD, un système de modélisation pluie/ruissellement à partir de cartes numériques, implanté sur micro-ordinateur, comprend des fonctions propres aux SIG. Il a été appliqué à un bassin urbain de 25 km² et a permis des comparaisons de modèles [Johnson, 1989].

2) Modèles de qualité de l'eau

Puisque les SIG permettent de représenter les variations spatiales, ce sont les problèmes de pollution de source diffuse (et non ponctuelle) qui ont été favorisés. Pour la même raison, Vieux et al. (1989) note que ce sont des modèles à paramètre distribué qui

ont avantage à être associés à ces systèmes. Jusqu'à maintenant, la majorité des modèles utilisés en conjonction avec un SIG s'intéressaient aux eaux de surface et non souterraines. Il faut remarquer que ce type de pollution concerne surtout les régions agricoles.

Le phénomène d'érosion des sols et son impact sur la qualité du cours d'eau récepteur a donné lieu à la conception de nombreux modèles. L'équation universelle de perte de sol (USLE), qui est empirique, se prête bien à l'intégration avec un SIG. Rhew et Haro (1987) l'appliquent en utilisant le SIG matriciel pMAP (Professional Map Analysis Package) pour localiser les sources d'apport de sédiment sur un bassin en Idaho de 5 000 ha (une cellule matricielle couvrant 1.34 ha). Avec une fonction de transfert, on peut alors déterminer les zones d'impact potentielles ainsi que leur accessibilité en y superposant le réseau routier. Cully Hession et Shanholtz (1988) rapportent un projet similaire à plus grande échelle en Virginie.

D'autres modèles vont vouloir quantifier l'apport en éléments nutritifs (azote, phosphore) ou en bactéries. C'est sur ce dernier point que se sont penchées Gilliland et Baxter-Potter (1987) à l'aide d'un SIG matriciel. Le bassin étudié était un pâturage qui recevait donc des excréments d'animaux. Seuls 259 ha ont été retenus (une cellule matricielle couvrant 0.2 ha) et le modèle comprenait un module d'estimation de ruissellement avec la méthode SCS-USDA, un module d'estimation de l'érosion utilisant l'USLE et enfin un module d'estimation de la densité bactérienne dans le ruissellement, qui procède à partir d'une fonction de transfert simplifiée.

En ce qui concerne le problème de dégradation de la qualité de l'eau dans les régions agricoles à élevage intensif, la seule référence pertinente montre le développement d'une **cartographie des paramètres environnementaux de l'élevage du porc** [Bouchard, 1986].

Bien que l'auteur présente son projet comme la constitution d'un système d'information à référence spatiale sur l'élevage de porc, l'objet de son étude est centrée sur la symbolisation cartographique.

Finalement, comme le précise Arnold et Orlob (1989), les SIG ne sont que des outils et la validité des résultats obtenus dépend surtout de l'analyse du problème considéré et des choix de traitement de données.

CHAPITRE 2: PROBLEMATIQUE DE LA POLLUTION DES EAUX PAR EPANDAGE DU LISIER DE PORC

"Le ministère de l'Environnement a demandé hier aux habitants de trois villes, l'Assomption, l'Epiphanie et Repentigny, de faire bouillir l'eau pendant vingt minutes avant de la boire [...] La directive est une conséquence de la détérioration marquée de la qualité de l'eau, dans les trois villes depuis lundi soir, ce qui semble dû de façon certaine au purin de porc épandu par les éleveurs installés le long de l'Achigan et que le dégel entraîne dans la rivière." Cet extrait d'un article de La Presse du 18 mars 1984 met en évidence l'existence d'un problème de taille de pollution de l'eau par épandage du lisier de porc. En effet, on observe dans les régions à élevage porcin intensif une dégradation de la qualité de l'eau.

Ce chapitre vise donc à présenter les causes et conséquences de la pratique de l'épandage du lisier de porc, pour ensuite se pencher sur les règlements présentement en vigueur et sur les solutions envisageables. Cette dernière partie mettra en évidence l'intérêt des SIG dans la recherche de solution.

2.1 Problème de surplus de lisier

Historique

Depuis le milieu des années 70, le secteur agricole du Québec a connu une mutation profonde dans les méthodes de production. C'est ainsi qu'on a assisté à la naissance d'une véritable industrie du porc caractérisée par:

. la **spécialisation**:

Tout d'abord, l'éleveur se différencie du cultivateur. L'élevage est alors dit "hors sol" puisque la superficie de terre nécessaire est réduite à l'espace occupé par les installations, la nourriture des animaux étant achetée et non produite sur place. Une conséquence importante de ce phénomène est la rupture de complémentarité entre les productions animales et végétales.

D'un autre côté, la spécialisation concerne aussi l'espèce produite: l'éleveur se consacre à la production d'un seul type d'animal, et même dans le cas du porc, on peut distinguer:

- * le producteur-naisseur (truies et porcelets)
- * le producteur-engraisseur.

. la **concentration**:

D'une part, au niveau régional, la concentration s'est effectuée suivant la proximité des marchés de consommation. Quatre bassins de drainage (Figure 2.1) regroupent à eux seuls 60% de l'élevage porcin [Bouchard et al., 1987]:

bassin de la rivière Yamaska	: 30%
bassin de la rivière Chaudière	: 17%
bassin de la rivière L'Assomption	: 9%
bassin de la rivière Saint-François	: 7%

D'autre part, on a assisté à une concentration au niveau des fermes elle-mêmes: diminution du nombre de fermes avec augmentation du nombre de têtes par ferme, on parle alors d'élevage intensif.

Le Tableau 2.1 résume en chiffres cette évolution de la structure de l'élevage porcin entre les années 50 et les années 80.

Il faut noter en particulier l'augmentation de 2 886 % de la quantité de déjections produites par ferme; étant donné la concentration des fermes, leur nombre a effectivement diminué de 90 %, cela signifie une augmentation considérable de la quantité de lisier de porc par unité de surface.

Figure 2.1: Zones de concentration porcine au Québec

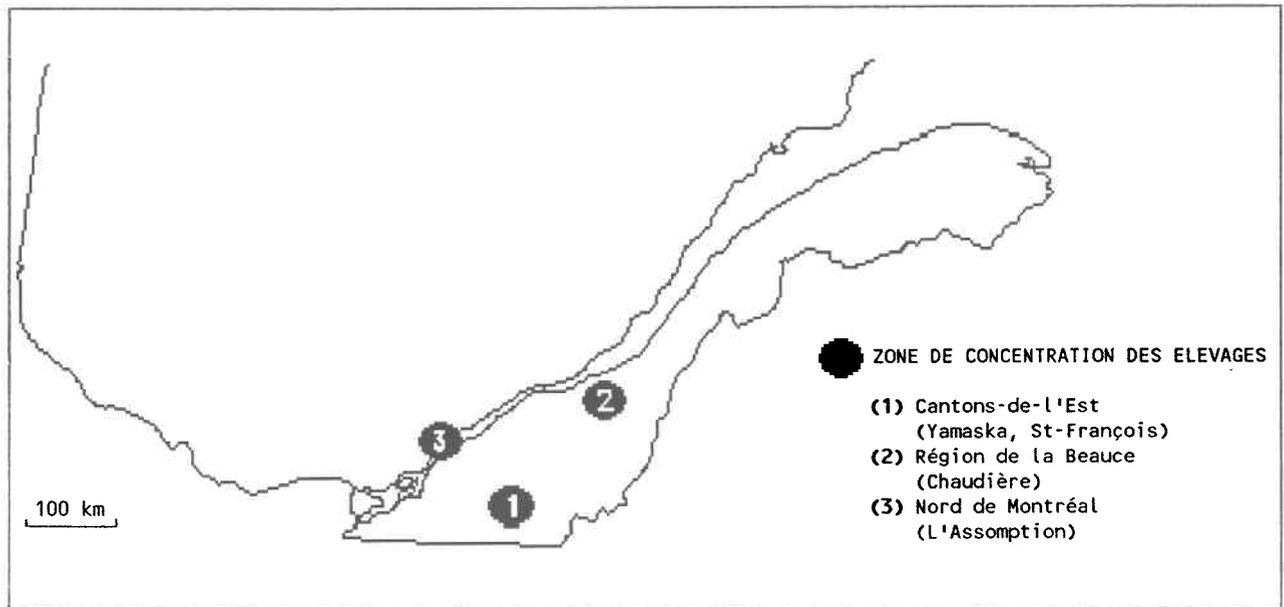


Tableau 2.1: Evolution de l'élevage porcin entre 1951 et 1982

	1951-1955	1961-1965	1971-1975	1981-1982	Variation entre 1956-1982
Nombre de têtes par an (x 1000)	1 605	1 810	2 337	5 112	+ 219 %

	1951	1961	1971	1981	Variation entre 1951-1981
Nombre de têtes par ferme	12.5	19.2	79.4	430.0	+ 3 340 %

	1951-1955	1961-1965	1971-1975	1980-1981	Part des porcs (*)	
					51-55	81-82
Déjections porcines (x 1000 m ³)	1 698	1 889	2 401	5 253	7 %	23 %

(*) déjections porcines par rapport au total des déjections du cheptel québécois

	1951-1955	1981-1982	Variation
Nombre de fermes	78 422	7 993	- 90 %
Déjections par ferme par an (m ³)	22	657	+ 2 886 %

[Source: Bouchard et al. (1987)]

Valeur du lisier

Composition

La composition du lisier de porc brut varie en fonction:

- . de la grosseur et de l'âge de l'animal
- . de la ration alimentaire; celle-ci comprend en général: hydrates de carbone (sucres, amidons, celluloses), protéines, graisses, macronutriments (azote, phosphore, potassium), micronutriments et additifs alimentaires (antibiotiques, cuivre, arsenic, grès et sables). Une part relativement importante de ces éléments se retrouve dans les déjections porcines.

Par la suite, le mode de manutention peut affecter de façon significative les caractéristiques du lisier: présence de litière (dans la partie mise-bas d'une porcherie de maternité) et de déchets de nourriture, ajout de désinfectants, effet de dilution dû aux eaux de lavage.

Le Tableau 2.2 permet d'avoir une idée approximative de la proportion des divers constituants du lisier.

Quantité produite

De même que pour la composition, la quantité de lisier produite par animal est variable.

Dans le but de calculer le volume d'entreposage journalier à prévoir, le Ministère de l'Environnement du Québec (MENVIQ) considère les chiffres suivants:

- pour une cuve permettant un entreposage de 200 jours:

8.1 litres/porc/jour	23.5 litres/truie/jour
----------------------	------------------------
- pour une cuve permettant un entreposage de 300 jours:

6.95 litres/porc/jour	20.15 litres/truie/jour
-----------------------	-------------------------

[MAPAQ, 1989].

Valeur agricole

Traditionnellement, le lisier était utilisé pour redonner à la terre que cultivait l'éleveur les éléments nutritifs assimilés par

Tableau 2.2: Caractéristiques du lisier de porc**Propriétés physiques**

Masse volumique	1.01 à 1.03 kg/l
Humidité	92 %
pH	6.97 (\pm .65)
Matières sèches	56 g/l (\pm 18)
Matières volatiles	77 % (\pm 3) des matières sèches
Conductivité	19 393 umhos (14 200 à 30 000)
Alcalinité (CaCO ₃)	9 940 (3 200 à 19 500)

Propriétés biochimiques

DCO	52.4 g/l (37.6 à 80.0)
DBO ₅	19.8 g/l (13.4 à 35.0)
Matière organique	6 %
COT	24.7 g/l
Matière inorganique	2 %

Propriétés chimiques**Eléments majeurs**

Azote total (N)	6.1 g/l (\pm 1.3)
Azote ammoniacal (NH ₃)	3.9 g/l (3.1 à 6)
Phosphore total (P)	1.9 g/l (\pm .5)
Potassium (K)	41 kg/t.m. (\pm 14.3)
Calcium (Ca)	50 kg/t.m. (\pm 21.5)
Magnésium (Mg)	21.4 kg/t.m. (\pm 8.9)
Soufre (S)	0.6 g/l
Sodium (Na)	0.5 g/l

Eléments mineurs

Fer (Fe)	2.67 kg/t.m. (0.17 à 9.64)
Zinc (Zn)	0.1 g/l
Bore (B)	0.04 g/l
Manganèse (Mn)	0.02 g/l
Cuivre (Cu)	0.007 g/l
	0.1 g/l si addition de 125mg/l dans l'alimentation
Arsenic (As)	0.16 à 1.58 mg/l
Sélénium (Se)	0.06 à 0.17 mg/l
Cadmium (Cd)	0.04 mg/l
Mercure (Hg)	0.0071 mg/l

Propriétés bactériologiques

Coliformes totaux	7.8 x 10 ⁶ ind/100cc (.24 à 24)
Coliformes fécaux	0.8 x 10 ⁶ ind/100cc (.092 à 24)
Streptocoques	4.26 x 10 ⁶ ind/100cc (.04 à 8.1)

t.m. = tonne métrique de matières sèches (matières solides totales)

[Sources: Aquatech, Société de gestion de l'eau Inc. (1983), Cluis et Jaouich (1981), MAPAQ, CPVQ (1982)]

les cultures. L'introduction massive des engrais chimiques, plus faciles à manipuler, ainsi que les méfaits du lisier appliqué en trop forte dose, ont amené une dévalorisation des déjections animales aux yeux des cultivateurs.

Certains effets bénéfiques du lisier de porc ne sont pourtant plus à démontrer [MAPAQ, CPVQ, 1982]:

- fertilisation du sol par un apport de macro-éléments minéraux tels que N, P, K, Ca, Mg, S et d'oligo-éléments comme le B, Mn, Co, Cu, Zn, Mo, Fe,
- stabilisation de la structure du sol,
- augmentation de la résistance à l'érosion,
- augmentation du taux d'infiltration de l'eau,
- augmentation de la capacité de rétention de l'eau et des éléments minéraux,
- augmentation de la température du sol,
- apport de matière organique.

En général, les critères retenus pour estimer la valeur fertilisante du lisier de porc sont les quantités et les coefficients d'utilisation (ou de disponibilité) de l'azote (N), du phosphore (P) et du potassium (K). On sait que les plantes ne peuvent assimiler N, P et K que sous forme minérale, et comme les éléments nutritifs d'un engrais organique sont libérés progressivement par minéralisation, on définit le coefficient d'utilisation d'un élément nutritif dans un fumier comme la quantité de cet élément qui, sous forme d'engrais chimique, est capable de causer une même augmentation de rendement que 100 kg de cet élément dans la fumure organique. Le Tableau 2.3 présente les valeurs de ce coefficient retrouvées dans la littérature.

La valeur fertilisante peut varier selon:

- les pertes par volatilisation ou par ruissellement,
- l'âge du lisier, le moment et le mode d'application, la température, le type de culture.

Enfin, puisque le lisier n'est pas complètement décomposé lors de la première saison d'application, il y a un effet résiduel les années suivantes, mais peu d'études permettent de le quantifier.

Tableau 2.3: Coefficients d'utilisation de N, P, K dans le lisier de porc

	CPVQ (pour la 1ère année)	Mercier L.	Barnett G.M.
N	46.2 %	50 à 70 %	20 à 50 %
P	23.7 %	60 à 80 %	25 à 80 %
K	46.0 %	90 à 100 %	45 à 90 %

[Source: extrait de MAPAQ, CPVQ (1982)]

Autres utilisations possibles

On ne s'attardera pas sur les usages du lisier de porc énumérés ci-dessous, vu qu'ils ne sont pratiqués qu'à petite échelle et ne peuvent constituer une solution valable pour les régions à élevage intensif.

- 1) Emploi du lisier de porc comme source de combustible.
- 2) Recyclage des éléments nutritifs du lisier de porc en les incorporant dans les moulées.

Potentiel polluant

I/ Dégradation de la qualité de l'air

La dégradation de la qualité de l'air en zone d'élevage intensif se manifeste par la présence de mauvaises odeurs.

Les bâtiments d'élevage, les lieux d'entreposage de déjections animales et les champs au moment de l'épandage du lisier en sont les principales sources.

Ces gaz répandus dans l'atmosphère recèlent des traces d'acides organiques, de carbonates, d'amines, de skatoles, de mercaptans et de sulfures, responsables d'odeurs détectables à de longues distances [Gangbazo et Buteau, 1985]. En outre, selon Kreis et al. (1972), plus de 40 % des composés volatils contenus dans les déjections animales sont toxiques.

Bien qu'il soit difficile d'établir des relations directes entre les mauvaises odeurs et leur effet sur la santé des êtres humains, il apparaît assez clair que des odeurs nauséabondes peuvent provoquer un manque de confort, une perte du sommeil, un stress mental et des vomissements. Sur le plan économique, les lieux aux prises avec des problèmes de qualité de l'air risquent de subir une dépréciation.

II/ Dégradation de la qualité de l'eau

Une mauvaise gestion du lisier de porc dans les zones à élevage intensif peut provoquer un apport d'éléments du lisier dans les

eaux de surface et souterraines. Suivant le mode de transfert des polluants de leur lieu d'origine à la ressource hydrique, on parle de:

1) pollution de **source ponctuelle** lorsqu'il s'agit d'un déversement à un endroit précis,

2) pollution de **source diffuse** si le transport se fait par écoulement souterrain ou à la suite de précipitations générant du ruissellement de surface.

Si on s'intéresse maintenant à la nature des polluants, on peut distinguer trois types de pollution [Boudreau, 1979]:

1) La pollution **organique**

L'apport de matière organique (composés du carbone) en partie biodégradable provoque:

- une augmentation de la demande biochimique en oxygène (DBO),
- une diminution de l'oxygène dissous (OD),
- une décomposition anaérobique,
- une multiplication de microorganismes décomposeurs,
- un dégagement de mauvaises odeurs,
- une hausse de la mortalité des poissons.

2) La pollution **inorganique**

Elle est en général due à la libération par minéralisation de l'azote et du phosphore du lisier épandu sur les terres. L'azote ammoniacal constitue le problème principal pour la qualité de l'eau potable. Les nitrites et nitrates, issus de l'oxydation biologique de l'azote ammoniacal, risquent de se retrouver en trop forte concentration particulièrement dans les eaux de percolation et donc dans les nappes souterraines: une telle eau est alors toxique pour les jeunes enfants (risques de méthémoglobinémie) et le cheptel. D'autre part, l'azote ammoniacal affecte les opérations de filtration de l'eau en réagissant avec le chlore pour former des chloramines qui sont peu désinfectants et donnent un mauvais goût et une mauvaise odeur à l'eau. Plus grave, en présence de matière organique, les monochloramines peuvent contribuer à la formation

de trialométhanes, substances cancérigènes pour l'homme.

Quant au phosphore, il affecte surtout la vie dans les eaux de surface. Une trop forte concentration de phosphore biodisponible peut provoquer un accroissement excessif de la végétation aquatique: la prolifération d'algues et de macrophytes entraîne une désoxygénation de l'eau et une mortalité accrue de la faune aquatique (phénomène d'eutrophisation).

3) La pollution microbienne

L'ingestion d'eau contaminée par les bactéries pathogènes, les virus, les champignons, les protozoaires et les parasites contenus dans le lisier de porc peut causer diverses maladies (salmonellose, tuberculose, colibacillose,...). Cette forme de pollution affecte presque exclusivement les eaux de surface.

Enfin, pour avoir une idée du potentiel polluant du lisier de porc, la comparaison avec les déjections humaines donnée au Tableau 2.4 en montre l'importance.

Situation actuelle

Production porcine

La production du porc constitue la deuxième activité agro-alimentaire en importance au Québec après la production laitière; elle représentait 18.5 % des recettes agricoles totales en 1985, soit 567 millions de dollars [MAPAQ,CPAQ,1987].

Bien que l'apogée de la croissance de l'industrie du porc ait été atteinte en 1981 (3 150 milliers de têtes au 1er janvier 1981), le nombre de porcs dans les fermes au 1er janvier 1989 était de 3 050 milliers de têtes [Bureau de la statistique du Québec, 1989]. Pour clarifier la compréhension des chiffres sur le nombre de porcs, il faut préciser que le temps de séjour moyen d'un porc dans un établissement d'engraissement est de 90 jours; on doit donc faire la distinction entre le nombre de têtes en production (i.e. engraissement ou maternité) à un instant donné et le nombre de

Tableau 2.4: Comparaison entre le potentiel polluant du lisier de porc et des déjections humaines

DEJECTIONS	Population humaine équivalente				
	DBO ₅	Solides totaux	Azote (N)	Phosphore (PO ₄)	Coliformes
1 porc	1.9	1.8	1.1	1.5	3 à 4

[Sources: Townshed et al. (1969), Cluis et Couture (1987)]

têtes produites (i.e. abattues à la ferme ou vendues) sur une période de temps déterminée (généralement, une année). A partir des données des années 81 à 85 et puisqu'il ne semble pas y avoir eu de fluctuations majeures depuis cette période, on peut estimer que la production annuelle porcine se situe à plus de 4.5 millions de têtes actuellement.

Production de lisier de porc

Selon une évaluation de 1981 du Conseil Consultatif de l'Environnement [Cluis et Couture, 1987], la production annuelle de lisier de porc se chiffre à 9 millions de tonnes, ce qui peut représenter une valeur d'environ 90 millions de tonnes en termes de prix de fertilisants équivalents (N,P,K).

D'autre part, si on prend l'exemple du bassin critique de la rivière l'Assomption et si on suppose que le lisier est utilisé pour fertiliser l'ensemble des cultures à l'exception des céréales, le bilan de la gestion des fumiers révèle un excédent net annuel de l'ordre de 486 000 tonnes de fumier de tout type, ce qui correspond à la production de lisier de 73 % du cheptel porcin de la région [Gangbazo et Buteau, 1985].

Qualité de l'eau

Il est clair que depuis quelques années, on a vu se détériorer la qualité de l'eau que drainent des bassins à vocation agricole. Or la pollution agricole est principalement diffuse, ce qui complique l'identification des sources potentielles parmi lesquelles figurent, en plus du lisier de porc, les fumiers des autres types d'élevage (bovins, volailles), les eaux usées de laiterie de ferme, l'érosion hydrique, les aménagements hydro-agricoles, les pesticides, les boues résiduelles épandues. Même si la part de chacune de ces causes de pollution n'est pas facile à évaluer, des études ont permis de mettre en évidence l'effet de l'élevage sur la pollution dans les rivières de l'Assomption, Yamaska et

Chaudière pour ce qui concerne l'azote et le phosphore [Gangbazo et Buteau, 1985].

2.2 Aspect spatial du problème: l'épandage

Présentement, la seule méthode légale de disposition du lisier utilisée actuellement au Québec est l'épandage sur les terres agricoles.

Modes d'épandage utilisés actuellement au Québec

L'épandage est une méthode soumise à des limitations spatiales, temporelles et quantitatives. Ces contraintes d'ordre réglementaire, pédologique, agronomique, climatique et de confort humain sont énumérées plus en détail dans le Tableau 2.5.

Il convient d'insister ici sur deux aspects qui suggèrent l'emploi d'un SIG dans la gestion de ce problème: le lieu d'épandage (coordonnées géographiques) auquel on peut associer une dose (attribut).

Conséquence du phénomène de spécialisation, les éleveurs porcins ne possèdent en général pas une superficie cultivée suffisante pour y appliquer toute la quantité de lisier produite dans leurs porcheries et doivent donc faire appel à des ententes avec des propriétaires de terres agricoles.

La période effective d'épandage se situe avant que l'hiver ne s'installe, à la mi-novembre, et peut durer deux à trois semaines. On observe souvent une autre série d'épandage au printemps après la fonte des neiges, pour éviter les risques de débordement des cuves d'entreposage du lisier de porcs. Trois méthodes d'épandage figurent parmi les plus utilisées: système d'aspersion porté sur camion, système d'aspersion avec tuyau d'amenée du lisier, irrigation.

Tableau 2.5: Contraintes d'épandage

Item considéré	Contraintes	Description
Lieu d'épandage	1- réglementaires	Article 43 *
	2- pédologiques	- Epaisseur et homogénéité du sol - Hydromorphie du sol - Pente - Composition granulométrique
	3- agronomiques	- Taux d'acceptation - Cultures permettant: . d'exporter un maximum d'éléments minéraux . une certaine souplesse d'épandage . d'éviter les risques d'accidents négatifs
	4- nuisances	Odeurs (épandage près des zones résidentielles)
Période d'épandage	1- réglementaires	Article 42 *
	2- climatiques	- Eviter d'épandre avant un épisode pluvieux - Ne pas épandre sur un sol gelé ou enneigé - Tenir compte du bilan hydrique du sol
	3- pédologiques	Liaison entre le type de sol et les conditions climatiques favorisant possiblement: . tassement du sol . formation d'ornières . ruissellement de certains polluants

Tableau 2.5 (suite): Contraintes d'épandage

Item considéré	Contraintes	Description
	4- culturelles	Rendre les éléments minéraux disponibles en relation avec les cultures et les rotations pratiquées (==> épandages au printemps et en été)
	5- nuisances	O d e u r s (particulièrement pour les épandages en été par aéro-aspersion)
Quantité à épandre	1- réglementaires	Article 40 *
	2- agronomiques	Connaissances suffisantes de: <ul style="list-style-type: none"> . contenu en éléments nutritifs dans le lisier . efficacité . besoin des plantes . fertilité des sols . complément en éléments minéraux
	3- humains	Sensibilisation et information approfondie de la profession agricole

* Règlement sur la prévention de la pollution des eaux par les établissements de production animale [MENVIQ, 1985]

[Source: Vallières (1987)]

Les doses appliquées peuvent normalement être contrôlées par le type de machinerie employée, de manière plus ou moins précise [MAPAQ, CPVQ, 1982].

Inévitablement, à cause de la forte concentration régionale de l'élevage à laquelle s'ajoutent les intérêts apparemment divergents des divers intervenants concernant l'épandage (éleveurs, cultivateurs, Ministère de l'Environnement), les producteurs porcins ne sont pas en mesure de respecter toutes les contraintes nécessaires à une gestion adéquate du lisier de porc. Mis à part les erreurs accidentelles, on assiste donc à des abus variés: déversements ponctuels, épandage sur des lieux non conformes (gravier), épandage sur sol gelé, doses trop fortes.

Transport des polluants du champ au cours d'eau

L'autre facette spatiale de la problématique, qu'on pourrait qualifier de dynamique par opposition à la précédente, concerne le processus de transfert des éléments polluants du lisier épandu vers les cours d'eau.

Le principal medium en est l'eau provenant d'une pluie ou de la fonte des neiges. Le moteur prépondérant de ce déplacement est la force de gravité. L'eau peut suivre un chemin horizontal (ruissellement) ou vertical (infiltration).

Parmi les facteurs affectant le ruissellement de l'eau sur un bassin versant (Tableau 2.6), nombreux sont ceux qui peuvent avoir une variabilité spatiale importante qu'il ne faut donc pas négliger.

Tableau 2.6: Facteurs affectant le ruissellement de l'eau sur un bassin versant

Climat

- précipitation:
 - . forme (pluie, neige)
 - . intensité
 - . temps entre deux précipitations
- évapotranspiration

Réseau de drainage (hydrographie)

- densité
- efficacité

Topographie

- pente (inclinaison et longueur)

Type de sol

- épaisseur
- texture: granulométrie (==> perméabilité)
- nature chimique (==> capacité de rétention de l'eau)

Utilisation du sol

- couverture végétale
 - . type
 - . densité
 - . état de croissance
- pratiques agricoles
 - . machinerie utilisée
 - . irrigation
 - . drainage artificiel
 - . ajout d'éléments (fertilisants, pesticides)

2.3 Réglementation gouvernementale

Normes d'entreposage et de disposition des fumiers

Ces normes sont définies dans le Règlement sur la prévention de la pollution des eaux par les établissements de production animale de la Loi sur la qualité de l'environnement [MENVIQ, 1985].

Les principaux points à souligner sont:

- "Le fumier liquide provenant d'un établissement de production animale doit être entreposé dans un réservoir de rétention étanche." (Article 25)
- "Capacité: période minimale de 200 jours consécutifs" (Article 30)
- "Le fumier provenant d'un établissement de production animale doit être épandu au moins une fois l'an sur des terres en culture, en pâturage ou en friche herbacée." (Article 39)
- "[...] sans dépasser la quantité maximale annuelle spécifiée à l'annexe F." (Article 40)

L'annexe F mentionnée à l'Article 40 a été reproduite au Tableau 2.7.

Une unité animale (UA) a été définie comme produisant 40 kg de N efficace par an. Sont donc équivalents à une UA:

- 5 porcs d'élevage d'un poids de 20 à 100 kg chacun,
- 25 porcelets d'un poids inférieur à 20 kg chacun,
- 4 truies et les porcelets non sevrés dans l'année.

On considère que chaque producteur doit disposer d'une superficie d'au moins 0.3 ha/UA.

Ce sont les bureaux régionaux du MENVIQ qui sont chargés de la vérification de l'application de ce règlement.

Tableau 2.7: Doses d'épandage permises par le MENVIQ
Annexe F

du Règlement sur la prévention de la pollution des eaux par les établissements de production animale (Loi sur la qualité de l'environnement, L.R.Q. c.Q-2 r.18)

Source	Azote provenant des fumiers épanchés: quantité maximale annuelle (kg de N / ha / an)
Maïs Jachère (1ère année)	170
Pommes de terre Choux, Tomates	135
Fraises	125
Prairie, Pâturage Friche herbacée	110
Betterave sucrière	100
Orge	80
Seigle	73
Tabac à pipe Tabac à cigare	65
Avoine, Blé, Colza Grains mélangés	60
Pommiers	55
Haricots (fourragés)	50
Tabac à cigarettes	30
Sarrazin	22
Soja, Lin Pois (fourragés)	20
Jachère (2ème année et plus)	0
Autres	110

NOTE: L'annexe F détermine la quantité maximale de dépôt dans l'environnement d'un contaminant au sens du paragraphe d de l'article 31 de la loi mais ne constitue en aucun cas une recommandation de fertilisation agronomique.

[Source: MENVIQ (1985)]

Normes pour la qualité de l'eau

Ces normes figurent dans les Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada [Santé et bien-être social Canada, 1987]. Les normes pertinentes au problème étudié ici figurent dans le Tableau 2.8.

Normes concernant la qualité de l'air

Pour le moment, il existe un guide de normes en voie de révision spécifiant, entre autres, la distance minimale devant séparer les installations porcines des lieux résidentiels.

2.4 Solutions envisageables

Préliminaires à toute recherche de solution

De la théorie à la pratique, la distance peut être grande: c'est bien le cas si on compare la réglementation gouvernementale à ce qui se passe sur le terrain. Or, il faut avant tout être capable d'identifier clairement les causes et l'ampleur de ce fossé avant de pouvoir le combler de façon efficace.

Les données pertinentes à la problématique présentée ici sont diverses tant dans leur forme que dans leur origine multidisciplinaire: données géographiques et données statistiques non spatiales, données de type agronomique, environnemental, économique. Il devient alors nécessaire de pouvoir rassembler et intégrer ces données dans un système qui permettra:

- 1) de disposer d'un inventaire de ces données,
- 2) d'en analyser les traits majeurs,
- 3) d'effectuer des simulations afin d'évaluer l'impact de solutions potentielles,

Tableau 2.8: Critères de qualité de l'eau potable

Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada
(extrait)

Paramètres	Concentration maximale acceptable	Objectif	Critère (Santé ou Esthétique)
Paramètres inorganiques			
Bore (B)	5 mg/l	< .01	S
Cadmium (Cd)	5 µg/l	< 1	S
Chlorures (Cl)	250 mg/l	< 250	E
Cuivre (Cu)	1 mg/l	< 1	E
Fer (Fe)	0.3 mg/l	< .05	E
Manganèse (Mn)	0.05 mg/l	< .01	E
Matières solides dissoutes	500 mg/l	-	E
Mercure (Hg)	1 µg/l	< .2	S
Nitrates (NO ₃ , NO ₂)	10 mg/l	< .001	S
Nitrites (NO ₂)	1 mg/l	< .001	S
pH	6.5 à 8.5	-	E
Sélénium (Se)	0.01 mg/l	< .002	S
Sulfates (S)	500 mg/l	< 150	S&E
Sulfures (en H ₂ S)	0.5 mg/l	< .05	E
Zinc (Zn)	5 mg/l	< 5	E
Paramètres organiques			
Trihalométhanes	0.35 mg/l	< .0005	S
Paramètres physiques			
Couleur	15 UCV	< 15	E
Goût	-	inoffensif	E
Odeur	-	inoffensive	E
Température	15°C	< 15	E
Turbidité	5 UNT	< 1	S&E

Paramètres microbiologiques

Microorganismes:

- a) aucun échantillon ne devrait contenir plus de 10 coliformes par 100 ml
- b) au moins 90 % des échantillons prélevés durant une période de 30 jours doivent être exempts de coliformes
- c) pas plus de deux échantillons prélevés consécutivement au même endroit ne doivent contenir de coliformes
- d) aucun des coliformes décelés ne doit être de type coliforme fécal

[Source: Santé et bien-être social Canada (1987)]

4) de permettre de visualiser les données et les résultats d'analyses de façon à sensibiliser les personnes concernées par le problème.

Le coeur de ce travail consistera à étudier dans quelle mesure les SIG constituent un outil valable pour répondre aux besoins énumérés ci-dessus.

Meilleure gestion de l'épandage

Divers rapports [Gangbazo, 1985] font état d'un surplus de lisier par rapport à la quantité pouvant être épandue suivant les normes agronomiques et environnementales. L'épandage ne peut donc pas constituer à lui seul la solution à une gestion adéquate des déjections porcines. Pourtant, tel qu'il est pratiqué actuellement, ce mode de disposition peut être amélioré de façon profitable. Les points suivants présentent les progrès possibles.

1) Information des acteurs concernés

Tel que mentionné ci-haut, divers intérêts entrent en conflit: l'éleveur tente d'éliminer le lisier au moindre coût, le cultivateur est plus favorable aux engrais chimiques que de provenance animale, le Ministère de l'Environnement doit prévenir toute dégradation du milieu naturel. Afin de donner une image plus juste de la valeur fertilisante et du potentiel polluant des fumiers, des sessions de sensibilisation seraient fort justifiées. Leur impact serait d'autant plus grand que le matériel d'information aurait une bonne qualité graphique telle que peut en produire des SIG.

2) Transport entre municipalités

Le transport du lisier des zones excédentaires vers d'éventuelles zones déficitaires se heurte à des contraintes économiques. Des méthodes d'optimisation d'un tel réseau de transport permettraient d'en évaluer la viabilité.

3) Recherche sur les méthodes et doses d'épandage

Une machinerie capable d'épandre entre les rangs alors que les premières pousses apparaissent serait avantageuse au point de vue agronomique et environnemental. En allongeant la période d'épandage, elle permettrait de disposer de plus grandes quantités de lisier.

D'autre part, les doses optimales à épandre dépendent de nombreux facteurs: une poursuite de la recherche dans ce domaine s'avère nécessaire.

On notera que la prise de conscience de l'existence de la pollution diffuse en milieu agricole a amené la prolifération de nombreux modèles mathématiques visant à quantifier les apports de polluants agricoles dans les cours d'eau. Des modèles de simulation permettent aussi d'estimer les variations que pourraient apporter des pratiques agricoles différentes. Toutefois, peu de modèles ont été développés spécifiquement pour les polluants provenant de l'épandage de déjections animales et la plupart ne permettent pas de tenir compte de conditions propres aux bassins versants du Québec.

Les suggestions émises aux points 2) et 3) auraient tout intérêt à faire l'objet de simulations à partir de données intégrées dans un SIG.

Systèmes de traitement du lisier

Ces systèmes visent à réduire la quantité de lisier à disposer ainsi que son potentiel polluant. Au Québec, deux projets pilotes sont encore à l'essai:

1) Unité de traitement à la ferme

Les composantes du système s'enchaînent comme suit:

- prétraitement mécanique
- traitement biologique aérobie du type boues activées

- traitement de l'azote par désorption et nitrification-dénitrification
- lagunes aérées
- épandage de l'effluent traité sur une superficie en culture

2) Usine de traitement régionale

Les étapes du processus sont:

- prétraitement mécanique
- digestion anaérobie
- traitement biologique aérobie
- traitement physico-chimique
- filtration au sable et par membrane.

CHAPITRE 3: ETABLISSEMENT D'UN PROTOTYPE DE SIG ADAPTE A LA GESTION DU LISIER DE PORC

3.1 Outils informatiques utilisés

3.1.1 Micro-informatique

Présentation

Par leur architecture interne basée sur des microprocesseurs constitués de circuits intégrés à haut niveau d'intégration, les micro-ordinateurs se différencient des systèmes avec mono ou multiprocesseurs que sont les mini-ordinateurs et les ordinateurs centraux. Conséquemment, les micros sont plus économiques tant sur le plan monétaire qu'au niveau de l'espace de rangement requis. Par contre, ils n'ont pas encore atteint la puissance (vitesse et mémoire) des plus gros systèmes.

Dans le cadre du présent travail, les diverses composantes du matériel utilisé sont connectées à un ordinateur personnel compatible IBM/AT. Les caractéristiques de tous ces éléments ont été placées à l'Annexe D.

Justification du choix

Le but n'étant pas d'évaluer les différents types de matériel en vente sur le marché, le choix s'est porté sur la micro-informatique vu que les appareils ainsi que les logiciels adaptés étaient déjà disponibles au début du travail. Ces instruments se prêtent d'ailleurs bien à une étude de type académique par leur côté pédagogique.

D'autre part, comme bien des applications environnementales, le problème de pollution diffuse due à l'épandage d'excréments animaux nécessite une gestion au niveau local. Autrement dit, il faut pouvoir décentraliser la manipulation de l'information. Or les systèmes sur micro-ordinateurs sont en général plus économiques et surtout plus conviviaux: ils sont donc particulièrement appropriés, d'autant plus que les besoins de traitement de l'information dans les bureaux régionaux ne requièrent pas les fonctions complexes disponibles seulement sur matériel plus lourd et requierant du personnel spécialisé dans ce domaine. De plus, il est toujours possible d'effectuer des échanges ou des compilations des données collectées au niveau provincial grâce à la télématique qui permet la connexion en réseau.

3.1.2 Logiciels

1) Système d'information géographique (SIG)

Le logiciel sélectionné est le "Professional Map Analysis Package" (pMAP) dont on trouvera les spécifications à l'Annexe D.

Caractéristiques de pMAP

Issu du "Map Analysis Package" (MAP), ensemble de programmes constituant une partie de la thèse de doctorat de Tomlin (1983), pMAP en emprunte la majorité des concepts et algorithmes.

MAP a été programmé en FORTRAN IV sur gros ordinateur IBM. Les fonctions qui y ont été développées visent à répondre à des besoins de traitement de données géographiques dans le domaine de la planification environnementale.

Les concepteurs de pMAP justifient la création de leur logiciel par le constat des inconvénients des SIG commercialisés avant pMAP [Berry et Reed, 1987]:

- faiblesses du côté des procédures analytiques disponibles (inexistantes ou inefficaces),
- nécessité de disposer d'un matériel spécialisé dispendieux,
- besoin d'un temps de formation relativement important pour pouvoir en faire une utilisation efficace.

Par conséquent, pMAP est particulièrement développé en ce qui concerne les fonctions analytiques, programmées en Modula-2 pour implémentation sur ordinateurs personnels compatibles IBM, et que l'utilisateur appelle par un langage de commande dont la grammaire est relativement simple ("English-like sentences").

a/ Structure des données

pMAP a adopté une structure matricielle: les coordonnées géographiques sont données par les lignes et colonnes de la matrice, tandis que les attributs non spatiaux sont enregistrés sous forme numérique pour constituer la matrice elle-même.

Une base de données est définie comme un ensemble de matrices de même dimension dans le but de représenter la même région géographique. Chaque matrice bidimensionnelle présente une couche d'information thématique. En termes mathématiques, on peut définir un thème ou attribut Z comme étant une fonction de la localisation (X <--> Colonne, Y <--> Ligne):

$$Z = f(X, Y).$$

Les limites actuelles de pMAP concernent:

- la dimension des matrices qui ne peut dépasser 160 x 160,
- la valeur des attributs qui doit être un entier compris entre -32768 et +32767, c'est à dire un entier occupant un espace mémoire de 16 bits.

Dans la suite du texte, les termes "image" ou "couche" seront employés pour désigner une matrice de données thématiques localisées traitée par pMAP. Cette convention ne devrait pas prêter à confusion dans le contexte du logiciel utilisé; de plus, elle s'avère pratique pour traduire les concepts exprimés en anglais par les vocables "map" et "overlay" vers leurs équivalents

français, soit "image" et "couche thématique". Cette terminologie permet d'éviter l'ambiguïté issue d'un usage indifférencié du mot "overlay" dans le vocabulaire anglophone pour désigner à la fois l'opération de recouvrement ("to overlay") et les couches d'information thématiques impliquées dans l'opération ("the overlays").

b/ Structure interne

Afin de pouvoir traiter à l'externe des données enregistrées ou créées avec pMAP, il peut être intéressant de connaître dans quel format elles sont placées en mémoire. Une base de données implique l'existence de 5 fichiers distincts dont le contenu et l'espace mémoire occupé est présenté dans le Tableau 3.1. Les données y sont encodées en format interne, donc seules les commandes pMAP permettent l'accès et la transformation en formats utilisables par un nombre encore limité d'autres logiciels (divers formats ASCII, Surfer).

c/ Interface avec l'utilisateur

pMAP utilise le mode interactif: la commande entrée par l'utilisateur est immédiatement traitée. La syntaxe générale de toute commande peut être schématisée de la façon suivante:

[<verbe> <objet>] <adverbe> [<préposition> <objet>].

Une commande peut avoir plusieurs <adverbes> et <prépositions>. Suivant les commandes, <objet> peut être une constante cartographique (matrice), une constante numérique (entière ou réelle), une variable cartographique (matrice) ou une variable numérique (entière ou réelle).

Avec un éditeur de texte (non compris dans pMAP), il est possible de créer des "macros" qu'une commande de pMAP permet d'appeler. Une macro est constituée d'une liste de commandes à être effectuées de façon séquentielle. L'intérêt des macros est accru grâce à la

Tableau 3.1: Structure interne d'une base de données de pMAP

Ext. (*)	Contenu	Espace mémoire occupé (Byte)	Commentaires
.TAB	Paramètres de la base de données	90	
.NAM	Paramètres de chaque image	$322 + 161 \times (n_{\max} - 1)$	n_{\max} : nombre maximum d'images que peut contenir la base de données
.CAT	Légende de chaque image	$4\ 120 + (n-1) \times 2\ 060$	n: nombre d'images existantes dans la base de données
.NOT	Remarques pour chaque image	$1\ 804 + (n-1) \times 902$	
.VAL	Valeurs des attributs des cellules de chaque image	$102\ 400 + (n-1) \times 51\ 200$	

(*) **Ext.** = extension du nom de fichier

possibilité de déclarer des variables. Ce principe permet d'appliquer de façon relativement efficace la notion de modélisation cartographique.

d/ Fonctions disponibles

Dans la dernière version de pMAP (version 2.6), le langage de commande comprenait 62 commandes, dont 4 n'étaient pas encore opérationnelles. La liste en est donnée au Tableau 3.2.

Si on s'attarde sur les opérations analytiques, ce sont celles qui figurent rarement dans les SIG commerciaux qui retiennent l'attention.

Les **opérations de voisinage** évaluent les caractéristiques d'une surface entourant un lieu donné. Ce type de fonction nécessite trois spécifications:

- le lieu cible (une ou plusieurs cellules),
- les limites de la surface entourant le lieu cible (fenêtre),
- l'opération à être effectuée sur les cellules de cette fenêtre.

Mentionnons tout spécialement la commande PROFILE qui peut s'avérer utile dans la localisation de dépressions topographiques.

Les **opérations de connexité** accumulent des valeurs sur la surface traversée. Pour ce faire, il est essentiel de connaître:

- la façon dont les éléments sont interconnectés (réseau),
- l'ensemble des règles spécifiant le mouvement permis dans ce réseau,
- l'unité de mesure.

Mis au point par Tomlin (1983), l'algorithme de la commande SPREAD figure parmi les plus complexes: il tient compte à la fois de la variabilité spatiale et de l'effet cumulatif de la variabilité spatiale. Pour chaque cellule, la valeur reflétant sa distance par rapport à des cellules-cibles est calculée. L' image-résultat donne ce qu'on appelle une surface d'accumulation ou de friction. Les contraintes sur le mouvement sont introduites par la notion de barrière, absolue si elle stoppe le mouvement, relative si elle ne fait qu'augmenter plus fortement la valeur d'accumulation.

Tableau 3.2: Commandes de pMAP**GESTION DE LA BASE DE DONNEES (42 commandes)****Entrée des données (6)**

GRID	entre une image par lignes
MAP	entre une image constante (homogène)
POINT	entre des points
STORE	associe une valeur (entière/réelle) à une variable
STRIP	entre une image par segments homogènes de ligne
TRACE	entre une image numérisée dans un fichier externe

Mise en mémoire et contrôle des données (27)

ASSOCIATE	associe une image à une variable (de type image)
COPY	copie une image
DEASSOCIATE	efface une variable (de type image)
DEFINE	définit les symboles d'affichage
DUMP	copie une image dans un fichier externe
END	sort de la base de données en cours
EXPOSE	rend une image disponible à des modifications
FOOTNOTE	ajoute un texte descriptif à la légende d'une image
HELP	affiche la syntaxe des commandes
INFORM	affiche les paramètres de la base de données
LABEL	édite la légende d'une image
NOTE	introduit un commentaire dans une macro-commande
PANEL	sépare ou unit des images contiguës
PAUSE	arrête momentanément l'exécution d'une macro-commande
PROTECT	rend une image non accessible à des modifications
QUIT	sort de pMAP (sans effectuer la commande SQUISH)
READ	lit un fichier externe
RECOVER	rend disponible une image qui a été effacée
REGRID	réduit ou agrandit une image
REMEMBER	spécifie le nombre de commandes à mémoriser
RENAME	modifie le nom d'une image
SCALE	modifie l'échelle de la image (mais pas l'image)
SET	modifie la configuration de la base et du système
SQUISH	libère l'espace occupé par les images effacées
STOP	SQUISH suivi de QUIT
UNLABEL	efface la légende de certains attributs d'une image
ZAP	efface une image

Description et affichage des données (9)

CROSSTAB	affiche les fréquences croisées de deux images
DESCRIBE	affiche la légende d'une image
DISPLAY	affiche une image (format texte)
DOS	sort temporairement de pMAP
LIST	affiche la liste des images de la base de données
PRINT	imprime une image
RANGE	affiche les valeurs min. et max. d'une image
(SHOW)	affiche une image (format graphique CGA ou EGA)
(SURVEY)	affiche des facteurs de forme des régions d'une image

Tableau 3.2 (suite): Commandes de pMAP**OPERATIONS ANALYTIQUES (20 commandes)****Reclassification (5)**

CLUMP différencie les sous-régions non contiguës
 (CONFIGURE) donne aux régions la valeur caractérisant leur forme
 RENUMBER donne de nouvelles valeurs à des attributs
 SIZE donne aux régions la valeur de leur superficie
 SLICE divise l'intervalle des valeurs en sous-intervalles

Recouvrement (5)

AVERAGE moyenne des valeurs de plusieurs images
 COMPUTE opérations élémentaires sur plusieurs images
 COMPOSITE statistiques descriptives des valeurs d'une image pour
 chaque région d'une autre image
 COVER superposition de plusieurs images
 INTERSECT intersection de deux images

Mesure de distance et connexité à partir de cellules-cibles (5)

DRAIN densité du réseau de chemins sur une surface
 RADIATE champ de vision sur une surface
 (SPAN) distance minimale d'un bord à l'autre d'une région
 SPREAD distance (pondérée ou non) sur une surface
 STREAM réseau de chemins possibles sur une surface

Caractérisation du voisinage (5)

INTERPOLATE interpolation discrète ou linéaire
 ORIENT direction de la pente
 PROFILE profil suivant une certaine coupe
 SCAN statistiques descriptives du voisinage
 SLOPE dérivée première d'une image

[Source: Berry et Reed (1987)]

Etant donné que ce travail s'intéresse à une problématique de ruissellement de polluants, on ne saurait passer sous silence deux commandes qui semblent appropriées pour des modèles hydrologiques: STREAM et, spécifique à pMAP, DRAIN. Ces deux commandes sont basées sur le même algorithme:

- pour chaque cellule-cible déterminée par l'utilisateur, on considère les cellules contiguës (8 en général, sauf en bordure de l'image). De plus, une règle de décision doit être précisée au départ: "choisir les cellules de valeur **supérieure** ou **inférieure** à la valeur de la cellule considérée". Le traitement des cas limites (par exemple, lorsque la valeur est égale) est contrôlé par certains paramètres de la commande.

- toutes les cellules contiguës retenues par la règle de décision subissent à leur tour la procédure appliquée aux cellules-cibles. La principale différence entre STREAM et DRAIN se situe au niveau de la valeur attribuée aux cellules retenues: dans le cas de DRAIN, cette valeur tient compte du nombre de fois où la cellule a été retenue, on parle alors de valeur de densité.

Concernant les méthodes de programmations utilisées pour les opérations analytiques, les auteurs de pMAP précisent que, les calculs intermédiaires sont effectués avec des valeurs de type réel, même si les matrices ne contiennent que des entiers, . Le résultat final, le seul qui sera stocké, est arrondi à des valeurs entières.

Enfin, il faut mentionner que la version de pMAP utilisée ici était une version relativement jeune (2.6) et donc en développement, et que de nombreuses améliorations de détails devaient être apportées dans une version ultérieure non encore disponible.

Justification du choix

Encore une fois, une étude comparative de logiciels ne figurait pas dans la liste des objectifs du projet présenté ici. Le choix

de pMAP a donc été motivé par les points suivants:

- pMAP a été développé pour être utilisé sur micro-ordinateur,
- il met l'accent sur l'analyse et la modélisation cartographiques, donc sur ce qui est spécifique aux SIG,
- son précurseur, MAP, avait été créé pour être appliqué à des problèmes environnementaux,
- sa relative simplicité de manipulation lui confère des qualités pédagogiques appréciables dans le cadre d'un travail académique (d'ailleurs, les auteurs ont développé à partir de pMAP, un logiciel à but purement éducatif, le "Academic Map Analysis Package", aMAP),
- son coût (environ 1 000 \$) donne un rapport qualité/prix raisonnable, d'autant plus qu'on a vu que cette technologie évolue vite et il est fort probable que des systèmes plus performants seront bientôt disponibles sur le marché à des prix abordables.

2) Logiciels complémentaires

pMAP n'étant pas un SIG complet tel que défini dans le Chapitre 1, il a fallu faire appel à d'autres logiciels pour en combler les manques.

a/ Numérisation vectorielle: ATLAS*DRAW

ATLAS*DRAW est logiciel interactif qui permet de créer, d'éditer et de tracer des cartes. Sous ATLAS*DRAW, le terme de carte fait référence au fichier ("boundary file") pouvant contenir 4 types d'entités géographiques: limites de régions, lignes, points, cercles. Le terme "curve", traduit ici par "ligne", est utilisé à tort par les concepteurs d'ATLAS*DRAW car il désigne une entité linéaire complexe (ligne brisée). Nous profitons de la traduction pour suggérer un terme plus adéquat. Les fonctions offertes permettent de:

- numériser des cartes sur support papier par l'intermédiaire d'une tablette numérisante,

- éditer des entités géographiques déjà créées,
- les manipuler (fusionner, diviser, générer une zone autour d'une entité, copier, déplacer, effacer, renommer, convertir un type d'entité en un autre type),
- calculer des distances et superficie pour usage extérieur à ATLAS*DRAW,
- tracer les entités ainsi créées à une échelle déterminée par l'utilisateur.

Les fichiers générés avec le logiciel ATLAS*DRAW sont en format binaire et doivent être transformés dans un format ASCII par le logiciel IMPORT/EXPORT pour devenir utilisables en dehors de l'environnement d'ATLAS.

Le recours à un logiciel de numérisation vectorielle est une conséquence de la nature des données géographiques disponibles (cartes sur support papier): il s'avérait indispensable, en terme de temps, de procéder à l'entrée des données par numérisation vectorielle et non matricielle.

b/ Conversion vectoriel-matriciel: programme RASTER de DDP

Le fichier obtenu par ce programme de conversion permet d'intégrer directement la carte désirée à une base de données de pMAP en utilisant la commande READ.

Ce programme a été choisi du fait qu'il était suggéré par pMAP.

Il présente les contraintes suivantes:

- la dimension maximum des matrices est de 255 x 255,
- les valeurs d'attribut doivent être comprises entre 1 et 255 (ce qui correspond à 8 bits d'espace mémoire).

c/ Isolignes et graphiques 3D: SURFER

Procédant par menus, SURFER permet d'obtenir:

- à partir de valeurs (X,Y,Z) à espacement irrégulier, une matrice complète de valeurs d'attribut Z (par interpolation),
- une carte des courbes de niveau,

- un graphique donnant une représentation en 3 dimensions (perspective).

Ces résultats seront utilisés dans un but purement visuel et non pour servir de base à des calculs ultérieurs.

D'autre part, afin d'avoir des points de comparaison permettant de justifier l'avantage des SIG, les données recueillies ont été soumises à d'autres types de logiciels.

d/ Analyses et graphiques statistiques: STATGRAPHICS

Ce logiciel interactif donne accès aux statistiques descriptives les plus courantes ainsi qu'aux représentation graphiques classiques:

- moyenne, extrêmes, écart-type,
- diagramme en bâton, diagramme circulaire, histogramme.

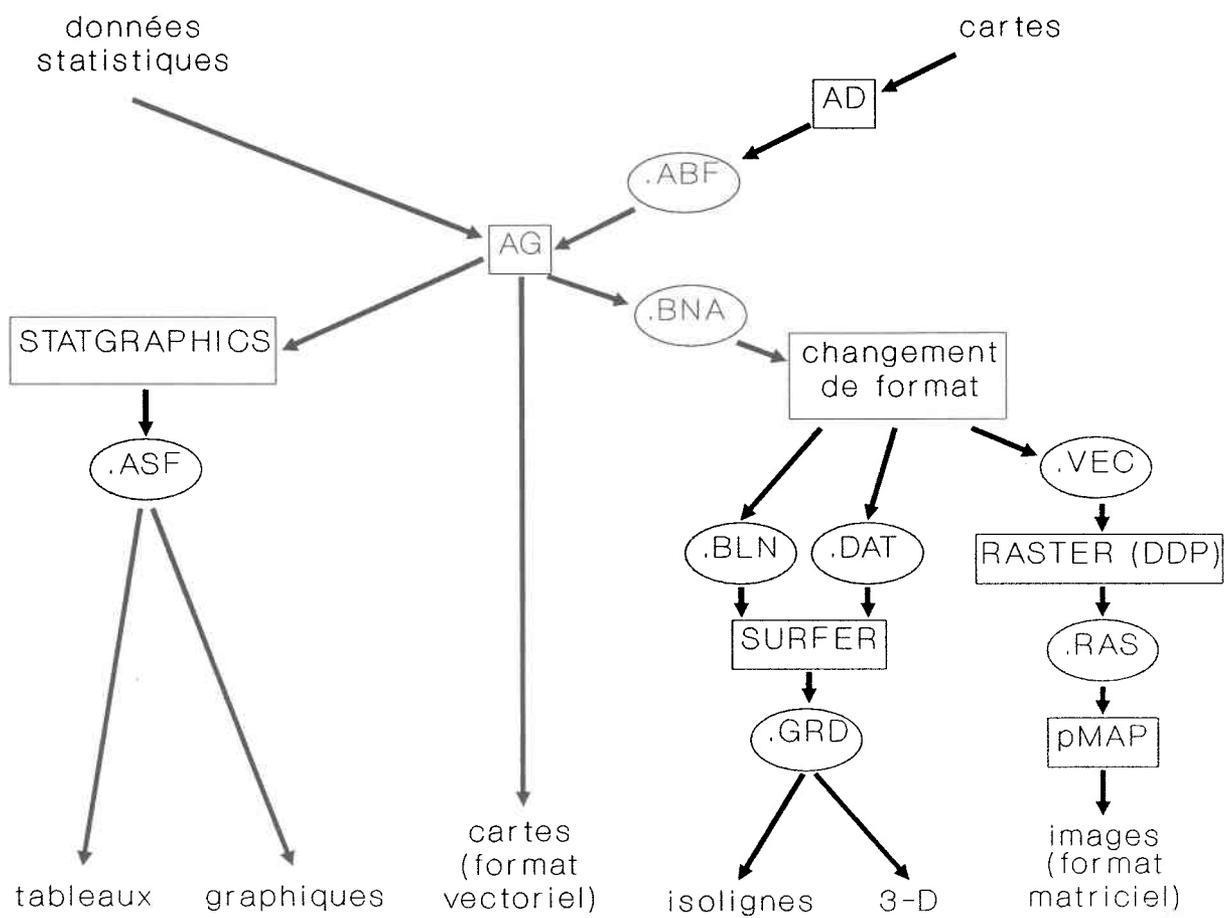
e/ Cartomatique: ATLAS*GRAPHICS

Logiciel complémentaire à ATLAS*DRAW, ATLAS*GRAPHICS permet la représentation cartographique de données statistiques: on obtient des cartes **thématiques**. Les principales fonctions accessibles par menu sont listées ci-dessous:

- entrée des données statistiques (directement ou importation de fichier),
- détermination des types d'entités géographiques devant figurer sur la carte (régions, lignes, points, cercles),
- coloriage de la carte: le codage des intervalles de données statistiques peut se faire par la couleur ou par le type de coloriage (hachures, points avec densité variable),
- habillage de la carte (titres, légende, commentaires, ...),
- impression de la carte sur support papier (imprimante, traceur traçante).

Prérequis essentiel à l'utilisation de ces divers logiciels, la possibilité de transfert des données d'un système à l'autre est schématisée à la Figure 3.1.

Figure 3.1: Interfaces entre les logiciels utilisés



3.2 Bassin versant du Ruisseau-des-Anges

1) Choix du bassin

Description du bassin

Situé au nord des îles de Montréal et de Laval, dans le bassin versant de la rivière l'Assomption, le bassin du Ruisseau-des-Anges couvre une superficie totale de 3 700 ha répartie sur les municipalités de Saint-Roch-Ouest (66 %), Saint-Lin (31 %) et Saint-Henri de Mascouche (3 %). Les eaux ainsi drainées par le Ruisseau-des-Anges se déversent dans la rivière l'Achigan, elle-même tributaire de la rivière l'Assomption (Figure 3.2).

1) Vocation

Ce bassin est essentiellement à vocation agricole, les herbages, céréales et maïs occupant plus de 50 % de sa surface (Tableau 3.3 et Carte 5).

Selon les certificats d'autorisation, les porcheries pouvaient accueillir en 1989 une population porcine de 5738.35 unités animales (UA) soit 27673 porcs et 815 truies. Cela représente environ 2.3 UA par hectare de terre cultivable (ce chiffre ne comptabilise pas les autres types d'élevage tels que bovins et volailles présents sur le bassin et fournisseurs eux-aussi de déjections dont il faut disposer).

2) Géologie et pédologie

Le bassin fait partie d'une région relativement plane du bassin de la rivière l'Assomption, celle des Basses-Terres du Saint-Laurent. Les formations rocheuses y sont surtout d'origine sédimentaire: elles se composent de grès et de conglomérat d'âge cambrien appartenant au groupe Potsdam, de dolomie du groupe de Beekmantown, de calcaire rattaché aux groupes de Black River et de Trenton ainsi que de shale du groupe de l'Utica et du Lorraine, ces divers types de roche étant d'âge ordovicien. Les dépôts meubles du bassin sont

Figure 3.2: Localisation du bassin versant du Ruisseau-des-Anges

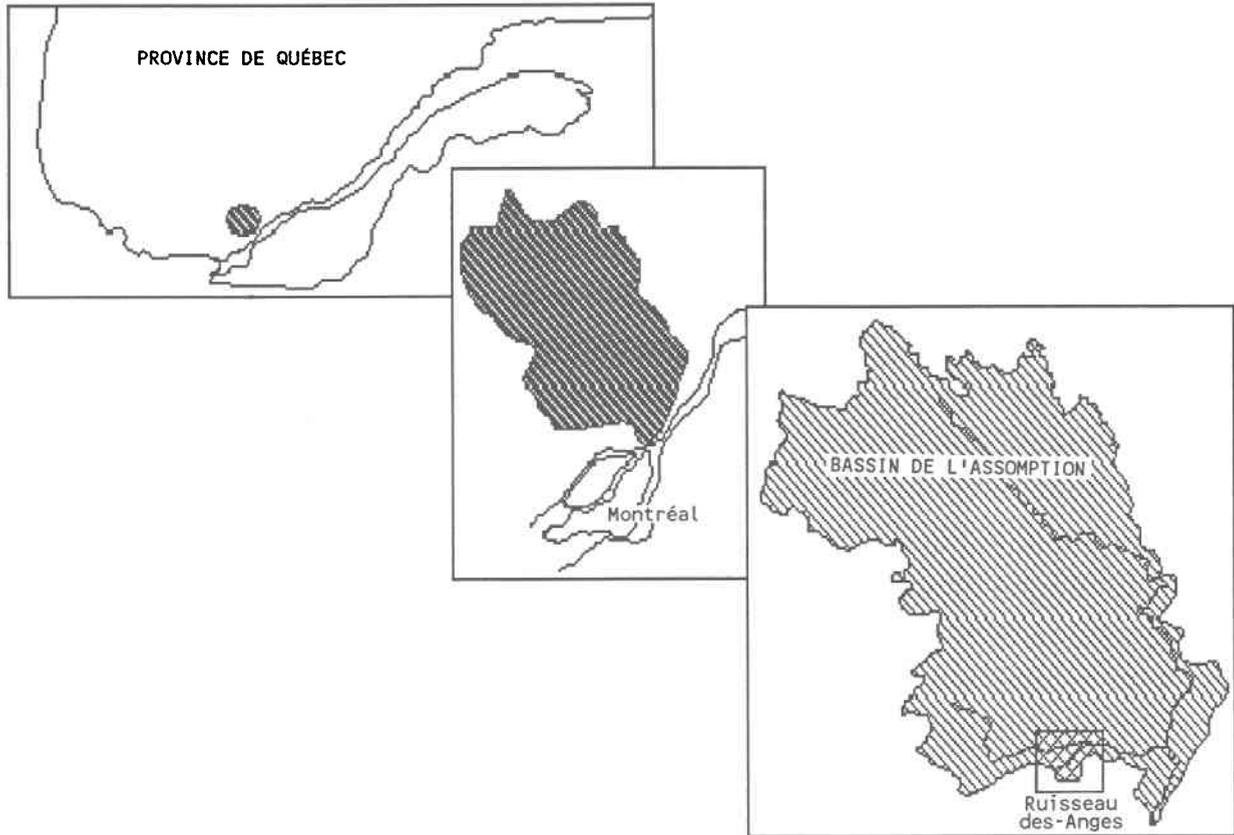


Tableau 3.3: Utilisation du sol dans le bassin versant du Ruisseau-des-Anges

Utilisation du sol	Superficie (ha)	Proportion (%)
Résidentiel / Gravier	124.3	3.4
Herbages	676.3	18.3
Céréales	523.1	14.1
Maïs	734.5	19.9
Horticulture	458.7	12.4
Autres terres agricoles	25.4	0.7
Forêt	1 154.3	31.2
TOTAL	3 696.6	100.0

[Calculs effectués par ATLAS*DRAW sur la carte numérisée d'Utilisation du sol 1985]

pour leur part composés surtout d'argiles interstratifiées et par endroits de minces lits de sables (le long du cours d'eau) puis de sable et/ou gravier deltaïque et fluviatile autour des dépôts d'argile [Paré, 1980].

3) Utilisation et qualité de l'eau

L'eau du Ruisseau-des-Anges n'est utilisée à aucune fin particulière, ni pour la consommation, la récréation, ni pour l'agriculture (irrigation) ou l'élevage (abreuvoirs). Toutefois, elle se jette dans la rivière l'Achigan, cette dernière alimentant la prise d'eau de la ville de l'Epiphanie.

Sachant que la concentration maximale permmissible au point de vue environnemental est de 1.09 UA/ha, la concentration observée de 2.3 UA/ha laisse présager des problèmes de qualité de l'eau. Or, une campagne d'échantillonnage menée en automne 1986 a montré que le cours d'eau était fortement pollué, notamment par les formes solubles d'azote (nitrates et azote ammoniacal) et par les coliformes fécaux, trois des plus importants paramètres caractérisant la pollution diffuse agricole [Gangbazo et Blais, 1987].

Justification du choix

Afin d'atteindre dans un temps limité les objectifs du travail présenté ici, et mis à part la nécessité évidente de choisir un bassin en zone d'élevage porcin intensif reconnu comme étant critique en matière de pollution diffuse, le critère fondamental a été la possibilité d'avoir accès aux données essentielles sans recourir à une campagne sur le terrain.

Or, en 1986, dans le cadre d'un "projet spécial d'interventions environnementales" mené conjointement par le ministère de l'Environnement et le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, le bassin du Ruisseau-des-Anges a fait l'objet d'une étude visant à évaluer l'efficacité de certaines mesures de contrôle de la pollution agricole. A cette occasion,

de nombreuses données ont été rendues disponibles (cartes) tandis que d'autres ont été recueillies sur place (précipitations, débits, qualité de l'eau). A cette facilité d'accès aux données devant constituer la base de données du SIG, s'ajoutait la possibilité d'avoir recours à des personnes-ressources ayant une bonne connaissance du problème et du terrain. En particulier, toute donnée supplémentaire pouvait être obtenue avec la collaboration du bureau régional Montréal-Lanaudière du Ministère de l'Environnement, chargé de promouvoir le respect des normes environnementales dans la région couvrant le bassin du Ruisseau-des-Anges.

D'autre part, le bassin étant de taille relativement petite, son étude au sein d'un SIG sur micro-informatique entraînait la manipulation d'une quantité de données raisonnable.

2) Choix de problèmes à résoudre

En utilisant les données du bassin du Ruisseau-des-Anges, on veut pouvoir montrer l'intérêt des SIG à plusieurs niveaux.

a/ L'évolution qu'un SIG représente par rapport à d'autres systèmes de manipulations de données:

- résultats pouvant être obtenus par logiciels statistiques, en particulier résultats graphiques,
- résultats fournis par cartomatique,
- résultats d'analyse par SIG.

b/ La possibilité de répondre aux requêtes courantes de gestion de lisier de porc au niveau local.

Dans le bureau régional du MENVIQ visité, on a pu constater l'absence d'informatisation en matière de gestion des dossiers de producteur. Ces données pourraient être utilisées de façon plus efficace pour répondre aux questions qui se posent régulièrement:

- autoriser un producteur à augmenter son nombre d'UA,

- producteurs non réglementaires par rapport à la capacité d'entreposage,
- producteurs non réglementaires par rapport à la superficie d'épandage disponible,
- champs les plus proches par le réseau routier pouvant recevoir le lisier d'un producteur,
- de façon générale, questionner le SIG afin d'en extraire les données qui y ont été intégrées.

c/ Analyses plus sophistiquées et modélisation:

- bilans au niveau du bassin ou au niveau d'entités plus réduites (par exemple, quantité de lisier épandue sur les cultures de maïs),
- zones du réseau hydrographique risquant de drainer des éléments du lisier de porc.

CHAPITRE 4: METHODOLOGIE ET RESULTATS**4.1 Entrées des données****Données disponibles**1) Cartes

a/ Carte topographique

La carte topographique sur laquelle on retrouve le bassin du Ruisseau-des-Anges est celle de Saint-Roch-de-l'Achigan établie par le Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec (service de la cartographie). Révisée à partir de photographies aériennes d'octobre 1982, elle est disponible à l'échelle 1:20 000 suivant la projection Mercator transverse modifiée, fuseau 8. On y trouve:

- des courbes de niveau aux 5 mètres et des points cotés,
- le réseau hydrographique,
- le réseau routier,
- des structures fixes (habitations, cuves à fumier, ...).

C'est sur cette carte qu'ont été localisés les producteurs porcins du Ruisseau-des-Anges par une reconnaissance sur le terrain.

b/ Carte cadastrale

Disponible sous forme d'acétate translucide, cette carte du Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec permet de localiser, à l'échelle 1:20 000, la limite des lots cadastraux ainsi que les numéros qui les identifient de façon unique pour chaque municipalité. Elle fournit par la même occasion les limites des municipalités.

Le cadastre au 1:10 000 sur support papier a permis de clarifier certaines informations des cartes à échelle plus petite (en particulier, certaines portions du réseau hydrographique).

c/ Carte des sols

Tracée pour les besoins de l'étude conjointe MAPAQ-MENVIQ à partir de la carte des sols des comtés Assomption-Montcalm au 1:63 360 du Ministère fédéral de l'Agriculture (Service de Recherches) publiée en 1962, cette carte situe au 1:20 000 les types de sol sur lesquels s'étale le bassin du Ruisseau-des-Anges. A partir du nom du sol, on peut en déterminer, d'après le document original, le groupe auquel il appartient, sa texture, son drainage et la roche mère.

d/ Carte d'utilisation du sol

Sur fond cadastral, la carte d'utilisation du sol dans le bassin du Ruisseau-des-Anges a pu être établie par le MAPAQ à partir des données recueillies sur le terrain en automne 1985. On y retrouve:

- la limite du bassin versant,
 - l'utilisation du sol pour le bassin: zones résidentielles, zones non cultivées (forêt, gravier), zones cultivées (types de culture).
- Il faut noter que cette carte ne permet pas de retracer la limite des champs. En effet, le champ est une unité de culture: en général, un lot est constitué de plusieurs champs, et une même culture peut s'étendre sur plusieurs champs. Les limites d'un champ, laissées à la discrétion du cultivateur, sont plus variables que celles du lot.

On disposait aussi d'une carte similaire pour 1986 qui illustre bien le peu de changements dans les cultures d'une année à l'autre. Les données contenues dans cette dernière carte n'ont pas été considérées ici.

2) Données statistiques

Le choix des données à la fois disponibles et utiles à la problématique en question s'est fait conjointement avec les intervenants du MENVIQ au niveau de la Direction de l'Assainissement Agricole et de son bureau régional de l'Assomption.

La collecte des données a été effectuée en une journée à ce bureau-même avec la collaboration du responsable et d'une technicienne veillant à la confidentialité de certaines données que contenaient les dossiers consultés.

Les données brutes ainsi recueillies sont listées à l'Annexe B. Brièvement, on peut les classer en trois catégories:

- la production porcine,
- les structures d'entreposage du lisier de porc,
- les ententes d'épandage du lisier de porc.

Dès lors, une remarque sur la qualité des données s'impose. Les problèmes rencontrés pour retrouver dans des dossiers non uniformes toutes les informations désirées expliquent les lacunes énumérées ci-dessous.

a/ La production porcine est représentée par le nombre d'animaux que peuvent héberger les porcheries d'un éleveur, tel qu'il figure sur le certificat d'autorisation émis par le MENVIQ. D'après les personnes-ressources consultées, on peut considérer que les porcheries sont remplies à pleine capacité durant toute l'année, le producteur y trouvant ainsi une rentabilité économique. Etant donné l'interdiction gouvernementale d'augmenter le nombre de suidés en particulier dans le bassin du Ruisseau-des-Anges depuis 1987, il est raisonnable d'estimer que ces données sont à jour.

b/ Les données concernant les structures d'entreposage du lisier de porc présentent les inconvénients suivants:

- la date à partir de laquelle les cuves ont été effectivement utilisées ne peut être considérée, certaines des cuves étant même en projet de construction pour 1989 selon les dossiers,
- la précision du volume des cuves reste impossible à connaître: elle dépend de la méthode de calcul utilisée et en particulier du système d'unité utilisé (souvent impérial suivi d'une conversion dans le système métrique); de plus, comme il faut tenir compte des précipitations et de l'évaporation, il existe plusieurs

définition du volume d'une cuve: ici, on va considérer que les chiffres obtenus représentent le volume utile c'est-à-dire le volume de déjections animales que la cuve peut contenir en plus de l'eau de pluie et de la "revanche" (qui est en général de 0.1 mètre dans le fond de la cuve pour tenir compte des dépôts et de 0.1 mètre à partir du haut de la cuve pour éviter les débordements), - pour le type de structure (ouvert/fermé, béton/sol), les données étaient bien souvent introuvables dans les dossiers.

c/ Les données permettant de connaître le lieu et la dose de lisier épandu doivent être utilisées avec prudence, vu leurs défauts:

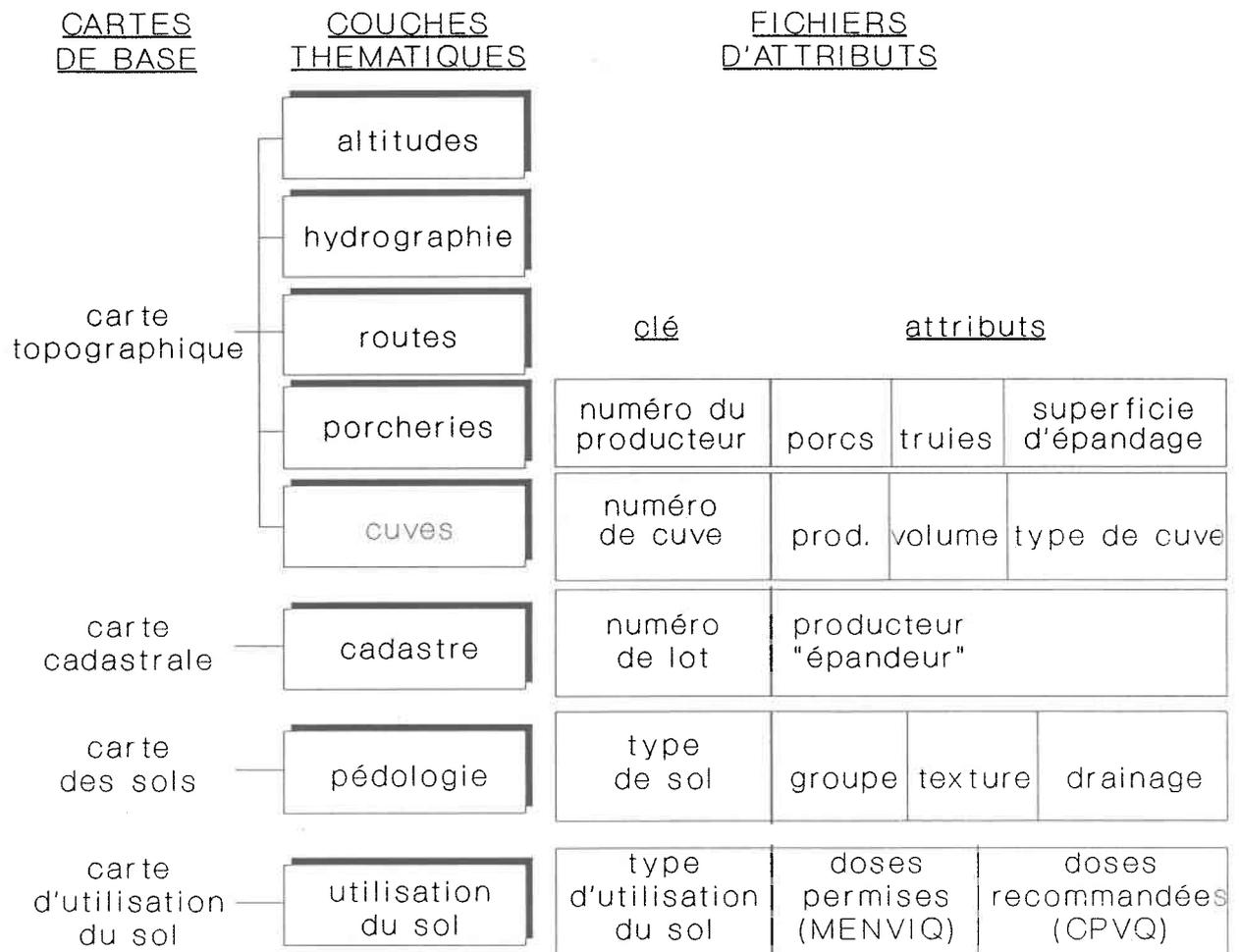
- la date de validité des données n'a pu être établie, certaines ententes entre éleveurs et cultivateurs étant périmées et non renouvelées d'après le contenu des dossiers, d'autres ententes ne prenant effet qu'à partir de 1989, et l'absence de document ne signifiant pas forcément l'absence d'une entente,
- la localisation se fait par le numéro de lot, auquel est parfois associé une superficie d'épandage (généralement inférieure à la superficie totale du lot): on n'est donc pas toujours en mesure de connaître la superficie disponible pour épandage et encore moins la localisation de cette superficie sur le lot lui-même.

Structure des données

1) Cartes

Dans un premier temps, les cartes ont été numérisées en mode vectoriel avec ATLAS*DRAW. Etant donné la dimension restreinte du bassin et la restriction de l'étude à cette portion géographique, on n'a pas jugé nécessaire d'utiliser une projection particulière: le point de coordonnées (0,0) a été posé de façon purement arbitraire (au sud-ouest du bassin). Dans l'optique d'intégrer ces données numérisées à pMAP, chacun des 9 fichiers créés ne contient que les entités propres à un thème particulier. La liste de ces couches thématiques se retrouve sur la Figure 4.1. De plus, comme

Figure 4.1: Données numérisées



ces données devaient être transformées par le programme RASTER, le codage des entités géographiques a dû se plier au fait que le programme RASTER n'accepte que des entiers compris entre 1 et 255. On remarquera que c'est cette partie de numérisation qui, sans présenter de difficulté particulière, a été la plus longue en termes de temps.

La deuxième étape de numérisation des cartes a consisté à passer du mode vectoriel au mode matriciel. Après quelques modifications du format des données issues de ATLAS*DRAW, processus automatisé par un programme écrit en Fortran, les fichiers ont été soumis à RASTER puis intégrés dans une base de données de pMAP. La Figure 4.2 reproduit la description de cette base créée spécifiquement pour les données du Ruisseau-des-Anges.

Enfin, des défauts dans le programme RASTER ont nécessité une mise au point des images de base en format pMAP. Notamment:

- il a fallu "boucher les trous" créés par une "rasterisation" imparfaite le long des frontières communes obliques par rapport aux limites de la carte (c'est-à-dire ni horizontales, ni verticales),
- afin d'assurer une cohérence entre les images, un masque a permis de délimiter une même surface de bassin et d'éliminer de toutes les images les points hors bassin.

2) Données statistiques

Puisque le tableur de ATLAS*GRAPHIC donne la possibilité d'exporter les données selon les formats les plus courants (vers des bases de données ou des logiciels statistiques), c'est dans cet environnement qu'elles ont été saisies.

Associés à une carte, les 6 fichiers créés sont aussi listés dans la Figure 4.1.

Le principal problème rencontré lors de l'établissement d'une structure de données concerne les données sur l'épandage du lisier de porc. Il s'agit de représenter la multiplicité des relations pouvant exister entre les lots et les éleveurs porcins: un éleveur

Figure 4.2: Base de donnée du Ruisseau-des-Anges (pMAP)

Nom de la Base de Données:	AG
Chemin:	\pmap160\anges
Nombre d'Images par Base de Données:	30
Nombre de Lignes par Image:	142
Nombre de Colonnes par Image:	160
Nombre de Cellules par Image:	22 720
Echelle (valeur de défaut):	55 mètres

CMD: INFORM

[Traduction des informations affichées lors de l'exécution de la commande INFORM]

peut épandre sur plusieurs lots, un même lot peut recevoir du lisier de plusieurs éleveurs. La structure adoptée permet de connaître pour un lot donné tous les éleveurs qui doivent y épandre. Une connaissance plus approfondie de la façon dont procède les agriculteurs pour effectuer l'épandage serait nécessaire pour adopter une structure plus proche de la réalité (ordre et dose d'épandage des éleveurs, ...).

4.2 Traitement des données

Mode d'utilisation des logiciels

La convivialité des logiciels traitant les données non spatiales justifie l'absence de commentaires sur la façon de les utiliser. En ce qui concerne la cartomatique, là encore le mode d'utilisation du logiciel ne laissait que peu d'alternatives de traitement des données. Et ce, d'autant plus qu'il était hors sujet ici de s'attarder aux critères de présentation cartographique, le but étant bien plus de mettre en évidence l'information supplémentaire à laquelle les logiciels de cartomatique donnent accès.

Par rapport à pMAP, tous les traitements effectués ont été conservés dans des fichiers qui constituent donc des macro-commandes (voir Annexe C). Ces dernières peuvent éventuellement être appliquées à d'autres bassins pour lesquels on aurait les mêmes cartes de base.

Présentation critique des résultats

Remarques préliminaires sur la qualité des résultats

Il est bien entendu que la qualité des résultats finals découle en grande partie de la qualité des données d'entrée, d'où l'importance d'apporter un soin tout particulier lors de la phase d'entrée des données. La phase de traitement de données est alors relativement

rapide. On notera en particulier qu'on ne peut obtenir une précision plus grande que celle des données de départ: une échelle plus grande ne peut laisser voir plus de détails que ceux qui ont été numérisés.

D'autre part, la qualité graphique n'implique pas la qualité des données de base et des données obtenues par un traitement quelconque, et vice-versa.

La Figure 4.3 résume schématiquement les traitements appliqués sur les données de base pour obtenir les résultats suivants.

1) Résultats ne tenant pas compte de l'aspect spatial des données

Les calculs effectués sur la banque de données statistiques permettent d'identifier rapidement:

- . les producteurs possédant un volume d'entreposage réglementaire
- . les producteurs ayant accès à une superficie d'épandage réglementaire. (voir Tableau 4.1)

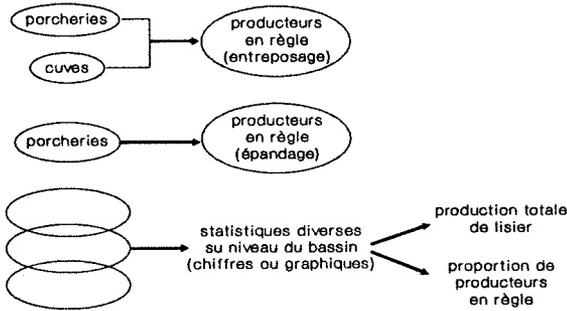
Au niveau de l'ensemble du bassin, certaines statistiques descriptives peuvent s'avérer utiles pour faire ressortir l'existence et l'ampleur d'un problème. Ainsi, le bassin du Ruisseau-des-Anges compte 5 738.35 UA porcines qui vont rejeter dans le lisier un total de 229 534 kg d'azote efficace par an.

D'autre part, on constate que 45 % des producteurs porcins n'ont pas encore atteint la norme réglementaire concernant le volume d'entreposage disponible. Pour ce qui est de la superficie d'épandage possédée ou prêtée, 45 % des éleveurs sont en règle.

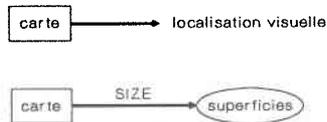
Le graphique statistique présenté à la Figure 4.4 a l'avantage de montrer ces diverses fréquences de façon plus visuelle: il met en évidence par exemple le pourcentage de données manquantes sur les superficies d'épandage disponibles, en particulier pour les éleveurs n'ayant pas une capacité d'entreposage suffisante.

Figure 4.3: Méthodes d'obtention des résultats

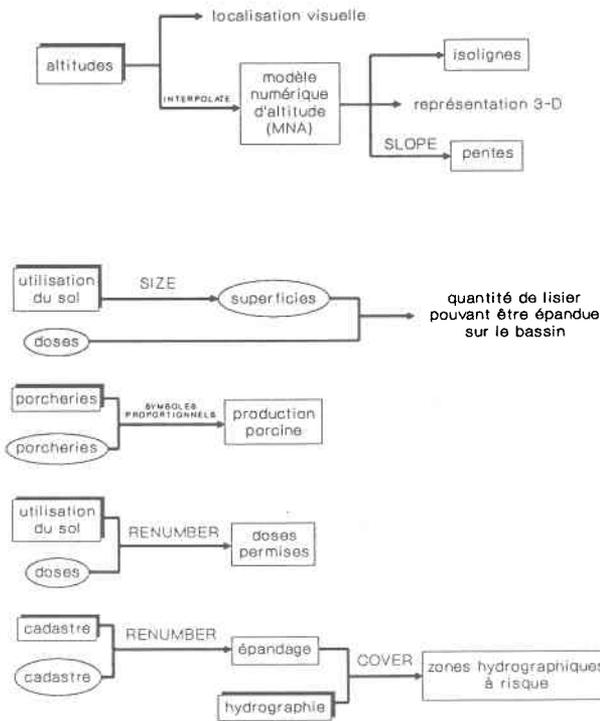
1) Opérations sur les données statistiques



2) Opérations spatiales



3) Opérations combinant spatial et non spatial



3) (suite)

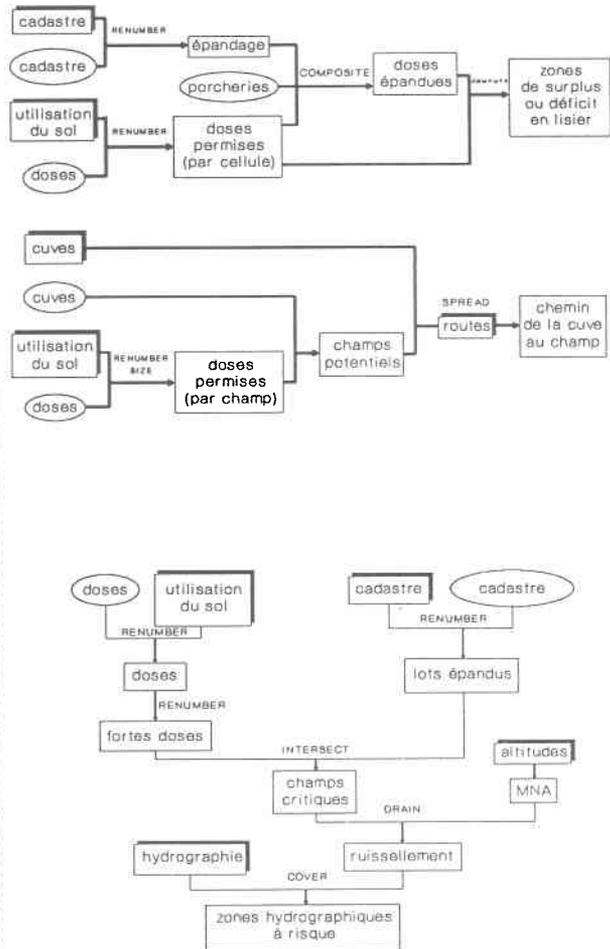


Tableau 4.1: Résultat des requêtes effectuées sur les données statistiques des producteurs porcins

Producteur	Entreposage suffisant	Superficie d'épandage suffisante
1	Oui	Non
2	Non	?
3	Oui	Oui
4	Oui	Oui
5	Oui	Oui
6	Oui	Oui
7	Non	?
8	Oui	?
9	Non	?
10	Non	?
11	Non	Oui
12	Non	Oui
13	Non	Oui
14	Oui	?
15	Non	?
16	Oui	Oui
17	Oui	?
18	Oui	Oui
19	Non	?
20	Oui	?

CALCULS EFFECTUES POUR CHAQUE PRODUCTEUR

Capacité d'entreposage suffisante si:

Cuves > $(V_p \times \text{Porcs} + V_t \times \text{Truies}) \times \text{Jours}$

Définition des variables:

Cuves: volume utile de la cuve (m^3)

Porcs: nombre de porcs || Truies: nombre de truies

Définition des constantes:

V_p : volume de déjections produites par porc par jour

V_t : volume de déjections produites par truie par jour

Jours: nombre de jours consécutifs d'entreposage sans vidange

En se basant sur les normes du MENVIQ, on a posé:

$V_p = 0.00081 \text{ m}^3/\text{truie}/\text{jour}$ || $V_t = 0.0235 \text{ m}^3/\text{truie}/\text{jour}$

Jours = 200 jours

Superficie d'épandage suffisante si: Superficie > $S \times \text{UA}$

Définition des variables:

Superficie = superficie d'épandage disponible

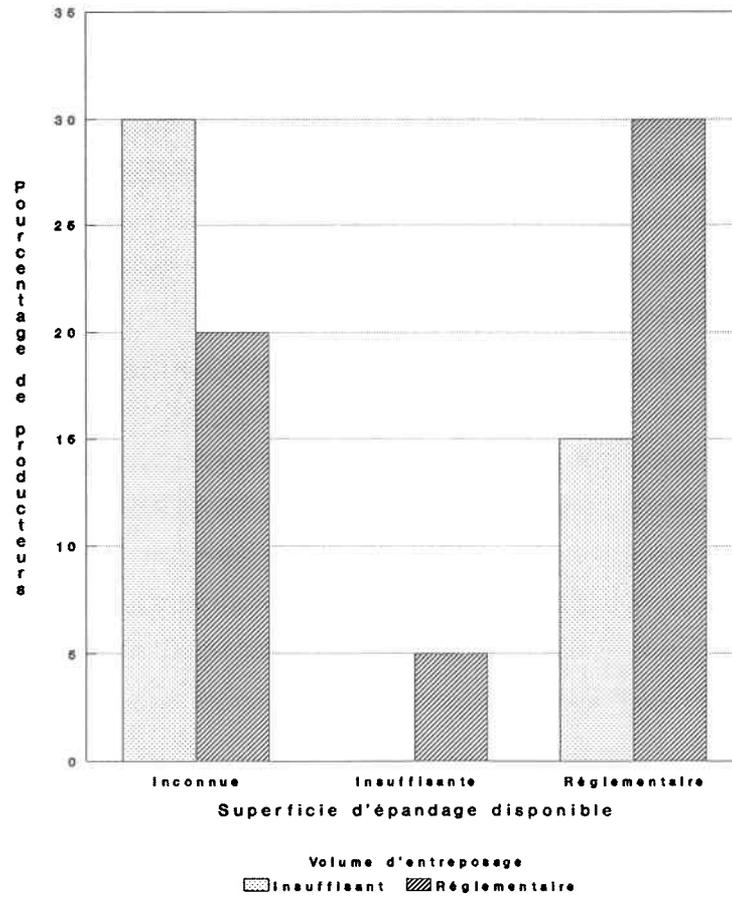
$\text{UA} = 5 \times \text{Porcs} + 4 \times \text{Truies}$

Définitions des constantes:

S: valeur moyenne de la superficie d'épandage nécessaire par UA

La valeur utilisée par le MENVIQ est 0.3 ha/UA.

Figure 4.4: Graphique statistique sur les producteurs porcins du bassin du Ruisseau-des-Anges



Il est important de noter ici qu'aucune information sur la variabilité spatiale ne peut être déduite des données statistiques brutes ou transformées puisqu'on ne tient compte de coordonnées géographiques dans aucun calcul.

2) Résultats concernant uniquement l'aspect spatial des données

L'obtention de cartes reste un outil fondamental pour localiser les données dans l'espace. La carte hydrographique donnée à l'Annexe A (Carte 1) en est une bonne illustration.

Un autre type de résultats particulièrement utiles, d'autant plus lorsqu'on parle d'autosuffisance en matière d'épandage, concerne les calculs de superficie de zones identifiées sur les cartes. Pour le cas étudié ici, une connaissance des superficies occupées par chaque type de culture était essentielle.

3) Résultats obtenus en combinant l'aspect spatial et l'aspect non spatial des données

Les superficies calculées et placées dans le tableur de ATLAS*GRAPHICS deviennent des données non référencées spatialement qui peuvent être traitées par une base de données classique. On peut ainsi obtenir des informations supplémentaires par de nouveaux calculs. Ainsi, en associant les superficies des cultures et les doses maximales permises par le MENVIQ, on constate que le bassin du Ruisseau-des-Anges peut recevoir 298 338 kg d'azote par an (on a vu plus haut que l'élevage porcin à lui seul produit déjà 229 334 kg d'azote). Ce chiffre descend à 151 555 kg par an si on se base sur les doses recommandées par le Conseil des Productions Végétales du Québec [MAPAQ, CPVQ, 1982].

Dans le cas particulier où l'attribut est une variable continue (l'exemple classique étant l'altitude), il faut établir un modèle numérique d'altitude (MNA), c'est-à-dire une façon de coder une variable continue sous forme discrète:

. avec ATLAS*GRAPHICS, le codage de la carte des courbes de niveau et des points cotés se fait sous forme vectorielle: on peut donc obtenir une reproduction de la carte numérisée. L'utilisation de couleurs permet une amélioration dans l'aspect visuel de la carte et donc dans sa lecture. (Carte 2)

. avec SURFER, les données numérisées avec ATLAS*DRAW sont converties sous forme matricielle en utilisant des algorithmes d'interpolation. On peut alors en déduire:

* des cartes de courbes de niveau où l'altitude et la distance entre les courbes peuvent être modifiées selon les besoins

(Carte 3)

* une visualisation du relief en axonométrie (Figure A de l'Annexe A).

. avec pMAP, la forme matricielle doit être complétée, comme dans le cas du logiciel SURFER grâce à la commande INTERPOLATE. Cette image est d'intérêt primordial pour les modèles où le facteur altitude est non négligeable. Elle permet, entre autres, de créer l'image des pentes. Enfin, elle s'avère nécessaire pour les commandes de connexité: bien souvent, elle constitue une surface sur laquelle s'applique la règle de décision concernant la direction suivie.

Quelques mots sur les informations fournies par l'image des pentes (non incluse en annexe pour ne pas surcharger ce mémoire de cartes au contenu visuel limité): pour chaque cellule du bassin, le calcul de la pente s'effectue suivant un algorithme d'interpolation linéaire tenant compte des huit cellules connexes à la cellule considérée; on trouve alors que la pente est inférieure à 1% sur 90% du bassin, et la pente maximale est de 8%.

Les résultats obtenus avec ATLAS*GRAPHICS mettent en évidence les possibilités offertes par la cartomatique.

La carte de production porcine (Carte 4) localise les producteurs par un cercle de rayon proportionnel au nombre d'unités animales porcines qu'ils possèdent. L'attention est donc attirée vers les

zones à forte concentration.

La carte d'utilisation du sol (Carte 5) illustre la possibilité de regrouper certaines catégories et de jouer avec les couleurs pour obtenir un document de lecture facile.

On constate aussi la facilité et la rapidité de mise à jour des telles cartes dont on peut obtenir dans un délai très bref une copie sur papier.

En associant les données non spatiales de doses maximales permises par le MENVIQ avec la carte d'utilisation du sol, on obtient la carte des doses permises (Carte 6). Ce procédé d'associer un attribut différent de celui avec lequel la carte a été numérisée correspond à la commande de reclassification des systèmes d'information géographique (commande RENUMBER de pMAP). Cette opération est la plus courante dans ce type de logiciel.

La carte d'épandage de lisier de porc (Carte 7) a été obtenue en deux temps: tout d'abord, à chaque lot du cadastre a été associé l'attribut booléen spécifiant si le lot doit ou non recevoir du lisier (reclassification); puis, pour montrer la capacité limitée de faire des opérations de recouvrement, le réseau hydrographique a été ajouté à la carte ainsi obtenue. Ce type de recouvrement n'implique en fait aucun calcul (contrairement aux procédures de recouvrement de pMAP) et consiste simplement en l'union de deux cartes. L'intérêt de la carte finale se situe dans la localisation des zones du réseau hydrographique situées à proximité de zones d'épandage. Cette extraction d'information nouvelle est uniquement visuelle et ATLAS*GRAPHICS ne permet pas de tenir compte à la fois du lot sur lequel est épandu le lisier, des doses épandues en fonction des champs de cultures différentes à l'intérieur d'un même lot, de la pente du terrain et des précipitations susceptibles de ruisseler sur les lots critiques.

Etant donné les limites de pMAP, détaillées plus loin, les modèles utilisés pour l'obtention des images désirées ont une structure relativement simple. Bien que cela réduise la qualité des images

résultantes, ces modèles permettent toutefois de mettre en lumière les capacités potentielles des systèmes d'information géographique. Comme les commandes de reclassification se retrouvent dans la plupart des macro-commandes créées pour ce travail et qu'ATLAS*GRAPHICS a permis d'en illustrer le produit obtenu, il n'a pas été jugé nécessaire de présenter une image qui ne serait le résultat que de ce type de commande.

Dans la classe des commandes de recouvrement, COMPOSITE s'est révélée particulièrement appropriée pour déterminer les doses épandues en tenant compte à la fois de l'image des lots et de l'image des cultures: l'épandage n'est donc plus considéré comme uniforme sur le lot (ainsi qu'on l'a fait avec ATLAS*GRAPHICS), mais est réparti proportionnellement aux recommandations de dose des divers types de cultures qui peuvent figurer sur un même lot (on retrouve ainsi les limites des champs). En faisant la différence entre cette image et l'image des doses maximales permises, on obtient alors les zones où il y a surplus d'épandage par opposition aux zones qui n'ont pas reçu la dose maximale (Carte 8). Il est à noter que le manque de données au niveau des ententes d'épandage explique l'étendue de la zone déficitaire: en réalité, cette zone est sans doute moins vaste.

L'image déterminant les champs d'une superficie suffisante pour un producteur donné ainsi que les chemins y menant à partir de sa cuve (Carte 9) fournit un aperçu de l'utilité de la commande SPREAD. Une autre utilité de ce type de commande (non illustrée ici) est la possibilité de délimiter un bassin versant à partir du réseau hydrographique (SPREAD Hydro OVER MNA ACROSS FOR Bassin). En fait, l'application de cette commande au réseau hydrographique du bassin du Ruisseau-des-Anges n'a pas permis de retrouver les limites telles qu'établies par le MENVIQ: l'existence de dépressions pourrait expliquer les différences.

L'image des zones hydrographiques à risque (Carte 10) créée en modélisant de manière très simplifiée le ruissellement à partir des champs de maïs (qui forment 30 % de la surface cultivée et qui

peuvent recevoir la dose la plus forte comparativement aux autres types de culture). On montre ici la puissance d'une commande de type DRAIN. L'avantage de DRAIN sur STREAM est la valeur associée à une cellule réceptrice: cette valeur représente le nombre de cellules traversées pour atteindre la cellule réceptrice.

Limites dues aux logiciels utilisés

Critiques de ATLAS*GRAPHICS

Contrairement à la plupart des logiciels de cartographie thématique assistée par ordinateur, ATLAS*GRAPHICS ne permet pas l'utilisation de symboles proportionnels (cette absence a été contournée en utilisant des cercles).

Le traitement des points et des lignes est très limité: on ne peut leur associer un attribut qui sera traité au même titre que les attributs des régions. Ce logiciel est donc inapproprié pour ce qui concerne les réseaux.

Les procédures de calculs géométriques sont peu nombreuses. Les projections disponibles se limitent à trois, et seules certaines mesures de superficie et de distance sont disponibles dans ATLAS*DRAW.

Le lien entre le module de numérisation ATLAS*DRAW et le module de cartographie ATLAS*GRAPHICS entraîne certaines incohérences: ainsi, dans ATLAS*GRAPHICS, l'échelle n'est plus spécifiée; de plus, une modification effectuée grâce à ATLAS*DRAW ne se répercute pas sur le fichier de données statistiques du tableur ATLAS*GRAPHICS.

Ce type de problème d'intégration ne devrait pas se retrouver dans les SIG.

Critiques de pMAP

On ne s'attardera pas sur les erreurs de détail que les concepteurs peuvent facilement corriger: valeurs de défaut impossibles à modifier, problème de qualité graphique des sorties sur papier, ...

Bien que gênants, ces problèmes n'empêchent toutefois pas d'observer les capacités des opérations de pMAP.

La conversion entre les formats de données matriciel et vectoriel n'a pas été incluse. Ne figure pas non plus la possibilité d'effectuer des transformations géométriques sur l'aspect spatial des données (projections, zoom).

L'échelle ne figure qu'à titre indicatif: elle n'est prise en compte dans aucun algorithme.

pMAP ne dispose pas d'un système correspondant au tableur de ATLAS*GRAPHICS: il faut alors faire appel à la commande RENUMBER, ce qui alourdit considérablement la manipulation des attributs.

Les coordonnées des points ayant un attribut particulier doivent être lues directement sur l'image. Inversement, la lecture de l'attribut d'un point donné ne peut se faire que par la lecture sur l'image elle-même.

Notons aussi que les coordonnées initiales sont perdues lors du processus de conversion du format vectoriel au format matriciel. Les principales limitations découlent de l'utilisation d'entiers. On peut éventuellement convertir les réels en entiers soit en arrondissant ce qui s'accompagne d'une perte de précision, soit en multipliant par une puissance de 10 mais alors on risque dans certains calculs de dépasser la limite permise. Ainsi, pMAP ne permet d'obtenir que des ordres de grandeur: il faut faire appel à des programmes externes pour des calculs plus précis.

Finalement, pMAP demeure un système manquant de souplesse pour la modélisation du fait de la confidentialité des algorithmes utilisés et de l'impossibilité de les adapter suivant les besoins; et d'un autre côté, c'est un système trop souple pour les utilisateurs non dédiés aux SIG puisqu'il procède par langage de commande.

Limites dues à la technologie elle-même

Le problème fondamental auquel est confrontée la technologie des SIG se situe au niveau des standards, tant au niveau de la

structure des données qu'au niveau des algorithmes des commandes courantes. Il en résulte un problème d'interface avec les logiciels externes; cela entraîne aussi des lacunes pour analyser correctement les données obtenues. Avec l'évolution des SIG qui est en cours et avec l'appui par exemple du Comité des normes sur les SIG (Canada), les insuffisances majeures devraient disparaître. Les SIG ne font pas partie des systèmes experts dont l'intérêt n'est plus à démontrer en matière de gestion. Une telle association commence pourtant à se développer: Arnold et al. (1989) présente une approche conceptuelle au développement d'un SIG "intelligent" qui introduit des capacités de traitement automatique dans le domaine des problèmes d'eau de surface.

4.3 Pistes de recherche

Durant la phase de collecte des données, on a eu accès ou connaissance de l'existence d'informations qui mériteraient d'être traitées: données météorologiques, données de qualité de l'eau, plan de fertilisation agronomique. Et parmi les données recueillies, certaines auraient pu faire l'objet d'une analyse plus poussée (type de cuve, type de sol).

Par exemple, on pourrait intégrer à pMAP un modèle de qualité de l'eau tenant compte des précipitations sur le bassin.

Des simulations introduisant des changements de pratique dans la gestion du lisier de porc (plan de fertilisation) permettraient d'identifier des solutions réalistes.

Quant à l'accès à des données mises à jour, l'usage de la télédétection n'est sans doute pas à négliger, en particulier pour l'utilisation du sol (détecter les changements de cultures).

D'autre part, la méthodologie de travail a consisté ici à explorer les possibilités des SIG en se servant d'un ensemble de données réalistes si non réelles. Bien évidemment, dans la mise sur pied éventuelle d'un modèle basé sur un SIG, il serait important de

procéder à une collecte de données planifiée en vue de l'utilisation qu'on veut en faire, et non globale.

Finalement, les analyses des SIG en terme de coût, de temps de traitement, et d'espace-mémoire requis peuvent faire l'objet d'une étude comparative fort instructive.

CONCLUSION

Devant l'importance des données à référence géographique dans la maîtrise de notre environnement, les systèmes d'information géographique (SIG) sont inévitablement destinés à un usage accru parallèlement à un développement de leurs performances.

Ce travail s'est voulu une illustration de l'utilité d'un SIG pour le problème de pollution diffuse de source agricole de la ressource eau, notamment en matière d'inventaire, de gestion, de planification et de modélisation. Il a, par la même occasion, mis en évidence les limites actuelles de cette technologie relativement récente: problèmes d'accessibilité aux données hors des SIG, manque de standards et description trop superficielle des traitements effectués.

En ce qui concerne l'application au problème de l'épandage sur le sous-bassin versant du Ruisseau-des-Anges (dans le bassin de l'Assomption), signalons que même avec les contraintes actuelles du SIG utilisé, plusieurs voies prometteuses n'ont pas été explorées: par exemple, il serait intéressant d'utiliser les données disponibles dans des modèles hydrologiques plus approfondis.

Enfin, étant donné le caractère unique des SIG, il est clair que de nouvelles approches dans le domaine de la modélisation auront tout intérêt à être développées.

BIBLIOGRAPHIE

AQUATECH, Société de gestion de l'eau Inc., 1983, Traitement du lisier de porc: Développement d'un procédé, Pour la Direction de la recherche et la Direction de l'assainissement agricole, MENVIQ, Rapport interne No. RD-85-04, Enviroduq 850300

ARNOLD U., DATTA B. & HAENSCHIED P., 1989, Intelligent Geographic Information Systems (IGIS) and surface water modeling, Proc. of the Baltimore Symposium on New Directions for Surface Water Modeling, May 1989

ARNOLD U. & ORLOB G.T., 1989, Decision Support for Estuarine Water Quality Management, Journal of Water Resources Planning and Management, Vol.115 No.6, Nov. 1989

ARONOFF S., 1989, Geographic Information Systems: A Management Perspective, WDL Publications, Ottawa

BERRY J.K., 1987, Fundamental operations in computer-assisted map analysis, International Journal of Geographical Information Systems, Vol.1 No.2, p.119-136

BERRY J.K. & REED K.L., 1987, Computer-assisted map analysis: a set of primitive operators for a flexible approach, paper presented at the 1987 ASPRS-ACSM Annual Convention in Baltimore, Maryland

BOUCHARD S., EMOND C. GANGBAZO G., VALLEE P. & VALLIERES M., 1987, La problématique de la gestion environnementale du lisier de porc, 70e Congrès Canadien de Chimie, juin 1987, 35 p., Univ. Laval, Québec

BOUCHARD R., 1986, Cartographie des paramètres environnementaux de l'élevage du porc à partir d'un système d'information à référence spatiale (S.I.R.S.), Thèse de maîtrise, Université Laval, Québec

BOUDREAU J., 1979, Impact des pratiques d'élevage intensif sur la qualité des cours d'eau, Rapport non publié, MENVIQ, 120 p., Sainte-Foy

Bureau de la Statistique du Québec, 1989, Porcs au 1er janvier 1989, Editeur officiel du Québec, Québec

BURROUGH P.A., 1986, Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment, Oxford University Press, New York

CLUIS D. & JAOUICH A., 1981, Théorie et application au Québec d'un procédé thermophile aérobique de traitement de lisier de porcs: le procédé FUCHS, Colloque sur les eaux usées, Environnement Canada, 19 p., Montréal, Québec

CLUIS D. & COUTURE P., 1987, Problématique environnementale des rejets d'élevages porcins intensifs, Sciences et Techniques de l'Eau, Vol.20 No.4, nov. 1987, p.311-317

CULLY HESSION W. & SHANHOLTZ V.O., 1988, A geographic information system for targeting nonpoint-source agricultural pollution, Journal of Soil and Water Conservation, May-June 1988, p.264-266

GANGBAZO G. & BLAIS Y., 1987, Qualité du Ruisseau-des-Anges, Phase I - Première partie, automne 1986, MENVIQ, Québec

GANGBAZO G. & BUTEAU J., 1985, Analyse de la gestion des fumiers dans le bassin versant de la rivière l'Assomption: Etat de la situation et éléments de solution, MENVIQ, Envirodoq 850513, Québec

GILLILAND M.W. & BAXTER-POTTER W., 1987, A geographic information system to predict non-point source pollution potential, Water resources bulletin, Vol.3 No.2, April 1987, p.281-291

JOHNSON L.E., 1989, MAPHYD - A Digital Map-Based Hydrologic Modeling System, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.55 No.6, June 1989, p.911-917

KREIS R.D., SCALF M.R. & MCNABB J.F., 1972, Characteristics of rainfall runoff from a beef cattle feedlot, Final Report Project, 13040-FHP, Env. Prot. Tech. Ser., EPA-R2., 72061, US EPA, Washington D.C.

MAGUIRE D.J., 1989, Computers in geography, chap.10, Longman Scientific & Technical, UK

MANCINI M. & ROSSO R., 1989, Using GIS to assess spatial variability of SCS Curve Number at the basin scale, Proc. of the Baltimore Symposium on New Directions for Surface Water Modeling, May 1989, p.435-444

MAPAQ, CPVQ, 1982, Fumiers, Rapport du colloque sur les fumiers, Agdex 538, Mise à jour de l'édition d'octobre 1980, Québec

MAPAQ, CPAQ (Conseil des Productions Animales du Québec), 1987, Porc, Québec

MAPAQ, avril 1989, Fumiers de ferme, Comité de références économiques en agriculture du Québec, Agdex 538-400.27

MENVIQ, 1985, Règlement sur la prévention de la pollution des eaux par les établissements de production animale, Loi sur la qualité de l'environnement, L.R.Q. c.Q-2 r.18, 12 fév. 1985, Québec

PARE D., 1980, Etude hydrogéologique du bassin de la rivière l'Assomption, Programme de connaissances intégrées, Min. Richesses naturelles, EC-3, Québec

RHEW R. & HARO R.J., oct. 1987, A spatial and systematic approach to agricultural nonpoint source pollution analysis, paper submitted to US EPA

Santé et bien-être social Canada, 1987, Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada, Comité consultatif fédéral-provincial de l'hygiène du milieu et du travail (Canada), Sous-Comité fédéral-provincial sur l'eau potable, Ottawa

SOMERS R., 1987, Geographic Information Systems in Local Government: A Commentary, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.53 No.10, oct. 1987, p.1379-1382

TOMLIN C.D., 1983, Digital cartographic modelling techniques in environmental planning, Ph.D. dissertation, Yale University, Connecticut

TOMLINSON R.F., 1984, GIS - a new frontier, Proceedings of the International Symposium on Spatial Data Handling, Zurich, Switzerland, 1-14

TOWNSHED A.R., REICHERT K.A. et NODWELL S.H., 1969, Water pollution control facilities for farm animal wastes in the province of Ontario, Cornell Agr. Waste Management Conf., Syracuse, New-York

TUFTE E.R., 1983, The Visual Display of Quantitative Information, Graphics Press, Connecticut

VALLIERES M., 1987, Gestion environnementale de l'épandage du lisier de porc, MENVIQ, Québec

VENTURA S.J., NIEMANN B.J. & MOYER D.D., 1988, A multipurpose land information system for rural resource planning, Journal of Soil and Water Conservation, Vol.43, May-June 1988, p.226-229

VIEUX B.E., HERNDON L.P. & LISTON R.L., 1989, GIS and Water Quality Modeling for Agricultural Resource Management Systems, ASAE/CSAE Summer Meeting 1989, Paper No. 89-2184

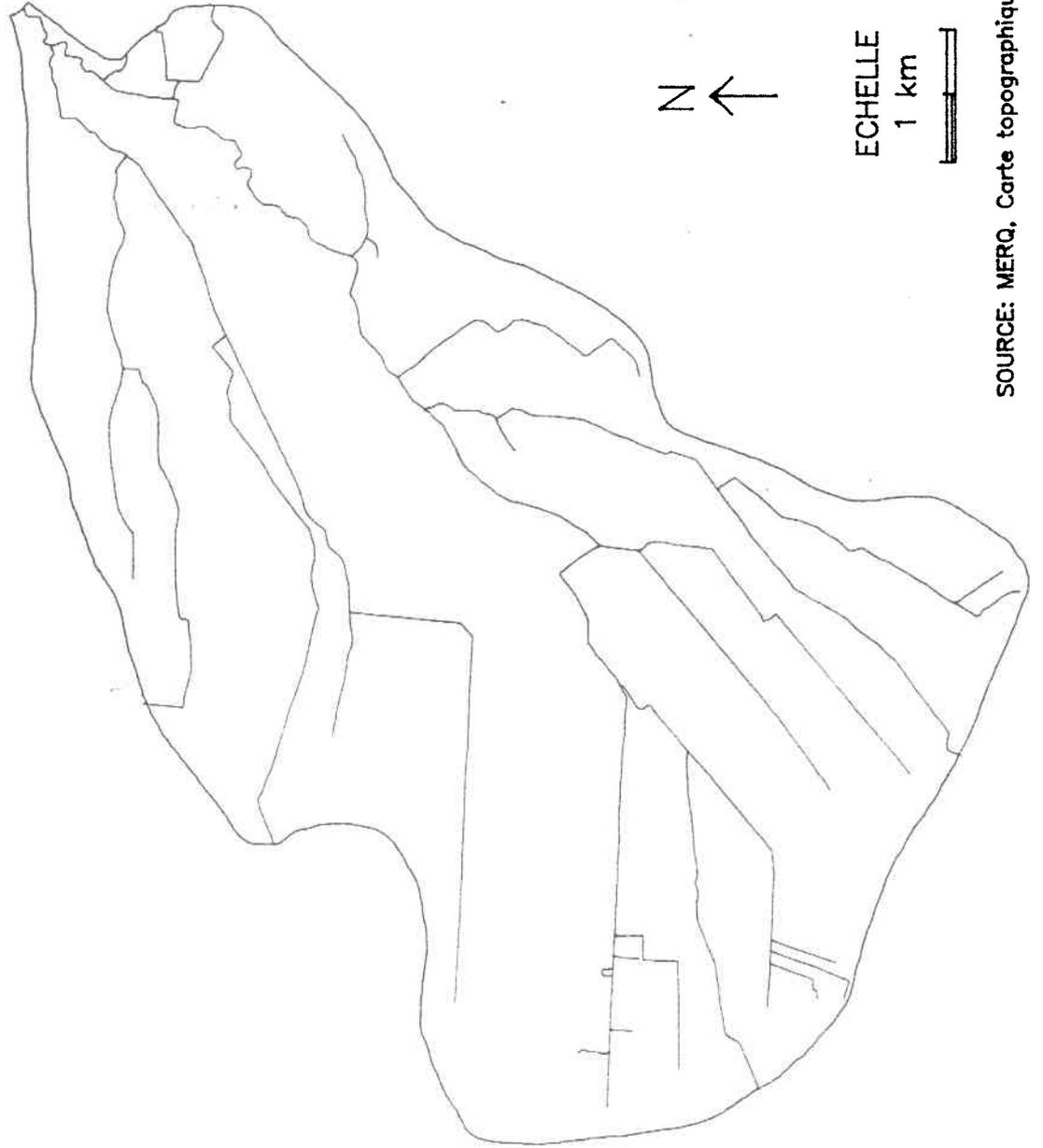
WALLIS J.R., 1988, The GIS/hydrology interface: the present and the future, Environmental Software, Vol.3 No.4, p.171-173

ANNEXE A: CARTES

Carte 1

Bassin versant du Ruisseau-des-Anges

Hydrographie

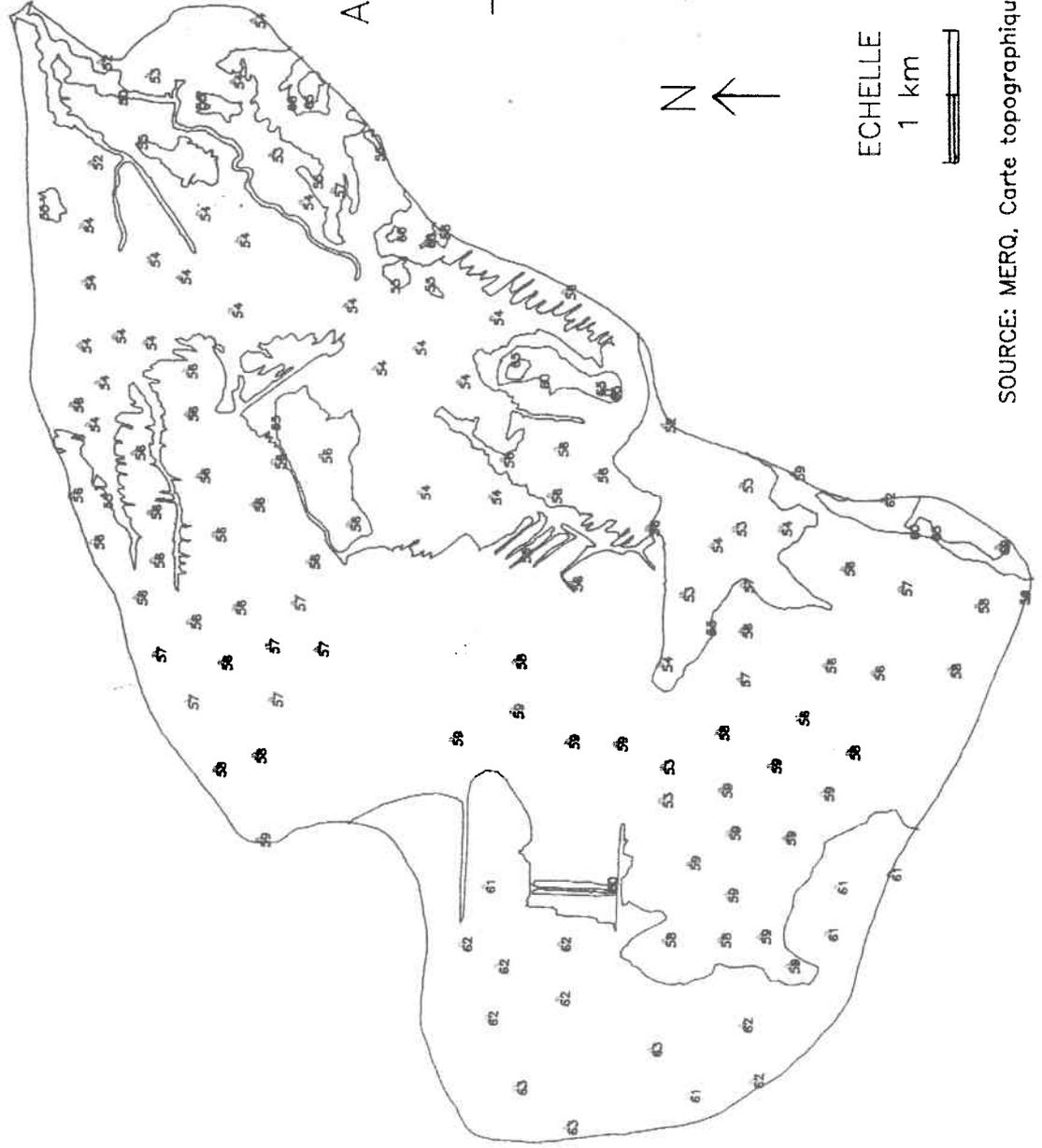


SOURCE: MERQ, Carte topographique, 1984, 1:20 000

Carte 2

Bassin versant du Ruisseau-des-Anges

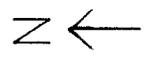
Courbes de niveau et points cotés



Altitudes (mètres)

• point coté

— courbe de niveau



ECHELLE

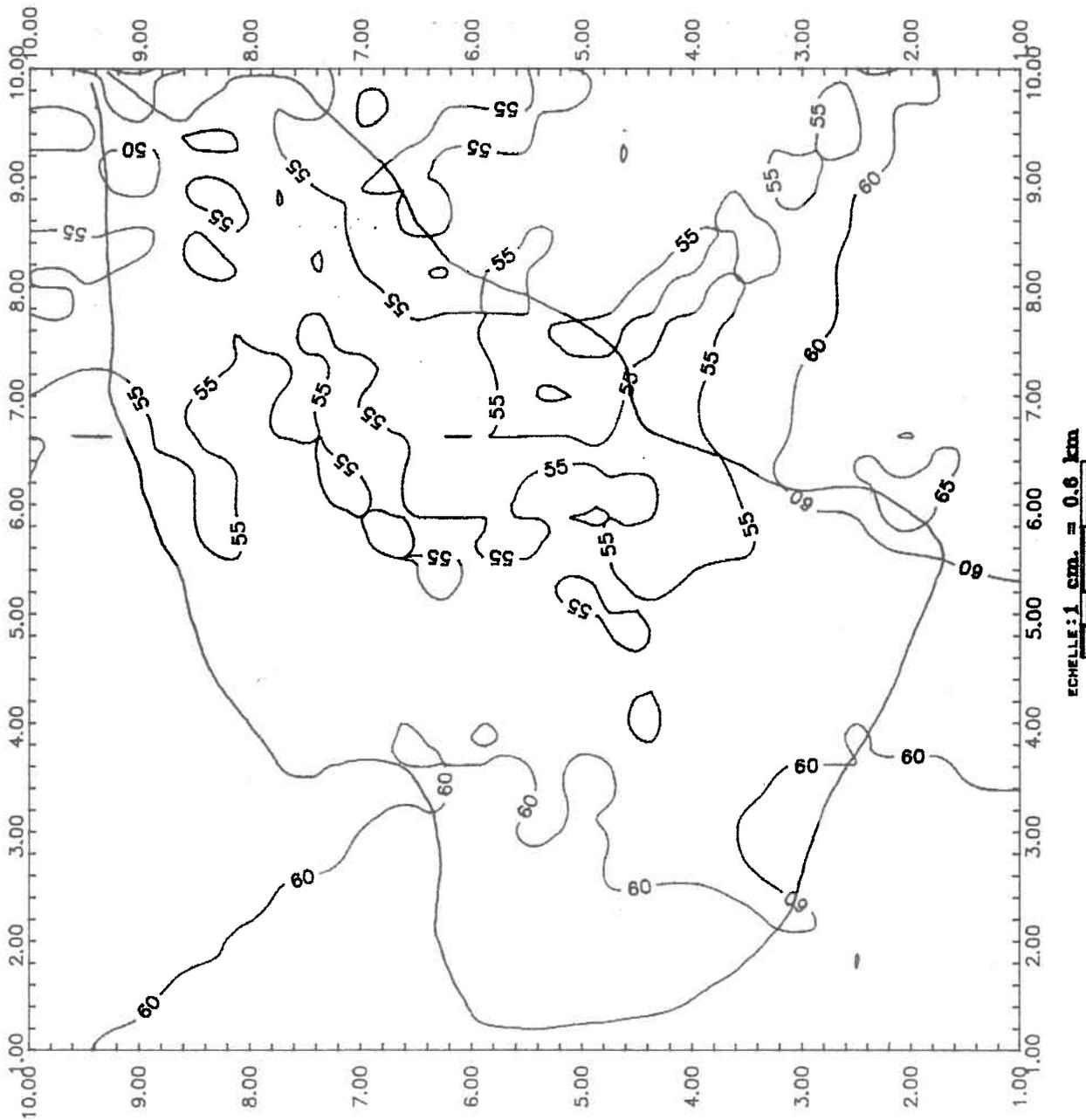
1 km



SOURCE: MERQ, Carte topographique, 1984, 1:20 000

Carte 3

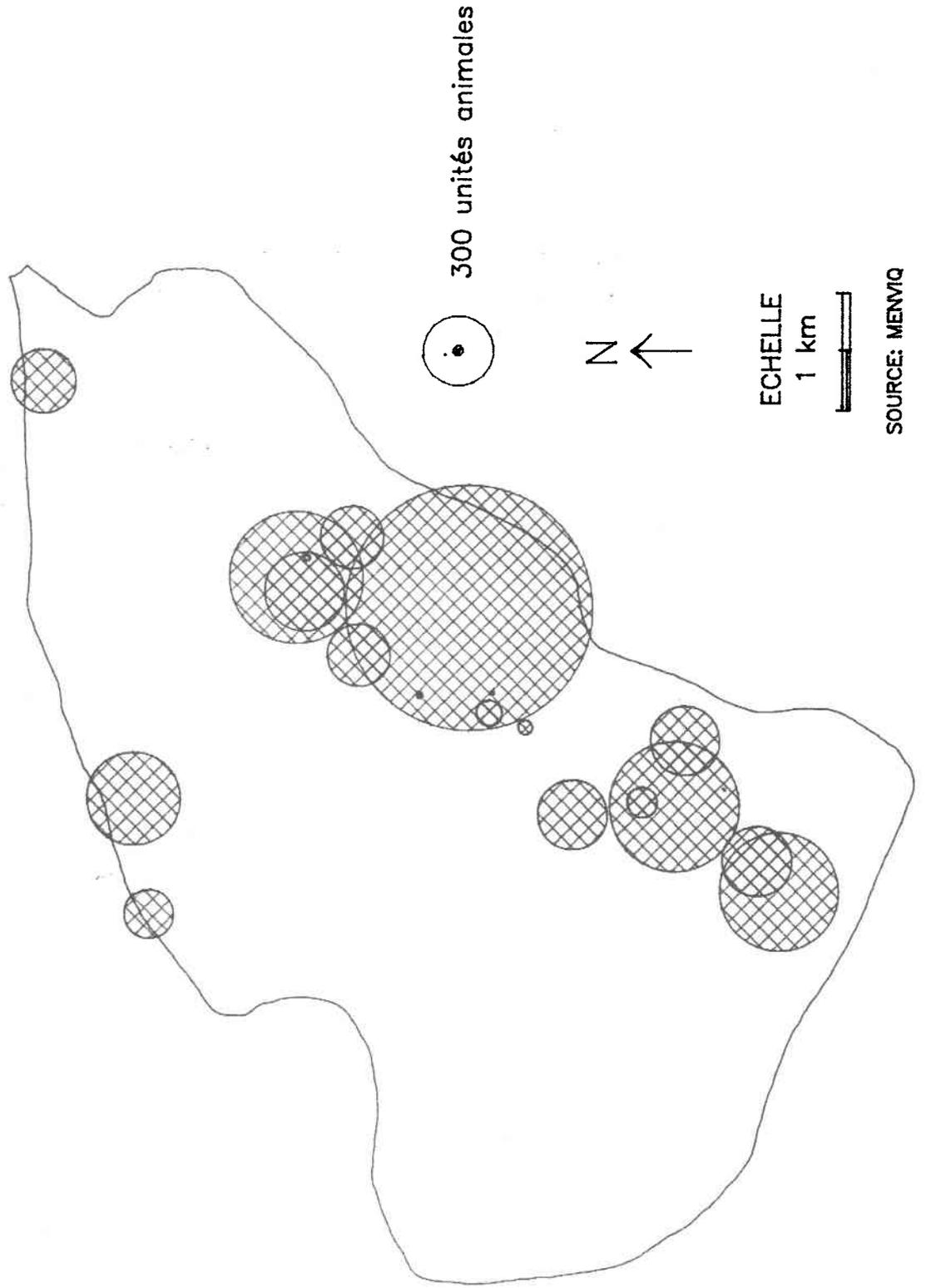
Ruisseau-des-Anges: courbes de niveau



Carte 4

Bassin versant du Ruisseau-des-Anges

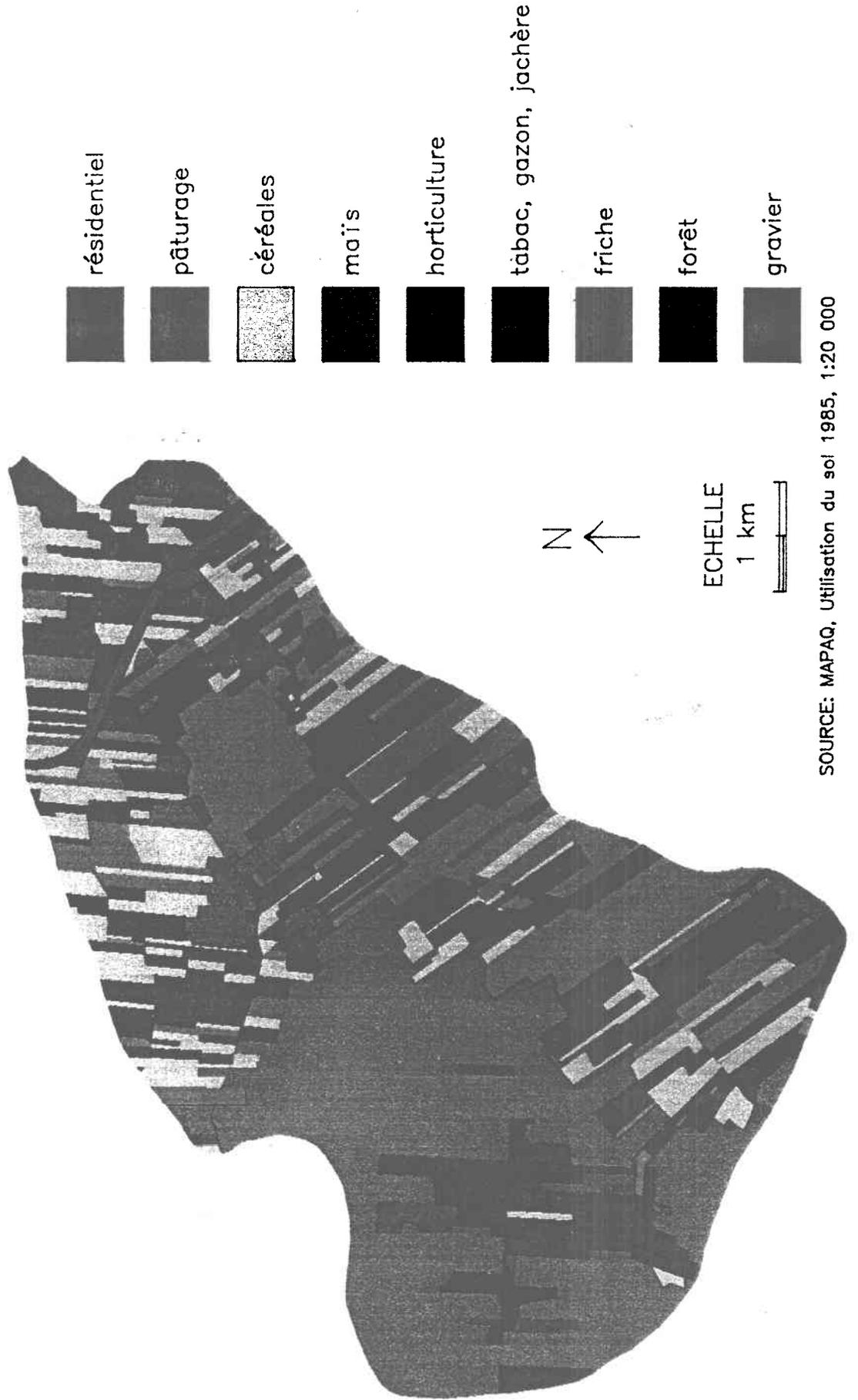
Production porcine 1989



Carte 5

Bassin versant du Ruisseau-des-Anges

Utilisation du sol 1985

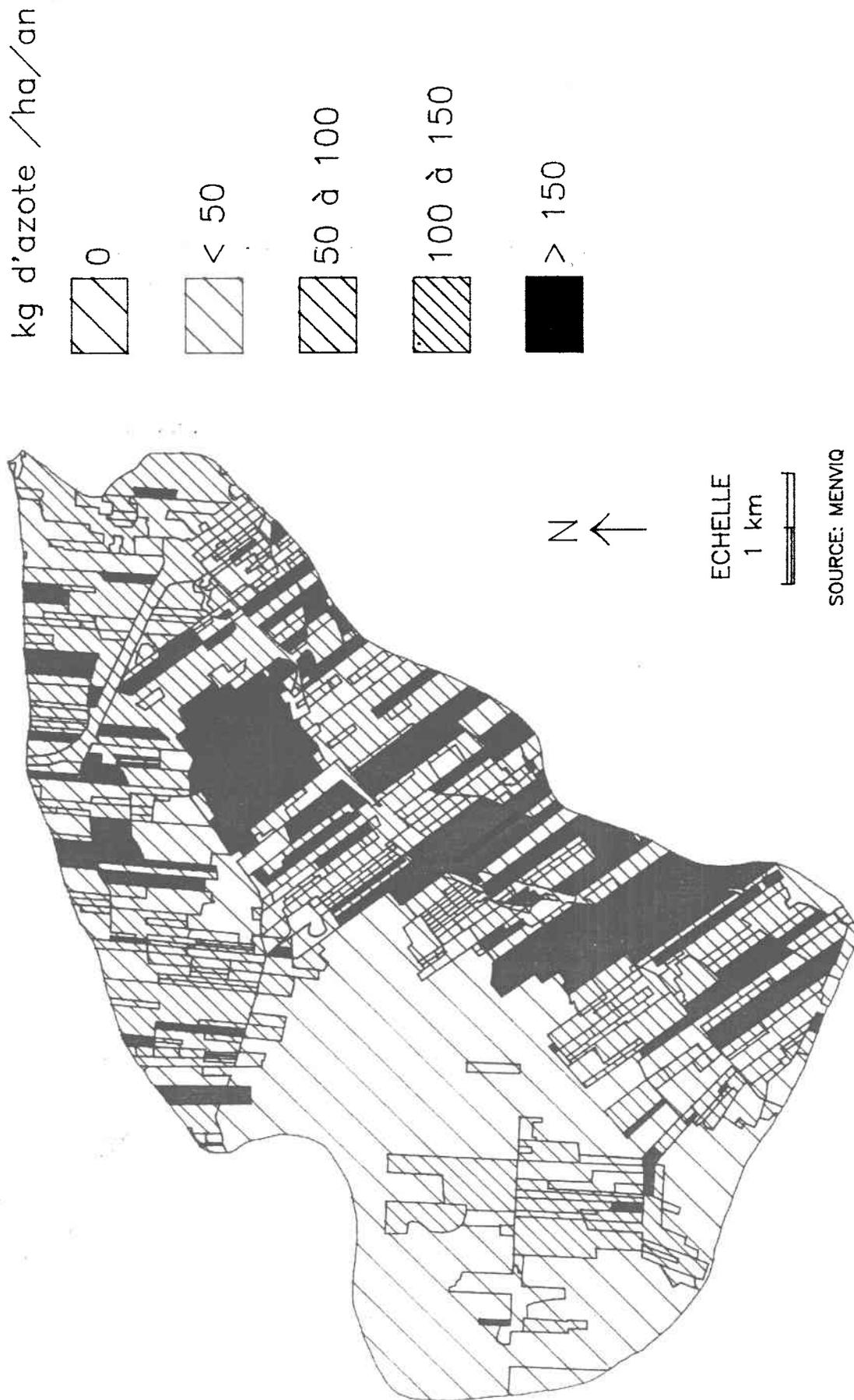


SOURCE: MAPAQ, Utilisation du sol 1985, 1:20 000

Carte 6

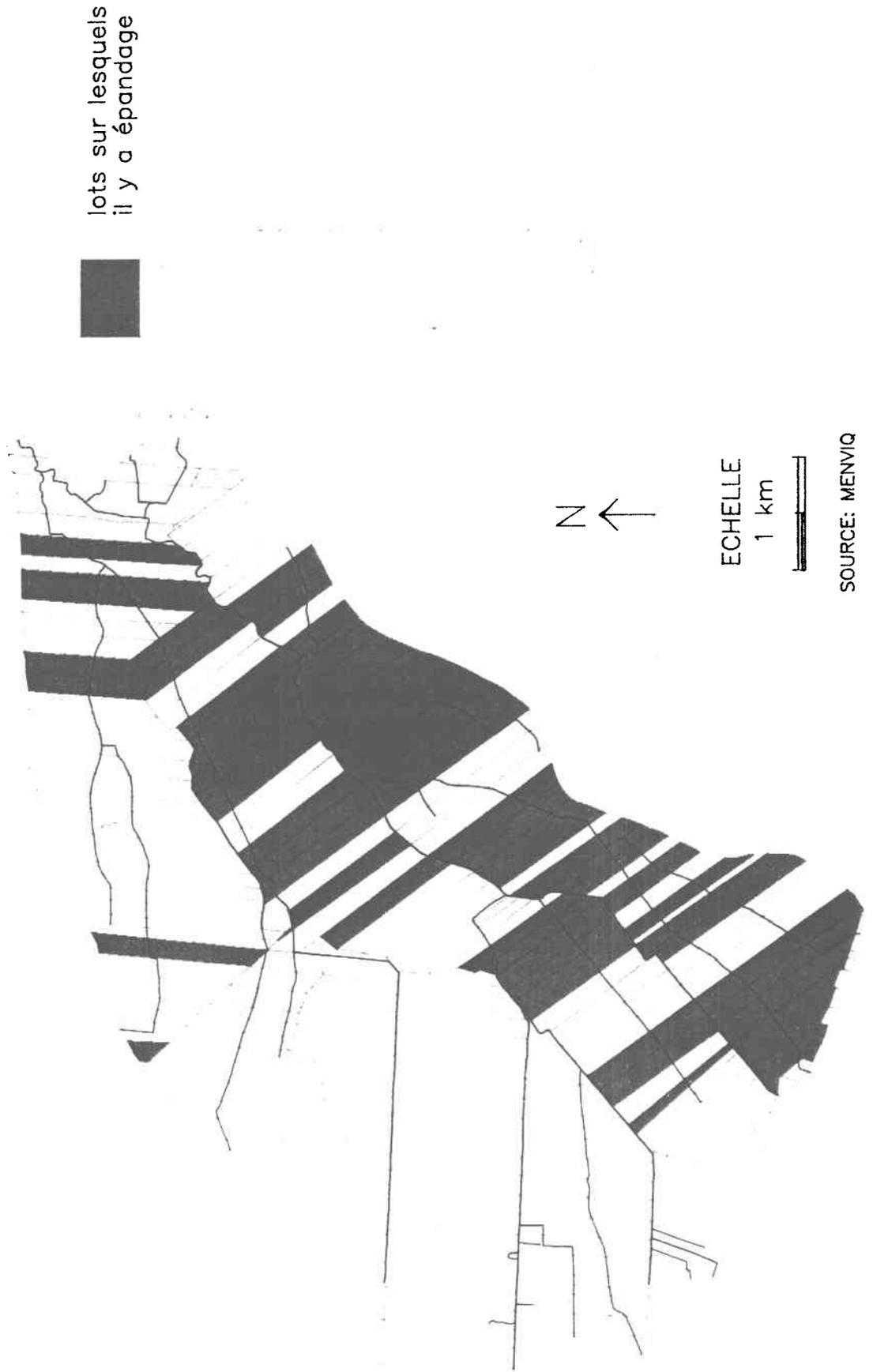
Bassin versant du Ruisseau-des-Anges

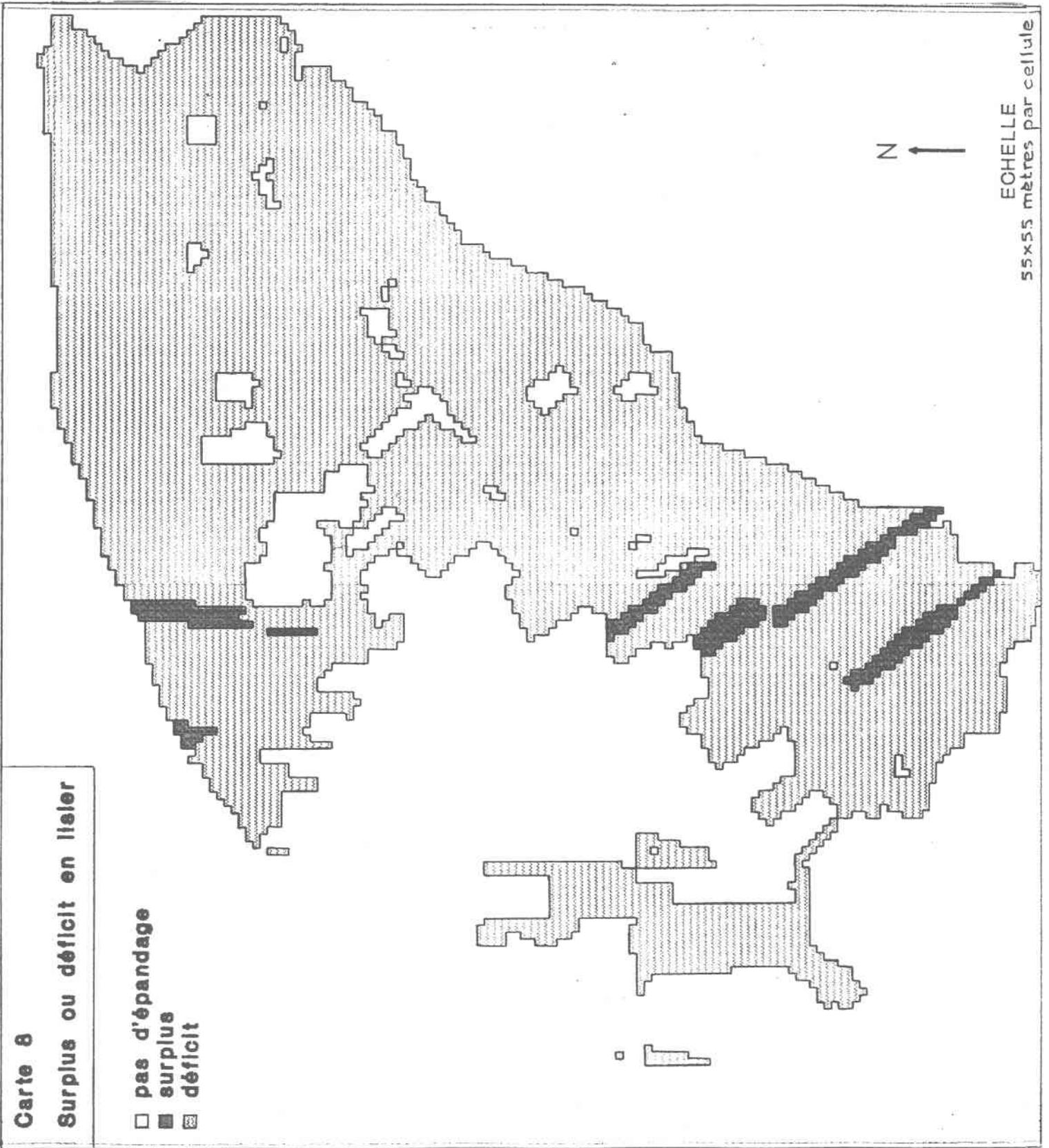
Doses d'épandage permises



Carte 7 Bassin versant du Ruisseau-des-Anges

Epandage de lisier de porc 1989

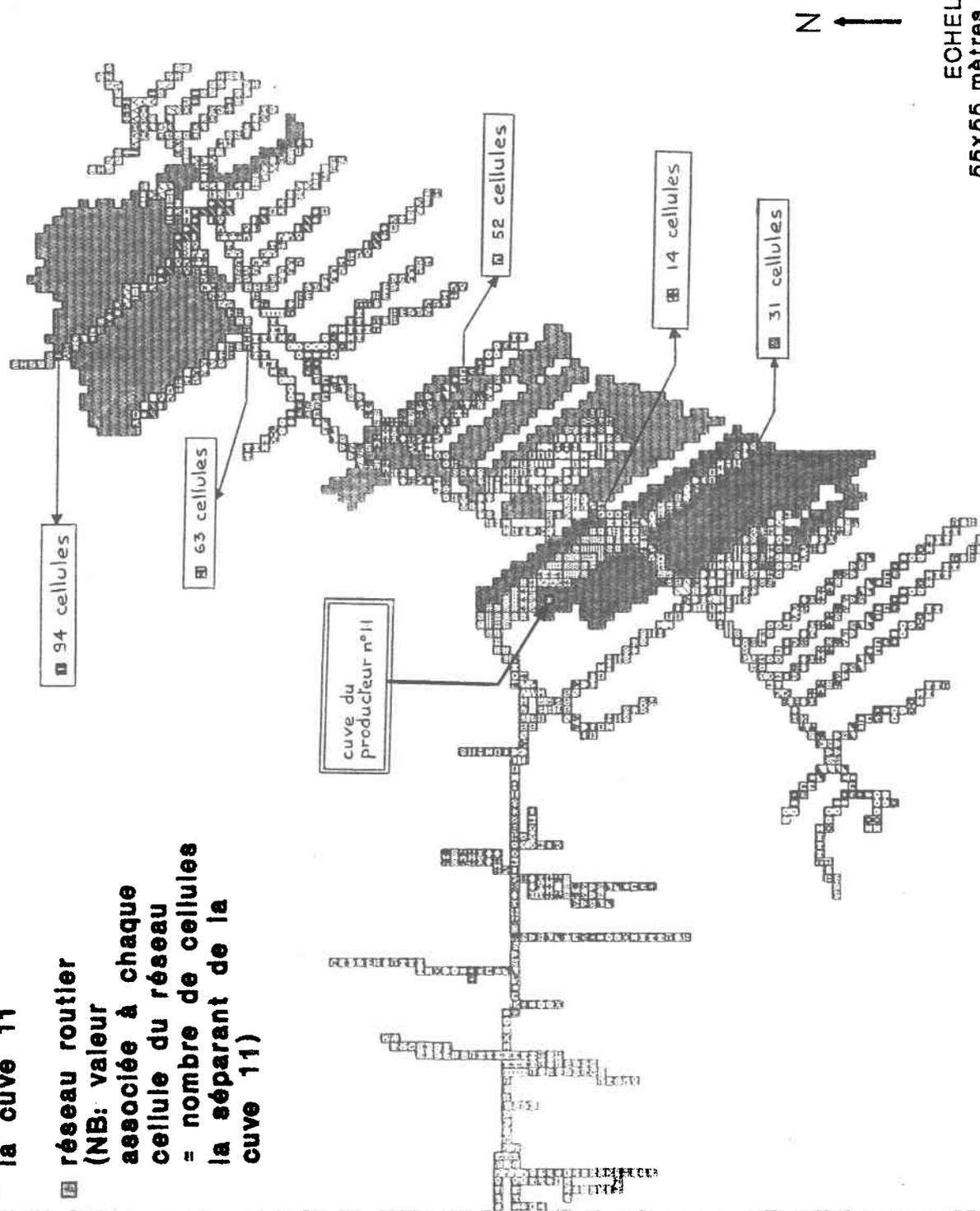




Carte 9

Réseau routier de la cuve 11 aux champs

- champs ayant la capacité de recevoir
- le lielier de la cuve 11
- réseau routier (NB: valeur associée à chaque cellule du réseau = nombre de cellules la séparant de la cuve 11)



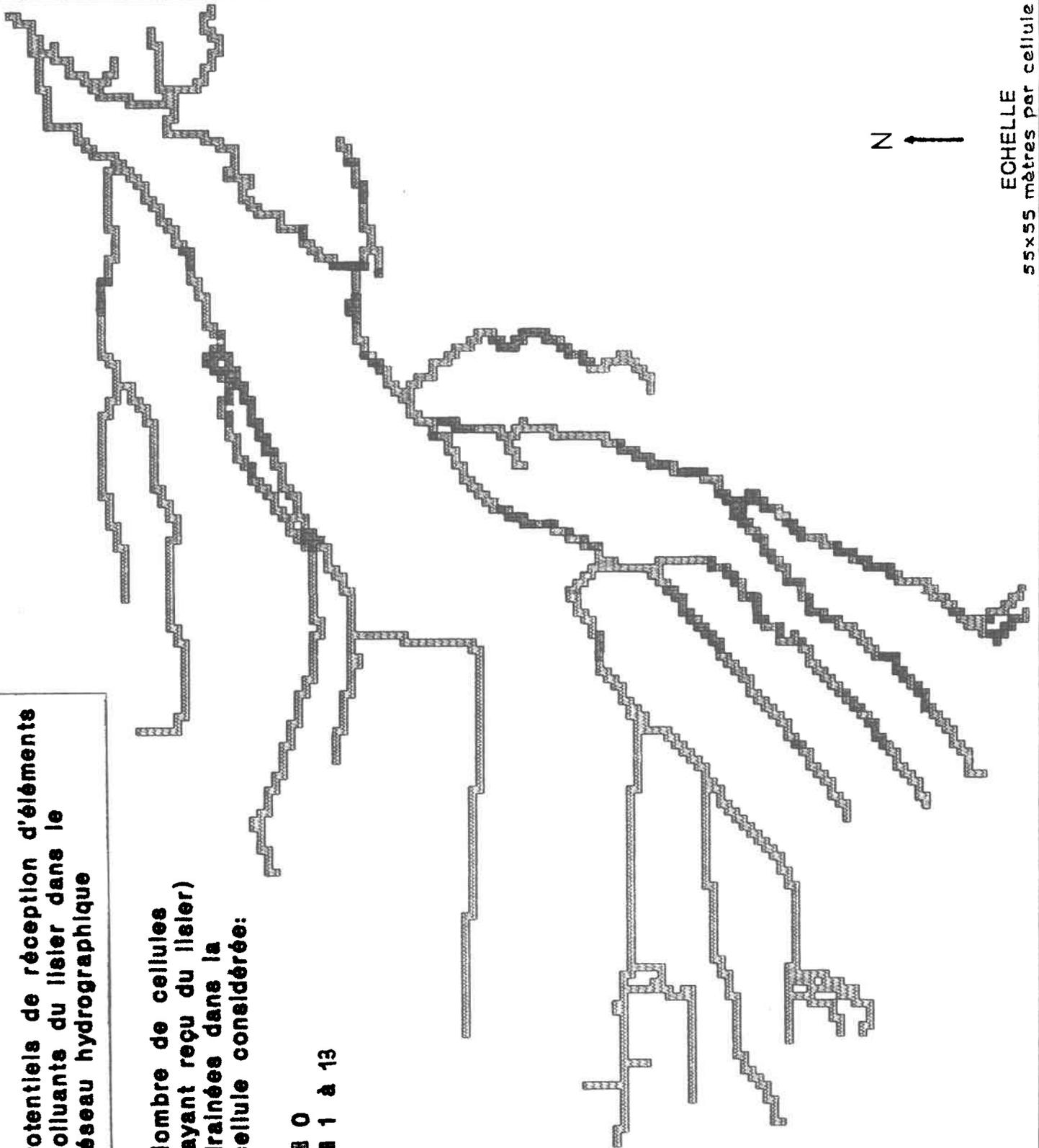
ECHELLE
65x65 mètres par cellule

Carte 10

**Potentiele de réception d'éléments
polluants du lisier dans le
réseau hydrographique**

**Nombre de cellules
(ayant reçu du lisier)
drainées dans la
cellule considérée:**

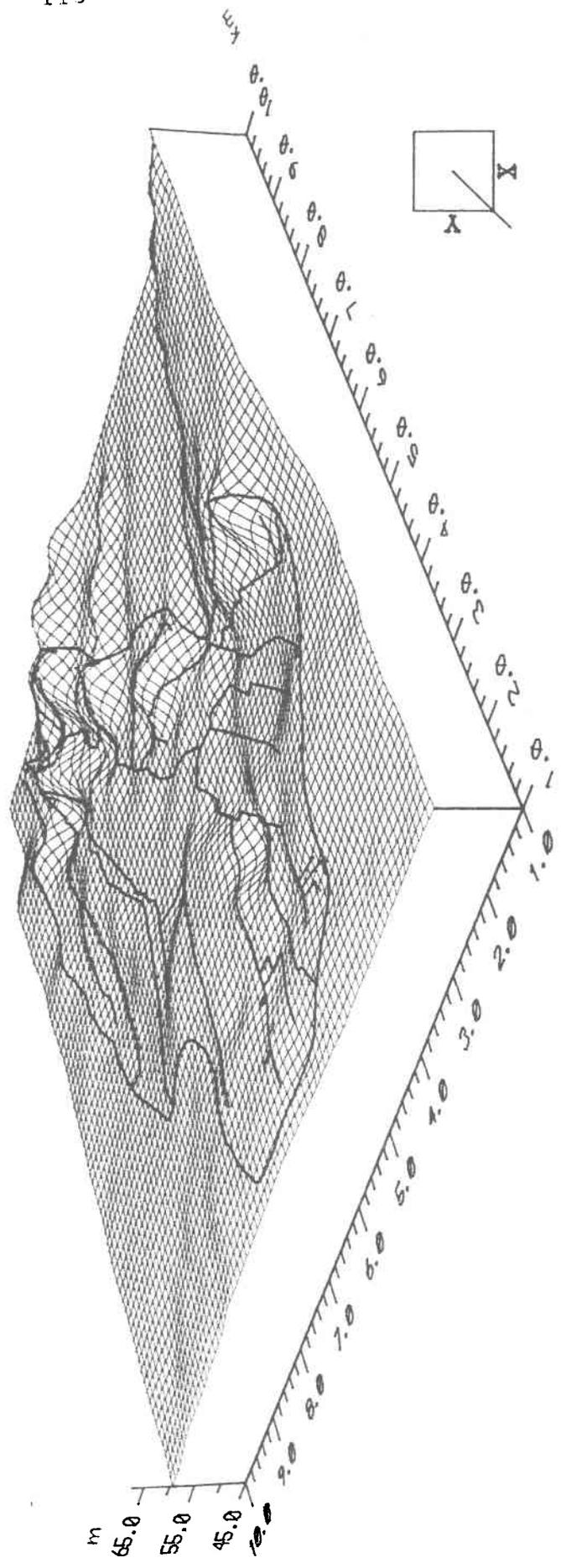
- 0
■ 1 à 13



N ↑

ECHELLE
55x55 mètres par cellule

Figure A
Ruisseau-des-Anges: relief



ANNEXE B: BANQUE DE DONNEES STATISTIQUES
(Bassin versant du Ruisseau-des-Anges)

FICHER DES PRODUCTEURS PORCINS

Producteur porcin	Porcs	Truies	Cuves (m ³)	Epandage (ha)	
				Propr.	Entente
1	2850	0	7092	31.0	38.0
2	0	100	465	20.0	
3	1350	0	2525	17.0	110.0
4	1700	0	3377	50.0	74.0
5	5300	0	9651	93.0	241.0
6	1350	0	4214	17.0	145.1
7	0	100	266	20.0	
8	0	65	335		
9	425	100	1153	26.3	
10	248	50	601	22.0	
11	1500	0	838	34.0	80.0
12	1500	0	1271	36.0	57.0
13	400	200	1390	34.0	13.0
14	2800	0	5520		
15	0	10	0		
16	1500	0	2481	30.0	86.0
17	2550	0	4131		
18	1200	150	3293	26.0	57.8
19	2000	0	2882	65.0	
20	1000	40	2415	23.8	

FICHER DES CUVES

Cuve	Capacité (m ³)	Ouvert/Fermé	Béton/Sol
1.1	2523	O	B
1.2	2123	F	
1.3	2446	F	
2.0	465	F	B
3.0	2525	O	B
4.1	1404	O	B
4.2	1973	O	B
5.1	4600		S
5.2	2039	O	B
5.3	3012		B
6.1	1383	O	B
6.2	2831	O	B
7.0	266		B
8.0	335		S
9.0	1153	O	B
10.0	601		B
11.0	838		B
12.0	1271	O	B
13.0	1390		B
14.1	667	O	B
14.2	1329	O	B
14.3	2158	O	B
14.4	1366		B
16.1	1998		B
16.2	483		B
17.1	1751		
17.2	2380		
18.1	779		B
18.2	2514		B
19.0	2882	O	B
20.1	815	O	B
20.2	1600	O	B

FICHER DES LOTS CADASTRAUX

Lot	Superficie (ha)	Producteur "épandeur"
15	20.45	6
16	13.49	5 6
18	11.64	5
19	5.10	6
20	7.54	6
21	6.86	1
22	28.94	3 1
23	10.95	5
24	10.16	5
25	23.68	5
26	25.27	5
27	26.35	5
28	17.49	2 5
29	37.00	5
33	23.17	8
34	20.45	9
35	30.64	10
37	17.85	11
38	11.85	12
39	11.40	12
41	16.67	12
43	15.28	12
45	18.56	14
46	7.77	15
47	14.84	17
52	31.98	16
53	22.55	3
54	28.58	17
55	42.80	17

Lot	Superficie	Producteurs "épandeurs"
61	9.13	3
63	21.44	3
64	21.21	3
69	26.26	13
70	13.72	11
71	20.22	11
72	14.13	13
73	14.40	12 18
80	21.77	6
82	20.88	7 5
84	22.56	5 6
85	21.85	6 5
86	22.10	5
89	32.71	4
90	20.57	1 2 6
91	31.49	1
92	22.16	1 5
95	21.99	6
96	20.24	6
99	27.19	18
101	24.73	18
102	20.17	18
106	14.87	18
107	16.90	18
122	24.96	19
128	4.18	20
237	0.80	17
238	0.66	17
239	1.71	17

FICHER DES SOLS

Type	Superficie (ha)	Groupe	Texture	Drainage
1	700.00	4	7	2
2	225.60	4	10	3
3	82.98	3	3	2
4	27.22	2	9	1
5	261.70	3	6	3
6	216.90	1	2	1
7	407.90	4	10	2
8	86.76	6	12	5
9	577.80	3	1	3
10	575.10	3	2	3
11	32.54	3	4	3
12	365.60	4	5	2
13	176.40	5	8	4
14	16.86	6	11	5

CODES POUR LE FICHER DES SOLS

Type de sol

1 - Ac	8 - Marécages
2 - An	9 - R
3 - Bd	10 - R1
4 - Bt	11 - Rs
5 - Cv	12 - S
6 - Do	13 - V
7 - J	14 - X1

N.B.: la description plus détaillée du type de sol peut être retrouvée sur la carte des sols des comtés Assomption-Montcalm du Ministère fédéral de l'Agriculture.

Groupe

- 1 - brun forestier
- 2 - brun podzolique
- 3 - gleysolique gris foncé
- 4 - podzol à gley
- 5 - gley tourbeux
- 6 - indéterminé

Texture

1 - argile	7 - sable très fin
2 - loam argileux	8 - sable fin à loameux
3 - loam argilo-limoneux	9 - sable loameux
4 - loam sablo-argileux	10 - sable
5 - loam sableux fin	11 - surface limoneuse
6 - loam sableux	12 - texture variable

Drainage

- 1 - bon
- 2 - imparfait
- 3 - mauvais
- 4 - très mauvais
- 5 - indéterminé

FICHER D'UTILISATION DU SOL

Type	Superficie (ha)	Doses MENVIQ	Doses CPVQ
10	112.10	0	
20	579.50	110	82
21	15.13	110	82
30	455.70	80	45
31	26.32	80	45
32	25.35	22	
33	7.72	20	
34	7.96	80	45
40	730.40	170	85
41	4.08	170	85
50	51.24	110	
51	172.70	110	
52	48.14	110	
53	12.65	110	
54	138.20	135	68
55	0.89	110	55
56	9.46	110	
57	11.23	135	68
58	1.92	110	
59	12.31	135	68
60	0.95	125	
61	10.48	65	
62	5.54	110	
63	6.96	170	
64	1.50	170	
70	63.60	110	82
71	16.70	0	
72	7.21	0	
73	0.39	110	82
74	17.71	110	82
75	6.94	110	82
80	0.75	110	
81	1102.00	0	
82	9.53	0	
83	3.87	0	
84	5.36	0	
85	8.84	110	
90	5.27	0	

CODES POUR LE FICHER D'UTILISATION DU SOL

Type d'utilisation du sol

10 - zone résidentielle	60 - fraises
20 - foin et pâturage	61 - tabac
21 - (20) labouré	62 - gazon
30 - céréales	63 - jachère
31 - (30) labouré	64 - (63) labouré
32 - sarrasin	70 - friche herbacée
33 - soya	71 - friche arbustive
34 - (30) terre neuve et digues	72 - (71) labouré
40 - maïs	73 - (70) labouré
41 - (40) labouré	74 - (70) terre neuve
50 - horticulture	75 - (70) et (90)
51 - carottes	80 - plantation
52 - navets	81 - forêt
53 - panais	82 - (81) labouré
54 - choux	83 - bois coupé
55 - oignons	84 - défriché
56 - concombres	85 - pépinière
57 - pommes de terre	90 - sable ou gravier
58 - (51) et (53)	
59 - (57) terre neuve et digues	

ANNEXE C: MACRO-COMMANDES

NOTE **Création de l'image des lots où il y a épandage**
 NOTE Entrée: Cadastre: valeur d'une cellule
 NOTE = No. du lot dont elle fait partie
 NOTE Sortie: Ep-prod: valeur d'une cellule
 NOTE = No. du producteur qui y épand
 NOTE

NOTE Reclassification des lots avec épandage:

RENUMBER Cadastre /
 ASSIGNING 0 TO 1 THRU 14 /
 ASSIGNING 6 TO 15 /
 ASSIGNING 5 TO 16 /
 ASSIGNING 0 TO 17 /
 ASSIGNING 5 TO 18 /
 ASSIGNING 6 TO 19 /
 ASSIGNING 6 TO 20 /
 ASSIGNING 1 TO 21 /
 ASSIGNING 3 TO 22 /
 ASSIGNING 5 TO 23 /
 ASSIGNING 5 TO 24 /
 ASSIGNING 5 TO 25 /
 ASSIGNING 5 TO 25 /
 ASSIGNING 5 TO 27 /
 ASSIGNING 2 TO 28 /
 ASSIGNING 5 TO 29 /
 ASSIGNING 8 TO 33 /
 ASSIGNING 9 TO 34 /
 ASSIGNING 10 TO 35 /
 ASSIGNING 11 TO 37 /
 ASSIGNING 12 TO 38 /
 ASSIGNING 12 TO 39 /
 ASSIGNING 12 TO 41 /
 ASSIGNING 12 TO 43 /
 ASSIGNING 14 TO 45 /
 ASSIGNING 15 TO 46 /
 ASSIGNING 17 TO 47 /
 ASSIGNING 16 TO 52 /
 ASSIGNING 3 TO 53 /
 ASSIGNING 17 TO 54 /
 ASSIGNING 17 TO 55 /
 ASSIGNING 3 TO 61 /
 ASSIGNING 3 TO 63 /
 ASSIGNING 3 TO 64 /
 ASSIGNING 13 TO 69 /
 ASSIGNING 11 TO 70 /
 ASSIGNING 11 TO 71 /
 ASSIGNING 13 TO 72 /
 ASSIGNING 12 TO 73 /
 ASSIGNING 6 TO 80 /

```
ASSIGNING 7 TO 82 /  
ASSIGNING 5 TO 84 /  
ASSIGNING 6 TO 85 /  
ASSIGNING 5 TO 86 /  
ASSIGNING 4 TO 89 /  
ASSIGNING 1 TO 90 /  
ASSIGNING 1 TO 91 /  
ASSIGNING 1 TO 92 /  
ASSIGNING 6 TO 95 /  
ASSIGNING 6 TO 96 /  
ASSIGNING 18 TO 99 /  
ASSIGNING 18 TO 101 /  
ASSIGNING 18 TO 102 /  
ASSIGNING 18 TO 106 /  
ASSIGNING 18 TO 107 /  
ASSIGNING 19 TO 122 /  
ASSIGNING 20 TO 128 /  
ASSIGNING 17 TO 237 /  
ASSIGNING 17 TO 238 /  
ASSIGNING 17 TO 239 /  
FOR Ep-prod
```

NOTE

NOTE Reclassification des lots sans épandage

RENUMBER Ep-prod /

```
ASSIGNING 0 TO 21 THRU 255 /
```

```
FOR Ep-prod
```

NOTE **Création de l'image du nombre d'unités animales**
NOTE **Entrée: Ep-prod**: valeur d'une cellule
NOTE = No. du producteur qui y épand
NOTE **Sortie: UA**: valeur d'une cellule
NOTE = nombre d'UA du producteur qui y épand
NOTE
NOTE Cette macro est constituée d'une seule commande de
NOTE reclassification.
NOTE

```
RENUMBER Ep-prod /  
  ASSIGNING 570 TO 1 /  
  ASSIGNING 25 TO 2 /  
  ASSIGNING 270 TO 3 /  
  ASSIGNING 340 TO 4 /  
  ASSIGNING 1060 TO 5 /  
  ASSIGNING 270 TO 6 /  
  ASSIGNING 25 TO 7 /  
  ASSIGNING 16 TO 8 /  
  ASSIGNING 110 TO 9 /  
  ASSIGNING 62 TO 10 /  
  ASSIGNING 300 TO 11 /  
  ASSIGNING 300 TO 12 /  
  ASSIGNING 130 TO 13 /  
  ASSIGNING 560 TO 14 /  
  ASSIGNING 3 TO 15 /  
  ASSIGNING 300 TO 16 /  
  ASSIGNING 510 TO 17 /  
  ASSIGNING 278 TO 18 /  
  ASSIGNING 400 TO 19 /  
  ASSIGNING 210 TO 20 /  
FOR UA
```

NOTE **Création de l'image des doses permises par le MENVIQ**
 NOTE **Entrée: Culture:** valeur d'une cellule
 NOTE = type d'utilisation du sol
 NOTE **Sortie: Dose-MEQ:** valeur d'une cellule
 NOTE = hg (hectogramme) d'azote du lisier
 NOTE par an

NOTE Reclassification suivant les doses permises
 NOTE (en kg par ha par an):

RENUMBER Culture /
 ASSIGNING 0 TO 10 /
 ASSIGNING 110 TO 20 THRU 21 /
 ASSIGNING 80 TO 30 THRU 31 /
 ASSIGNING 22 TO 32 /
 ASSIGNING 20 TO 33 /
 ASSIGNING 80 TO 34 /
 ASSIGNING 170 TO 40 THRU 41 /
 ASSIGNING 110 TO 50 THRU 53 /
 ASSIGNING 135 TO 54 /
 ASSIGNING 110 TO 55 THRU 56 /
 ASSIGNING 135 TO 57 /
 ASSIGNING 110 TO 58 /
 ASSIGNING 135 TO 59 /
 ASSIGNING 125 TO 60 /
 ASSIGNING 65 TO 61 /
 ASSIGNING 110 TO 62 /
 ASSIGNING 170 TO 63 THRU 64 /
 ASSIGNING 110 TO 70 /
 ASSIGNING 0 TO 71 THRU 72 /
 ASSIGNING 110 TO 73 THRU 80 /
 ASSIGNING 0 TO 81 THRU 84 /
 ASSIGNING 110 TO 85 /
 ASSIGNING 0 TO 90 /
 FOR Dose-MEQ

NOTE
 NOTE Conversion des doses en hg par cellule par an
 NOTE sachant qu'un cellule a une superficie de 0.3 ha:
 COMPUTE Dose-MEQ TIMES 3 FOR Dose-MEQ

NOTE **Création de l'image des doses recommandées par le CPVQ**
 NOTE Entrée: Culture: valeur d'une cellule
 NOTE = type d'utilisation du sol
 NOTE Sortie: Dose-CPVQ: valeur d'une cellule
 NOTE = hg (hectogramme) d'azote du lisier
 NOTE par an
 NOTE
 NOTE Reclassification suivant les doses recommandées
 NOTE (en kg par ha par an):

RENUMBER Culture /
 ASSIGNING 0 TO 10 /
 ASSIGNING 82 TO 20 THRU 21 /
 ASSIGNING 45 TO 30 THRU 31 /
 ASSIGNING 0 TO 32 THRU 33 /
 ASSIGNING 45 TO 34 /
 ASSIGNING 85 TO 40 THRU 41 /
 ASSIGNING 0 TO 50 THRU 53 /
 ASSIGNING 68 TO 54 /
 ASSIGNING 55 TO 55 /
 ASSIGNING 0 TO 56 /
 ASSIGNING 68 TO 57 /
 ASSIGNING 0 TO 58 /
 ASSIGNING 68 TO 59 /
 ASSIGNING 0 TO 60 THRU 64 /
 ASSIGNING 82 TO 70 /
 ASSIGNING 0 TO 71 THRU 72 /
 ASSIGNING 82 TO 73 THRU 75 /
 ASSIGNING 0 TO 80 THRU 90 /
 FOR Dose-CPVQ

NOTE
 NOTE Conversion des doses en hg par cellule par an
 NOTE sachant qu'un cellule a une superficie de 0.3 ha:
 COMPUTE Dose-CPVQ TIMES 3 FOR Dose-CPVQ

NOTE **Création de l'image des surplus ou déficit en lisier**
 NOTE **(carte 8 de l'Annexe A)**
 NOTE Entrées: Dose-MEQ: valeur d'une cellule
 NOTE = hg (hectogramme) d'azote du lisier
 NOTE par an
 NOTE Ep-prod: valeur d'une cellule
 NOTE = No. du producteur qui y épand
 NOTE Sortie: Ep-Regle: valeur d'une cellule
 NOTE = 1 si déficit / 2 si surplus
 NOTE
 NOTE On suppose que les producteurs épandent la totalité
 NOTE du lisier qu'ils ont à gérer proportionnellement aux
 NOTE doses permises par le MENVIQ.
 NOTE
 NOTE Calcul du pourcentage du lisier d'un producteur qui sera
 NOTE épandu sur chaque cellule:
 NOTE
 COMPUTE Dose-MEQ DIVIDEDBY 4 FOR UA-MEQ
 NOTE UA-MEQ: nombre d'UA permises par cellule
 COMPOSITE Ep-prod WITH UA-MEQ TOTAL FOR Ep-MEQ
 NOTE Ep-MEQ: nombre d'UA permises pour chaque producteur
 NOTE Calcul pour contourner les limites de pMAP:
 COMPUTE UA-MEQ TIMES 100 FOR UA-MEQ
 NOTE Reclassification pour éviter la division par 0 dans la
 NOTE commande suivante:
 RENUMBER Ep-MEQ ASSIGNING 1 TO 0 FOR Ep-MEQ
 COMPUTE UA-MEQ DIVIDEDBY Ep-MEQ FOR Ep-%
 NOTE Ep-%: pourcentage de quantité à épandre par cellule
 NOTE
 NOTE Calcul de l'épandage effectué suivant les pourcentages:
 NOTE
 COMPUTE Ep-% TIMES UA FOR Ep-Reel
 NOTE Ep-Reel: nombre d'UA dont le lisier est épandu par cellule
 NOTE Calcul pour reconvertir dans les unités de départ:
 COMPUTE Ep-Reel TIMES 4 FOR Ep-Reel
 NOTE Comparaison entre Ep-Reel et Dose-MEQ:
 COMPUTE Ep-Reel MINUS Dose-MEQ FOR Ep-Regle
 NOTE Reclassification pour distinguer les zones
 NOTE sans épandage (0), déficitaires (1), avec surplus (2):
 RENUMBER Ep-Regle/
 ASSIGNING 1 TO -510 THRU -60/
 ASSIGNING 2 TO 10 THRU 8730/
 FOR Ep-Regle

NOTE **Création de l'image montrant la distance séparant une**
 NOTE **cuve des champs pouvant accepter la quantité de lisier**
 NOTE **qu'elle contient**
 NOTE **(carte 9 de l'Annexe A)**
 NOTE **Entrées: Cuves: localisation des cuves**
 NOTE **Cadastre: valeur d'une cellule**
 NOTE **= No. du lot dont elle fait partie**
 NOTE **Routes: cellules dont la valeur est non nulle**
 NOTE **appartiennent au réseau routier**
 NOTE **Culture: valeur d'une cellule**
 NOTE **= type d'utilisation du sol**
 NOTE **Dose-MEQ: valeur d'une cellule**
 NOTE **= hg (hectogramme) d'azote du lisier**
 NOTE **par an**
 NOTE **Ep-prod: valeur d'une cellule**
 NOTE **= No. du producteur qui y épand**
 NOTE **Sortie: Dist: valeur d'une cellule**
 NOTE **= distance séparant cette cellule**
 NOTE **de la cuve considérée**

NOTE On a pris ici l'exemple de la cuve du producteur 11
 NOTE qui doit disposer de 12000 kg d'azote (provenant du
 NOTE lisier) par an.

NOTE Reclassification pour isoler la cuve 11:

RENUMBER Cuves

ASSIGNING 0 TO 0 THRU 10/
 ASSIGNING 100 TO 11/
 ASSIGNING 0 TO 12 THRU 20/
 FOR Cuve

NOTE Reclassification pour isoler le lot où est située
 NOTE la cuve 11:

RENUMBER Cadastre

ASSIGNING 1 TO 71 THRU 71/
 ASSIGNING 0 TO 0 THRU 70/
 ASSIGNING 0 TO 72 THRU 32767/
 FOR Reseau

NOTE Reclassification des routes (on ne distinguera pas ici
 NOTE les autoroutes des chemins de ferme):

RENUMBER Routes ASSIGNING 1 TO 1 THRU 4 FOR Route

COVER Reseau WITH Route FOR Reseau

NOTE **Reseau: cellules sur lesquelles le transport du lisier**
 NOTE **peut s'effectuer**

NOTE Reclassification permettant d'identifier de façon unique
 NOTE les champs de même culture mais non connexes:

CLUMP Culture ORTHOGONALLY FOR Champs

NOTE Calcul de la superficie de chaque champ:

SIZE Champs FOR Champs

NOTE Conversion des doses en kg d'azote par cellule:

COMPUTE Dose-MEQ DIVIDEDBY 10 FOR Champs-kg

NOTE Calcul du nombre de kg d'azote pouvant être épandu

NOTE (suivant les doses MENVIQ) par champ:

COMPUTE Champs TIMES Champs-kg FOR Champs-kg
NOTE Reclassification pour isoler les champs qui permettent
NOTE d'épandre en totalité le lisier du producteur 11:
RENUMBER Champs-kg ASSIGNING 0 TO 0 THRU 12000 FOR Champs-Pot
RENUMBER Champs-Pot ASSIGNING 1 TO 1 THRU 32767 FOR Champs-Pot
NOTE Calcul de la distance la plus courte (en parcourant le
NOTE réseau) séparant la cuve 11 de chaque cellule du réseau
NOTE routier, dans un rayon de 100 cellules:
SPREAD Cuve TO 100 THRU Reseau ACROSS FOR Dist
NOTE Superposition sur une même image des champs potentiels,
NOTE de la cuve et du réseau spécifiant les distances:
COVER Champs-Pot WITH Dist AND Cuve FOR Dist

NOTE **Création de l'image des potentiels de réception**
 NOTE **d'éléments polluants du lisier dans le réseau**
 NOTE **hydrographique**
 NOTE **(carte 10 de l'Annexe A)**
 NOTE **Entrées: Dose-MEQ: valeur d'une cellule**
 NOTE **= hg (hectogramme) d'azote du lisier**
 NOTE **par an**
 NOTE **Ep-prod: valeur d'une cellule**
 NOTE **= No. du producteur qui y épand**
 NOTE **MNA: valeur d'une cellule**
 NOTE **= altitude en mètre**
 NOTE **Hydro: cellules dont la valeur est non nulle**
 NOTE **appartiennent au réseau hydrographique**
 NOTE **Sortie: Risque: valeur d'une cellule du réseau hydro.**
 NOTE **= nombre de cellules (ayant reçu une**
 NOTE **forte dose d'épandage) qui s'y draine**
 NOTE
 NOTE **Reclassification pour ne considérer que les champs**
 NOTE **susceptibles de recevoir une dose importante de lisier:**
 RENUMBER Dose-MEQ ASSIGNING 0 TO 0 THRU 500 FOR Forte-Dose
 RENUMBER Ep-Prod ASSIGNING 1 TO 1 THRU 20 FOR Ep-Unif
 NOTE **Ep-Unif: zones d'épandage (identifiées de façon uniforme**
 NOTE **et non suivant le producteur qui y épand)**
 NOTE **Identification des zones recevant effectivement une dose**
 NOTE **importante de lisier:**
 INTERSECT Ep-Unif WITH Forte-Dose /
 ASSIGNING 510 TO 1 AND 510 /
 FOR Forte-Dose
 NOTE **Création d'une barrière absolue pour la zone hors bassin:**
 RENUMBER MNA ASSIGNING 99 TO 0 FOR MNA
 NOTE **"Drainage" des zones critiques selon la pente du terrain:**
 DRAIN Forte-Dose OVER MNA FOR Draine
 NOTE **Création d'un "cache" pour ne considérer que le réseau**
 NOTE **hydrographique:**
 RENUMBER Hydro
 ASSIGNING 0 TO 1 THRU 4 /
 ASSIGNING 99 TO 0 /
 FOR NegHydr
 COVER Draine WITH NegHydr FOR Risque

ANNEXE D: MATERIEL ET LOGICIELS UTILISES**MATERIEL****Micro-ordinateur:**

- IBM/PC-AT
- Processeur Intel 80286 / Co-processeur math. Intel 80287
- Mémoire vive de 640K avec extension possible de 384K
- Disque dur de 30 Megabytes
2 lecteurs de disquette (1.2 Meg / 360K)
- Moniteur couleur
Carte graphique EGA (256K)
- 2 ports sériels / 1 port parallèle
- Système d'exploitation IBM-DOS version 3.10

Tablette numérisante:

- CalComp DrawingBoard, modèle 23120
- Surface de travail: 297 mm x 297 mm / 305 mm x 305 mm
- Précision: .635 mm
- Résolution: jusqu'à 40 lignes/mm

Traceur vectoriel:

- HP 7475A
- Formats de papier: 8.5 x 11 pouces / 11 x 17 pouces
- Carrousel pouvant contenir 6 plumes
- Résolution de l'adressage d'une plume: .025 mm

LOGICIELS

Statistiques:

STATGRAPHICS, version 3.0, STSC Inc. & Statistical Graphics Corporation

Isolignes et graphiques 3-D

SURFER, version 4.04, Golden Software Inc.

Cartomatique:

- Numérisation: ATLAS*DRAW (AD), version 2.03, Strategic Locations Planning Inc.

- Cartographie: ATLAS*GRAPHICS (AG), version 2.1, STSC Inc.

Numérisation

Desktop Digitizing Package (DDP), version 2.4, Center for Remote Sensing and Mapping Science (CRMS-UGA), R-WEL Inc.

Système d'information géographique

Professional Map Analysis Package (pMAP), version 2.60, Spatial Information Systems Inc.

ANNEXE E: ORGANISMES DIFFUSEURS DE DONNEES

Sources cartographiques

QUEBEC:

Carte de base, carte topographique:

Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec, Service de la cartographie

Carte pédologique:

Ministère de l'Agriculture du Québec, Service de la recherche en sol

Bassin hydrographique:

Ministère de l'Environnement du Québec

CANADA:

Utilisation du territoire:

Environnement Canada

Données Landsat et SPOT:

Centre de télédétection du Canada

Sources statistiques

Statistiques diverses:

Bureau de la statistique du Québec

Statistique Canada

Données météorologiques:

Service de météorologie du Québec

Données hydrométriques:

Ministère de l'Environnement du Québec, Service d'hydrométrie

ANNEXE F: GLOSSAIRE**algorithme**

ensemble fini de règles déterminées servant à résoudre un problème au moyen d'un nombre fini d'opérations

bureautique

application de l'informatique et de la télématique aux travaux de bureau

CAO

conception assistée par ordinateur

couche (= "overlay")

couche d'information thématique

CPVQ

Conseil des Productions Végétales du Québec

déjections animales

En agriculture, on distingue [MAPAQ, CPVQ, 1982]:

fumier = excréments d'animaux contenant approximativement 2/3 d'excrément et un peu plus de 1/3 de litière et qui ont subi des fermentations plus ou moins avancées à l'étable ou en tas
lisier (appelé aussi **fumier liquide**) = excréments bruts d'animaux solides et liquides conservés dans des fosses idéalement étanches
fumier semi-liquide ou pâteux = partie du fumier accumulé sur le pourtour des plates-formes à fumier, qui n'a la consistance ni du fumier liquide ni du fumier solide
purin = partie liquide des fumiers: l'urine et partie des eaux de pluies accumulées sur le pourtour des plates-formes et/ou dans une fosse

géobase

ensemble organisé des données relatives à la localisation, la délimitation et l'identification des unités spatiales

image (= "map")

matrice bidimensionnelle de données thématiques localisées, traitées par le logiciel pMAP

MAPAQ

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec

MENVIQ

Ministère de l'Environnement du Québec

MERQ

Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec

MNA

modèle numérique d'altitude
(en anglais, "DEM" = "Digital Elevation Model")

modem

appareil comprenant un modulateur et un démodulateur utilisé dans le traitement à distance de l'information

multispectral

se dit de photographies du même lieu prises simultanément, chacune correspondant à des bandes du spectre électromagnétique différentes

"overlay"

- 1) opération de recouvrement
- 2) couche thématique = couche de données localisées sur laquelle ne figure qu'un seul attribut; elle peut être directement utilisée dans les opérations de recouvrement

pixel (de l'anglais "picture element")

plus petite surface homogène constitutive d'une image enregistrée par un système informatique et pouvant être transmise

"raster"

format matriciel des données
(on l'oppose généralement au format vectoriel)

"rasterisation"

conversion de données en format matriciel

résolution

aptitude à rendre distinct deux points voisins sur une image

SGBD

système de gestion de base de données

SIG

système d'information géographique
Système d'Information (à Référence) | Spatiale (SIRS)
géographique
système informatique intégré permettant de collecter, gérer, analyser et présenter des données géographiques

SIURS

système d'information urbaine à référence spatiale
SIG conçu spécifiquement pour traiter les données géographiques que doit gérer une municipalité

UA

unité animale (unité de référence)