

Record Number:

Author, Monographic: Leborgne, A.//Martel, E.//Couture, P.//Cluis, D.

Author Role:

Title, Monographic: Contrôle de la fertilité des débordements de lisier de porc par précipitation chimique

Translated Title:

Reprint Status:

Edition:

Author, Subsidiary:

Author Role:

Place of Publication: Québec

Publisher Name: INRS-Eau

Date of Publication: 1985

Original Publication Date: Juillet 1985

Volume Identification:

Extent of Work: v, 38

Packaging Method: pages

Series Editor:

Series Editor Role:

Series Title: INRS-Eau, Rapport de recherche

Series Volume ID: 198

Location/URL:

ISBN: 2-89146-196-7

Notes: Rapport annuel 1985-1986

Abstract: 10.00\$

Call Number: R000198

Keywords: rapport/ ok/ dl

Contrôle de la fertilité des
débordements de lisier de porc par
précipitation chimique

par

A. LeBorgne, E. Martel, P. Couture,
D. Cluis

Rapport scientifique no 198

Juillet 1985

INRS-Eau

AVANT-PROPOS

Je tiens à remercier ici tous ceux et celles qui ont permis la concrétisation de ce stage et son bon déroulement.

À mon maître de stage, le docteur Pierre Couture, professeur à l'Institut national de la recherche scientifique (INRS-Eau), je lui fais part de ma profonde reconnaissance pour m'avoir acceptée comme stagiaire et formée dans son domaine de recherche dans un climat de confiance et d'amitié.

Au docteur Daniel Cluis, professeur à l'INRS-Eau, je le remercie sincèrement pour son soutien en l'absence de Pierre Couture et ses précieux conseils pour la réalisation du rapport.

À monsieur Michel Slivitzky, directeur de l'INRS-Eau, pour avoir bien voulu considérer ma demande de stage, je lui exprime toute ma reconnaissance.

À madame Sabaté, professeur et chef du département de Biologie appliquée de l'Institut universitaire de technologie (I.U.T.) de Perpignan, je lui fais part de mes remerciements sincères pour avoir soutenu le projet de stage au Québec et facilité les démarches administratives.

À tous mes amis de l'INRS-Eau, je les remercie pour leur accueil chaleureux.

Enfin, à mes parents et toute ma famille, pour leur soutien enthousiaste et inconditionnel, je leur suis infiniment reconnaissante de leur compréhension.

RÉSUMÉ

Les problèmes de gestion des lisiers de porc au Québec datent d'une dizaine d'années et deviennent urgents à résoudre. Les mauvais épandages entraînent la pollution des nappes d'eau souterraines et des rivières. Par ailleurs, les rejets clandestins des cuves trop pleines en dehors des périodes d'épandage provoquent, entre autres, une surfertilisation des cours d'eau récepteurs, parfois mise en évidence par les "blooms" d'algues. La concentration des élevages hors-sol, principalement autour de trois régions québécoises (Terrebonne, les Cantons de l'Est et la Beauce), augmente leur impact sur l'environnement. Dans le contexte économique défavorable dans lequel sont la plupart des éleveurs, les solutions sont plus difficiles à trouver et à appliquer. Pourtant, le Québec met en place un programme d'assainissement des eaux et, dans ce cadre des travaux ont été réalisés dans le but de diminuer l'impact des élevages porcins sur les rivières, particulièrement dans les bassins où ils sont nombreux. Cette étude propose une solution à un état d'urgence et dans l'attente d'une meilleure gestion des lisiers: il s'agit de diminuer la fertilité du surnageant des cuves à purin, quand elles sont pleines pendant une période de non épandage, avant que celui-ci ne soit rejeté dans la rivière. Le phosphore apparaît habituellement comme l'élément nutritif limitant la croissance des algues dans beaucoup de lacs et de cours d'eau du Québec. Donc, appauvrir en phosphore le purin revient à diminuer sa fertilité et ainsi contrôler son impact eutrophisant. Dans des cuves expérimentales de 60 litres, l'efficacité de trois précipitants du phosphore a été testée: la chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$, l'alum $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ et le tétrachlorure de zirconium ZrCl_4 . Les meilleurs résultats ont été obtenus avec l'alum, tant au niveau de la précipitation chimique du phosphore qu'avec les tests de fertilité sur l'algue Selenastrum capricornutum. Le tétrachlorure de zirconium est très efficace aussi mais sur une période plus courte; par contre, son action sur la biodisponibilité du phosphore semble la plus faible. Enfin, l'efficacité de la chaux est moindre; cependant il faut signaler que son coût à l'achat est le moins élevé.

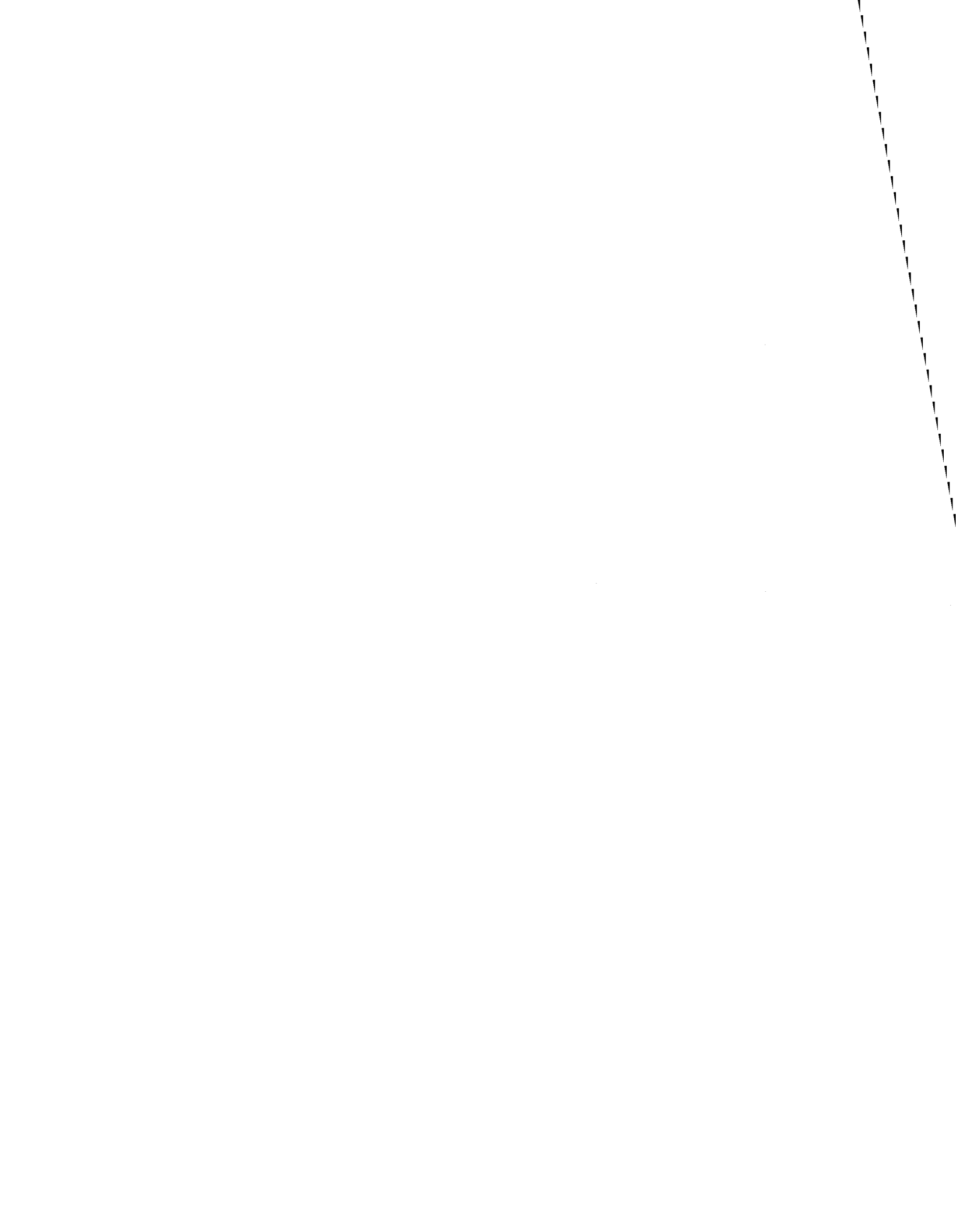
ABSTRACT

Swine manure management problems became acute during the last decade. Unappropriate spreading induce the contamination of underground and runoff waters. But specially the unlawfuff overflows of retention pools outside the designated spreading periods, result in an excess of nutrient loadings of receiving surface waters; this phenomenon sometimes creates algal blooms. The spatial concentration of intensive pig-breeding specially within three high-density regions exacerbates the impact of this industry on the environment. Within the difficult economic situation characterizing actually a large proportion of the pig-breeders, technological solutions are difficult to find and economically unfeasible. Nevertheless the Province of Quebec is now implementing a sanitation program and within this scheme some work have been carried out in order to reduce the impact of pig breeding on the rivers, specially in the density of the pig is high. The actual study suggests a possible solution for this emergency situation (retaining pool full during a non-spreading period) and this, in the expectation of a better and long-term solution to the manure problem: this solution promotes the reduction of the fertility of the supernatant part before it is directed to the receiving river. Phosphorus being the limiting nutrient to algal growth, a reduction of this chemical in the manure results into a corresponding reduction of the fertility to the river and, thus, controls its impact on eutrophication. Using experimental, 60 liters tanks, the efficiencies of three precipitating agents for phosphorus compounds were tested: lime $\text{Ca}(\text{OH})_2$, alum $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, zirconium tetrachloride ZrCl_4 . The best results were obtained with the alum both for the chemical precipitation of phosphorus and for the fertility bio-assay carried out with the algae Selenastrum capricornutum. The ZrCl_4 also is very efficient but only during a shorter period of time; in opposition to that its effects on the biodisponibility of phosphorus seems to be the smallest. Finally, the efficiency of the lime is smaller but this product is the most economical of the three compounds tested.

TABLE DES MATIÈRES

	<u>Page</u>
RÉSUMÉ	ii
ABSTRACT	iii
TABLE DES MATIÈRES	iv
1. INTRODUCTION	1
1.1 Évolution des élevages traditionnels aux élevages hors-sol ..	1
1.2 Importance économique du cheptel porcin québécois	2
2. PROBLÉMATIQUE	7
2.1 Conséquences environnementales de la rupture du recyclage traditionnel des déchets	7
2.1.1 Composition du lisier de porc	7
2.1.2 Impact sur l'environnement des méthodes intensives ...	10
2.2 Règlementation québécoise en vigueur et situation réelle	13
2.3 La précipitation chimique dans les cuves à lisier - objectifs des expériences	15
3. MATÉRIEL ET MÉTHODE	16
3.1 Description des conditions expérimentales	16
3.1.1 L'élevage	16
3.1.2 Matériel utilisé	16
3.1.3 Les précipitants	17
3.2 Échantillonnage	18
3.3 Analyses chimiques	19
3.3.1 Le phosphore	19
3.3.2 L'ammoniac	19
3.3.3 Le calcium et la magnésium	19
3.4 Les bioessais	20
4. LES RÉSULTATS	20
4.1 Le traitement du purin à la chaux	20
4.2 Le traitement du purin à l'alum	23
4.3 Le traitement du purin au tétrachlorure de zirconium	27

	<u>Page</u>
5. CONCLUSIONS	32
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	34
ANNEXE 1 - RÉACTIFS UTILISÉS POUR LES ANALYSES CHIMIQUES	37
ANNEXE 2 - LES BIOESSAIS	38



1. INTRODUCTION

1.1 Évolution des élevages traditionnels aux élevages hors-sol

Depuis une dizaine d'année, l'agriculture québécoise s'est profondément modifiée: l'exode rural conjugué au développement technologique et à l'augmentation des besoins alimentaires ont engendré une spécialisation et une intensification de la production agricole. Ces changements ont entraîné aussi une régionalisation et une concentration à proximité des grands marchés tant pour l'élevage que pour les cultures.

L'augmentation du volume des productions animales a donné naissance à un nouveau type d'élevage: la production hors-sol. En général, l'agriculteur se spécialise dans un seul type d'élevage et même dans le cas du porc, dans une étape de sa croissance (maternité, engraissement, "finissage"). L'élevage porcin québécois s'est considérablement développé dans le contexte économique favorable des années 70, le nombre de têtes passant à plus de 4 millions aujourd'hui et dépassant ainsi largement l'autosuffisance provinciale.

Une des conséquences les plus importantes de cette industrialisation est la rupture de la complémentarité entre les productions animales et végétales. Antérieurement, les grains et le fourrage produits sur les terres servaient à l'alimentation des animaux de la ferme et le fumier produit par ces derniers retournait à la terre. Maintenant, l'éleveur achète la nourriture des animaux et ne dispose pas des terres requises pour l'épandage des fumiers. Dans de telles conditions, le purin de porc est considéré comme un fléau dans les localités où sont concentrées les grandes exploitations. Cette ancienne ressource devient donc un déchet agricole et une source de pollution pour l'environnement. Ces problèmes sont actuellement aggravés par une situation économique qui se dégrade depuis 1981.

1.2 Importance économique du cheptel porcin québécois

L'industrie porcine au Québec a engendré en 1980 des revenus de l'ordre de 487 millions de \$ (environ 3,4 milliards de francs) en hausse de 16,4 % par rapport à 1979. Cette industrie contribue au développement économique de plusieurs régions tout en soutenant d'autres productions agricoles.

Les inventaires de porc au 1er janvier 1981 dévoilés par Statistique Canada dans son rapport trimestriel démontrait une augmentation de 3% du nombre total de porcs dans les fermes québécoises par rapport au 1er janvier 1980. Le nombre de porcs dans les fermes du Québec a donc atteint 4,781 milliers en cette même année. Cette progression fantastique, que la figure 1 met en évidence, a permis aux éleveurs de porcs du Québec de s'approprier la première place parmi les quatre provinces productrices. Mais le pourcentage que représente la production québécoise au niveau canadien est en baisse depuis 1981, passant de 36,5% qu'elle occupait alors à 32%. Malgré cela, la production porcine est aussi devenue au Québec la seconde en importance après la production laitière dans l'industrie agro-alimentaire. Elle se place d'ailleurs parmi les principales industries manufacturières, n'étant dépassée que par les pâtes et papiers, la pétrochimie, l'industrie laitière, la fonte et l'affinage des métaux.

La consommation canadienne de viande de porc a beaucoup augmenté et dépassé en 1981 la consommation de 73 lb (33 kg) par habitant enregistrée en 1980. Cette augmentation substantielle s'explique par la diminution de la consommation de viande de boeuf due à la hausse de son prix et la baisse de prix de la viande de porc. De toute façon, la production de porc a dépassé au Canada celles du boeuf et du veau réunies et ce pour la première fois depuis la deuxième guerre mondiale.

Les exportations canadiennes de porcs ont été en augmentation jusqu'en 1981, mais la production mondiale croît alors que les marchés se rétrécissent, ce qui rend difficiles les exportations. Les principales destinations du porc canadien sont les États-Unis, que l'imposition d'un droit de douane de 5,3 cents/lb (c'est-à-dire 0,82 franc/kg) et l'augmentation de la

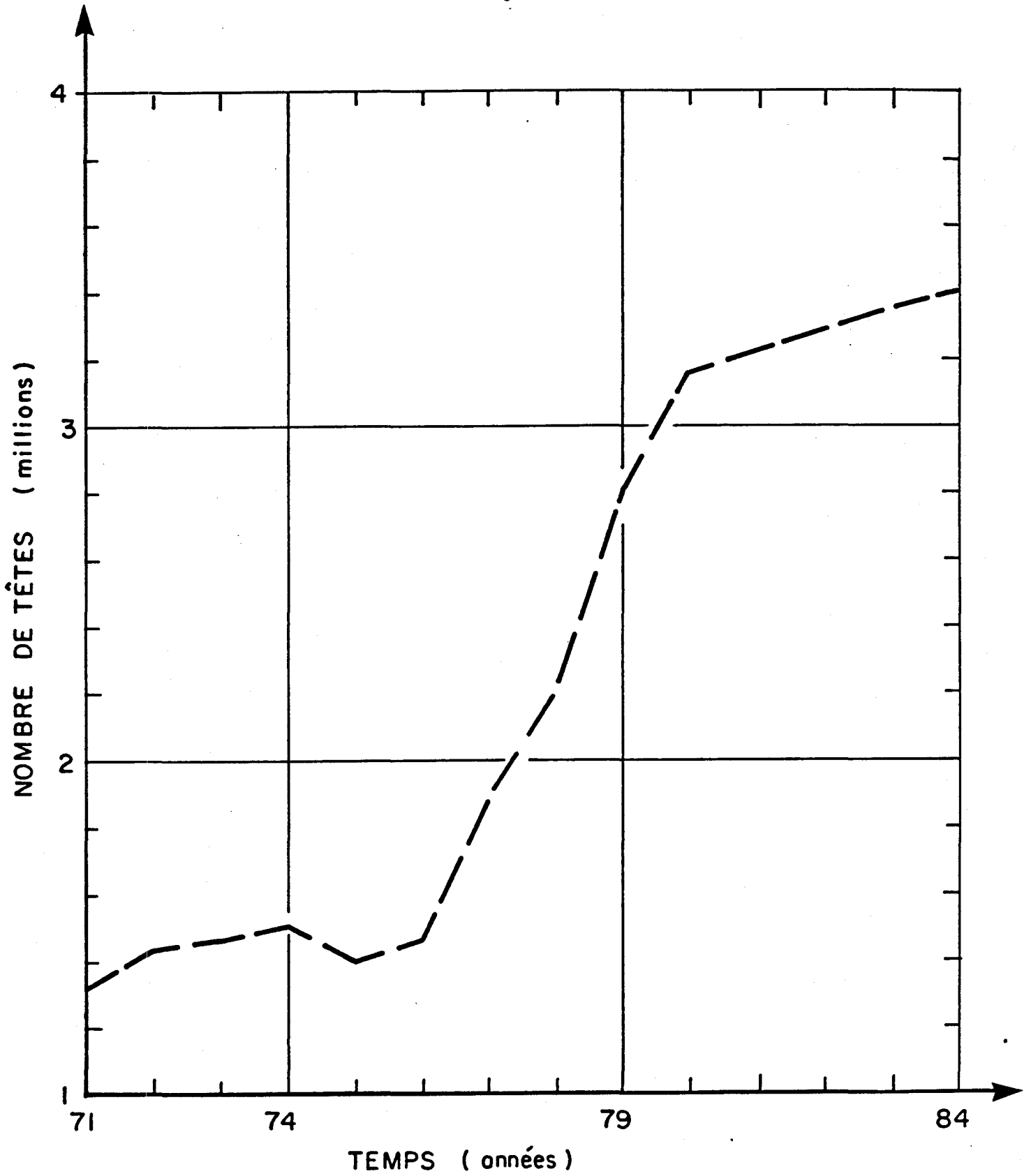


Figure 1: Evaluation du nombre de porcs dans les fermes du Québec du 1er juillet 1971 au 1er juillet 1984 (Statistiques agricoles du Québec).

production américaine menacent, et le Japon. Les principaux produits exportés sont les coupes fraîches ou congelées et non pas les produits transformés comme le jambon en boîte ou le bacon. L'année 1980 a été l'occasion pour le Canada d'augmenter ses exportations vers Cuba, la Nouvelle-Zélande, l'Angleterre, les Caraïbes et la Corée du Sud. Il faut rappeler que 43% des exportations canadiennes proviennent du Québec qui est probablement la province où l'élevage de porcs se fait le plus efficacement. Les québécois doivent faire face maintenant aux éleveurs de l'Ouest Canadien où la production est en hausse et leur coût d'exploitation moindre puisqu'ils cultivent eux-même les grains nécessaires à l'alimentation des porcs.

Les données de la Fédération des Producteurs de Porcs du Québec démontrent qu'il y avait en 1980 environ 8000 producteurs de porcs au Québec dont 5000 sont indépendants. C'est surtout chez les producteurs finisseurs que l'on retrouve la plus forte proportion d'intégration. Avec la dégradation de la situation, certains éleveurs ne peuvent plus rembourser les sommes investies dans les installations. Certains font faillite, d'autres tentent de se recycler et beaucoup sont dans une situation alarmante. Trois territoires agricoles accaparent les 2/3 de la production porcine au Québec. Ces territoires sont: Terrebonne, les Cantons de l'Est et la Beauce. Les autres territoires du Québec produisent l'autre tiers (voir la figure 2 et le tableau 1).

Les Québécois ont donc rapidement monté un sous-secteur agricole formidable qui fait que le Québec est autosuffisant à quelques 150% pour la viande de porcs. Malheureusement, l'évolution du rapport entre le prix du porc et le prix des moulées depuis l'hiver 1980 démontre que la production porcine est de moins en moins rentable en Amérique du Nord. Ce fléchissement des prix cause une situation économique très difficile. Un premier problème d'ordre conceptuel est relié au cycle économique caractérisé actuellement par une phase de déclin. De plus, des fluctuations cycliques du prix du porc ont toujours existé malgré leur impact catastrophique sur le revenu des producteurs. Les problèmes d'ordre structurel comme l'intégration, la subordination des entreprises de naisseurs par rapport aux entreprises d'engraissement et l'absence de prix de base québécois compliquent davantage la situation économique actuelle.

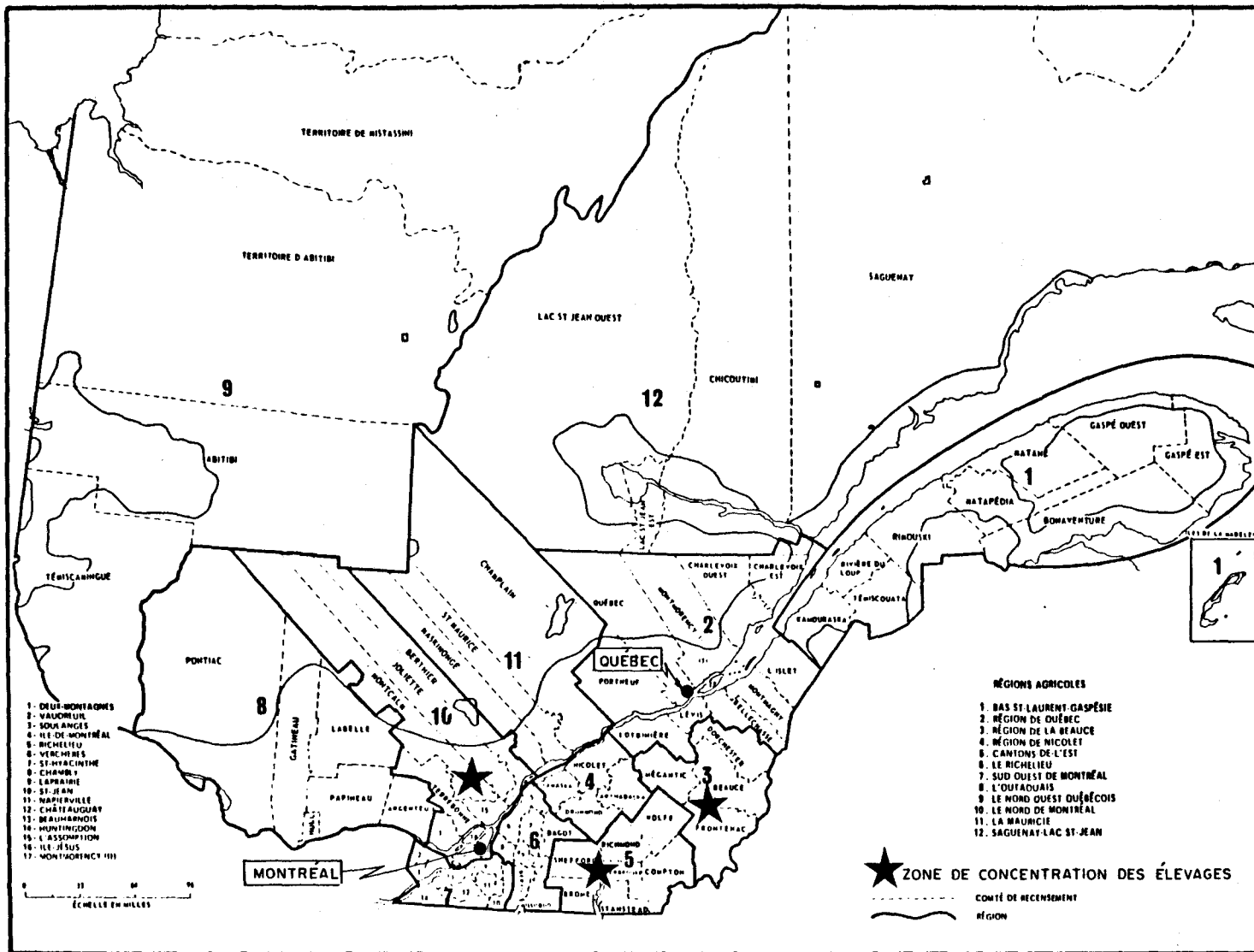


Figure 2: Régions agricoles du Québec.

Tableau 1: Répartition du nombre de porcs par région et progression du cheptel. (Statistique Canada et Bureau de la statistique du Québec)

Régions agricoles	1975 1er juillet (10 ³)	1978 1er juillet (10 ³)	taux de croissance 75/78	1980 (10 ³)	taux de croissance 78/80	1984 1er juillet (10 ³)	taux de croissance 80/84
1- Bas St-Laurent/ Gaspésie	43	35	-18,6%	51,4	+31,9%	41,5	- 19,3
2- Québec	222	400	+44,5	421,5	+ 5,1	520,8	+ 19,1
3- Beauce	234	440	+46,8	689	+36,1	614,1	- 10,9
4- Nicolet	120	180	+33,3	254,4	+29,2	293,7	+ 13,4
5- Canton de l'est	116	194	+40,2	286,1	+32,2	432,7	+ 33,9
6- Richelieu	196	464	+57,7	711,6	+34,8	857,6	+ 17,0
7- Sud-Ouest de Montréal	24	50	+52	54,1	+ 7,6	51,6	- 4,6
8- Outaouais	13	22	+40,9	33,8	+34,9	20,0	- 40,8
9- Nord-ouest québécois	5	1,5	-70	2,2	+31,8	0,6	- 72,7
10- Nord de Montréal	156	275	+43,3	422,3	+34,9	377,1	- 10,7
11- Mauricie	56	126	+55,5	198,3	+36,4	171,8	- 13,4
12- Saguenay-Lac St-Jean	15	12,5	-16,7	23,8	+47,5	23,5	- 1,3
Total Province	1200	2200	+45,4%	3166	+30,5%	3 405,0	+ 7%

Pour les régions agricoles se reporter à la carte 2.

Des spécialistes affirment que toute croissance d'un élevage est habituellement suivie d'un accroissement du risque sanitaire qui peut remettre en question, à lui seul, la rentabilité de l'opération. Plusieurs contraintes comme l'augmentation du prix du pétrole, la croissance anarchique trop rapide, la dépendance du Québec envers le fragile marché nord-américain et finalement les problèmes reliés à l'environnement sont aussi à retenir. La protection de l'environnement s'applique aussi bien aux porcs qu'aux humains. Un environnement sanitaire douteux issu d'un mauvais nettoyage et l'absence d'un programme efficace de gestion des fumiers influencent à long terme les rendements des troupeaux. Or, il a été constaté que l'état sanitaire des troupeaux de reproduction est en régression depuis cinq ans. L'urgence de protéger l'environnement extérieur aussi est essentielle.

2. PROBLÉMATIQUE

2.1 Conséquences environnementales de la rupture du recyclage traditionnel des déchets

2.1.1 Composition du lisier de porc

La composition du fumier est très variable. Elle est fonction principalement des rations alimentaires, des techniques de nettoyage et du système d'entreposage. Les rations alimentaires sont constituées d'hydrates de carbone, de protéines, de graisses, de nutriments inorganiques (N,P,K) et de beaucoup de micronutriments. Mais on y trouve aussi des additifs tels que les antibiotiques, le cuivre et l'arsenic qui affectent les caractéristiques du fumier.

Le lisier est formé principalement d'eau, à 92% (les méthodes de gestion sous forme liquide ont contribué à augmenter son volume), de nourritures non digérées et de gaz organiques et inorganiques. Des valeurs moyennes des principales caractéristiques sont rassemblées dans le tableau 2. Les solides totaux représentent les matières sèches après évaporation, c'est-à-dire les matières organiques et inorganiques. Ils sont trois cent fois plus concentrés que dans les égouts domestiques. La proportion de matière organique est donnée par la mesure des solides totaux volatils et

Tableau 2: Caractéristiques physiques et chimiques du purin de porc
(Overcash et al., 1975; Cluis et Jaouich, 1981).

Paramètre	Valeurs		
<u>Physico-chimie</u>			
Humidité	92%		
pH	7,4		
solides totaux	0,64	kg.j ⁻¹ .100 kg ⁻¹	
solides volatils	0,47	kg.j ⁻¹ .100 kg ⁻¹	
DCO	0,71	kg.j ⁻¹ .100 kg ⁻¹	(86 000 mg.L ⁻¹)
DBO ₅	0,28	kg.j ⁻¹ .100 kg ⁻¹	(34 000 mg.L ⁻¹)
<u>Éléments majeurs</u>			
N	0,48	kg.j ⁻¹ .100 kg ⁻¹	(7,5% poids sec)
P	0,014	kg.j ⁻¹ .100 kg ⁻¹	(2,2% poids sec)
K	0,021	kg.j ⁻¹ .100 kg ⁻¹	(3,3% poids sec)
COT	0,20	kg.j ⁻¹ .100 kg ⁻¹	-
Ca	0,019	kg.j ⁻¹ .100 kg ⁻¹	(2,9% poids sec)
Mg	0,005	kg.j ⁻¹ .100 kg ⁻¹	(0,7% poids sec)
S	0,005	kg.j ⁻¹ .100 kg ⁻¹	(0,7% poids sec)
Na	0,004	kg.j ⁻¹ .100 kg ⁻¹	(0,6% poids sec)
<u>Éléments mineurs</u>			
Zn	0,8	g.j ⁻¹ .100 kg ⁻¹	
B	0,32	g.j ⁻¹ .100 kg ⁻¹	
Mn	0,17	g.j ⁻¹ .100 kg ⁻¹	
Cu (-addition)	0,06	g.j ⁻¹ .100 kg ⁻¹	
Cu (+addition de 125 mg.L ⁻¹ dans l'alimentation)	0,8	g.j ⁻¹ .100 kg ⁻¹	
As	0,16 à 1,58 mg.L ⁻¹		
Se	0,06 à 0,17 mg.L ⁻¹		
Cd	0,04 mg.L ⁻¹		
Hg	0,0071 mg.L ⁻¹		

représente 83% des solides totaux. La décomposition d'une telle quantité de matière organique nécessite beaucoup d'oxygène: la demande biochimique en oxygène (DBO₅) est de l'ordre de 35 g.l⁻¹ ce qui est cent fois plus élevé que pour un effluent urbain, et la demande chimique en oxygène (DCO) est de 86 g.l⁻¹.

Parmi les éléments majeurs, les quantités de N, P et K sont importantes car elles indiquent la valeur fertilisante du fumier. En moyenne, 75% de l'azote (N), 80% du phosphore (P₂O₅) et 87% du potassium (K₂O) contenus dans l'alimentation ne sont pas utilisés par l'animal. Le Conseil Consultatif de l'Environnement (Gouvernement du Québec) a établi que, par tonne de fumier frais, il y a 6,4 kg d'azote (N), 3 kg de phosphore (P₂O₅) et 2,8 kg de potassium (K₂O). Par rapport à des engrais chimiques, cela représente une efficacité de 46% pour l'azote et le potassium et de 23,7% pour le phosphore: il s'agit du rapport exprimé en pourcentage de la quantité d'un élément nutritif, sous forme d'engrais chimique, qui est capable d'avoir la même efficacité que 100 kg de cet élément dans le fumier. L'azote est présent sous forme ammoniacale, organique et très peu en nitrate. C'est un élément dont la concentration initiale ne se maintient pas comme le carbone. Près de 50% peuvent se transformer soit en ammoniac et se perdre par volatilisation, soit se transformer par oxydation biologique en nitrate. Le lisier contient, en outre, de grandes quantités de substances ligneuses qui se combinent apparemment à des protéines pour former des polymères résistants à la décomposition. Ceci contribue naturellement à la diminution de la disponibilité de l'azote. Finalement, on retrouve aussi des substances humiques qui, en formant des complexes avec les éléments minéraux, contribuent à les maintenir dans des formes disponibles. La majeure partie du phosphore est inorganique (75% à 85% de CaHPO₄, 2H₂O). La partie organique est présente surtout dans la fraction solide sous forme de composés complexes difficiles à identifier. Par contre, tout le potassium est soluble. Le calcium, le magnésium et le soufre sont des éléments majeurs de moindre importance. Ils représentent chacun environ 0,7% du poids sec.

Le fumier contient également des quantités non négligeables d'oligo-éléments. On peut distinguer, par ordre d'importance: Fe, Zn, B, Mn, Cu, Mo. Cette diversité augmente la valeur fertilisante du fumier. Néanmoins,

sous certaines conditions, on observe des phénomènes d'accumulation et certains métaux atteignent des concentrations toxiques.

La population microbienne du fumier est abondante et se compose principalement de bactéries ($3,3 \times 10^6$ coliformes.g⁻¹), de protozoaires, de champignons, de virus, de rickettsies¹ et d'oxyures². Plusieurs de ces microorganismes sont pathogènes. Les maladies qu'ils entraînent sont décrites dans le tableau 3. Toutefois, la plupart ne persistent pas après un séjour de 8 mois à des températures entre 4° et 20°C. L'activité des bactéries est très forte dans des conditions d'humidité élevée tandis que les champignons et les actinomycètes se développent dans des conditions d'humidité moyenne. Les variations de température peuvent faire changer la composition de la microflore. Les taux les plus élevés de décomposition sont habituellement situés à des températures de 30° à 35°C.

2.1.2 Impact sur l'environnement des méthodes intensives

Les fermes construites trop près d'une rivière ou à flanc de coteau sont responsables plus particulièrement d'une pollution diffuse à cause des ruissellements provenant des bâtiments d'exploitation. D'autre part, lorsque les animaux ont accès à un plan d'eau, leurs urines et fèces se retrouvent directement dans celui-ci. Mais le grand problème est la gestion du fumier. La plupart des éleveurs achètent leur grain au lieu de le cultiver comme cela se faisait dans les fermes traditionnelles, et ainsi ils ne disposent pas de terre pour épandre le fumier. Le Conseil Consultatif de l'Environnement a calculé une production annuelle de 9 000 000 t de lisier de porc (1981) dont 4 500 000 t sont perdues dans l'environnement. Cela représente 28 800 t d'azote, 12 600 t de phosphore et 12 600 t de potassium. En terme de fertilisant, cette perte a été chiffrée à 45 millions de \$ (315 millions de francs). Le territoire agricole québécois a la capacité d'absorber la quantité de lisier disponible (ainsi que tous les autres fu-

¹ Microorganisme ressemblant à une petite bactérie (0,1 µ), parasite des vertébrés transmis par les arthropodes, responsable d'épidémies de typhus.

² Parasite appartenant à l'ordre des nématodes.

Tableau 3: Maladies transmissibles par le fumier de porc. (Azvedo et Stout, 1974).

Agents infectueux	Maladies transmises	Microorganismes	Mode de transmission
BACTÉRIES	.Salmonellose	.Salmonella sp.	ingestion
	.Leptospirose	.Leptospira pomona	peau et muqueuses
	.Antrax	.Bacillus antracis	ingestion et inhalation
	.Tuberculose	.Mycobacterium tuberculosis	ingestion et inhalation
		" avinus	
		" bovis	
	.Brucellose	.Brucella melitensis	muqueuses
		" suis	"
	.Colibacillose	.E. Coli	ingestion
VIRUS	.Cholera du porc	virus	contact et ingestion
	.Fièvre aphteuse	"	" "
CHAMPIGNONS	.Coccidiordomycose	.Coccidioides immitus	inhalation de poussières et contacts cutanés
	.Ringworm	.Microsporum	contact
		.Trichophyton (souches diverses)	
PROTOZOAIRE	.Coccidiose	.Eimeria sp.	ingestion d'oocytes
	.Toxoplasmose	.Toxoplasma sp.	
PARASITES	.Ascaris	.Ascaris lumbricoides	ingestion
	.Sarcocystis	.Soreocytis sp.	

miers) mais la concentration dans certaines localités et une mauvaise attitude de certains producteurs font que, non seulement le lisier n'est plus considéré comme une richesse potentielle mais, en plus, devient dangereux pour l'environnement. S'il se retrouve dans le milieu aquatique, l'apport important de matières organiques biodégradables entraîne une augmentation de la DBO et une baisse de la concentration en oxygène dissous. En cas de faible débit, l'impact peut être catastrophique: la disparition d'oxygène entraîne un passage en anaérobie, la libération de produits malodorants et toxiques, et la mort des poissons. La présence de grandes quantités d'azote et surtout de phosphore provoque une surfertilisation des cours d'eau à plus fort débit, révélée par des "blooms" d'algues affectant beaucoup le système aquatique. Le lisier de porc est aussi responsable d'une micropollution par les médicaments et antibiotiques qu'il contient et d'une contamination microbienne non négligeable.

Les avantages à recycler le lisier sont réels à condition de respecter les doses qui diffèrent suivant la culture, les périodes d'épandage et de considérer le type de sol afin de ne pas polluer les nappes d'eau souterraines. En effet, outre sa valeur fertilisante montrée au chapitre précédent, le fumier rend le sol plus meuble et en augmente sa résistance à l'érosion. On assiste aussi à une amélioration du taux d'infiltration de l'eau, ainsi que de sa capacité de rétention. En ce qui concerne les plantes, on constate notamment un meilleur développement des racines et une réduction de certaines carences à cause de l'apport d'oligo-éléments. Un projet pilote de gestion de l'épandage de lisier réalisé en 1983-84 dans le bassin de la rivière l'Assomption a montré que 55% de la superficie cultivable suffisaient pour disposer de tous les fumiers mais avec des trajets de 7,8 km pour 50% du fumier et jusqu'à 48 km pour 5%. Cette étude a montré aussi que la technique d'épandage par injection postlevée (sous la terre et entre les rangs de culture) limite les phénomènes de pollution et de pertes de fertilisants par ruissellement, élimine les odeurs et permet une période d'épandage plus longue. Mais l'injection pose des difficultés dans les sols lourds (argileux). D'autre part, le bilan économique n'a pas été confronté avec d'autre méthode de disposition du fumier.

Les autres formes de disposition semblent être encore à l'état expérimental sauf peut être le compost que quelques rares éleveurs fabriquent et vendent. Cette méthode élimine la partie liquide du purin et ainsi résout le problème dû au ruissellement et lessivage par la phase liquide. Elle élimine les odeurs et facilite le transport. On a cherché aussi des moyens de transformation pour récupérer la valeur protéinique pour l'incorporer dans la nourriture animale. D'autre part, différents traitements biologiques ont été étudiés et certains avec succès, mais ils demandent des installations coûteuses et souvent complexes à l'échelle d'une exploitation, surtout avec les difficultés économiques que rencontrent actuellement les éleveurs de porcs.

2.2 Réglementation québécoise en vigueur et situation réelle

La réglementation concernant l'élevage industriel de porcs comporte deux aspects reliés aux nuisances induites par cette activité; la première, qui est une condition d'implantation, spécifie une distance minimale (500 pieds* ou $\frac{1}{4}$ de pied par tête) entre l'élevage et l'agglomération la plus proche de façon à minimiser le nombre de personnes affectées par les odeurs causées par le stockage des rejets; la deuxième touche le mode de disposition des excréments animaux qui, au niveau de l'élevage industriel, ne font plus partie de l'ancienne chaîne de production du cultivateur traditionnel.

Le ministère de l'Environnement du Québec exclut de façon absolue le rejet direct aux cours d'eau pour les multiples raisons évoquées à la section 2-1-2. À cause de la valeur fertilisante du fumier, il préconise l'épandage sur du sol en culture comme mode de recyclage normal. Une telle opération suppose une entente entre un éleveur et un cultivateur. Deux difficultés viennent compliquer ces opérations; la première est purement climatique: épandre sur un sol gelé n'a aucun effet cultural bénéfique et revient, après le dégel, à rejeter directement à la rivière; la deuxième est constituée par l'agressivité du produit qui "brûle" les jeunes pousses et ne

* 1 pied = 30,48 cm, $\frac{1}{4}$ pied = 7,62 cm

laisse donc à l'agriculteur que de courtes périodes au printemps (après la fonte et avant la pousse) et à l'automne (après les pluies d'automne, avant les labours et avant le gel du sol) pour épandre.

Dans ces conditions, le ministère exige actuellement des éleveurs qu'ils disposent d'une cuve à lisier étanche capable de stocker les rejets pendant une période de 200 jours. Outre le coût important d'un tel investissement, la gestion de la capacité de stockage est assez critique; si la courte période d'épandage a été dépassée sans que la cuve ait pu être vidée complètement, l'éleveur se trouve pris, à terme, avec une tâche impossible qu'il peut éventuellement résoudre par la non-étanchéité naturelle ou fabriquée de sa cuve. Si une telle opération illégale se produit dans la période chaude et sèche de la fin de l'été, elle peut conduire à la mise hors d'état de fonctionner d'usines de filtration d'eau municipales (cas de Farnham, à l'été 1980), affectant ainsi de nombreuses personnes et avivant la rivalité ville-campagne. En effet, les rejets de fumier colmatent les filtres et s'il y a un traitement au chlore, il apparaît dans l'eau de distribution un goût désagréable et une mauvaise odeur dûs à la formation de chloramines. Ainsi, par exemple, dans la région de Lanaudière, les habitants sont régulièrement obligés de faire bouillir leur eau. D'autre part, des cas de typhoïdes et de dysenteries ont été attribués à ces rejets illégaux et dans certains lieux, les sports de contact (baignade, canotage) ont été interdits pour des raisons sanitaires. Ces opérations conduisent à la pollution des nappes souterraines alimentant des puits individuels. Elles peuvent aussi avoir d'autres impacts économiques indirects comme la détérioration du lait produit par les vaches affectées par la salmonellose. Des études récentes sur les effets de la pollution agricole au Québec montrent qu'elle est si importante en certains endroits qu'elle pourrait compromettre les objectifs du Programme d'Assainissement des Eaux du Québec (dépollution des eaux municipales et d'une partie des rejets industriels), les productions agricoles et alimentaires étant responsables de l'essentiel de la pollution de certaines portions de cours d'eau, sous formes d'éléments nutritifs et de microorganismes pathogènes.

2.3 La précipitation chimique dans les cuves à lisier - objectifs des expériences

Malgré la réglementation, il arrive que les cuves à lisier de certains éleveurs soient pleines durant une période de non-épandage. Actuellement, l'unique solution à portée de l'exploitant est le débordement clandestin de sa cuve. Or cette situation se présente entre la mi-juillet et la mi-août, durant l'étiage d'été où les conséquences des rejets dans les cours d'eau sont plus graves. En effet, les rivières sont à leur plus faible débit et c'est le seul moment de l'année où elles peuvent avoir un déficit en oxygène dissous. D'autre part, les températures élevées accélèrent l'activité biologique et donc facilitent les "blooms" d'algues. Enfin, c'est une période de vacances, c'est-à-dire de loisirs nautiques que les risques d'épidémie peuvent compromettre.

Sans remettre en cause la réglementation et dans l'attente peut-être de solutions à long terme, l'utilisation des précipitants permet de réduire la fertilité du surnageant du purin de porcs et ainsi résoudre momentanément cet état d'urgence. Il s'agit de faire précipiter le plus efficacement possible les phosphates du surnageant et d'évacuer cette phase liquide appauvrie afin de libérer un volume suffisant dans la cuve pour attendre la prochaine période d'épandage. Sous les climats froids, les basses températures entraînent, dans les cours d'eau, une augmentation du taux de saturation en oxygène dissous et une baisse de la vitesse des réactions chimiques et biochimiques. Par conséquent, sauf dans de rares cas en été, les rivières québécoises sont saturées en oxygène et l'apport de matières organiques agit peu sur la DBO et la DCO. Au contraire, la quantité de nutriments reflète la qualité d'une eau et le problème majeur est celui de l'eutrophisation des lacs et des rivières. Dans la plupart des eaux de surface, le phosphore contrôle la biomasse algale totale tandis que les autres éléments nutritifs contrôlent plutôt les types d'algues présents. Il est requis en quantité infime par la matière vivante: par exemple, une algue a besoin en moyenne pour grandir et se reproduire, de 106 atomes de carbone et de 16 atomes d'azote pour un atome de phosphore. Le phosphore interne, recyclé par les sédiments, représente une faible proportion par rapport au phosphore externe provenant de la terre et de l'atmosphère. Par conséquent, la clé du

contrôle de la surfertilisation est la limitation du phosphore apporté par les sources extérieures. Avec l'ajout des précipitants la majorité du phosphore présent dans le lisier de porc ne sera plus disponible, ce qui limitera le développement du phytoplancton dans la rivière réceptrice.

L'objectif de la présente étude est de déterminer l'efficacité de différents précipitants chimiques pour diminuer les teneurs en phosphore dans le surnageant du purin. Dans cette optique, on précisera également l'action des précipitants sur la biodisponibilité du phosphore présent dans la couche supérieure des bassins de stockage. Lors des expériences présentées ici, trois précipitants ont été comparés: l'alun, la chaux hydratée et le tétrachlorure de zirconium, le dernier étant d'utilisation toute récente et encore inconnu à l'échelle commerciale.

3. MATÉRIEL ET MÉTHODE

3.1 Description des conditions expérimentales

3.1.1 L'élevage

Le purin de porc, utilisé pour tester les précipitants, provient de l'élevage de M. Raymond Cadorette, à St-Lambert sur la rive sud du fleuve Saint-Laurent (comté de Bellechasse). Les échantillons ont été recueillis de juin à août 1983. Durant cette période, les porcs, dans leur phase d'engraissement, pesaient environ 200 livres (90 kg). Le lisier est constitué d'un mélange de fèces, d'urine et d'eau de lavage. Un système standard de nettoyage automatique évacue ce mélange des canaux deux fois par jour, dans la fosse située à l'extérieur. Dans la cuve, le purin n'est pas homogène parce qu'il n'y a pas de système de brassage, et parce qu'un phénomène de décantation naturelle augmente la densité du fond au détriment de la couche superficielle.

3.1.2 Matériel utilisé

Des cuves expérimentales de 60 litres sont remplies avec 50 litres de purin à l'aide d'une pompe et de manière à limiter les différences de com-

position du lisier dans chacune d'elles. Les contenants sont laissés à l'extérieur, soumis aux variations climatiques comme les cuves des éleveurs. Au total, huit cuves expérimentales sont nécessaires car les expériences sont réalisées en duplicata: deux témoins ne subissent aucun traitement, les six autres reçoivent un précipitant sous forme de sels en solution. L'alun $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ est additionné à raison de $0,5 \text{ g.l}^{-1}$ d'aluminium, la chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$ à 1 g.l^{-1} de calcium et le tétrachlorure de zirconium à 1 g.l^{-1} de zirconium.

3.1.3 Les précipitants

La chaux hydratée est couramment utilisée dans les traitements des eaux d'alimentation ou des effluents domestiques et industriels. Selon Simmonds (1973), c'est un bon coagulant pour les eaux usées fortement concentrées en pollution. Il a l'avantage d'être peu coûteux et facile à se procurer. Cependant, il faut respecter certaines conditions: une concentration élevée en calcium d'au moins 50 mg.l^{-1} et des teneurs en Mg^{2+} , HCO_3^- et F^- faibles car ils inhibent la formation d'apatite. Arvin (1983) conseille que le rapport Mg/Ca soit inférieur à 0,45. Dans le purin de porc les proportions des différents éléments cités indiquent de bonnes conditions pour la réaction de précipitation de la chaux avec le phosphore inorganique. On peut noter que, d'après la littérature, l'ajout de la chaux produit une augmentation de pH importante et le maximum d'efficacité est obtenu pour un pH supérieur ou égal à 8. Le principal mécanisme intervenant dans la précipitation du phosphore est la formation de sels insolubles de calcium.

L'alun est aussi un produit très utilisé pour le traitement des eaux et de prix un peu plus élevé que la chaux mais les quantités nécessaires sont moindres. L'adsorption des phosphates sur les particules d'hydroxyde d'aluminium $\text{Al}(\text{OH})_3$ dans les floccs est aussi importante que la formation des sels insolubles comme AlPO_4 dans le processus de disparition du phosphore. L'efficacité maximale est obtenue à $\text{pH} = 6,3$. D'après Jenkins et al. (1970), la floculation est rapide et il y a toujours du phosphore résiduel de l'ordre de $0,3$ à $0,5 \text{ mg P.l}^{-1}$ sous forme d'orthophosphates solubles.

Il existe très peu d'exemples d'utilisation des sels de zirconium en chimie. Ce métal, très inerte, est principalement utilisé dans la fabrication de contenant pour manipuler les agents hautement corrosifs. Récemment, dans le cadre de la recherche du contrôle de l'eutrophisation des lacs, Sanville et al. (1982) ont montré, à l'aide de tests en laboratoire et in situ, que le tétrachlorure de zirconium est efficace comme inactivant des phosphates et qu'il ne semble pas être toxique à court et moyen terme pour la population des écosystèmes lacustres. D'autre part, Kumar et Rai (1978) ont testé le $ZrOCl_2$ sur des algues et des poissons sans trouver d'effet toxique à court terme. Ils obtiennent une précipitation de 96% des phosphates pour une concentration de 100 ppm d'oxychlorure de zirconium.

3.2 Échantillonnage

Des échantillons de surnageant de purin sont prélevés dans chaque cuve pour des tests de fertilité sur des algues et pour des analyses chimiques (phosphore inorganique, ammoniacque, magnésium et calcium). Un volume de 200 ml est prélevé dans des bouteilles en plastique à centrifuger. Lors de la première série d'expériences (témoin, chaux et alun), les temps d'échantillonnage sont 0, 1, 19, 43 et 116 heures, 0 étant juste avant l'ajout des précipitants. Tandis que pour la seconde série (témoin et zirconium), les prélèvements ont été effectués à 0, 1, 19, 45 et 118 heures, et 0 est juste après l'addition du zirconium. Les échantillons sont centrifugés à 2 000 tr/mn durant 30 minutes. Le surnageant est filtré séquentiellement selon la technique suivante:

- préfiltration sur préfiltre millipore (deux fois)
- filtration sur filtres Watman G.F.C. de porosité 1,2 μ
- filtration sur filtres millipore, de porosité 0,45 μ et 0,22 μ

Un volume de 10 ml de filtrat est suffisant pour réaliser les analyses. Le pH est mesuré avant la centrifugation.

3.3 Analyses chimiques

Les réactifs sont décrits en annexe 1.

3.3.1 Le phosphore

Le dosage du phosphore inorganique se fait par l'intermédiaire de l'autoanalyseur Technicon II. La méthode utilisée est celle au molybdate d'ammonium. En milieu acide (H_2SO_4), les polyphosphates sont hydrolysés en orthophosphates; ils forment un complexe avec le molybdate d'ammonium qui, réduit par l'acide ascorbique, est coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration en phosphate. La courbe standard utilisée se situe entre 0 et 0,5 ppm (0,5 - 0,4 - 0,2 - 0,1 - 0,05 ppm). À cause de l'acidité du milieu, il est possible qu'une partie du phosphore organique soit hydrolysée, surestimant les teneurs en phosphore inorganique.

Pour le dosage du phosphore total, la digestion des échantillons et des étalons se fait à l'autoclave à 121°C pendant 30 minutes en milieu fortement acide (1 ml d'acide sulfurique 11 N + 0,4 g de persulfate d'ammonium dans chaque fiole). Puis on utilise la même méthode que précédemment pour doser les orthophosphates obtenus.

3.3.2 L'ammoniac

L'analyse automatique est réalisée avec Technicon II. Les réactifs utilisés sont le phénol alcalin, l'hypochlorite de sodium et le tartrate double de potassium et de sodium. L'ammoniac réagit avec le phénol et l'ion hypochlorite en milieu basique pour former l'indophénol de couleur bleue. Pour éviter toute contamination, la verrerie doit être nettoyée avec de l'acide chlorhydrique normale et rincée à l'eau déminéralisée. Les échantillons sont au préalable dilués au 1/500.

3.3.3 Le calcium et le magnésium

Ces deux analyses sont faites à l'absorption atomique (Model Varian AA.575). Il est nécessaire d'effectuer des dilutions avec KCl à 2000 ppm.

Les conditions pour le dosage du calcium sont air-acétylène et pour le magnésium, acide nitreux-acétylène.

3.4 Les bioessais (conférer à l'annexe 2)

Les bioessais sont réalisés avec l'algue Selenastrum capricornutum. Chaque semaine, la culture mère est repiquée dans le milieu 1 AAP modifié. Les ensemencements sont faits avec des cultures en phase de croissance exponentielle. Les échantillons de purin (naturel ou modifié par les précipitants) sont dilués au 1/1000. Les fioles coniques type erlenmeyer de 250 ml, contiennent le purin dilué + 1 ml de milieu nutritif 50 AAP-NP + 10^4 cellules d'algues.ml⁻¹. Pour les témoins, le purin est remplacé par de l'eau millipore. Le volume total est 50 ml. Les bioessais sont reproduits en triplicata. Ils sont incubés à $25^\circ \pm 2^\circ\text{C}$ avec une photopériode continue. Une agitation manuelle quotidienne maintient le taux de CO₂ dans le milieu. Un compte cellulaire au Coulter Counter Model TA et la mesure de la fluorescence au fluoromètre Turner sont effectués aux jours 0 (juste après l'ensemencement), 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 11 et 14. Des précautions sont prises lors du nettoyage de la verrerie et de la préparation du milieu pour éviter une contamination.

4. LES RÉSULTATS

4.1 Le traitement du purin à la chaux

L'ajout de la chaux provoque immédiatement une augmentation du pH de 7,6 à 8,3, qui se maintient ensuite pendant les 116 heures d'expérimentation entre 8,1 et 8,3 (tableau 4). On obtient ainsi les conditions de précipitation maximale précisée par Simmonds (1973). La concentration en phosphore total diminue brusquement entre 0 et 1 heure de 60 à 70%, puis 20 à 25% du phosphore sont encore précipités jusqu'à 116 heures (figure 3-A). D'après les analyses physico-chimiques, la période d'efficacité maximale de la chaux est entre 70 et 116 heures de traitement, où 80% du phosphore initialement présent ont précipité. Les concentrations en magnésium sont stables. Cet élément, en faible quantité, n'a donc aucun effet inhibiteur sur la formation d'apatites. Les concentrations en ion ammonium ne sont pas affectées

Tableau 4: Résultats des analyses physico-chimiques.

paramètre traitement	durée du traitement (h)	pH		[P _{total}] (ppm)		[NH ₄] (ppm)		[Ca] (ppm)		[Mg] (ppm)	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
cuves témoins (1ère série)	0	7,5	7,5	194	173	2 250	2 210	170	159	3	3
	1	7,5	N.D.	184	N.D.	2 225	N.D.	116	N.D.	3	N.D.
	19	7,5	7,5	209	152	2 050	2 200	130	223	5	3
	43	7,6	7,5	184	173	2 375	1 825	116	225	3	4
	116	7,6	7,7	165	165	2 700	2 675	92	77	3	2
chaux	0	7,7	7,6	200	184	2 450	2 350	147	127	2	1
	1	8,3	8,3	79	55	1 925	2 750	207	204	3	6
	19	8,1	8,2	59	46	1 800	2 550	222	225	5	5
	43	8,1	8,2	48	50	2 575	2 925	199	212	4	3
	116	8,1	8,2	41	37	2 475	2 575	231	135	3	5
alun	0	7,6	7,6	175	197	2 350	2 500	127	134	1	2
	1	6,3	6,4	5	5	2 825	2 625	149	127	19	21
	19	6,5	6,3	2	4	2 800	2 400	87	75	21	20
	43	6,9	7,0	2	3	2 550	2 875	104	88	21	19
	116	7,1	7,2	4	5	3 175	3 275	47	34	13	14
cuves témoins (2ième série)	0	7,4	7,4	228	172	2 950	2 650	86	85	3	4
	1	7,4	7,4	174	153	2 350	2 100	82	68	3	3
	19	7,4	7,5	147	135	1 850	1 650	57	56	6	6
	45	7,6	7,6	123	113	1 300	1 250	49	44	1	5
	118	7,6	7,6	170	185	1 750	1 950	26	26	3	2
zirconium	0	6,4	7,0	14	56	2 400	2 600	41	48	24	29
	1	6,9	6,9	60	100	2 350	2 200	41	50	21	16
	19	6,8	6,8	10	5	2 200	1 750	41	53	23	49
	45	6,7	6,8	3	6	1 650	1 650	24	24	17	17
	118	7,2	7,4	48	60	1 800	1 800	35	31	22	20

TRAITEMENT A LA CHAUX

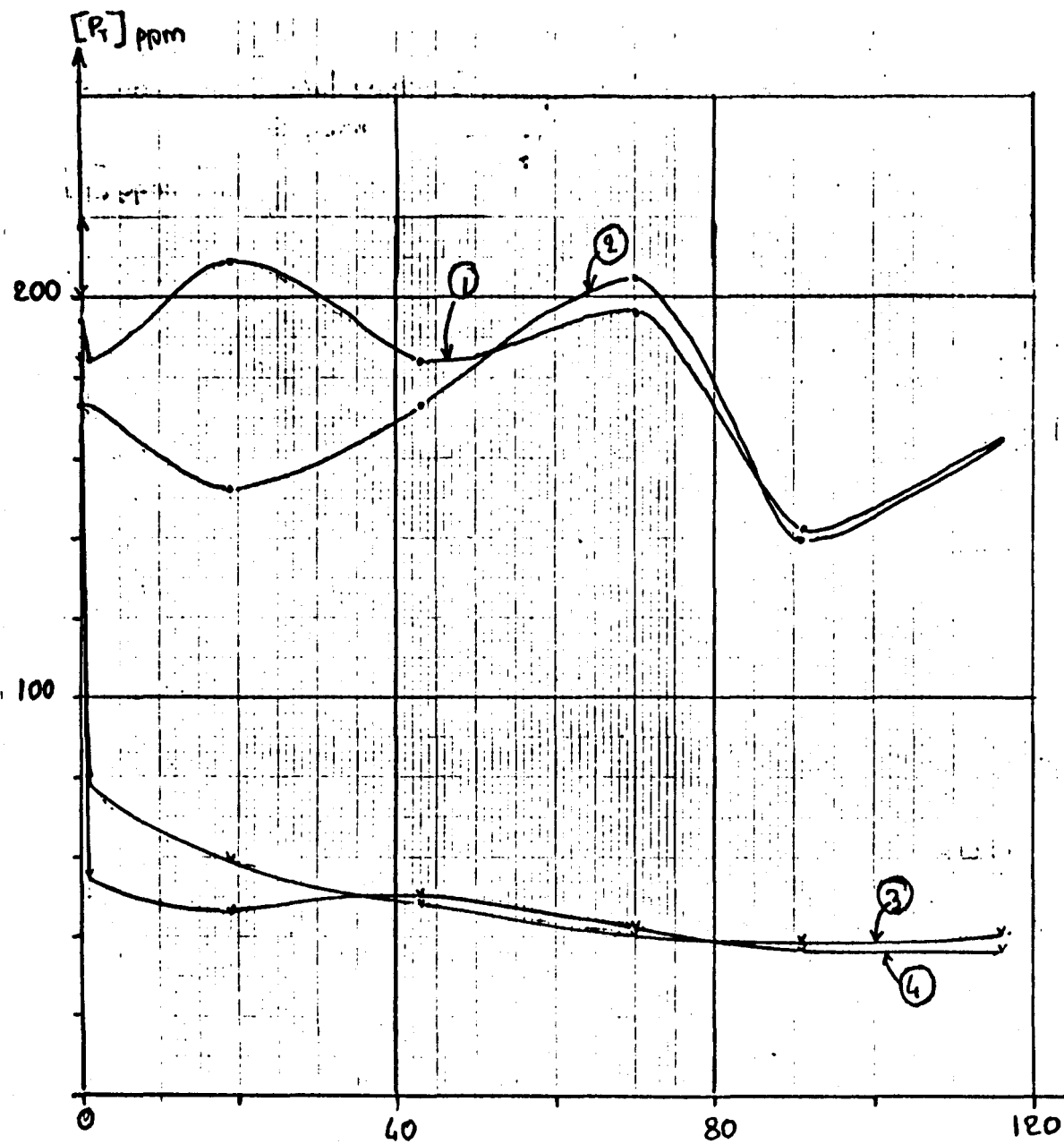


Figure 3-A: Evolution de $[P_t]$ dans le surnageant de purin (1ère série)

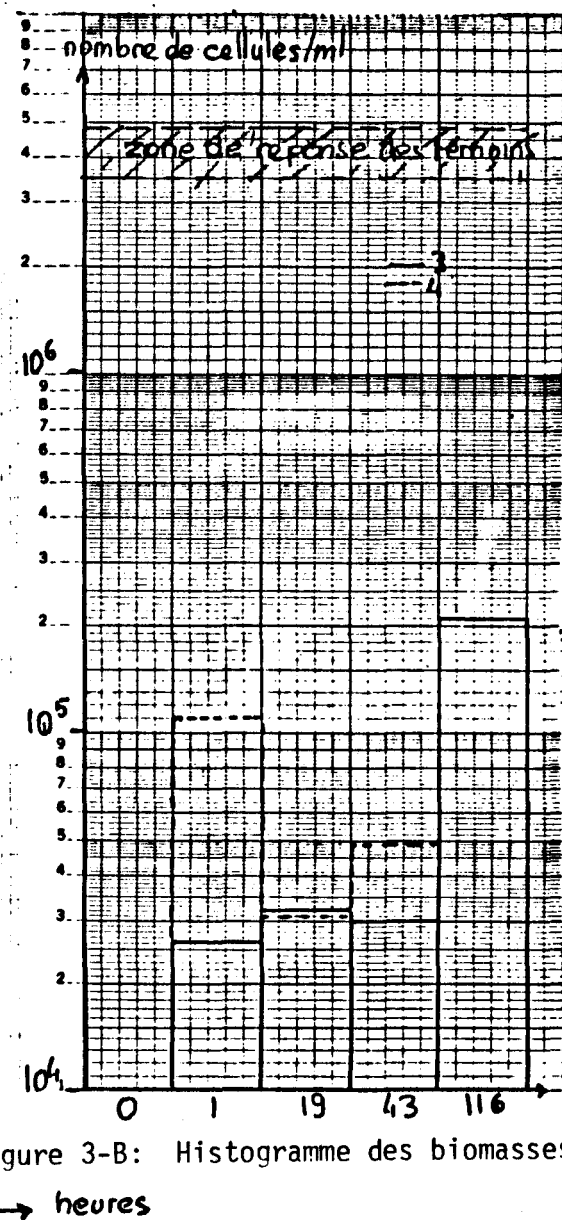


Figure 3-B: Histogramme des biomasses finales

par le traitement. Par contre, le calcium, provenant de la chaux ajoutée (Ca(OH)_2) augmente beaucoup dans le milieu. Il n'y a pas de différence notable entre les résultats des analyses chimiques des deux cuves traitées à la chaux. Au contraire, les tests de fertilité semblent moins reproductibles (tableaux 5 et 6). Le tableau 6 présente les résultats des tests de fertilité avec les algues unicellulaires Selenastrum capricornutum. Les quantités de phosphore total ont été remesurées avant d'ensemencer le milieu (purin dilué) avec les algues. On explique les différences avec les teneurs du tableau 4 par le temps d'entreposage et les manipulations (dilutions, filtrations) qu'ont subies les échantillons et qui ont pu modifier l'équilibre établi dans les cuves. Ces dernières mesures ont servi à calculer les potentiels de fertilité (PF cal) et les taux de croissance maximum (μ max cal). Ainsi, dans le cas du traitement à la chaux, on peut penser que c'est pour cette raison que les variations des concentrations en phosphore ne sont pas les mêmes que celles des biomasses finales (figure 3-B). Les potentiels de fertilité et les taux de croissance maximum sont très inférieurs à ceux des échantillons de purin naturel. Les PF mesurés varient entre 2020 et 506, contre 45 000 pour les témoins sans précipitant, et les μ max mesurés entre 0,092 et 1,07. Les rapports PF calculé/PF mesuré et μ max calculé/ μ max mesuré sont largement supérieur à 1. Cela indiquerait un effet inhibiteur de la chaux sur les algues.

4.2 Le traitement du purin à l'alun

Le pH, initialement de 7,6, passe à 6,3 après l'addition du sulfate d'aluminium, puis remonte et se maintient à 7 jusqu'à la fin de l'expérimentation. En accord avec les renseignements de la littérature concernant l'alun, la précipitation optimale est obtenue à pH = 6,3. Si on observe l'évolution des concentrations en phosphore total dans le temps (tableau 4 et figure 4-A), cela correspond à une période comprise entre 1 heure et 43 ou 60 heures de traitement suivant la cuve. La précipitation est très efficace puisque 97% du phosphore sont insolubilisés. La concentration en phosphore total passe de 180 ppm à 6 ppm au maximum durant cette phase. Par la suite, entre 50 et 110 heures, environ 5% du phosphore retournent à l'état soluble, mais au dernier échantillonnage (116 heures de traitement) la concentration est à nouveau inférieure à 6 ppm. Le traitement à l'alun ne

Tableau 5: Croissance de *Sélénistrum capricornutum*.

paramètre traitement	durée du traitement (h)	nombre de cellules x 10 ³ par ml																			
		jour 0		jour 1		jour 2		jour 3		jour 4		jour 5		jour 7		jour 9		jour 11		jour 14	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
cuves témoins (1ère série)	0	20		68		430		1 800		2 600		3 500		4 400		4 700		4 800		-	
	43	33	30	51	45	280	250	1 400	1 300	2 300	2 200	3 300	3 100	4 100	3 700	4 300	400	4 400	4 200	4 600	4 200
	116	21		74		360		1 200		1 900		2 100		2 900		3 300		3 400		3 500	
chaux		3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4
	1	23	20	23	53	26	88	27	100	27	110	27	110	26	110	-	-	-	-	-	-
	19	29	22	35	22	34	33	33	38	32	34	-	31	-	31	-	-	-	-	-	-
	43	29	32	32	36	29	52	29	55	30	49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
116	21		61		160		190		220		210		-		-		-		-		
alun		5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6
	0		21		67		400		1 700		2 500		3 900		4 700		5 000		5 200		-
	1	19	22	17	25	26	30	25	26	30	26	32	28	32	28	-	-	-	-	-	-
	19	30	31	32	31	31	33	29	30	28	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	43	30	28	31	33	30	32	31	29	27	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
116	24		41		42		54		57		54		-		-		-		-		
cuves témoins (2ième série)		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	0	21	22	69	66	280	290	760	800	1 300	1 000	1 500	1 200	1 700	1 400	1 900	1 400	1 900	1 400	2 000	1 500
	45	24	23	68	66	270	250	800	690	1 200	1 100	1 300	1 300	1 400	1 400	1 600	1 500	1 600	1 500	1 700	1 600
118	22		69		290		610		880		1 000		1 100		1 200		1 200		1 300		
zirconium		3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4
	0	23	24	47	48	84	78	88	130	61	130	57	130	-	-	-	-	-	-	-	-
	1	24	21	41	44	56	57	86	85	93	86	91	73	-	-	-	-	-	-	-	-
	19	19	23	38	48	37	55	42	57	40	58	41	61	-	-	-	-	-	-	-	-
	45	23	21	49	51	55	62	59	60	58	63	56	67	-	-	-	-	-	-	-	-
118	22	21	57	60	79	110	88	180	100	180	110	190	-	-	-	-	-	-	-	-	

Tableau 6: Tests avec l'algue Sélénistrum capricornutum.

paramètre traitement	durée du traitement (h)	[P _{total}] (ppm)		PF mesuré		PF calculé PF mesuré		μ max mesuré		μ max cal μ max mes	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
cuves témoins (1ère série)	0	206		41 400		2,1		1,84		0,85	
	43	154	125	52 900	50 600	1,3	1,05	1,70	1,71	0,89	0,85
	116	153		43 700		1,5		1,58		0,95	
chaux		3	4	3	4	3	4	3	4	3	4
	1	25	12	529	2 020	20,32	2,6	0,123	0,975	5,00	1,10
	19	41	25	805	506	21,90	34,84	0,188	0,405	8,73	3,00
	43	30	25	736	828	17,52	12,90	0,098	0,368	25,20	3,30
116	40		3 680		4,70		1,070		1,20		
alun		5	6	5	6	5	6	5	6	5	6
	0		204		57 600		1,52		1,790		N.D.
	1	3,0	1	437	506	N.D.	N.D.	0,425	0,182	3,0	N.D.
	19	0,6	0,4	736	713	N.D.	N.D.	0,065	0,063	N.D.	N.D.
	43	1,0	0,6	690	759	N.D.	N.D.	0,033	0,164	N.D.	N.D.
116	9,0		920		N.D.		0,536		1,8		
cuves témoins (2ième série)		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	0	158	143	15 960	16 800	4,30	3,70	1,40	1,48	1,07	1,01
	45	100	92	16 800	14 700	2,60	2,70	1,38	1,33	1,04	1,07
118	119		18 480		2,70		1,44		1,01		
zirconium		3	4	3	4	3	4	3	4	3	4
	0	3	25	1 800	1 638	N.D.	6,60	0,715	0,693	1,01	1,80
	1	32	43	1 176	1 176	11,70	15,70	0,536	0,740	2,36	1,77
	19	3	3	798	1 155	N.D.	N.D.	0,693	0,736	1,00	0,98
	45	2	3	1 000	1 050	N.D.	N.D.	0,756	0,887	0,92	0,81
	118	19	33	1 638	2 310	5,00	6,14	0,952	1,050	1,21	1,22

N.D.: non disponible.

TRAITEMENT A L'ALUM

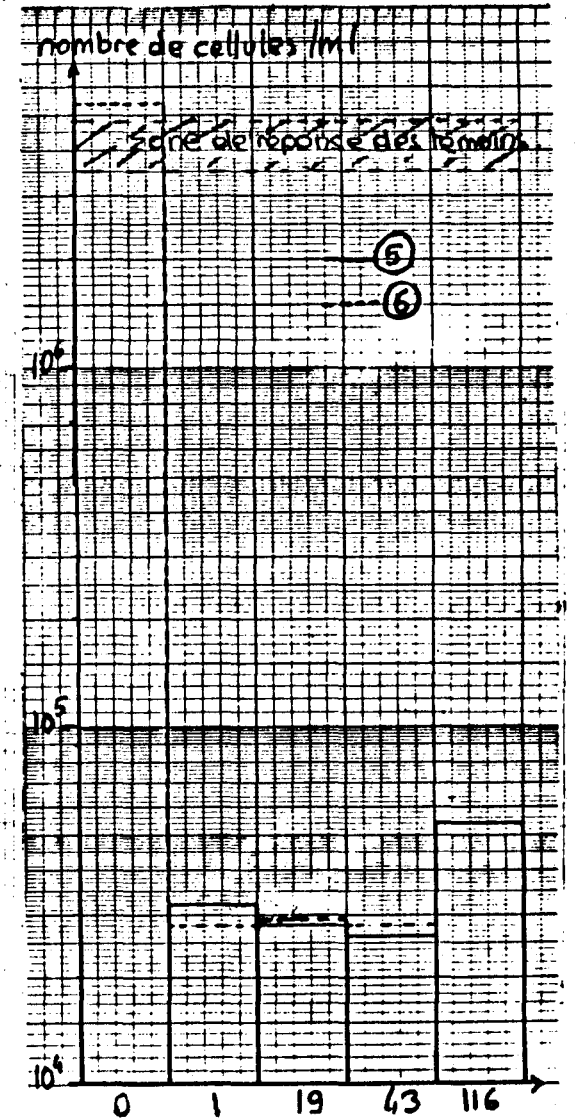
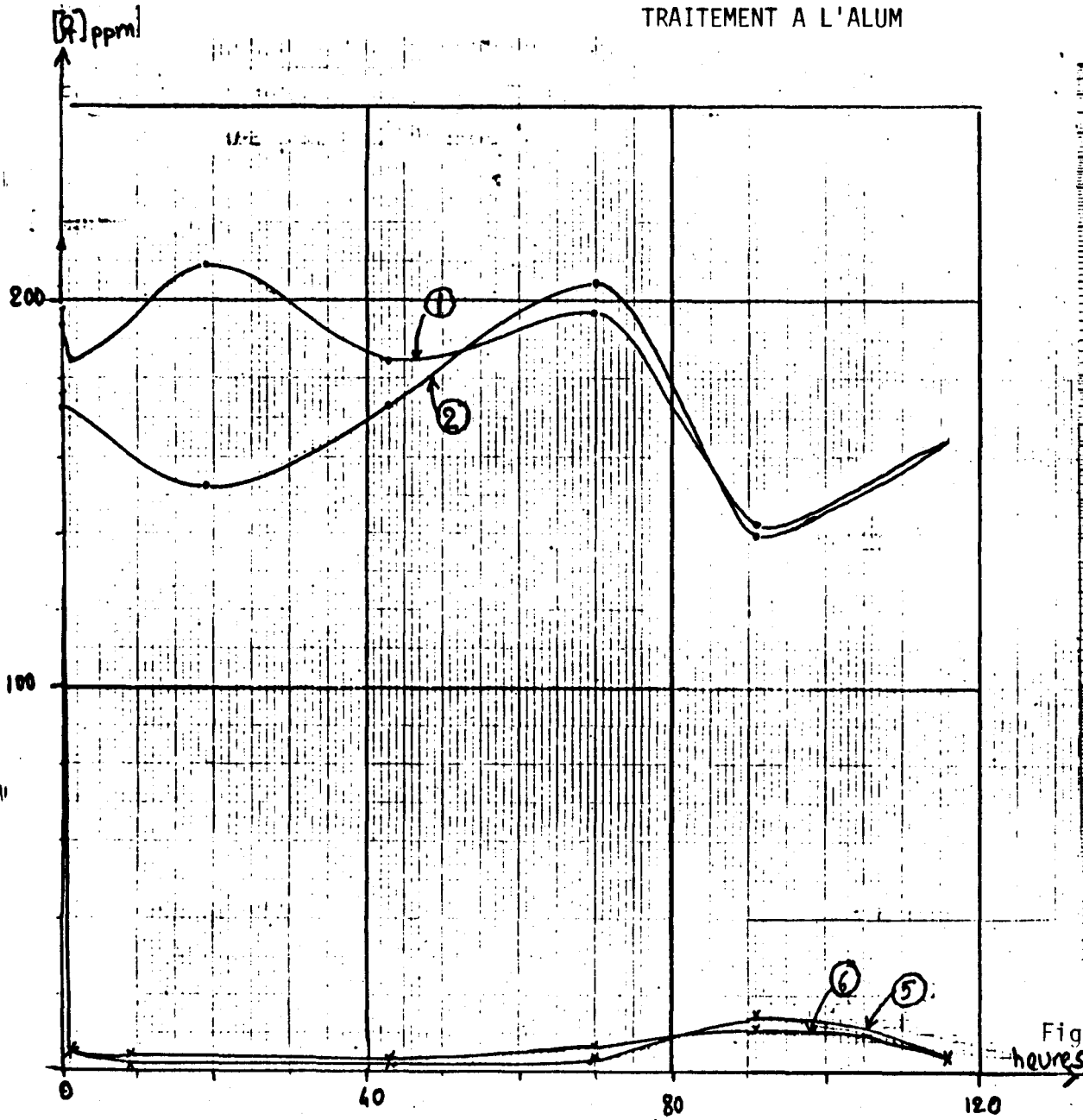


Figure 4-A: Evolution de $[P_{total}]$ dans le surnageant de purin (1ère série)

Figure 4-B: Histogramme de biomasses finales

semble pas affecter les teneurs en azote ammoniacal, par contre la concentration en calcium diminue d'environ deux tiers, tandis que celle de magnésium augmente d'environ 90%. Il est important de noter que les résultats des deux cuves sont comparables. Les biomasses finales (figure 4-B), ou les potentiels de fertilité (tableau 6), ou encore les courbes de croissances (figure 7 et tableau 5) montrent une diminution importante de la croissance dans les milieux traités à l'alun. Après une heure de traitement, la fertilité a déjà diminué et varie peu pendant les 50 heures qui suivent. Les potentiels de fertilité varient entre 920 et 437, alors que pour le purin naturel ils sont de l'ordre de 45 000. Les taux de croissance (μ_{\max} mesuré) les plus faibles sont obtenus entre 19 et 43 heures; or, c'est à ce moment que les concentrations en phosphore dissous sont les plus faibles. μ_{\max} mesuré se trouve entre 0,033 et 0,536 alors que pour les témoins il vaut 1,5 environ. D'après les conclusions des travaux de Shiroyama et al. (1975), la relation $PF_{cal} = 0,43 \times [P]$ n'est plus valable quand la concentration en phosphore est inférieure à 10 $\mu\text{g/l}$, car la concentration en P intracellulaire intervient. Par conséquent, on ne peut établir de rapport PF_{cal}/PF_{mes} dans ce cas, ni conclure sur un effet inhibiteur de l'alun puisqu'avec la dilution au 1/1 000 du purin, toutes les quantités de phosphore dans les milieux de culture sont inférieures à 10 $\mu\text{g/l}$.

4.3 Le traitement du purin au tétrachlorure de zirconium

On ne tient pas compte des analyses de l'échantillonnage au temps 0, celui-ci étant biaisé. En effet, il a été effectué aussitôt après l'ajout de ZrCl_4 et la couche supérieure du purin n'avait pas eu le temps de s'homogénéiser.

Le pH tombe à 6,9 après une heure et à 6,8-6,7 pendant les 50 heures suivantes, puis il remonte au-dessus de 7 après 118 heures de traitement (tableau 4). La courbe des concentrations du phosphore en fonction du temps (figure 5-A) suit les mêmes variations: entre 19 et 45 heures, on a les plus faibles teneurs en phosphore, 10 à 13 ppm, ce qui correspond à respectivement 95 et 98% de phosphore inactivé; puis les teneurs augmentent jusqu'à la fin de l'expérimentation, environ 20% du phosphore retournant à l'état soluble. Le traitement de zirconium ne semble pas affecter les teneurs en

TRAITEMENT AU ZIRCONIUM

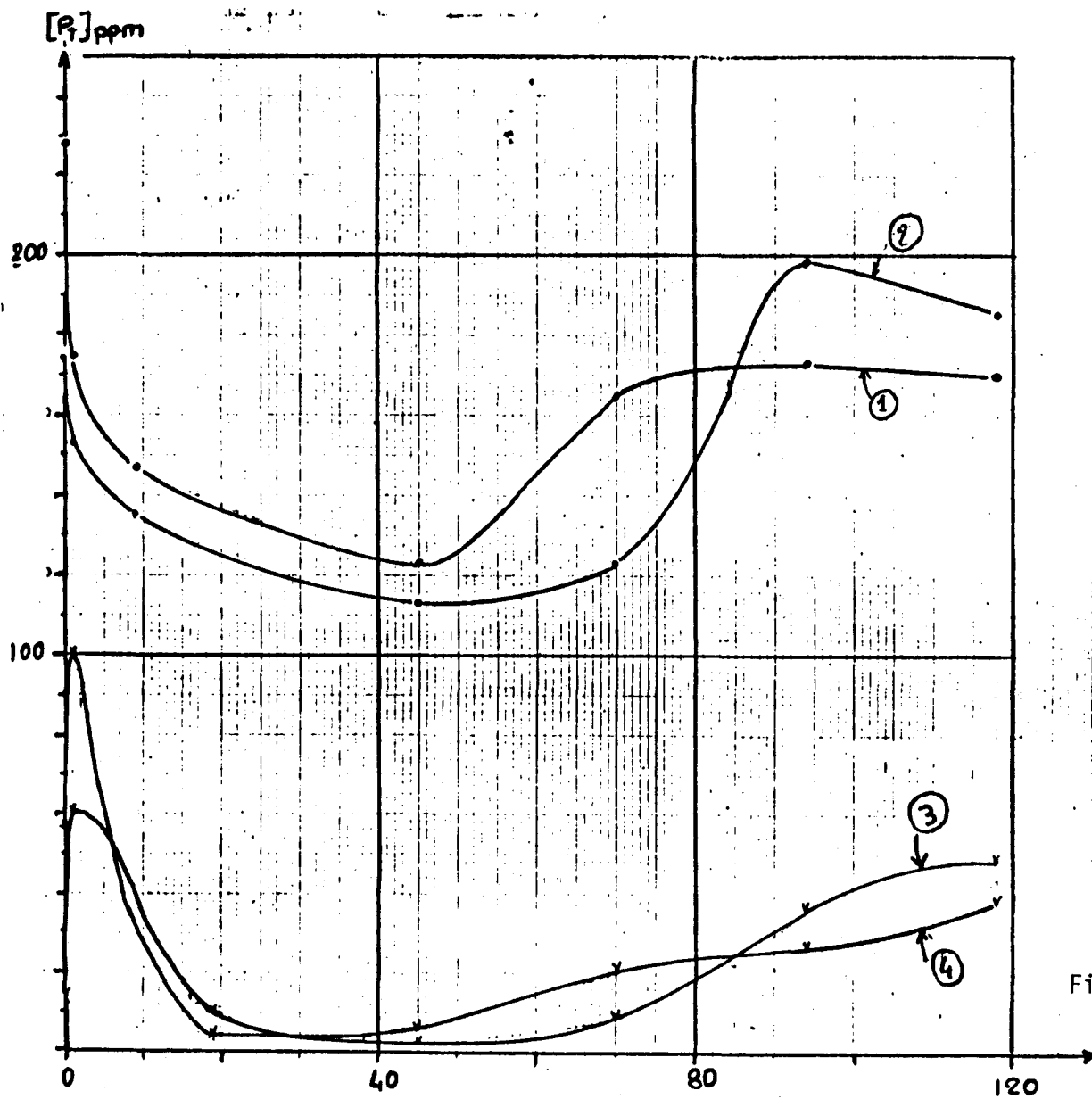


Figure 5-A: Evolution de $[P_{total}]$ dans le surnageant de purin (2e série)

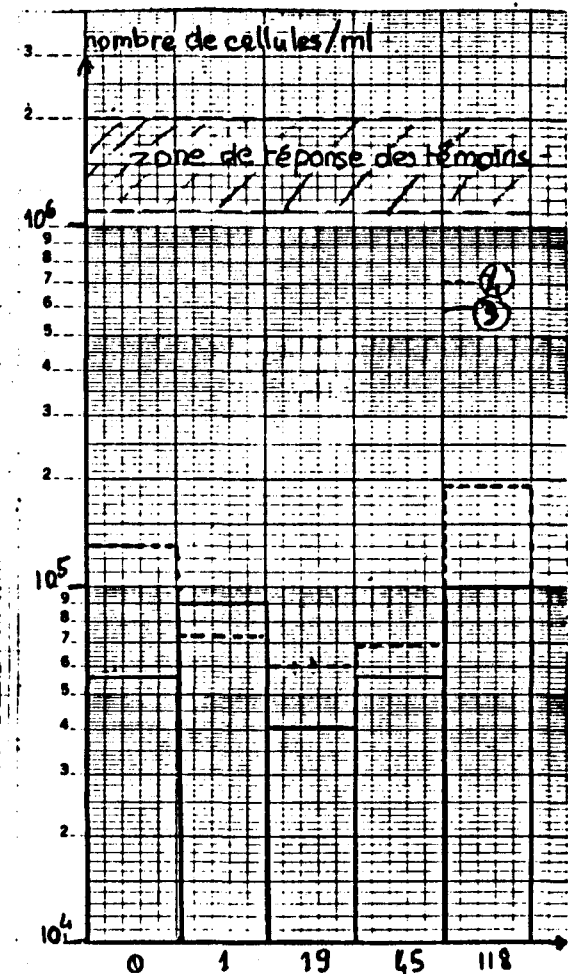


Figure 5-B: Histogramme des biomasses finales

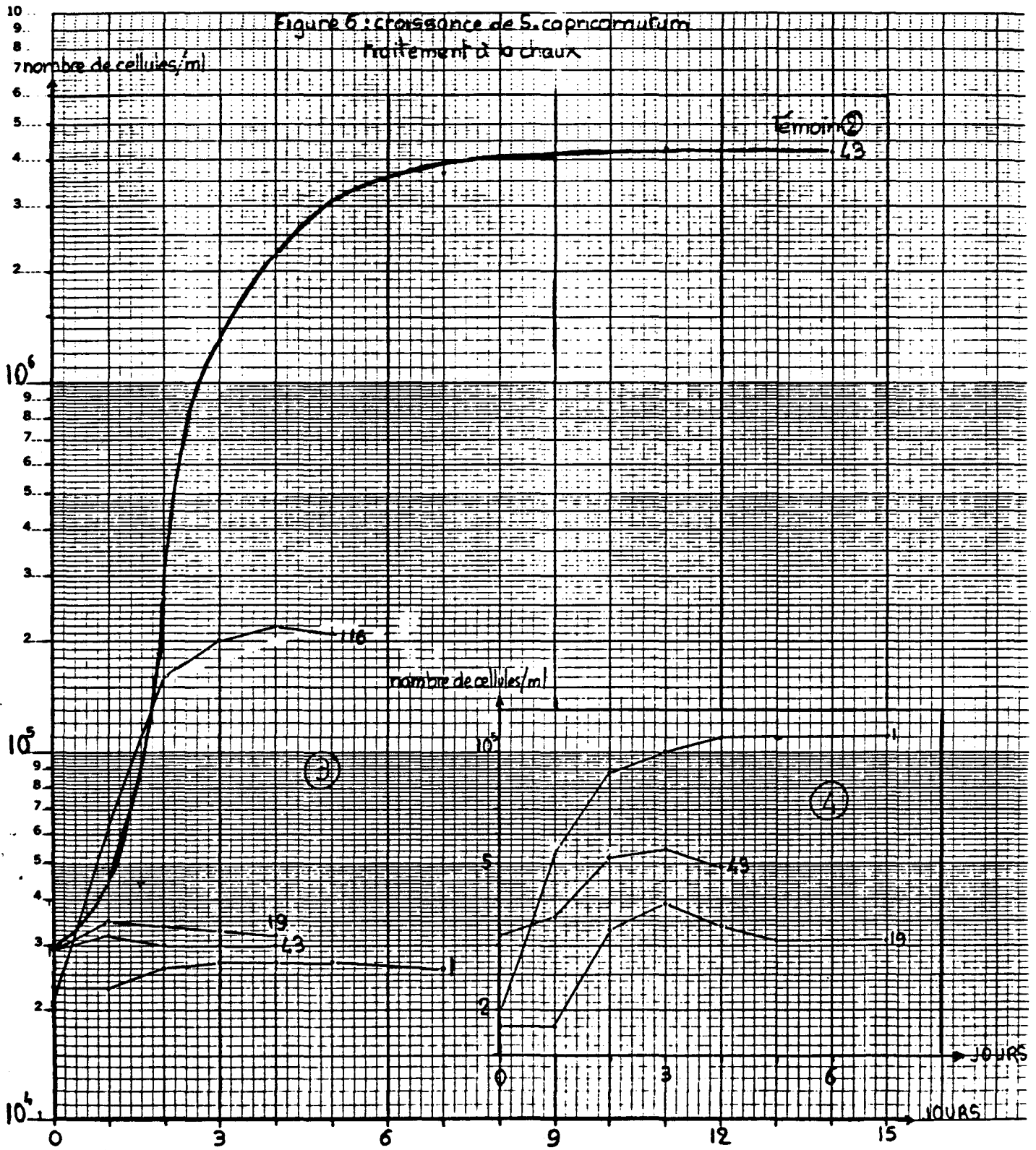


Figure 6: Croissance de *S. Capricornutum*- traitement à la chaux

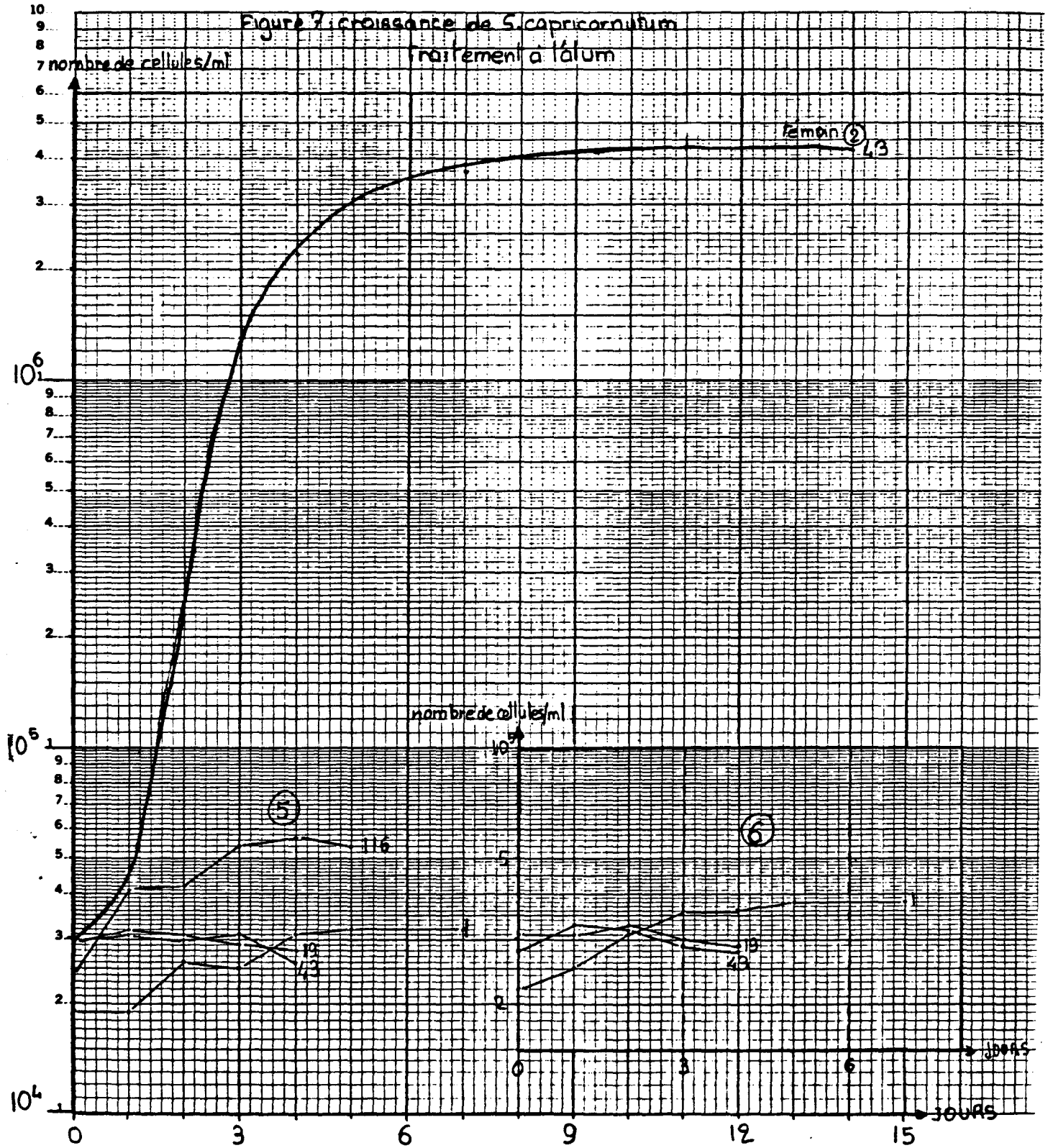


Figure 7: Croissance de *S. Capricornutum* - traitement à l'alum

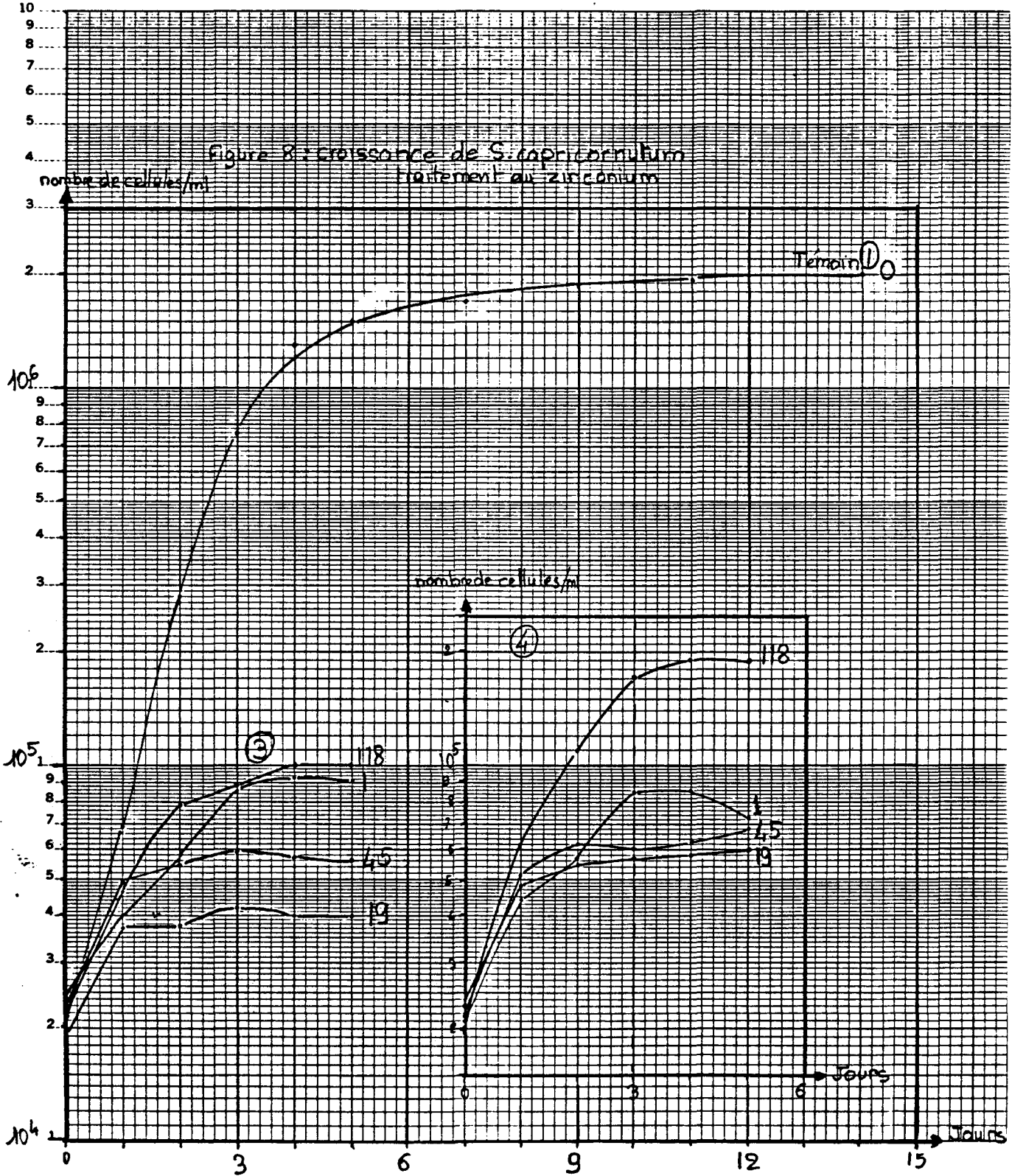


Figure 8: Croissance de *S. Capricornutum* - traitement au Zirconium

ions ammonium et calcium. Par contre, les concentrations de magnésium sont très élevées: de 1 à 5 ppm dans les cuves témoins, elles passent à 16 et 29 ppm dans celles contenant le $ZrCl_4$. D'après les résultats de chacune des deux cuves, on peut dire que la reproductibilité est satisfaisante. L'observation du tableau 6 et des figures 8 et 5-B mène aux mêmes constatations que précédemment, c'est-à-dire que les PF mesurés et les biomasses finales les plus faibles sont obtenues entre 19 et 45 heures. Les PF mesurés sont alors d'environ 1000 puis ils augmentent jusqu'à 2000, ce qui reste très inférieur au potentiel de fertilité moyen du témoin qui vaut 16 500. Les taux de croissance maximum sont plus faibles que pour le purin naturel: 0,775 en moyenne au lieu de 1,04. Pour les mêmes raisons que dans le cas de l'alun, on ne peut conclure sur une éventuelle toxicité du zirconium à défaut de pouvoir calculer le PF d'après la concentration de phosphore dans le milieu de culture.

5. CONCLUSIONS

Le précipitant le plus efficace est l'alun: entre 1 et 50 heures de traitement, 97% du phosphore initialement présent dans la couche supérieure des cuves ont précipité, et par la suite seulement 5% retournent à l'état soluble. Les tests avec les algues confirment que la majeure partie du phosphore n'est plus biodisponible puisque leur croissance est très ralentie par rapport aux échantillons de purin non traité. D'après l'analyse chimique de la précipitation du phosphore par le tétrachlorure de zirconium, il a été obtenu une efficacité aussi bonne qu'avec l'alun mais pendant un temps plus court: entre 19 et 45 heures, 95 à 98% du phosphore ont précipité puis 20% environ retournent à l'état soluble. Par contre, les cultures d'algues semblent montrer que le phosphore biodisponible reste présent en quantité supérieure par rapport aux deux autres traitements puisque les potentiels de fertilité et surtout les taux de croissance maximum sont les plus élevés. De plus, la différence entre les résultats des deux cuves est plus grande que pour l'alun. Les essais avec la chaux se sont avérés les moins efficaces. La précipitation est lente: c'est entre 70 et 116 heures que les résultats sont les meilleurs et seulement 80% du phosphore disparaissent de la phase supérieure du purin. Au contraire, les cultures d'algues semblent montrer que le phosphore biodisponible est moindre que dans les cuves trai-

tées au $ZrCl_4$. En effet, les potentiels de fertilité et les taux de croissance maximum obtenus sont comparables à ceux des échantillons traités à l'alun, quoique légèrement supérieurs.

On ne peut pas se prononcer avec ces seuls tests sur la toxicité éventuelle de l'un ou l'autre des précipitants sur les algues Selenastrum capricornutum, du fait de la disparité des rapports PF cal/PF mes et μ max cal/ μ max mes et de la limite de 10 μ gP/l imposée par les calculs. On constate seulement que les rapports les plus élevés ont été obtenus pour la chaux.

Dans les deux cas de traitement acide (alun et $ZrCl_4$), les concentrations en magnésium ont beaucoup augmentées, alors qu'avec la chaux elles ne sont pas affectées. Les quantités de calcium augmentent dans les cuves traitées à la chaux ce qui signifie qu'une partie de ce qui est ajouté reste à l'état soluble. Elles diminuent dans les cuves traitées à l'alun et sont stables dans le cas du $ZrCl_4$. Par contre, aucun des trois traitements n'a d'effet sur l'azote ammoniacal.

Nous n'avons pas suffisamment de données pour faire un bilan économique d'une telle opération pour chaque précipitant. En effet, les quantités utilisées dans les cuves expérimentales ont été volontairement surestimées afin d'être certain d'obtenir des résultats. Il faudrait, une fois le précipitant choisi, faire des mesures d'efficacité à différentes concentrations. Mais on peut souligner qu'actuellement, l'alun et surtout la chaux sont facilement disponibles tandis que le tétrachlorure de zirconium n'existe pas sur ce marché puisqu'il n'a été utilisé comme précipitant qu'à l'échelle expérimentale. Les prix de ces trois sels dans des formes destinées aux laboratoires sont: 12,4\$ 500 g de chaux, 40\$ 500 g d'alun et 75,6\$ les 500 g de $ZrCl_4$. D'autre part, cette solution ne demande pas d'équipement particulier, il n'y aurait donc que le coût du produit à rentrer en ligne de compte.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Annuaire du Québec 79-80.

Statistique sur l'agriculture: tableau 23, p. 527.

Arvin, E. (1983).

"Observation supporting phosphate removal by biologically mediated chemical precipitation". Wat. Sci. Tech. 15: 43-63.

Azevedo, J. et Stout, P.R. (1974).

"Farms animal manures". Manuel 44, Université de Californie, Agr., Exp. Stat. Davis, Californie, USA.

Boisselle, E.B. (1984).

"Utilisation agricole des fumiers et des boues". Dans: Comptes rendus du 7e Symposium sur le traitement des eaux usées, Montréal, p. 340-349.

Boudreau, J. (1979).

"Impact des pratiques d'élevages intensifs sur la qualité des cours d'eau". Rapport technique, Service de la Protection de l'Environnement, Québec, 120 p.

Cluis, D. et 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.

Conseil Consultatif de l'Environnement. (1981).

"Biomasse, Énergie et Environnement". Avis préparé pour le Ministère de l'Environnement, 131 p.

Jaouich, A. et Pilon, A. (1979).

"L'effet de la décomposition biologique du lisier de porcs par la procédé Fuchs". Pour les Services de Protection de l'Environnement, Québec, 65 p.

Jaouich, A. et Pilon, A. (1981).

"Essai du procédé aérobique et thermophile de traitement du lisier de porcs". Pour les Ministère de l'Environnement du Québec, 112 p.

Jenkins, D., Fergusson, F. and Menar, A.B. (1970).

"Chemical processes for phosphate removal". Water Research, 5: 369-389.

Kumar, H.D. et Rai, L.C. (1978).

"Zirconium-induced precipitation of phosphate as a means of controlling eutrophication". Aquatic Botany, 4: 359-367.

Lee, G.F., Rast, W. et Jones, R.A. (1978).

"Eutrophication of water bodies: insight for an age-old problem". Environmental Science and Technology, 12(9): 900-908.

Loehr, R.C., Praskasam, T.B.S., Srinath, E.G. et Y.D. Joo. (1973).

"Development and demonstration of nutrient removal from animal wastes". Projets no 13040 DPA et 13040 DDG; Office of Research and Monitoring Environmental Protection Agency, Washington, D.C. 20460, pp. 18-52.

Martel, E. (1984).

"Spéciation et biodisponibilité du phosphore contenu dans le surnageant de purin de porcs: comparaison entre l'action de trois précipitants commerciaux". Rapport inédit, INRS-Eau, Québec, 36 p.

Papineau, M. (1984).

"Évaluation de l'effet de l'épandage du lisier de porc sur la qualité des eaux de drainage à l'aide de bio-essais avec l'algue Selenastrum capricornutum". Mémoire de maîtrise es sciences (eau), INRS-Eau, Québec, 102 p.

Sanville, W.D., Powers, C.F., Schuytema, G.S. Stay, F.S., Laver, W.L. (1982).

"Phosphorus inactivation by zirconium in a eutrophic pond". Journal WPCF, 54(5): 434-443.

Shiroyama, T. Miller, W.E. et Greene, J.C. (1975).

"Effect of nitrogen and phosphorus on the growth of Selenastrum capricornutum". Proceedings: Biostimulation and Nutrient Assessment Workshop (1973). 1 et 2. Ecological Research Series, US Environmental Protection Agency, EPA-660/3-75-034, pp. 132-142.

Simmonds, M.A. (1973).

"Experience with algal blooms and the removal of phosphorus from sewage". Water Research, 7: 255-264.

Statistiques agricoles du Québec, bureau de la statistique du Québec.
75-76 / 77-78, 1er juillet 84.

ANNEXE 1: RÉACTIFS UTILISÉS POUR LES ANALYSES CHIMIQUES

1. Dosage du phosphore

- acide sulfurique 4,9N: 136ml d' H_2SO_4 concentré dans 1000 ml d'eau déminéralisée
- molybdate d'ammonium: 40 g de molybdate d'ammonium dans 1000 ml d'eau déminéralisée
- acide ascorbique: 18 g d'acide ascorbique dans 1000 ml d'eau déminéralisée
- antimoine potassium tartrate: 3 g d'antimoine potassium tartrate dans 1000 ml d'eau déminéralisée
- réactif combiné: 50 ml d'acide sulfurique 4,9N, 15 ml de molybdate d'ammonium, 30 ml d'acide ascorbique et 5 ml d'antimoine potassium tartrate
- eau de dilution: ajouter 2 ml de LEVOR IV par litre d'eau déminéralisée

2. Dosage de l'ammoniac

- H_2SO_4 ,5N: pour la purification de l'air: 139 ml d' H_2SO_4 concentré dans 1000 ml d'eau déminéralisée
- phénol alcalin: 200 g de NaOH, 276 ml de phénol liquifié (C_6H_5OH), 1000 ml d'eau et 0,5 ml de BRIJ-35
- hypochlorite de sodium: hypochlorite commercial
- tartrate double de sodium et de potassium: 150 g de tartrate de potassium et de sodium, 1000 ml d'eau et 0,5 ml de BRIJ-35

3. Dosage du calcium et du magnésium

- KCl 2000 ppm: 3,814 g de KCl dans 1000 ml d'eau déminéralisée

ANNEXE 2: LES BIOESSAIS

1. Composition du milieu nutritif 1 AAP

	Solution mère	Milieu de culture	
Macroéléments	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	
NaNO ₃	25,500	4,200	(N)
NaHCO ₃	15,000	11,001	(Na)
		2,143	(C)
K ₂ HPO ₄	1,044	0,469	(K)
		0,186	(P)
MgSO ₄ .7H ₂ O	14,700	1,911	(S)
MgCl ₂ .6H ₂ O	12,170	2,904	(Mg)
CaCl ₂ .2H ₂ O	4,410	1,202	(Ca)
Microéléments	µg.l ⁻¹	µg.l ⁻¹	
H ₃ BO ₃	185,520	32,460	(B)
MnCl ₂ .4H ₂ O	415,600	115,374	(Mn)
ZnCl ₂	3,336	0,160	(Zn)
CoCl ₂ .6H ₂ O	1,542	0,070	(Co)
CuCl ₂	0,009	0,004	(Cu)
Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	7,260	2,878	(Mo)
FeSO ₄	1,496	0,550	(Fe)

2. Compteur de particules "Coulter Counter" Model TA

- cellule: 0,70 µm
- solution électrolyte: isoton: 1% NaCl + 0,1% NaN₃ dans eau millipore
- l'échantillon est dilué au 1/20 dans l'isoton, soit 1 ml de culture dans 19 ml d'isoton. Lors du comptage, 0,5 ml est aspiré, donc au total on a une dilution au 1/40 de la culture d'algue.