

QUALITE DES EAUX DE SURFACE DU QUEBEC

RAPPORT D'ACTIVITES

PAR: Michel Meybeck
Henri Durocher

GROUPE: Simulation et synthèse des écoulements

Mai-août 1972

Centre québécois des sciences de l'eau

TABLE DES MATIERES

	Page
INTRODUCTION	1
<u>CHAPITRE 1</u> : Qualité générale des eaux du Québec	
1.1 Caractères physiques généraux	3
1.2 Les facteurs de qualité	7
<u>CHAPITRE 2</u> : Etude qualitative du chimisme des eaux	
2.1 Généralités	13
2.2 Relation conductivité-concentration	
2.2.1 - Relation conductivité-concentration globale	16
2.2.2 - Relation conductivité-concentration de chaque ion	20
2.3 Variation de la concentration avec le débit	22
2.3.1 - Problème de l'échantillonnage	22
2.3.2 - Variation de la conductivité avec le débit	24
2.3.3 - Variation de la concentration de chacun des éléments avec le débit	28

	Page
2.4 Variation annuelle	30
2.5 Cycles de crues	34
2.6 Variations aléatoires	37
2.7 Bilans	39
<u>CHAPITRE 3</u> : Etude chimique des étiages	
3.1 Généralités	40
3.2 Application à la Eaton	
3.2.1 - Dilution et étiage	42
3.2.2 - Pollution et étiage	42
3.3.3 - Etudes futures	43
CONCLUSION	44

INTRODUCTION

Au sein du groupe "Simulation et synthèse des écoulements" nous avons mandat d'étudier la qualité chimique des étiages (voir rapport du 24 Mai 1972). Néanmoins nous nous sommes aperçus que nous ne pouvions pas dissocier l'étude hydrochimique des étiages de l'étude générale de la rivière pendant tout le cycle annuel. De plus, dans le groupe "qualité" une demande était faite pour estimer la qualité chimique des eaux de surface naturelles dans toute la province, aussi nous avons commencé une étude générale du chimisme des eaux portant sur les points principaux suivants:

- Qualité chimique générale des eaux du Québec en relation avec la géologie (structure, lithologie)
physiographie (altitudes, pentes)
climatologie (précipitations, températures, évapotranspiration)
hydrologie (débit spécifique, régime, % lacs, déficit d'écoulement)
- Etude qualitative du chimisme des eaux courantes: variations en fonction du débit, variations cycliques (crues, saisons, année)
Variations aléatoires.
- Etude chimique des étiages en hiver et en été avec une application spéciale au bassin de la rivière Eaton.

Pour se faire, nous disposons des éléments suivants: en géologie cartes et publications du Ministère des Richesses Naturelles (MRN) et du Ministère Mines Energies et Ressources (MER), en physiographie les données de la banque physiographique plus des informations recueillies au MRN, en climatologie les rapports MRN et MER, enfin en hydrologie

l'annuaire hydrologique et les débits instantanés à l'instant du prélèvement fournis par le MRN. Pour la qualité des eaux, nous disposons des annuaires qualité des eaux 1968 et 1969 - soit un an et demi d'analyses - publiées par le MRN, nous attendons en outre de ce dernier les analyses 1970 voir 1971 sur certaines rivières. Enfin nous avons fait prélever la crue de fonte des neiges d'Avril Mai 1972 sur le bassin Eaton, les analyses ont été faites par le MRN. Jusqu'ici les éléments qui nous ont intéressés sont les suivants: conductivité, Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄, HCO₃, NO₃. Les éléments nutritifs comme NO₂, NH₄, phosphates ne seront examinés qu'après publication des rapports du MRN en Limnologie.

CHAPITRE 1: QUALITE GENERALE DES EAUX DU QUEBEC

1.1 CARACTERES PHYSIQUES GENERAUX

Il y a trois régions géologiques majeures au Québec:

Bouclier Canadien antécambrien (antérieur à 600 millions d'années), situé au nord d'une ligne Québec-LaChute, il constitue plus de 90% de la province. Il s'agit essentiellement de roches cristallines très dures (granites, gneiss, roches métamorphiques). A la période quaternaire, les glaciations successives ont complètement décapé la partie supérieure altérée de la roche aussi ne reste-t-il que la roche très saine - donc peu érodible. La dernière glaciation Wisconsin a déposé par endroits des plaques de dépôts quaternaires, glaciaires et fleuvioglaciacaires peu épais surtout dans les vallées.

Basses Terres du St-Laurent: roches sédimentaires (calcaires et grès) d'âge primaire (surtout Ordovicien), peu plissées, elles sont recouvertes de dépôts quaternaires mannet lacustres importants.

Appalaches: mélange de roches cristallines et sédimentaires tertiaires plissées, peu de terrains quaternaires.

La géologie conditionne largement les autres facteurs physiques ainsi on distingue principalement les provinces physiographiques suivantes dont les limites sont souvent celles des provinces géologiques.

- Appalaches: chaîne de montagnes à la topographie chahutée particulièrement en Gaspésie où les Monts Shickshocks atteignent 4100 pieds.
- Basses Terres du St-Laurent: séparées des précédentes par l'accident de Logan, relief très plat avec des pointements des intrusions Montérégiennes (Mt Ste Hyacinthe etc..) plus dures (essexites, syénites). - La topographie est très douce avec les dépôts d'argile de la mer Champlain.
- Province Laurentienne: constituée essentiellement des Hautes Terres des Laurentides qui correspondent à la série antécambrienne de Grenville.
- Province de James: elle comprend tous les terrains les plus anciens du bouclier, on la divise en plusieurs sous provinces: Hautes Terres d'Abitibi, Basses Terres

de l'Eastmain, collines de Mistassini, et une série de plateaux ("Lake Plateau", Larde Plateau, Kaniapiskau Plateau, George Plateau) situés au nord du 50^{ième} parallèle. L'Abitibi et l'Eastmain sont tous deux recouverts d'importants dépôts quaternaires.

Les caractères climatiques du Québec dépendent de trois facteurs, qui sont dans l'ordre d'importance: la latitude, l'éloignement de la mer, l'altitude. Le climat influe directement la végétation aussi est-il commode de prendre celle-ci comme indice: dans les Cantons de l'Est, on a la forêt tempérée (climat continental humide), en se déplaçant vers le Nord, on rencontre ensuite la taïga (climat subarctique) pour la toundra (climat arctique) à partir du 55°N. Le climat des Laurentides près de Québec et des Monts Shickshocks en Gaspésie est plus rude que le laisserait prévoir la latitude, l'effet de relief joue alors. -

On peut diviser la province en 6 zones climatiques: Agatineau-Montréal - Cantons de l'Est et Rive Sud, puis Laurentides et Monts Shickshocks, Abitibi-Saguenay, zone 50°N-55°N, zone 55°N-60°N, enfin zone du Nouveau Québec après le 60°N. - Les principaux caractères de ces régions sont les suivants:

	Agatineau- Canton Est	Laurentides Gaspésie*	Abitibi Saguenay	50-55°N	55-60°N	Nouveau Québec
température annuelle	40	32-35*	32	27	23	18
"moyenne janvier	12.5	5	0	-7	-10	-12
"moyenne juillet	100	95	93	58	50	43
dernière gelée printemps	15 Mai	1 Juillet	15 Juin	15 Juin	30 Juin	30 Juin
première gelée automne	1 Octobre	15 Août- 1 Sept.*	1 Sept.	1 Sept.	20 Août	1 Août
saison sans gel	140	40-80*	80	80	50	20
précipitation annuelle	40	56-40*	40	30	22	14
hauteur neige "	100	190	120	110	90	70
déficit écoulement	16	12	12	8	5	2

Au point de vue hydrologique, les rivières de la province ont des régimes variés. Dans les Cantons de l'Est, la Mauricie et la Gaspésie, le régime est de type pluvionival avec un maximum principal en Mai, à la fonte des neiges et un maximum secondaire en Novembre. Au Nord du Saguenay jusqu'au Nouveau Québec, les étiages d'hiver sont très prononcés et les débits mensuels présentent un pic unique en Juin-Juillet puis une décroissance régulière (régime nival de plaine). Sur la Baie James, la crue de printemps est beaucoup moins prononcée et il y a un pic secondaire en Octobre. Il faut remarquer que ce sont là des caractères très généraux car le volume d'eau emmagasiné dans les lacs et les marais influe beaucoup sur l'hydrogramme annuel (Il y a couramment 20% de lacs dans les bassins),

Nous donnons ci-dessous les coefficients mensuels pour quelques rivières types (pourcents du débit annuel).

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
St-Maurice	3	3	4	13	25	13	8	6	6	7	7	5
Grande Rivière de la Baleine	4	3	2	3	12	15	13	10	11	12	9	6
George	1	1	1	1	4	37	19	11	11	8	4	2

Le comportement des rivières de la Baie James est difficile à expliquer, sans doute la crue de fonte des neiges est elle amortie par la présence des dépôts quaternaires importants, le maximum secondaire en Octobre correspond lui aux précipitations plus élevées.

1.2 LES FACTEURS DE QUALITE

La qualité des eaux de surface est fonction d'un grand nombre de facteurs dont les plus importants sont dans l'ordre: le climat, le relief, la géologie. Le climat (température et précipitations) conditionne le régime hydrologique notamment l'abondance spécifique; d'une façon générale

les eaux sont plus minéralisées quand le débit spécifique diminue; de plus le climat conditionne la végétation, si celle-ci est abondante elle protégera le substratum rocheux de la dissolution, si celle-ci est absente la roche et les sols seront directement soumis aux altérations. Le relief joue également un grand rôle, la minéralisation est nettement plus forte pour les reliefs accentués (notons que c'est le relief et non l'altitude qui joue), le drainage est peu organisé, la circulation de l'eau est donc plus rapide et l'érosion plus forte. Enfin la lithologie des terrains intervient, elle a peu d'influence sur la minéralisation globale mais surtout sur le type d'eau qui sera formée. Cette influence est maximale dans les régions dénudées (déserts, wamfs escarpés) par contre elle est minime dans les régions à végétation fournie (forêt tropicale, plaines etc...) et à faible relief.

Nous avons vu que le climat du Québec varie de continental humide à arctique, aucun de ces climats n'est très agressif, au contraire au Nord du _____ parallèle, les sols sont gelés en permanence (pergélisol) ce qui les protège des altérations, de plus la couverture végétale est omniprésente et dans la forêt subarctique l'épaisseur de l'humus dépasse souvent 2 pieds. Le relief général du Québec est faible (altitude moyenne 1000 à 2000 pieds), car les terrains sont très anciens et ont été érodés depuis des centaines de millions d'années avec un maximum au quaternaire pendant les périodes glaciaires. D'une façon générale au Nord du St-Laurent, le substratum rocheux est constitué de roches très dures et peu solubles, cristallines et métamorphiques, dont la couche altérée a été complètement décapée par les glaciers laissant affleurer la roche

saine. Au Sud et particulièrement dans les Appalaches, les terrains sont sédimentaires et les roches (schistes, calcaires etc...) sont plus sujets à l'érosion (1000-2000) d'autant que le relief y est plus accentué.

D'une façon générale, il faudra donc s'attendre à des eaux très peu minéralisées, analogues aux eaux finlandaises ou sibériennes, riches en matières organiques.- La minéralisation devrait être plus forte dans les Cantons de l'Est et la Gaspésie en raison du climat plus humide et moins froid, du relief et de la nature du substratum rocheux. -

1.3 LES TYPES D'EAU AU QUEBEC

Les données dont nous disposons consistent essentiellement dans l'Annuaire Hydrologique du Québec, section Qualité des Eaux. On y trouve pour une vingtaine de rivières situées au Sud du 50° N les analyses des éléments majeurs (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , NO_3^- , parfois SiO_2) pendant toute l'année. Les échantillons prélevés sont mélangés si leur conductivité diffère de moins de 10%, il y a donc une cinquantaine d'analyses par an pour chaque rivière, la plupart du temps sur des échantillons composites. En ne considérant que les concentrations moyennes telles qu'elles sont définies dans l'Annuaire Hydrographique on peut faire les constatations suivantes.

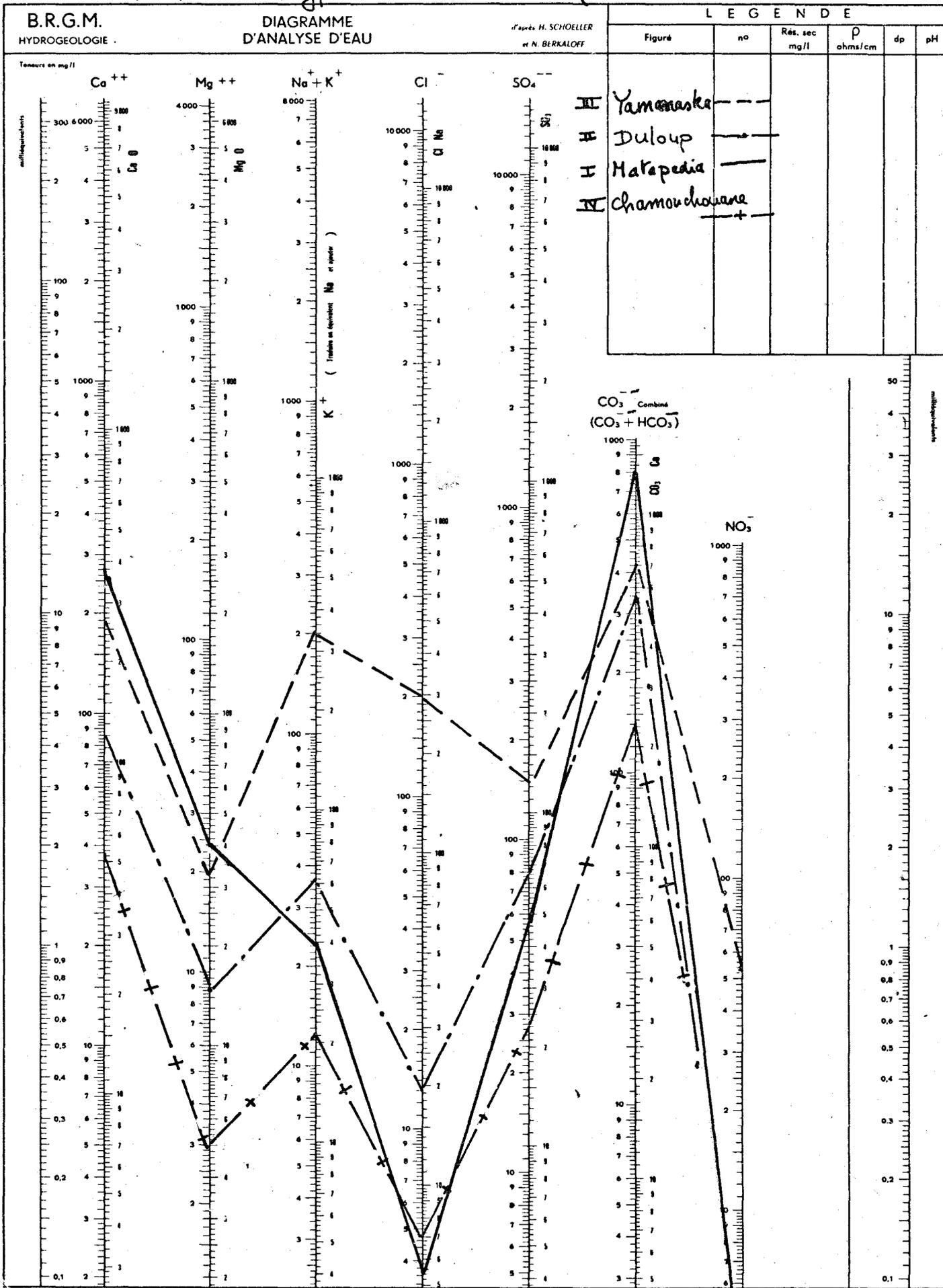
- Les eaux du Québec sont généralement peu

minéralisées (de 20 mg/l à 135 mg/l)

- Les eaux sont toujours bicarbonatées calciques.
En outre, on peut distinguer facilement quatre types principaux de rivières:
- Gaspésie: minéralisation relativement élevée (70 mg/l à 120 mg/l) due essentiellement au calcium et aux bicarbonates (85% des sels dissous). - Rivières Matapédia, York, St Anne de Gaspésie, Matane, Rimouski.
- Cantons de l'Est: minéralisation moyenne (40 mg/l à 80 mg/l) à prédominance de calcium et de bicarbonates. - Rivières Duloup, Chaudière, St François, Eaton.
- Basses Terres du St-Laurent: minéralisation élevée (140 mg/l) prédominance de Ca^{++} et HCO_3^- , mais aussi fortes valeurs en Na^+ , Cl^- et SO_4^{--} - Rivières Yamaska et Chateauguay.
- Bouclier Canadien: faible minéralisation (20 à 40 mg/l), due surtout à Ca^{++} et HCO_3^- , eaux acides, riches en matières organiques dissoutes. - Rivières Des Outaouais, St Maurice, St Anne de la Pérade, St Charles, Chamouchouane, Saguenay, Harricana, Ruisseau des Eaux-Volées.

Ces différences s'expliquent très bien par les constatations que nous avons faites auparavant: les eaux des régions montagneuses, sédimentaires et à climat continental humide de la Gaspésie et des Cantons de l'Est sont les plus chargées. Par contre celles du Bouclier, soumises à un climat arctique et subarctique, recouvertes de forêt et de faible relief sont très peu minéralisées. - Les teneurs élevées en Na et Cl rencontrées dans les Basses Terres proviennent sans doute des terrains salés laissés par la mer Champlain et aussi des eaux souterraines notamment celles des niveaux d'ardoises. - (On retrouve les mêmes caractères chimiques en Ontario dans les Basses Terres)-

P. Quebec 4 types d'eaux courants (Valeurs à diviser par 10)



CHAPITRE 2: ETUDE QUALITATIVE DU CHIMISME DES EAUX.

2.1 GENERALITES

L'étude entreprise s'est limitée à l'analyse des paramètres suivants: concentration des ions suivants (en mg/l): Ca, Mg, Na, K, HCO_3 , SO_4 , Cl, NO_3 ; salinité ou concentration globale (mg/l) qui est la somme des concentrations de chacun des ions; conductivité ($\mu\text{mhos/cm}$) à 25°C.

Les données disponibles sont celles de 1968 et 1969. Nous attendons les données de 1970 et 1971 qui nous seront bientôt transmises par le MRN.

L'étude veut couvrir le mieux possible la province de Québec. Pour cela, en tenant compte des données disponibles, nous avons choisi les 19 rivières qu'on retrouve dans le tableau 1.

Tableau 1: LISTE DES RIVIERES ETUDIEES avec leurs stations correspondantes.

Région	Rivière	Station de mesure des débits		Station de qualité	
		Numéro de la station	Superficie du Bassin Versant (mi ²)	Numéro de la station	Superficie du Bassin Versant(mi ²)
Gaspésie	Matapédia	011507	1070	01150 A	1440
	York	020401	390	02040 A	390
	Ste-Anne de Gaspésie	021405	304	02140 B	304
	Matane	021601	636	02160 A	636
	Rimouski	022003	612	02200 A	612
Cantons de l'Est	Du Loup	022513	401	02250 A	490
	Chaudière	023402	2250	02340 A	2250
	St-François	030203	3710	03020 A	3710
	Eaton	030234	248	03020 X	225
Basses-Terres du St-Laurent	Yamaska	030302	491	03030 B	491
	Chateauguay	030901	951	03090 A	951
30 Lier Canadien	Des Outaouais	043118	55,200	04310 A	55,200
	St-Maurice	050115	16,300	05010 A	16,600
	Ste-Anne de la Pérade	050408	599	05040 A	599
	St-Charles	050904	138	05090 A	130
	R. Des Eaux-Volées	051003	3.54	05100 B	3.54
	Chamouchouane	061901	5920	06190 A	5920
	Saguenay	062901	28200	06290 B	
	Harri cana	080101	1420	08010 A	1420

On notera que les rivières Matapédia, Du Loup, Eaton, St-Maurice, St-Charles et Saguenay ont des stations différentes pour la qualité et les débits. Ainsi, il faudra extrapoler pour trouver le débit qui passe à la station de qualité. La méthode employée sera de travailler avec des débits spécifiques; cette extrapolation est bonne pour les stations qui ne sont pas trop éloignées l'une de l'autre (Eaton, St-Maurice, St-Charles) mais pour la Matapédia et la Du Loup, l'erreur sera plus grande.

Il faut aussi remarquer que plusieurs de ces rivières ont leurs débits influencés sensiblement par l'homme. C'est ainsi qu'on définit dans l'annuaire hydrologique la nature des débits: "Le régime d'un cours d'eau est influencé si l'exploitation de tout ouvrage de retenue modifie les conditions naturelles de l'écoulement. On considère les débits journaliers influencés lorsque les variations journalières de la retenue n'affectent pas les valeurs moyennes mensuelles; dans le cas contraire, les débits mensuels sont influencés." Dans les rivières qui nous intéressent, la Du Loup, le St-François, la Yamaska, la Des Outaouais, le St-Maurice, le St-Charles et la Saguenay ont leurs débits mensuels influencés; la Matapédia, la Matane, la Chaudière, la Chateauguy et la Ste-Anne de la Pérade ont leurs débits journaliers influencés. Notre but étant d'étudier le régime naturel des cours d'eau à la grandeur de la province, nous étudierons plus en détail les rivières de chaque région dont les débits sont les moins influencés: la York en Gaspésie, la Eaton dans les Cantons de l'Est, la Chateauguy dans les Basses-Terres du St-Laurent, la Sainte-Anne de la Pérade, la Chamouchouane et l'Harricana dans le Bouclier Canadien.

2.2 RELATION CONDUCTIVITE-CONCENTRATION

2.2.1 RELATION CONDUCTIVITE-CONCENTRATION GLOBALE

La conductivité est la capacité de conduire un courant électrique. Cette propriété est liée à la quantité de sels minéraux dissous dans l'eau.

La relation trouvée graphiquement entre S (concentration globale ou salinité en mg/l) et X (conductivité à 25⁰ C en micromhos cm⁻¹) est généralement sous la forme (DURUM, 1953):

$$S = k X + z$$

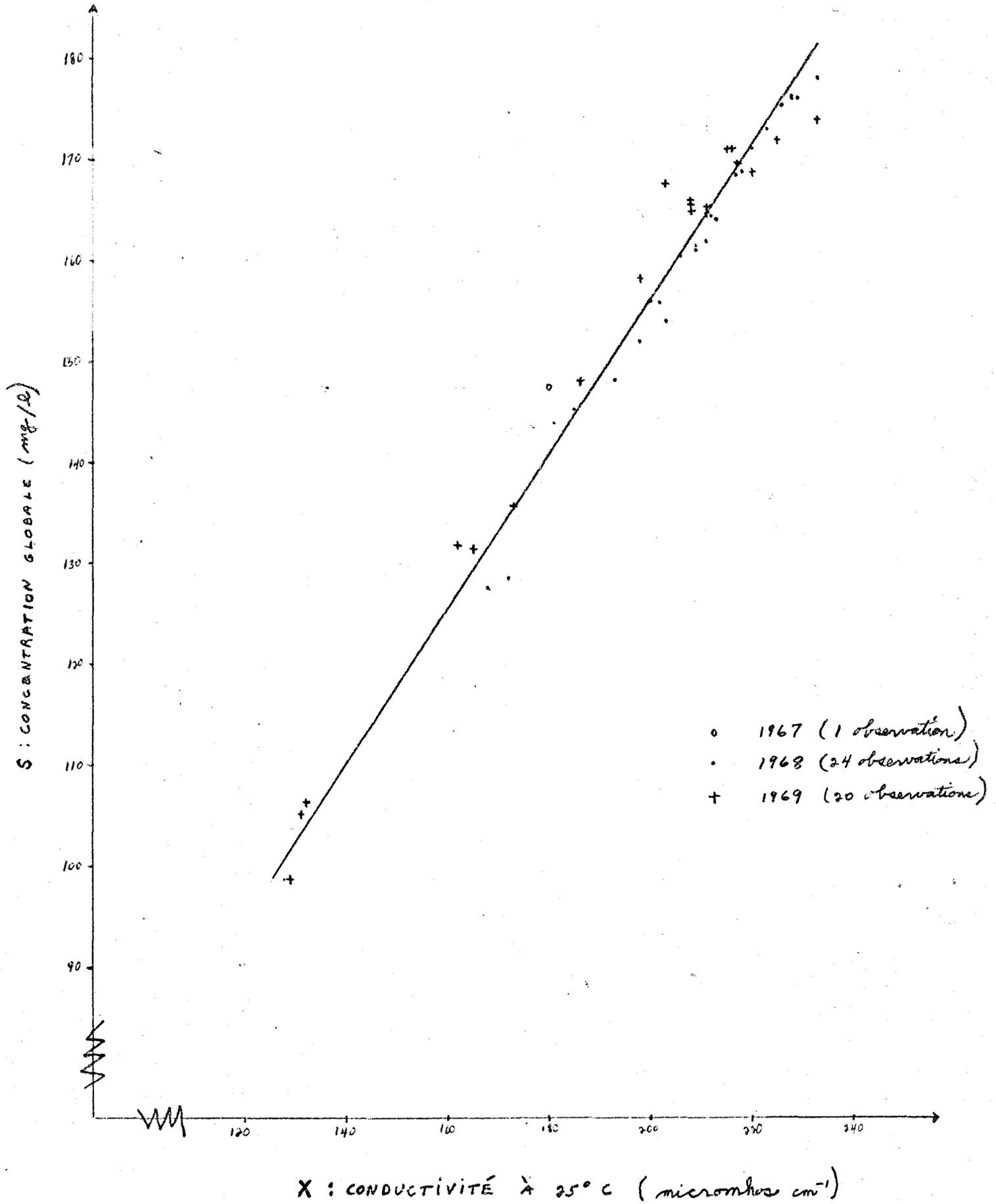
Le graphique 1 représente la conductivité X en abscisse et la salinité S en ordonnée pour la York (45 observations). La courbe ainsi obtenue est une droite de la forme $S = kX + z$ mais qui a une légère courbure dans le haut. Ce léger changement de pente vient du fait que les proportions des ions ne sont pas toujours les mêmes (on sait que chaque ion n'a pas la même conductivité). Considérant en plus que théoriquement la conductivité devrait être nulle quand la concentration l'est, la relation conductivité-concentration peut être de la forme (proposée par LEDBETTER ET GLOYA):

$$S = k X + zX^2$$

z étant de l'ordre de 10^{-4}

Nous avons donc trouver pour 6 rivières la relation conductivité-concentration globale en utilisant la méthode des moindres carrés. Les équations trouvées apparaissent dans le tableau 11.

GRAPHIQUE I : CONCENTRATION GLOBALE NS CONDUCTIVITÉ
 : YORK (02040A)



: X (en micromhos cm^{-1} à 25° C) et S (en mg/l)

Rivière	Station	Nombre d'observations	Equation	Coefficient de corrélation
ork	02040 A	45	$S = .739 X + 8.15$	.988
			$S = .836 X - 2.76 * 10^{-4} X^2$	.988
aton	03020 X	71	$S = .761 X + .842$	.995
			$S = .785 X - 1.26 * 10^{-4} X^2$	.995
ateauguay	03090 A	70	$S = .695 X + 10.1$	.989
			$S = .753 X - 6.65 * 10^{-5} X^2$	.988
ainte-Anne e la Pérade	05040 A	61	$S = .758 X - .754$	.939
			$S = .723 X + 2.26 * 10^{-4} X^2$	.938
hamouchoua-	06190 A	46	$S = 1.00 X - 7.01$	.959
			$S = .565 X + 6.63 * 10^{-3} X^2$	.960
aricana	08010 A	56	$S = .772 X - 3.11$	.940
			$S = .667 X + 8.49 * 10^{-4} X^2$	.942

La relation conductivité-concentration globale est donc très bonne (coefficient de corrélation entre .94 à .99). Ainsi, la conductivité peut servir de mesure de la concentration globale des sels minéraux : il suffit de connaître la relation mathématique entre S et X. Nous pouvons donc à partir de cette relation déterminer la salinité à partir de la conductivité.

Dans la suite de notre étude, on utilisera de préférence, la conductivité à la place de la salinité puisqu'on a les mesures de conductivité journalière et même certains enregistrements (qu'on attend du MRN).

2.2.2 RELATION CONDUCTIVITE-CONCENTRATION DE CHAQUE ION

La relation conductivité-concentration globale étant très bonne, nous avons essayé de trouver les équations pouvant décrire la relation conductivité-concentration C de chaque ion: nous avons conservé les deux formes déjà utilisées: $C = k X + Z$ et $C = k X + ZX^2$.

Nous avons obtenu des coefficients de corrélation moins élevés, voir pour certains ions, des coefficients de corrélation insignifiants. La relation C - X change avec chaque ion et aussi avec chaque rivière. Par exemple, la concentration des bicarbonates (HCO_3) est fortement reliée à la conductivité pour la York, la Eaton, la Chateauguay et la Chamouchouane (coefficient de corrélation : .90 à .97) alors que pour

la Sainte-Anne, le coefficient de corrélation est de .46 (ce qui est faible); pour la relation X - Ca, le coefficient de corrélation est élevé pour la Eaton (.96) et la York (.94) mais est bas pour la Sainte-Anne (.55); pour la relation X - Cl, on passe d'un coefficient de corrélation de .15 pour l'Harricana à .92 pour la Chateauguay.

Cependant, il y a des ions dont les concentrations sont toujours faiblement reliées à la conductivité: ce sont les nitrates et les sulfates. (Il faut cependant noter que la précision sur les concentrations des sulfates est de $\pm 20\%$).

Donc, on ne peut pas toujours déterminer la concentration des différents ions par la conductivité: pour certains ions sur certaines rivières on peut le faire avec exactitude alors que sur d'autres rivières on ne peut pas. Pour certains autres ions, on ne peut le faire sur aucune rivière.

2.3 VARIATION DE LA CONCENTRATION AVEC LE DEBIT

De tous les facteurs affectant la composition chimique d'une rivière en un point donné, c'est le débit qui est le plus important. Règle générale, quand le débit augmente, la concentration diminue. Cependant, ce phénomène de dilution des eaux souterraines chargées par des eaux de surface moins chargées varie dans le temps (variation annuelle, saisonnière, cycle de crue) et dans l'espace (d'une rivière à l'autre). Ainsi, il est très important d'étudier la variation de la composition chimique avec le débit.

2.3.1 PROBLEME DE L'ECHANTILLONNAGE

Cependant, la façon d'échantillonner du Ministère des Richesses Naturelles nous pose des problèmes. Le principal problème est celui des composites. Voici comment on procède: chaque jour, à une heure déterminée, on prélève un échantillon d'eau à la station qualité, lequel est acheminé au laboratoire. Pour chaque échantillon journalier, on mesure la conductivité et si cette dernière varie de moins de 10 pour cent, on mélange les échantillons pour former un composite. A partir de ce dernier, on détermine la concentration des principaux ions en solution. Donc, on a la conductivité journalière (instantanée) et la concentration des principaux ions pour chaque composite (1 à 15 jours consécutifs). Les concentrations moyennes ainsi trouvées ont été pondérées par l'intervalle de temps écoulé entre les prélèvements: ainsi, on accorde autant d'importance

à un petit débit qu'à un débit élevé. Ce qu'il faudrait faire, c'est de pondérer les échantillons pris par les débits; autrement dit, il faudrait prendre un échantillon de volume proportionnel au débit: ainsi on tiendrait compte de l'importance des débits.

Un autre problème est celui des débits. Puisque les échantillons sont pris à un instant donné du jour, il faudrait leur coupler les débits instantanés correspondants. Pour cela, nous avons fait venir du MRN, les débits horaires pour ainsi obtenir les débits au moment du prélèvement; nous attendons ces débits. Quand nous aurons ces débits, nous pourrons faire une étude valable de la variabilité de la conductivité en fonction du débit, puisque nous aurons des conductivités et des débits mesurés en même temps. Ainsi nous connaissons la variation de la salinité et de certains ions (ceux qui sont très corrélés avec la conductivité - voir partie B) avec le débit. Pour les ions qui ne sont pas étroitement reliés à la conductivité, le problème des composites reste entier puisque la concentration moyenne du composite n'est pas représentative de la période que représente chaque analyse.

Malgré ces restrictions, nous avons quand même commencé à étudier qualitativement la variabilité de la conductivité et de la concentration de chacun des ions en fonction des débits, en nous servant des débits journaliers.

2.3.2 VARIATION DE LA CONDUCTIVITE AVEC LE DEBIT

La méthode employée ici est de reporter en abscisse les débits et en ordonnées les conductivités: les échelles sont bilogarithmiques. Le pas de notre étude a été la période que représente chaque composite: nous attendons les débits instantanés pour faire une étude journalière plus précise.

Donc, chaque couple de valeurs (conductivité-débits) représente un composite: le débit est la moyenne des débits journaliers pour la période que représente le composite et la conductivité est celle du composite. Nous avons ainsi étudié les 6 rivières qui nous intéressent pour l'année 1969.

Les courbes ainsi obtenues sont des droites de pente négative. Le graphique II à la page 26 en est un exemple: celui de la York. La relation mathématique débit-conductivité a donc la forme suivante:

$$X = a Q^b$$

où X = conductivité

Q = débit

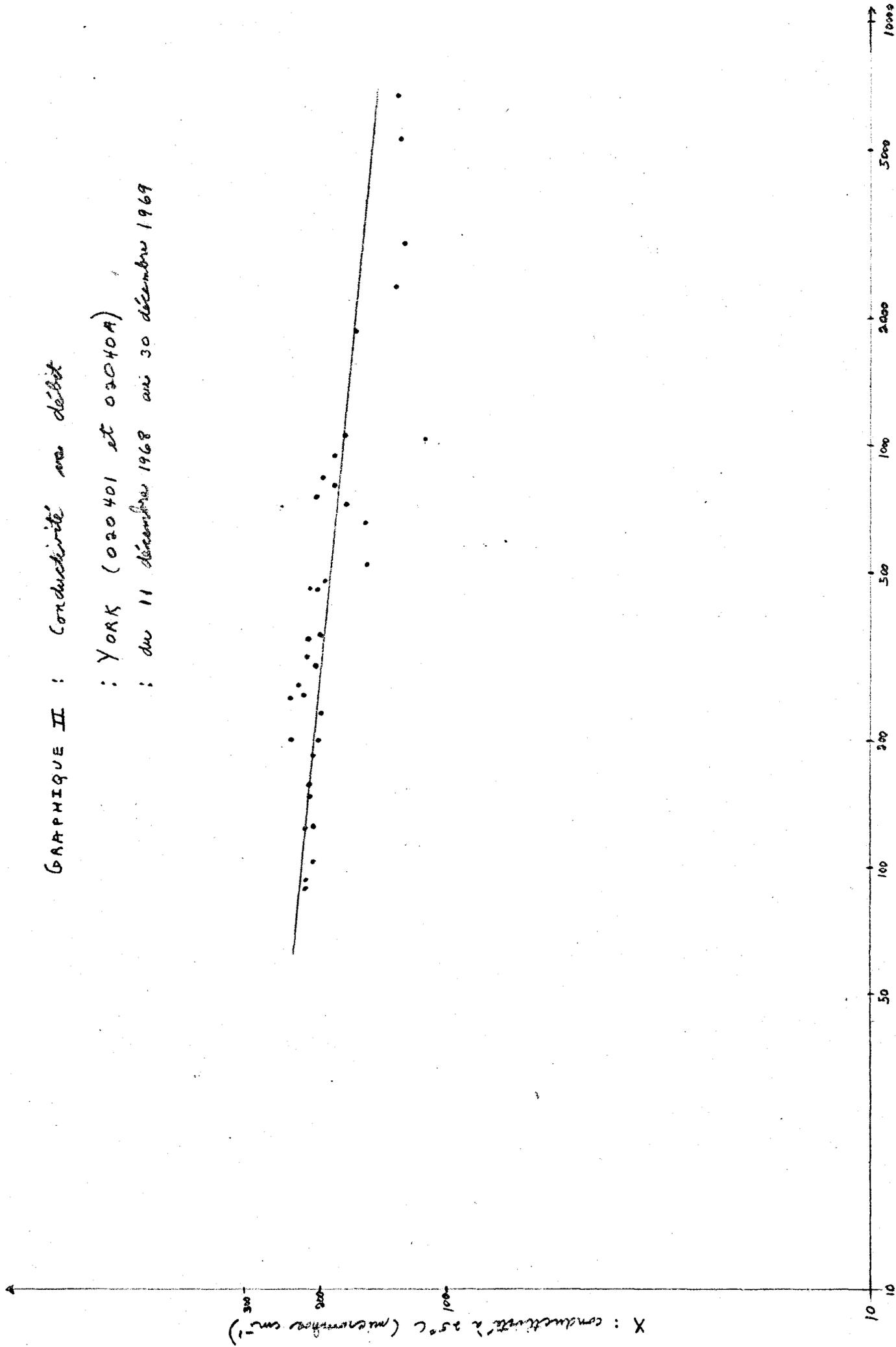
a et b (b toujours négatif): paramètres de régression

Cependant, si l'allure générale des courbes est droite, les variations autour de cette droite n'ont pas la même intensité pour toutes les rivières. En plus, pour une rivière donnée, la variation n'est la même pour les différents débits.

GRAPHIQUE II : Conductivité vs débit

: YORK (020401 et 02040A)

: du 11 décembre 1968 au 30 décembre 1969



En effet, on observe de fortes dispersions autour de la droite pour la Eaton, la Chateauguay et la Ste-Anne de la Pérade; les dispersions sont moins accentuées pour les 3 autres rivières, soient la York, Chamouchoane et l'Harricana.

Pour la Eaton et la Sainte-Anne, les fortes dispersions viennent durant la crue du printemps, c'est-à-dire quand leur débit est très fort. Par contre, la Chateauguay connaît ses plus grandes dispersions durant l'automne.

La Chateauguay et l'Harricana ont chacune deux droites différentes pour relier X et Q sur papier bilogarithmique: cependant ce phénomène est en sens opposé. En effet, pour la Chateauguay, la droite a une pente b faible pour les débits faibles et une pente (b) plus raide pour les débits forts. Pour l'Harricana, c'est le contraire pour les bas débits, on obtient une pente plus raide que pour les hauts débits.

On s'aperçoit donc que la relation X-Q varie beaucoup d'une rivière à l'autre (dans l'espace) et même d'une saison à l'autre (dans le temps). Pour expliquer les différentes dispersions autour de la relation $X = a Q^b$, on étudiera les variations annuelles (Partie 2.4), les cycles de crues (Partie 2.5) et les variations aléatoires.(Partie 2.6)

Mais il ne faut pas oublier non plus que les dispersions proviennent peut-être du fait que les conductivités des composites ne sont pas associées à des débits représentatifs. Une autre cause à ces dispersions peut être les comportements différents des divers éléments envers le débit.

2.3.3 VARIATION DE LA CONCENTRATION DE CHACUN DES ELEMENTS AVEC LE DEBIT

Cette fois nous avons tracé sur papier bilogarithmique la concentration du composite en fonction du débit de ce même composite: nous l'avons fait pour 2 rivières la York et la Eaton. Les huit éléments (Na, Ca, Mg, Cl, SO₄, K, NO₃ et HCO₃) ont été examinés.

Pour la York, la relation concentration C - débit Q a la même forme pour Ca, Na et HCO₃: $C = a Q^b$; les concentrations de ces trois éléments étant étroitement liées à la conductivité, il est normal que leur relation avec le débit ait la même forme que celle conductivité-débit. Pour les autres éléments (Cl, Mg, K, NO₃ et SO₄), la concentration et le débit sont beaucoup moins liés mais ces éléments représentent en tout moins de 15% de la concentration globale. Un autre fait à remarquer, toutes les relations C - Q, sauf celles du NO₃, présentent un cycle de crue de printemps dans le sens horaire. En effet, les concentrations sont fortes durant la crue puis faibles durant la décrue. Cependant, pour le NO₃ s'est l'opposé qui se produit: la concentration est faible durant la crue et forte durant la décrue; on peut ici soupçonner une pollution qui expliquerait ce renversement. L'explication de ces cycles de crue sera abordée dans la partie 2.5.

Pour la Eaton, le HCO₃, le Mg et le Ca présentent des bonnes relations avec le débit qui sont de la forme $C = a X^b$. Ceci est normal puisque

ce sont ces trois éléments qui sont le plus liés à la conductivité. Les autres éléments (NO_3 , K, SO_4 , Cl et Na) présentent des variations aléatoires qui nous font soupçonner d'autres causes. (Voir Variations aléatoires - Partie 2.6); ces éléments représentent environ 15% de la concentration globale. Au printemps, le Cl, le Na, le Mg, le Ca et le HCO_3 , présentent des cycles de crue dans le sens horaire; pour cette même période de l'année, le NO_3 le K et le SO_4 continuent d'afficher leur caractère aléatoire.

Le HCO_3 et le Ca, dont les concentrations représentent plus de 80% de la concentration globale pour les deux rivières étudiées, la York et la Eaton, ont des concentrations très liées avec le débit; il serait bon d'étudier d'autres rivières pour voir si partout les éléments plus concentrés sont plus corrélés avec le débit que les éléments de concentration faible. En regardant les relations conductivités-concentrations, nous pouvons néanmoins prévoir un peu le comportement des divers éléments; on constate que la concentration n'est pas le seul paramètre favorisant une bonne relation avec le débit. Par exemple, sur la Ste-Anne de la Pérade, le SO_4 est deux fois plus concentrés que le Ca, mais ce dernier a une concentration plus liée à la conductivité (donc probablement plus liée au débit).

A cause du problème des composites, nous avons décidé de ne pas trouver les paramètres de régression des courbes conductivités-débits et concentrations-débits. Cependant, lorsqu'on aura reçu les débits instantanés, on pourra les coupler aux conductivités pour obtenir avec précision et quantitativement les relations conductivité-débit; le pas de l'étude sera alors journalier.

2.4 VARIATION ANNUELLE

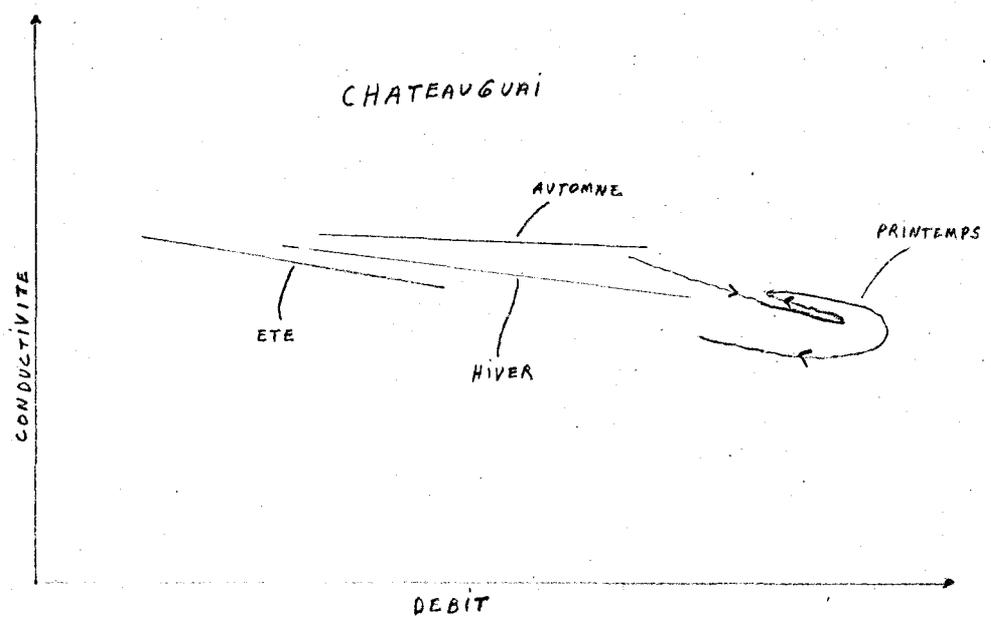
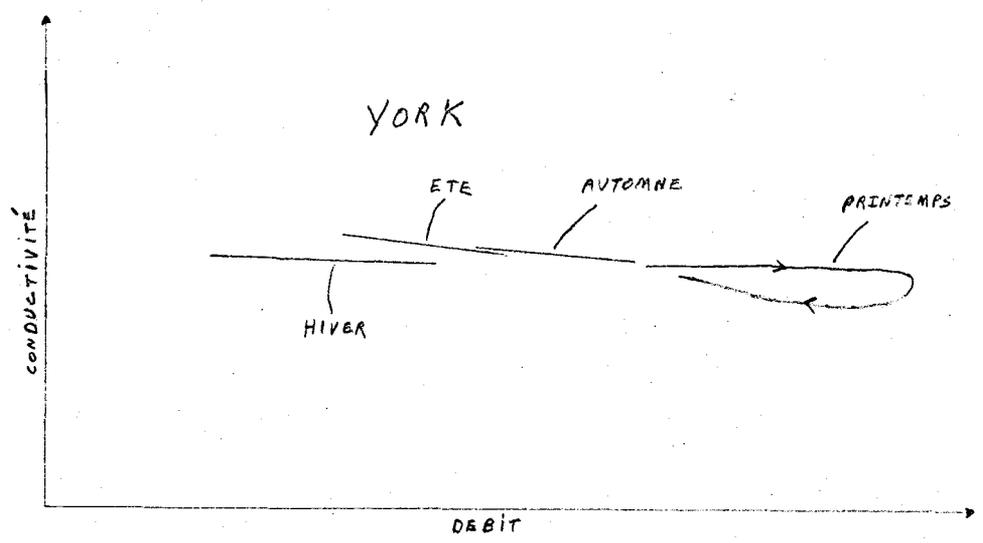
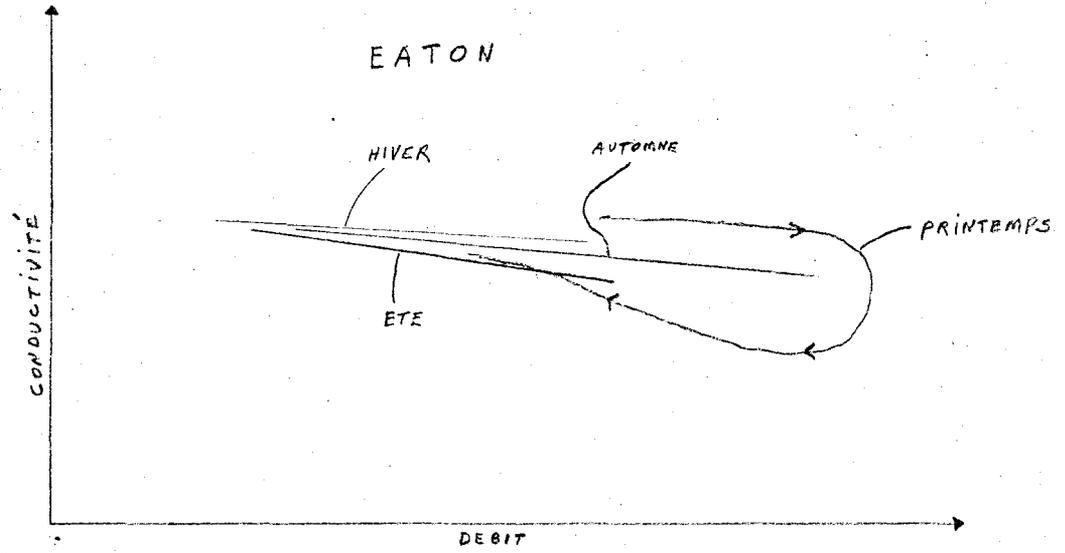
Nous nous bornerons ici à décrire les variations saisonnières superposées au débit. Les courbes conductivité-débit pour la période décembre 68 à décembre 69 seront les seules étudiées: le pas est encore la période des composites (1 à 15 jours).

A partir de ces courbes, nous avons séparé les saisons et ainsi schématisé les variations saisonnières (Voir schéma des variations annuelles aux deux pages suivantes) pour les six rivières qui nous intéressent. Il nous faut mentionner que ce sont des schémas approximatifs des vraies relations $X - Q$: sauf pour le printemps, on a passé une droite à travers les points représentatifs de chaque saison; il existe en fait des dispersions plus ou moins importantes autour de ces droites. Pour le printemps, la courbe représente le cycle de la crue: les flèches indiquent la progression dans le temps (montée de la crue-pointe de la crue-décru).

Nous constatons pour les 6 rivières qu'à débit égal, la conductivité en automne est supérieure à celle en été. On peut supposer l'explication suivante: l'apport des eaux souterraines chargées serait plus important en automne qu'en été.

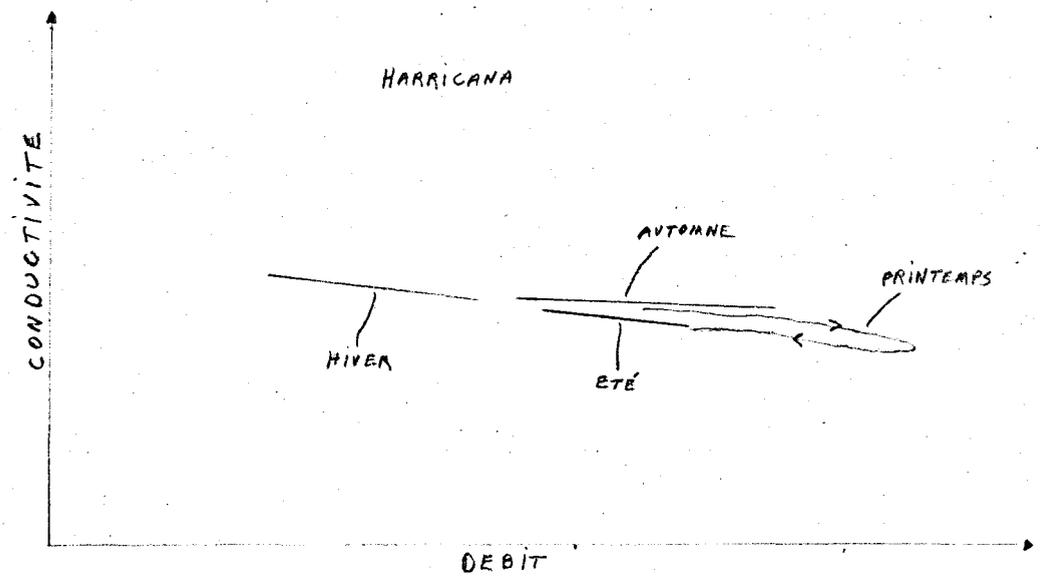
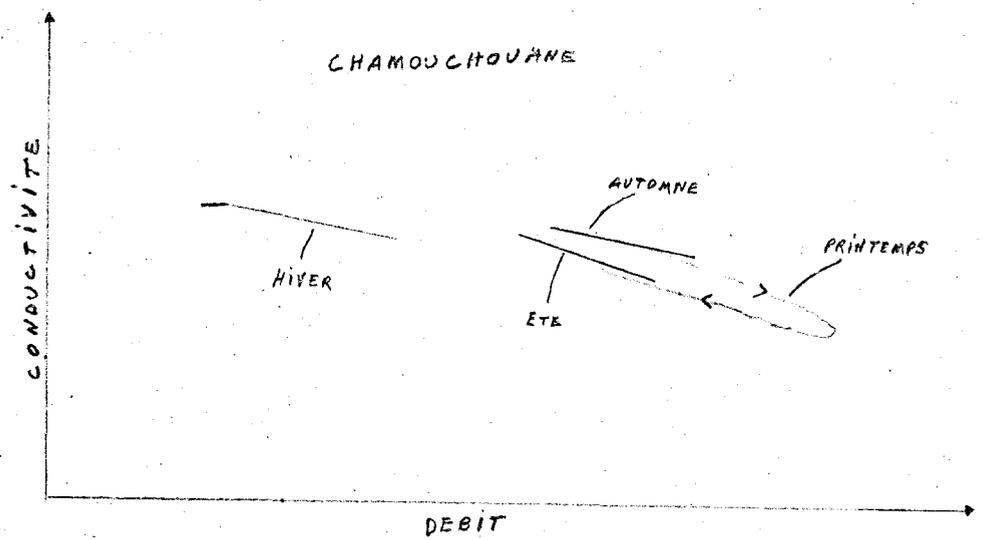
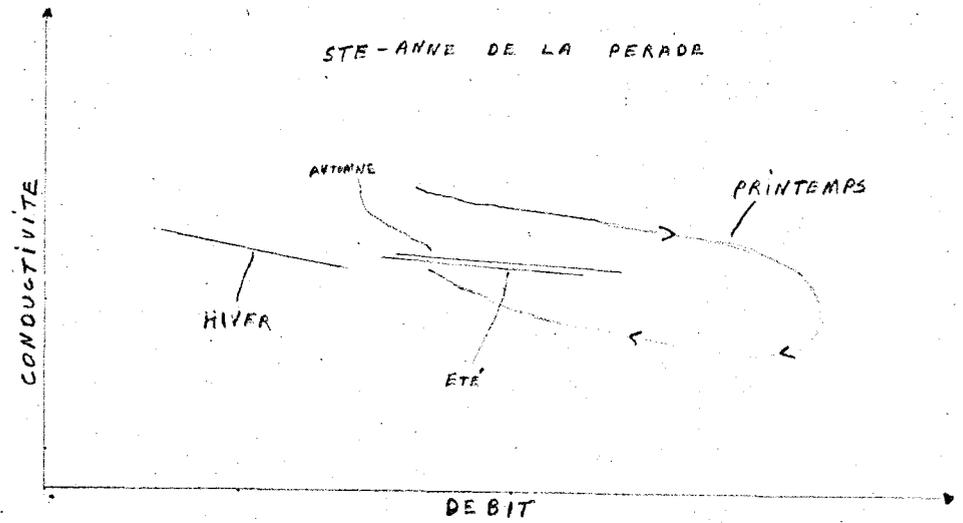
Pour la Eaton et la Chateauguay, à débit égal, les conductivités sont plus élevées en hiver qu'en été alors que pour la York, c'est l'inverse

SCHEMA DES VARIATIONS ANNUELLES —
RELATION CONDUCTIVITE — DEBIT (DECEMBRE 68 à DECEMBRE 69)



SCHEMA DES VARIATIONS ANNUELLES

RELATION CONDUCTIVITE - DEBIT (DECEMBRE 68 À DECEMBRE 69)



qui se produit. Pour les 3 rivières du Bouclier Canadien (Ste-Anne, Chamouchouane et Harricana), les débits d'hiver sont inférieurs aux débits d'été et la comparaison n'est pas possible.

Pour les six rivières étudiées, la crue du printemps est caractérisée par un cycle dans le sens horaire: les conductivités sont élevées durant la crue puis faibles durant la décrue. On peut expliquer ce phénomène ainsi: au début de la crue du printemps, les eaux de surface dissolvent rapidement les sels disponibles des sols et du lit de la rivière; de plus, les eaux poussent devant elles les eaux anciennes de la rivière beaucoup plus chargées. A la pointe de crue, il y a une diminution rapide de la concentration (donc de la conductivité); à la décrue, l'eau souterraine reprend peu à peu sa place dans l'écoulement global et la concentration augmente régulièrement. Cependant l'amplitude des cycles de crue printannière varie d'une rivière à l'autre: pour la Eaton et la Ste-Anne, on observe des variations plus importantes que pour les Chamouchouane et l'Harricana.

Pour aller plus loin dans l'étude des variations annuelles, il faudrait étudier les relations conductivité-débit sur plusieurs années pour ces différentes rivières. On verrait alors les phénomènes qui reviennent tous les ans. Cependant, nous croyons qu'il serait bon de le faire en se servant des couples conductivités et débits instantanés qui sont pris en même temps pour éviter le problème des composites. En même temps, il serait bon d'examiner les variations annuelles des divers

ions (Na, Ca, Cl, Mg, HCO₃, SO₄, NO₃ et K): ces variations sont sûrement différentes pour chacun de ces éléments.

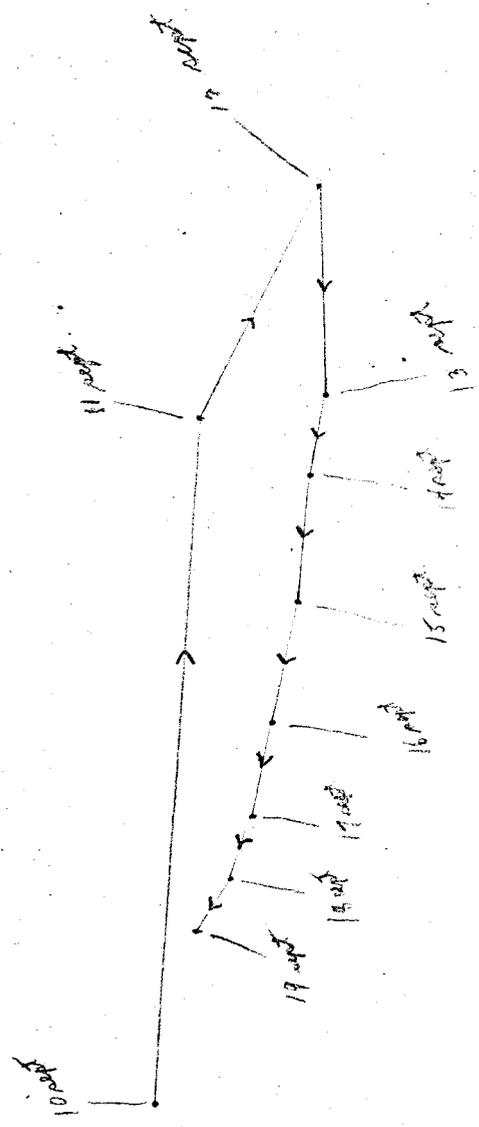
2.5 CYCLES DE CRUES

Après avoir étudié le cycle de la crue printanière, nous nous proposons d'examiner les cycles des crues pluviales. Pour se faire, nous avons couplé les conductivités journalières (qui sont prises à un instant donné chaque jour) avec les débits journaliers (qui sont les débits moyens de chaque jour). Il est bien évident qu'il aurait valu mieux prendre les débits instantanés au moment du prélèvement. Spécialement en période de crue, les débits varient d'heure en heure et le débit moyen d'un jour peut différer beaucoup d'un débit instantané. Malgré cet handicap, nous examinerons ces cycles de crue pour la Eaton.

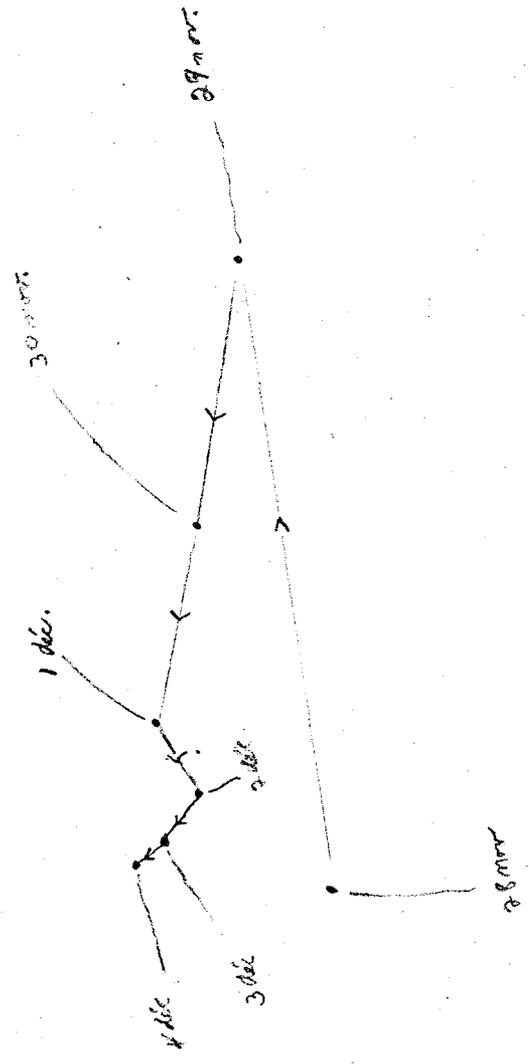
Du point de vue qualité de l'eau, on remarque deux sortes de crues: les crues dont le cycle est horaire et celles qui ont un cycle de sens anti-horaire. La crue de la Eaton du 10 au 19 septembre 68 illustre bien la première sorte de crue (Voir Graphique III à la page suivante). Cette crue a la même allure que la crue printanière; aussi, on l'explique de la même façon: une dissolution rapide par les eaux de surface des sels mis à disposition par l'attaque des roches.

Les crues de sens anti-horaire sont illustrées par la crue du

GRAPHIQUE III : Balon contactant - début
 Crise d'été 68
 (10 - 19 sept.)



GRAPHIQUE IV : Pétrole
 Cruée d'automne 68
 (28 nov - 4 déc.)



28 novembre au 4 décembre 1968 sur la Eaton. (Voir Graphique TV)

Ce genre de cycles a été observé par Toler qui les explique ainsi: lors de la montée des eaux, l'apport des eaux de surface moins chargées est beaucoup plus important que celui des eaux souterraines; à la décrue, les eaux souterraines plus chargées forment la majeure partie de l'écoulement.

Nous croyons qu'il faut poursuivre l'étude des crues sur plusieurs rivières et aussi sur le plus d'années possibles. Nous pourrions alors établir les fréquences de chacune des deux sortes de crues et établir les conditions qui les favorisent. De plus, cette étude pourrait mener à une meilleure connaissance des différents apports de l'écoulement global lors de la crue, de la pointe de crue et pendant la décrue. Cependant, nous pensons qu'il faut se servir des débits instantanés lors des prélèvements pour éviter de grossières erreurs. Ce qui serait intéressant de faire, ce serait d'étudier certaines crues avec des données de conductivités et de débits mesurés en continu.

2.6 VARIATIONS ALEATOIRES

Dans la partie 2.3 (Variations des concentrations avec le débit), nous avons constaté que plusieurs ions avaient des concentrations qui variaient d'une façon aléatoire vis-à-vis du débit. Nous voyons plusieurs causes à ces variations.

Premièrement, pour les rivières étudiées sous cet aspect, soient la York et la Eaton, les éléments qui présentaient un lien faible avec le débit étaient tous de basse concentration (NO_3 , K, SO_4 , Cl, Na). En effet, le SO_4 a une concentration moyenne de moins de 10 mg/l (pour 1969) tandis que les 4 autres ions ont des concentrations moyennes pour 1969 inférieures à 4 mg/l. Il est évident que plus basses sont vos concentrations, plus importantes sont les erreurs d'analyse en laboratoire. Ainsi, le K, le NO_3 , le Cl et le Na sont sûrement mesurés avec une précision relative moins grande que celles des bicarbonates (environ 75 mg/l). De plus, dans l'annuaire de qualité, on mentionne que la précision sur les sulfates est d'environ $\pm 20\%$ pour les concentrations inférieures à 20 PPM. Donc, ces erreurs d'analyse sont une cause importante des variations aléatoires.

Une deuxième cause peut être le fameux problème des composites. En effet, les concentrations des composites ne sont pas représentatives des intervalles considérés (Voir 2.3.1). Ce problème amène sûrement des erreurs non négligeables surtout en période de crues où les débits varient le plus.

Une autre cause possible est l'activité biologique. En effet, Johnson, Likens et al, ont constaté que le K et le NO_3 était sensible à l'activité biologique; ainsi ces éléments sont-ils susceptibles de dévier des variations associées au débit.

Finalement, la pollution par certaines activités humaines est

probablement la principale cause de ces variations aléatoires. Encore là, les éléments de faibles concentrations risquent d'être plus touchés, parce qu'ils sont plus sensibles à la pollution. Cependant, la nature de l'élément est aussi importante, certaines pollutions étant plus courantes que d'autres. Par exemple, les fumures des terrains cultivés contiennent des nitrates susceptibles d'être entraînés vers la rivière lors des crues.

Donc, pour certains éléments, le phénomène principal de variation n'est plus la dilution des eaux souterraines plus chargées dans les eaux superficielles. Nous pensons que la pollution en est la principale cause mais nous soupçonnons un autre facteur. S'il est vrai que les eaux souterraines ont des concentrations globales supérieures aux eaux de surface, la concentration de certains ions n'est peut-être pas tellement différente entre les deux apports; ainsi le phénomène de dilution n'existerait pas (ou presque pas) pour ces ions. Pour le moment ce n'est qu'une supposition, mais il serait bon de la vérifier par des analyses chimiques des eaux souterraines et des eaux de surface.

2.7 BILANS:

Pour toute étude de qualité, l'établissement de bilans est très important. Pour faire ces bilans de matières transportées par une rivière, il existe plusieurs méthodes. Ces différentes méthodes ne sont pas toutes bonnes. Une description assez complète du mode de

calcul des bilans a été fait dans la "Revue Bibliographique: Qualité chimique de l'eau des rivières." (Michel Meybeck, 1972).

Nous sommes à mettre au point un programme d'ordinateur qui fera des bilans par plusieurs méthodes: nous pourrons alors comparer ces méthodes et déterminer celle qui est la plus précise, tenant compte des données de qualité qu'on a. Après coup, il sera bon d'étudier l'importance des érosions chimiques pour les différentes rivières. De plus, pour une rivière donnée, on pourra faire une étude dans le temps: par exemple, on pourra évaluer l'érosion causée par la fonte des neiges le printemps.

CHAPITRE 3: ÉTUDE CHIMIQUE DES ÉTIAGES.

3.1 GENERALITES

L'étude chimique des étiages n'est pas très avancée au moment de la rédaction de ce rapport. Il était plus logique d'étudier les phénomènes généraux reliés à la qualité des eaux avant d'aborder des domaines particuliers, tels les étiages. Néanmoins, nous croyons que l'étude chimique des étiages peut apporter des renseignements supplémentaires et complémentaires sur l'écoulement des bas débits.

En effet, on peut utiliser la variation fondamentale de la qualité de l'eau avec le débit pour déterminer les composants de l'hydrogramme. La relation de base est celle de la conservation de la matière :

$$C_T Q_T = C_1 Q_1 + C_2 Q_2 + \dots + C_i Q_i$$

où C_T = concentration de la rivière
 Q_T = débit de la rivière
 C_i = concentration de l'apport i
 Q_i = débit de l'apport i .

En effet, l'écoulement total d'une rivière est dû aux différents apports. Sous cet aspect, les étiages d'hiver et ceux d'été présentent des différences fondamentales. En effet, la glace est la principale cause des étiages d'hiver: les principaux apports sont alors l'écoulement souterrain, la fusion de la glace, les chutes de neige sur les surfaces d'eau libre. En été, les basses eaux sont principalement dues à l'importante évapotranspiration; l'écoulement total de la rivière sera alimenté par les chutes de pluie sur les surfaces d'eau libre, le ruissellement de surface, l'écoulement hypodermique ou retardé et l'écoulement souterrain.

Ainsi, les données de qualité peuvent aider à déterminer l'importance relative des différents apports à l'écoulement total. La comparaison de la qualité des étiages d'hiver et d'été peut fournir des indications précieuses sur l'origine de l'eau écoulée sous couvert de neige.

3.2 APPLICATION A LA EATON

3.2.1 DILUTION ET ETIAGES

Le phénomène de concentration avec la diminution du débit est limité. Ceci est dû au fait que, durant l'été, les plus bas débits ont comme seul apport les eaux souterraines; ainsi la concentration de la rivière est la même que celle des eaux souterraines. Ainsi, sur la courbe conductivité-débit journalier, on remarque une asymptote pour les très bas débits. La conductivité pour cette asymptote est d'environ 170 micromhos par cm. Par la relation conductivité-concentration globale, nous pouvons trouver la concentration globale correspondante: cette concentration sera celle des eaux souterraines. Ainsi, sans mesure directe, nous pouvons par les débits d'étiages déterminer les concentrations des eaux souterraines.

3.2.2 POLLUTION ET ETIAGES

Comme nous l'avons vu dans le chapitre II, plusieurs éléments ont des variations aléatoires dont les principales causes est la pollution. On sait qu'en raison de leurs faibles débits, les étiages sont très sensibles à la pollution. Cela nous est confirmé par le comportement des éléments suivants vis-à-vis du débit: le NO_3 , le K, le SO_4 , le Cl et le Na. Ces ions sont très peu liés au débit mais les variations qu'ils présentent sont plus importantes à faibles débits.

3.3 ETUDES FUTURES

L'étude chimique des étiages doit s'étendre: elle se doit d'utiliser d'autres paramètres comme le rapport des éléments entre eux (i.e. Ca/Mg , Na/K , HCO_3/SO_4 , etc), les concentrations des principaux éléments, les érosions spécifiques (Masse / unité de temps x unité de surface) des différents ions. Ces paramètres devront être reliés aux caractéristiques des bassins. Aussi faudra-t-il étendre l'étude au plus grand nombre possible de rivières.

CONCLUSION

L'interprétation des données de qualité des rivières du Québec en est à ses débuts. Cependant, déjà, elle s'est butée à des obstacles comme les composites et les débits moyens. Si le problème des débits moyens peut être réglé en utilisant les débits horaires (qu'on attend du Ministère des Richesses Naturelles), celui des composites reste entier. La solution de ce problème réside dans l'amélioration de la méthode d'échantillonnage; nous pensons que cet aspect devra être traité attentivement lors de l'étude de la rationalisation du système qualité.

Ce premier contact avec les données de qualité nous a apporté plusieurs renseignements utiles. Ainsi, la relation conductivité-concentration peut permettre une meilleure exploitation des données puisqu'on mesure les conductivités chaque jour; ainsi, en se servant des conductivités au lieu de certaines concentrations (celles qui sont très liées aux conductivités), on évite le problème des composites et on diminue le pas de l'étude.

Les variations annuelles et les cycles de crues peuvent apporter des explications sur la composition de l'écoulement global. Les variations aléatoires, surtout remarquables en période d'étiage, nous aideront à déceler certaines pollutions.

L'étude chimique des étiages n'a été abordé que très peu mais nous croyons que la comparaison chimique des étiages d'été et des étiages d'hiver pourra être fort utile pour mieux comprendre ces périodes de bas débits.

Enfin nous croyons que l'étude chimique des étiages, même si elle peut être approfondie, ne peut se détacher de l'étude générale du chimisme des eaux.

Il faut donc continuer et élargir l'étude déjà amorcée dans le but d'une meilleure connaissance de l'écoulement des rivières du Québec.

BIBLIOGRAPHIE

- Meybeck, Michel, Qualité chimique de l'eau des rivières, Revue bibliographique, Centre Québécois des sciences de l'eau, 1972, 37 p.
- St-Martin, Henri, Qualité chimique de l'eau de la rivière Eaton, Rapport préliminaire, Cequeau, 1971.
- Ministère des Richesses Naturelles, Gouvernement du Québec, Direction Générale des eaux, Annuaire hydrologique (qualité des eaux) 1968, 1969.
- Ministère des Richesses Naturelles, Gouvernement du Québec, Direction générale des eaux, Annuaire hydrologique, 1968, 1969.