

R303

87 88

**METHODOLOGIE D'EVALUATION
DES TENDANCES SPATIO-TEMPORELLES
DES PHENOMENES RELIES AUX PRECIPITATIONS ACIDES**

PAR DE

**PROGRAMME D'AIDE
A LA RECHERCHE - DEVELOPPEMENT
EN ENVIRONNEMENT**

**Par
Jean-Pierre Villeneuve
et
Kateri Guertin**

**INRS-Eau
25 février 1988**

Table des matières

1	Problématique.....	1
2	L'utilisation de techniques géostatistiques pour l'analyse des tendances spatio-temporelles des phénomènes reliés aux précipitations acides.....	2
3	Objectifs	4
3.1	Données distantes	4
3.2	Tendance temporelle régionalisée	4
3.3	Variabilité spatiale préférentielle	4
3.4	Mise à jour d'un logiciel d'estimation.....	5
4	Méthodologie	5
4.1	Données nouvelles.....	5
4.2	Données distantes	5
4.3	Tendances temporelles.....	6
4.4	Critères de changements significatifs.....	6
4.5	Rapport.....	6
4.6	Tendances temporelles régionalisées	6
4.7	Variabilité spatiale directionnelle / saison.....	6
4.8	Variabilité spatiale directionnelle / année	7
4.9	Mise à jour du logiciel d'estimation.....	7
4.10	Rapport.....	7
5	Résultats escomptés.....	7
6	Aspects novateurs	8
7	Echéancier	9
7.1	Schéma de l'échéancier	9
8	Ventilation des dépenses	10
8.1	Tableau des heures de travail	10
8.2	Tableau des honoraires	10
8.3	Distribution de l'enveloppe budgétaire	11
9	Bibliographie	12
10	Curriculum vitae	14

**PROGRAMME D'AIDE
A LA RECHERCHE - DEVELOPPEMENT
EN ENVIRONNEMENT**

PARDE

**METHODOLOGIE D'EVALUATION DES TENDANCES SPATIO-TEMPORELLES
DES PHENOMENES RELIES AUX PRECIPITATIONS ACIDES**

Volet A: Précipitations acides et toxiques:

Valorisation des données du réseau d'échantillonnage de précipitations du Québec (REPQ) - Analyse spatio-temporelle des tendances à partir de données de quantité et de qualité des précipitations.

Mots clefs: Précipitations acides, géostatistique, tendances spatio-temporelles, krigeage, variabilité directionnelle.

1 Problématique

Face aux effets nocifs grandissants associés au phénomène des précipitations acides et face à la difficulté d'en établir les causes spécifiques, par suite de la complexité des phénomènes naturels intervenants, les organismes gouvernementaux doivent se munir d'outils d'analyse objectifs et fiables leur permettant de quantifier le plus précisément possible l'étendue du phénomène et son évolution dans le temps (localement et régionalement).

Au Québec, bien que l'on dispose d'un important réseau d'observation, l'information disponible sur la qualité (composition ionique) des précipitations acides

demeure limitée, tant par le nombre restreint de stations où les échantillons sont récoltés simultanément, que par la courte période d'exploitation du réseau de qualité, soit de 1982 à 1987 (REPQ, Grimard, 1984 et 1985). Il est donc essentiel d'utiliser des outils qui permettent d'exploiter au maximum cette information. Cela implique, entre autres nécessités, d'identifier les patrons de variations spatio-temporelles ainsi que les corrélations spatiales et/ou temporelles entre les différents phénomènes reliés aux précipitations acides (concentrations d'ions, dépôts massiques d'ions, hauteurs de précipitation). Dans un tel contexte, il est également important de pouvoir fixer le degré d'incertitude associé à l'évaluation de la distribution spatio-temporelle des phénomènes. Enfin, la qualité et la pertinence des représentations graphiques illustrant l'évolution des phénomènes dans le temps et dans l'espace sont essentielles à l'interprétation rationnelle des résultats obtenus.

L'établissement d'une démarche optimale et objective de valorisation des données de qualité et de quantité des précipitations acides permettra d'obtenir sur une base scientifique solide des informations et des résultats essentiels à la prise de décisions politiques (négociations Canada - Etats-Unis) et scientifiques (la mise en force de mesures préventives et correctives).

Diverses techniques géostatistiques ont déjà été appliquées au problème des pluies acides (Guertin et al., 1988; Seilkop et Finkelstein, 1987; Villeneuve et al., 1986; 1988; Bilonick, 1983; 1985) et ont produit des résultats très intéressants.

2 L'utilisation de techniques géostatistiques pour l'analyse des tendances spatio-temporelles des phénomènes reliés aux précipitations acides

La géostatistique offre des outils de premier ordre pour l'identification des tendances directionnelles et pour l'estimation de la distribution spatio-temporelle des phénomènes reliés aux précipitations acides.

A partir d'un réseau d'échantillonnage épars et irrégulier, les différentes techniques de krigeage (krigeage ordinaire, universel, cokrigeage) permettent

d'optimiser l'estimation locale des phénomènes étudiés en minimisant la variance de l'erreur associée (Journel et Huijbregts, 1978). Chaque valeur estimée est donc associée à une mesure d'incertitude qui dépend à la fois de la variabilité intrinsèque du phénomène et de la configuration des échantillons disponibles pour l'estimation.

Les techniques de krigeage sont basées sur la reconnaissance de la structure de variabilité spatiale et temporelle de ces phénomènes (fonction du semi-variogramme). En présence d'un nombre suffisant de données, on peut identifier des directions de variabilité préférentielles (anisotropie) ou des tendances directionnelles (non-stationnarité). Les résultats d'estimation (valeurs estimées et variances des erreurs associées) reflètent alors cette structure de variabilité. On peut également se servir de cette fonction structurale pour planifier l'emplacement de stations d'échantillonnage additionnelles, ceci dans le but de minimiser l'erreur d'estimation.

En plus de fournir des résultats fiables dont le risque est quantifié, les techniques de krigeage sont des outils objectifs. A partir d'un même ensemble de données, les résultats de krigeage obtenus par deux personnes avisées seront pratiquement identiques, et donc exempts d'interprétation subjective. L'étape la plus subjective de la procédure, l'ajustement d'un modèle mathématique aux valeurs expérimentales du semi-variogramme, peut même être automatisée, à la condition de maintenir un contrôle visuel des modèles ainsi obtenus.

Les techniques de krigeage peuvent être appliquées à l'étude de différents phénomènes naturels liés à l'environnement (par exemple, à l'étude de la qualité des eaux de surface au Québec), et sur des régions ou des périodes de temps plus ou moins étendues selon l'échantillonnage disponible. Enfin, un atout des plus intéressants tient au fait que les procédures de krigeage peuvent être ajustées "sur mesure" en fonction de la qualité et de la quantité de l'information disponible, ce qui rend ces outils d'autant plus flexibles.

3 Objectifs

Ce projet de recherche a pour but d'établir une démarche opérationnelle qui permette d'identifier les tendances et d'estimer la distribution spatio-temporelle des phénomènes reliés aux précipitations acides, ceci à partir de données décrivant ces phénomènes (notamment les concentrations d'ions, les dépôts massiques d'ions et les hauteurs de précipitation). Le projet visera à optimiser, à l'aide d'outils mathématiques à la fois fiables, objectifs et flexibles, la procédure d'estimation en fonction des données disponibles tout en insistant sur la qualité et la pertinence des représentations graphiques des résultats. On s'intéressera plus particulièrement à quatre différents aspects d'analyse découlant de la problématique établie plus haut.

3.1 Données distantes

Etablir une démarche permettant de tenir compte de l'information hors zone dans le processus d'estimation, de façon à identifier les tendances et à préciser l'évaluation en bordure de la zone d'étude.

3.2 Tendance temporelle régionalisée

En fonction des données disponibles, établir une méthodologie d'estimation qui permette d'identifier la tendance temporelle des phénomènes couvrant une région donnée, et d'en représenter les résultats sous forme de graphiques pratiques de façon à suivre localement (région par région) l'évolution des phénomènes dans le temps.

3.3 Variabilité spatiale préférentielle

Pour un pas de temps donné, identifier les axes de variabilité préférentielle dans l'espace, afin d'aider à la description des phénomènes physiques impliqués et à l'identification de trajectoires préférentielles caractéristiques d'un pas de temps ou d'un ion particulier.

3.4 Mise à jour d'un logiciel d'estimation

Mise à jour d'un logiciel d'estimation (actuellement en préparation) afin d'automatiser les démarches établies et de représenter les résultats d'estimation sous la forme graphique désirée.

4 Méthodologie

Les différentes étapes de ce projet seront réalisées sur une période de deux ans. Les phénomènes étudiés, la concentration d'ions (pH, sulfate, nitrate, ammonium,...), le dépôt massique d'ions et la hauteur de précipitation, seront traités sur des bases saisonnières et annuelles à partir de données relevées au cours des années 1982-1987 (REPQ). Des simulations stochastiques conditionnelles des phénomènes pourront être réalisées pour produire des bases de référence lors de l'étude comparée des différentes approches proposées ci-dessous.

Cinq étapes principales seront réalisées au cours de la première année.

4.1 Données nouvelles

Mise en forme et traitement statistique des données relevées au cours des années 1985-1987.

4.2 Données distantes

Etude comparée des techniques de krigeage ordinaire (avec l'hypothèse de stationnarité d'ordre 2) et de krigeage universel (avec l'hypothèse de non-stationnarité) pour l'intégration de données hors zone; analyse des résultats en fonction de la quantité et de la répartition spatiale des données disponibles et établissement d'une démarche optimale à suivre, selon des critères spécifiques définis à cette fin.

4.3 Tendances temporelles

Etude comparée entre les techniques du krigeage ordinaire avec remplissage aux stations non échantillonnées (Ahmed et de Marsily, 1987), du krigeage spatio-temporel (Bilonick, 1985) et du cokrigeage temporel pour l'estimation de la distribution spatio-temporelle des phénomènes étudiés en utilisant au maximum l'information disponible; analyse des résultats en fonction de la nature des phénomènes et de l'information disponible; établissement d'une démarche optimale à suivre, selon des critères de décision définis à cette fin.

4.4 Critères de changements significatifs

Définition de critères de changements temporels significatifs relatifs à un ou plusieurs phénomènes, selon les besoins de l'interprétation.

4.5 Rapport

Rédaction d'un rapport portant sur les résultats des activités réalisées au cours de cette première année.

Cinq étapes additionnelles seront réalisées au cours de la seconde année.

4.6 Tendances temporelles régionalisées

Application et vérification des critères de changements significatifs dans le temps sur des régions définies à l'intérieur de la zone d'étude; production de cartes illustrant les tendances temporelles régionalisées.

4.7 Variabilité spatiale directionnelle / saison

Etude de la variabilité spatiale directionnelle des différents phénomènes basée sur le regroupement des données de chaque saison (hiver, printemps, été et automne) sur

l'ensemble des six années d'échantillonnage,, afin d'identifier des tendances spatiales directionnelles caractéristiques de chacune des quatre saisons; détection des effets de l'échantillonnage irrégulier sur les semi-variogrammes; production de graphiques illustrant les axes de variabilité des différents phénomènes; analyse comparée de la variabilité spatiale directionnelle des phénomènes en fonction de leur nature.

4.8 Variabilité spatiale directionnelle / année

Etude de la variabilité spatiale directionnelle des phénomènes basée sur le regroupement des données des quatre saisons d'une même année, pour chaque année disponible, afin de pouvoir apprécier l'évolution dans le temps (d'année en année) des tendances spatiales directionnelles; détection des effets de l'échantillonnage irrégulier sur les semi-variogrammes; production de graphiques illustrant les axes de variabilité des différents phénomènes; analyse comparée de la variabilité spatiale directionnelle des phénomènes en fonction de leur nature.

4.9 Mise à jour du logiciel d'estimation

Ajouts au logiciel d'estimation (en préparation) en fonction des résultats obtenus.

4.10 Rapport

Rédaction d'un rapport final portant sur les résultats de l'ensemble des activités réalisées au cours des deux années.

5 Résultats escomptés

- Une méthodologie d'évaluation des tendances spatio-temporelles des différents phénomènes reliés aux précipitations acides.

- Des critères de décision pour optimiser le choix de la procédure d'estimation de la distribution spatio-temporelle des phénomènes, étudiés en fonction de leur nature et de l'information disponible.

- Des critères de changements significatifs pour suivre l'évolution temporelle d'un ou de plusieurs phénomènes.
- Une procédure d'analyse de la variabilité spatiale directionnelle des différents phénomènes étudiés.
- Un ajout au logiciel d'estimation (présentement en développement) permettant d'une part une certaine automatisation des procédures établies, et d'autre part la représentation graphique des résultats.

6 Aspects novateurs

L'originalité de ce projet consiste tout d'abord en l'établissement, à partir de techniques de krigeage déjà reconnues, d'une méthodologie d'estimation "sur mesure" qui tienne compte de la nature spatio-temporelle des phénomènes étudiés et qui puisse utiliser au maximum l'information disponible.

Au cours de ce projet, on définira et appliquera des critères de changements temporels significatifs, de façon à caractériser l'évolution simultanée de différents phénomènes dans le temps et d'en rationaliser l'interprétation.

De plus, en présence d'un échantillonnage restreint (au maximum 40 données de qualité), le regroupement de données saisonnières et annuelles permettra d'identifier les axes de variabilité préférentielle des différents phénomènes dans l'espace, et fournira donc un nouvel outil de caractérisation spatio-temporelle pour ces phénomènes. Entre autres possibilités, ces axes pourront être utilisés dans l'étude comparée des niveaux de variabilité directionnelle de différents ions dans le temps.

A l'intérieur de ce projet, le traitement des concentrations d'ions recevra une attention particulière due à la non additivité de cette variable (Guertin et al., 1988;

Buxton, 1982). La concentration sera estimée en tant que quotient du dépôt massique par la hauteur de précipitation, de sorte que certaines démarches devront être adaptées pour le traitement des données de concentrations d'ions.

Enfin, l'ajout au logiciel d'estimation facilitera l'obtention des résultats et permettra leur représentation sous les formes graphiques les plus pertinentes.

7 Echancier

Les différentes étapes à réaliser au cours de ce projet ont été regroupées en sept types d'activités. L'échéancier est établi sur la base de périodes dont la durée est de deux mois (bimestre).

7.1 Schéma de l'échéancier

Activités/bimestre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nouvelles données	<->											
Données distantes		<----->										
Tendances temporelles			<----->									
Critères changement					<----->				<----->			
Variabilité direct.							<----->					
Logiciel									<----->			
Rapports						<----->						<----->

8 Ventilation des dépenses

Une équipe de trois personnes, composée de Madame Kateri Guertin (géostatisticienne), de Monsieur Sylvain Deschênes (analyste-programmeur) et d'un étudiant, sera chargée de la réalisation de ce projet. Monsieur Jean-Pierre Villeneuve agira en tant que superviseur des différentes activités pour lesquelles les prévisions budgétaires sont présentées ci-dessous.

8.1 Tableau des heures de travail

Activités	JPV	KG	SD	ETUD.	SECRET.	TOTAL
Nouvelles données	2	42	40	0	0	84
Données distantes	15	165	70	0	0	250
Tendances temporelles	32	360	235	275	0	1122
Critères de changement	10	50	55	40	0	301
Variabilité direct.	23	190	115	130	0	458
Logiciel	9	65	230	45	25	374
Rapport	15	75	15	45	75	225
Total des activités	106	947	760	535	100	2814

8.2 Tableau des honoraires

Activités	JPV	KG	SD	ETUD.	SECRET.	TOTAL
Taux horaires	\$0	\$31	\$19	\$14.88	\$16	\$19
Nouvelles données	\$0	\$1,289	\$761	\$0	\$0	\$2,050
Données distantes	\$0	\$5,062	\$1,332	\$0	\$0	\$6,394
Tendances temporelles	\$0	\$11,045	\$4,471	\$4,092	\$0	\$19,608
Critères de changement	\$0	\$1,534	\$1,046	\$595	\$0	\$3,176
Variabilité direct.	\$0	\$5,829	\$2,188	\$1,935	\$0	\$9,952
Logiciel	\$0	\$1,994	\$4,376	\$670	\$397	\$7,436
Rapport	\$0	\$2,301	\$285	\$670	\$1,190	\$4,446
Total des honoraires	\$0	\$29,054	\$14,459	\$7,961	\$1,587	\$53,061

8.3 Distribution de l'enveloppe budgétaire

Nouvelles données	\$2,050	
Données distantes	\$6,394	
Tendances temporelles	\$19,608	
Critères de changement	\$3,176	
Variabilité directionnelle	\$9,952	
Logiciel	\$7,436	
Rapport	\$4,446	

Total des honoraires	\$53,061	\$53,061
Matériaux et fournitures	\$0	\$0
Impression du rapport	\$1,250	\$1,250
Frais d'ordinateur		
Vax	\$1,080	
Micro	\$2,200	

	\$3,280	\$3,280
Total des dépenses		\$57,591

Selon les prévisions de déroulement des activités, la réalisation du projet nécessitera une somme de \$28,500 pour la première année, et de \$29,091 pour la deuxième année. On doit noter qu'à la fin de chaque année, un rapport de réalisation sera fourni. **Le projet est structuré pour que les résultats d'étude de chacune des années puissent être utilisés de façon autonome.**

9 **Bibliographie**

AHMED S. et DE MARSILY G. (1987) Comparison of geostatistical methods for estimating transmissivity using data on transmissivity and specific capacity. *Water Resources Research* **23** (9).

BILONICK R.A. (1985) The space-time distribution of sulfate deposition in the Northeastern United States. *Atmospheric Environment* **19**, 1829-1845.

BILONICK R.A. (1983) Risk-qualified maps of hydrogen ion concentration for the New York State area for 1966-1978. *Atmospheric Environment* **17**, 2513-2524.

BUXTON B.E. (1982) Coal reserve assessment - A geostatistical case study. Master thesis, Applied Earth Sciences Department, Stanford University, 85p.

GUERTIN K.V., VILLENEUVE J.P., DESCHENES S. et JACQUES G. (1988) The choice of working variables in the geostatistical estimation of the spatial distribution of ion concentration from acid precipitation. *Atmospheric Environment*.(accepté)

GUERTIN K.V., VILLENEUVE J.P., et DESCHENES S. (1988) Practice of geostatistics in the estimation of ion deposition from acid precipitation in the presence of sparse data networks. Dans: *Archives of Environment Contamination and Toxicology*, Springer-Verlag, New York.(soumis)

JOURNEL A.G. et HUIJBREGTS Ch.J. (1978) *Mining geostatistics*. Academic Press, New York, 600p.

SEILKOP S.K. et FINKELSTEIN P.L. (1987) Acid precipitation patterns and trends in Eastern North America, 1980-84. *Journal of Climate and Applied Meteorology* **26**, 980-994.

VILLENEUVE J.P., GUERTIN K.V. et G. JACQUES (1988) A geostatistical analysis of the spatial variability of Québec acid precipitation. *Journal of Climate and Applied Meteorology*.(soumis)

VILLENEUVE J.P., GUERTIN K.V., DESCHENES S., HOULE S., MICHAUD F., JACQUES G. et GRIMARD Y. (1986) Analyse de la variabilité spatiale des mesures de composition ionique des précipitations au Québec: application de la méthode du krigeage aux données de précipitations acides. *Rapport scientifique 205, INRS-Eau*, 86p.

Environment Environnement INTERLIBRARY DEMANDE DE PRET
Canada Canada LOAN REQUEST ENTRE BIBLIOTHEQUES

FOR USE OF - DESTINE A REG. NO. - NO. DE DEMANDE DATE OF REQUEST - DATE DE LA DEMANDE
MADORE, D 2650 1992-05-14

INTERLIBRARY LOANS PRETS ENTRE BIBLIOTHEQUES à
DEPARTMENTAL LIBRARY BIBLIOTHEQUE DU MINISTERE à
ENVIRONMENT CANADA ENVIRONNEMENT CANADA à
OTTAWA, ONTARIO, CANADA K1A 0H3 à

CALL NO/COTE àAUTHOR (OR PERIODICAL TITLE, VOL. AND YEAR) - AUTEUR (OU PERIODIQUE TITRE, VOL. ET ANNEE)
àGUERTIN, K ET VILLENEUVE, J.P.
à
à
à
à
à

TITLE - INCLUDING EDITION, PUBLISHER AND YEAR (WITH AUTHOR AND PAGES FOR PERIODICAL ARTICLES)
- TITRE - EDITION, EDITEUR ET ANNEE (SI PERIODIQUE, PRECISER AUTEUR ET PAGES)
METHODOLOGIE D'EVALUATION DES TENDANCES SPATIO-TEMPORELLES DES PHENOMENES RELI
ES AUX PRECIPITATIONS ACIDES, RAPPORT D'ETAPE, INRS-EAU

, , 1989

VERIFIED IN/VERIFIE DANS

UNIVERSITE DU QUEBEC à
INRS-EAU DOCUMENTATION à
PRET ENTRE BIBLIOTHEQUES à
C.P. 7500 à
SAINTE-FOY, QUEBEC à
G1V 4C7 à


Signature