

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

**MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES**

**COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT**

**PAR
MATTHIEU ALIBERT**

**RELATION ENTRE PÉRIODES HYDROCLIMATIQUES ET CHANGEMENTS
MORPHOLOGIQUES DU CHENAL PRINCIPAL ET DES MÉANDRES
ABANDONNÉS DE LA RIVIÈRE MATAWIN EN AMONT DU RÉSERVOIR
TAUREAU.**

Juin 2007

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

REMERCIEMENTS

Je remercie les professeurs Ali Assani et Denis Gratton, respectivement mon directeur et co-directeur de recherche. Mes remerciements s'adressent aussi aux professeurs Denis Leroux et Mohamed Berraja qui ont accepté d'évaluer ce mémoire. Ce travail a été réalisé grâce aux fonds de subvention octroyé par le CRSNG.

Je remercie tout particulièrement ma conjointe, Annie Pellerin, pour sa présence et son soutien sans faille aux cours de ces dernières années. Sans toi tout cela n'aurait pas été possible. Ma chérie, MERCI !!!

Ces remerciements s'adressent également à ma famille : Yveline et Richard, mes parents, pour leur soutien et leurs encouragements ; Danielle et Jean-Noël, pour leur accueil et leur bonne humeur ; Édith et Luc pour leur soutien moral, ces bons moments et ces longues discussions ...

Très sincèrement un grand merci à vous tous ...

RÉSUMÉ

Depuis le début du siècle de nombreux barrages ont été construits sur les rivières du Québec. De nombreuses études hydrologiques sur ces cours d'eau ont permis l'identification de trois régimes hydrologiques régularisés ; les régimes de type naturel, d'homogénéisation et d'inversion. Le barrage construit sur la rivière Matawin durant les années 30 induit un régime d'inversion. Ce cours d'eau étant de nature semi-alluviale doit, sans nul doute, être affecté par une inversion de son régime hydrologique tant en amont qu'en aval. Cet article abordera l'impact de l'inversion sur la dynamique du chenal et des méandres abandonnés en amont du réservoir. La littérature est relativement pauvre sur le sujet, contrairement aux études portant sur les impacts observés en aval des barrages. De plus, dans le contexte actuel du réchauffement global, nous avons analysé l'influence de la succession des périodes hydro-climatiques (sèches et humides) et des variations de température sur l'évolution du chenal principal et des méandres abandonnés. Pour ce faire nous avons analysé les photographies aériennes prises tous les dix ans depuis 1928. Cette analyse diachronique a été effectuée au moyen des logiciels PCI Géomatica et Arc GIS. Trois tronçons sableux et deux tronçons caillouteux furent analysés.

Les résultats obtenus nous ont permis d'écarter l'hypothèse d'une influence de l'inversion sur la dynamique morphologique de la Matawin. Car tous les tronçons ont connu une évolution morphologique similaire. Celle-ci a été caractérisée par deux principales phases depuis 1928 :

- Une phase d'augmentation de la largeur moyenne du chenal entre 1940 et 1970. Elle correspond à une période climatique sèche et froide.
- Une phase de diminution de la largeur moyenne du chenal entre 1970 et 1980. Elle correspond à une période hydroclimatique humide et chaude.

Cette évolution morphologique a été observée aussi sur les méandres recoupés qui sont encore actifs. Cette étude démontre que la présence du réservoir Taureau n'a aucun impact sur l'évolution morphologique du chenal de

la rivière Matawin en amont. Cette absence d'influence pourrait être attribuée à la présence d'un tronçon caillouteux juste en amont du réservoir. Ce tronçon servirait inhiérait ainsi l'effet de marnage sur la dynamique du chenal.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	II
RÉSUMÉ.....	III
TABLE DES MATIÈRES.....	V
LISTE DES TABLEAUX.....	VII
LISTE DES FIGURES.....	VIII
CHAPITRE 1 : MISE EN SITUATION.....	1
1.1. CONTEXTE DE LA RECHERCHE.....	1
1.2. PROBLÉMATIQUE.....	3
1.3. OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES DU SUJET DE LA RECHERCHE.....	4
1.4. MÉTHODOLOGIE.....	5
1.4.1. Choix de la rivière et description du mode gestion du réservoir Taureau.....	5
1.4.2. Estimation des changements morphologiques de la rivière Matawin et analyses statistique.....	8
1.4.3. Analyse statistique des données de débit.....	11
1.4.4. Analyse des données de température.....	13
1.5. RESULTATS OBTENUS.....	14
1.5.1. Analyse de la variabilité des débits et de la température.....	14
1.5.2. Analyse de la variation spatio-temporelle de la largeur du chenal.....	15
1.5.3. Variabilité temporelle de la sinuosité et évolution des méandres recoupés.....	20
1.6. CONCLUSIONS.....	22
1.7. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	24

CHAPITRE 2 :	RELATION ENTRE PÉRIODES HYDROCLIMATIQUES ET CHANGEMENTS MORPHOLOGIQUES DU CHENAL PRINCIPAL ET DES MÉANDRES ABANDONNÉS DE LA RIVIÈRE MATAWIN EN AMONT DU RÉSERVOIR TAUREAU.....	27
2.1.	INTRODUCTION.....	28
2.2.	MÉTHODOLOGIE.....	30
2.2.1.	Présentation du site d'étude.....	30
2.2.2.	Analyse et traitement des photos aériennes et Estimation des changements morphologiques de la rivière Matawin.....	33
2.2.3.	Analyses statistiques des données.....	37
2.3.	RÉSULTATS.....	37
2.4.1.	Analyse de la variabilité des débits et de la température.....	37
2.4.2.	Analyse de la variation spatio-temporelle de la largeur du chenal....	42
2.4.3.	Variabilité temporelle de la sinuosité et évolution des méandres recoupés.....	47
2.4.	DISCUSSION ET CONCLUSION.....	52
2.5.	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	56

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1.1	LES VALEURS DES PARAMÈTRES DANS LES TROIS RÉGIONS HYDROLOGIQUES HOMOGÈNES.....	13
TABLEAU 1.2	MOYENNE ET ERREUR STANDARD (ENTRE PARENTHÈSES) DE LA LARGEUR DU CHENAL (EN MÈTRES) POUR LES CINQ TRONÇONS DE NOTRE ÉTUDE À DIFFÉRENTES DATES.....	19
TABLEAU 1.3	MOYENNE DE LA LARGEUR DU CHENAL (EN MÈTRES) POUR LES QUATRE TRONÇONS RETENUS AVEC, ENTRE PARENTHÈSE, LES PÉRIODES PRÉSENTANT UNE DIFFÉRENCE SIGNIFICATIVE.....	19
TABLEAU 1.4	VARIATION TEMPORELLE DE LA LARGEUR MOYENNE POUR LES TRONÇONS PRÉSENTANT DES PÉRIODES DONT LES LARGEURS SONT SIGNIFICATIVEMENT DIFFÉRENTES.....	20
TABLEAU 1.5	RÉSULTATS DES ANOVA POUR CHACUN DES TRONÇONS.....	20
TABLEAU 2.1	SOURCES ET CARACTÉRISTIQUES DES PHOTOGRAPHIES AÉRIENNES.....	35
TABLEAU 2.2	VARIATION TEMPORELLE DE LA LARGEUR MOYENNE DE TROIS TRONÇONS SABLEUX ENTRE 1939-1998.....	46
TABLEAU 2.3	COMPARAISON DE LA VARIATION TEMPORELLE DE LA LARGEUR MOYENNE (M) DANS LES NEUF MÉANDRES RECOUPÉS.....	49
TABLEAU 2.4	RELATION ENTRE PÉRIODES HYDROCLIMATIQUES ET CHANGEMENTS MORPHOLOGIQUES DU CHENAL DE LA RIVIÈRE MATAWIN.....	54

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1.1	SCHÉMA DU CADRE DE RECHERCHE.....	2
FIGURE 1.2	EXEMPLE DE MESURES DE LARGEUR DU CHENAL PRINCIPAL POUR L'ANNÉE 1965.....	11
FIGURE 1.3	VARIABILITÉ LONGITUDINALE DE LA LARGEUR DU TRONÇON 1 EN 1988 ET COURBE DE TENDANCE.....	16
FIGURE 1.4	VARIABILITÉ LONGITUDINALE DE LA LARGEUR DU TRONÇON 3 EN 1988 ET COURBE DE TENDANCE.....	16
FIGURE 1.5	VARIABILITÉ LONGITUDINALE DE LA LARGEUR DU TRONÇON 5 EN 1988 ET COURBE DE TENDANCE.....	17
FIGURE 2.1	LOCALISATION DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE MATAWIN ET DE LA ZONE D'ÉTUDE.....	32
FIGURE 2.2	VISUALISATION DES TRONÇONS ÉTUDIÉS, MATAWIN EN AMONT DU RÉSERVOIR TAUREAU.....	33
FIGURE 2.3	VARIABILITÉ INTERANNUELLE DES DÉBITS DU MOIS DE MAI (A) ET VARIABILITÉ INTERANNUELLE DES DÉBITS (B) (VALEURS STANDARDISÉES ET FILTRÉES) À LA STATION DES SAINT-MICHEL-DES-SAINTS EN AMONT DU RÉSERVOIR TAUREAU (RIVIÈRE MATAWIN).....	39
FIGURE 2.4	NOMBRE DE CRUES DE RÉCURRENCE DE DEUX ANS (EN GRIS) ET DE RÉCURRENCE DE CINQ ANS (EN NOIR) PAR ANNÉE POUR LA MATAWIN AMONT.....	40
FIGURE 2.5	VARIABILITÉ DE LA TEMPÉRATURE MOYENNE DU MOIS DE MAI. MOYENNES MOBILES SIMPLES (5 TERMES).STATION MÉTÉOROLOGIQUE DE DRUMMONDVILLE.....	41
FIGURE 2.6	VARIABILITÉ LONGITUDINALE DE LA LARGEUR DU TRONÇON 1 EN 1950 ET COURBE DE TENDANCE. MOYENNES MOBILES SIMPLES (5 TERMES).....	42
FIGURE 2.7	VARIABILITÉ LONGITUDINALE DE LA LARGEUR DU TRONÇON 3 EN 1950 ET COURBE DE TENDANCE. MOYENNES MOBILES SIMPLES (5 TERMES).....	43
FIGURE 2.8	VARIABILITÉ LONGITUDINALE DE LA LARGEUR DU TRONÇON 5 EN 1950 ET COURBE DE TENDANCE. MOYENNES MOBILES SIMPLES (5 TERMES).....	43

FIGURE 2.9	COMPARAISON DE LA VARIATION TEMPORELLE DE LA LARGEUR MOYENNE (M) DU TRONÇON 1 (SABLEUX) ET INTERVALLE DE CONFIANCE.....	44
FIGURE 2.10	COMPARAISON DE LA VARIATION TEMPORELLE DE LA LARGEUR MOYENNE (M) DU TRONÇON 2 (CAILLOUTEUX) ET INTERVALLE DE CONFIANCE.....	45
FIGURE 2.11	COMPARAISON DE LA VARIATION TEMPORELLE DE LA LARGEUR MOYENNE (M) DU TRONÇON 3 (SABLEUX) ET INTERVALLE DE CONFIANCE.....	45
FIGURE 2.12	COMPARAISON DE LA VARIATION TEMPORELLE DE LA LARGEUR MOYENNE (M) DU TRONÇON 5 (SABLEUX) ET INTERVALLE DE CONFIANCE.....	46
FIGURE 2.13	VARIATION DE L'INDICE DE SINUOSITÉ POUR LA MATAWIN EN AMONT DU RÉSERVOIR TAUREAU ENTRE 1937-39 ET 1988.....	48
FIGURE 2.14	DÉVELOPPEMENT, TRANSLATION ET ROTATION D'UN MÉANDRE DE LA RIVIÈRE MATAWIN ENTRE 1928 ET 1988.....	48
FIGURE 2.15	ÉVOLUTION DU MÉANDRE RECOUPÉ G ENTRE 1937-39 ET 1975.....	50
FIGURE 2.16	ÉVOLUTION DU MÉANDRE RECOUPÉ F ENTRE 1937-39 ET 1975	50
FIGURE 2.17	ÉVOLUTION DU MÉANDRE RECOUPÉ E ENTRE 1937-39 ET 1975	51

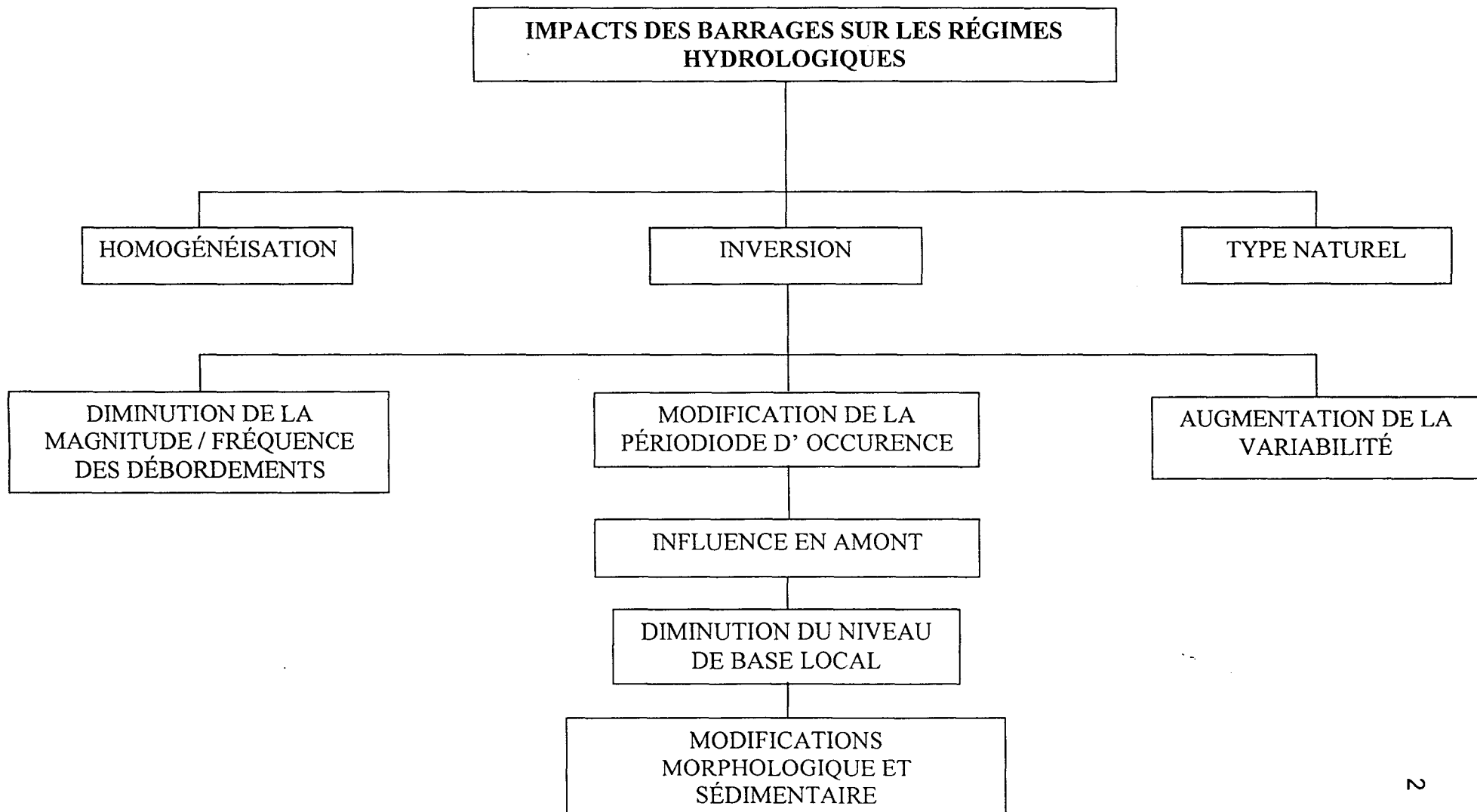
CHAPITRE 1 :

MISE EN SITUATION

1.1. CONTEXTE DE LA RECHERCHE

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche consacré aux impacts hydro-morphologiques et écologiques des barrages au Québec. Elle se limitera à l'analyse de l'influence de l'inversion des régimes hydrologiques des rivières sur la morphologie des chenaux notamment en relation avec la variabilité interannuelle des débits au Québec (Figure 1.1). En effet, les études relatives aux impacts hydrologiques des barrages au Québec ont conduit à l'identification et à la caractérisation de trois régimes hydrologiques régularisés (Assani et al., 2005; 2006a et 2006b) : les régimes de type naturel, d'homogénéisation et d'inversion. Ces trois types de régimes correspondent chacun à un mode de gestion spécifique des barrages. De ces trois régimes, le dernier est le plus modifié. Ces modifications se traduisent par une diminution de la magnitude et de la fréquence des crues, une plus forte variabilité de la magnitude ainsi qu'un changement de leurs périodes d'occurrence. Toutes ces modifications peuvent affecter sans nul doute la dynamique des chenaux aussi bien en amont qu'en aval des barrages. Cependant, au Québec, il n'existe encore aucune étude sur les impacts de cette inversion sur cette dynamique. Dans la littérature scientifique, les études s'intéressent surtout aux chenaux en aval des barrages. De plus, aucune étude n'a jamais analysé les impacts induits par une inversion du régime hydrologique d'une rivière en amont. Ainsi, les impacts des barrages caractérisés par l'inversion des régimes hydrologiques sur les chenaux situés à leur amont sont encore méconnus.

FIGURE 1.1 Schéma du cadre de recherche.



1.2. PROBLÉMATIQUE

Les lits des rivières à méandres peuvent se modifier rapidement et subir des changements importants de formes (Bravard et Petit 2000). Cette mobilité se traduit notamment par l'abandon de nombreux tronçons sinueux (méandres abandonnés) contribuant à la genèse des plaines alluviales. La construction d'un barrage et la mise en eau du réservoir en aval d'un secteur sinueux peuvent avoir des conséquences importantes sur l'évolution morphologique de ce type de rivière aussi bien en amont qu'en aval des barrages. Il existe une littérature abondante sur les impacts des barrages sur la morphologie des tronçons situés en aval. De nombreux modèles d'évolution morphologique ont ainsi déjà été proposés (Schumm, 1969; Petts, 1984; Brandt, 2000). En revanche, en amont des barrages, nous avons recensé seulement deux travaux sur les impacts morphologiques (Assani et al. 2003; Jiongxin 1990). Jiongxin avait proposé un modèle théorique général sur l'évolution morphologique en amont des barrages en se fondant sur le concept « du principe de réponse complexe dans des systèmes » formulé par Schumm (1969) pour rendre compte des changements qui affectent les chenaux. Cependant, ce modèle n'a pas été vérifié en amont du réservoir de Butgenbach (en Belgique) dont les impacts furent analysés par Assani et al. (2004). Selon ces derniers auteurs, la présence de ce réservoir n'avait aucun impact sur l'évolution morphologique du chenal de la rivière en amont contrairement au modèle proposé par Jiongxin (1990), malgré la fluctuation saisonnière importante du niveau du lac-réservoir qui constituait le niveau de base local du chenal en amont du réservoir. Ces auteurs attribuèrent cette absence d'influence du réservoir à la diminution de l'apport des sédiments fins (charge en suspension) consécutif à un changement d'affectation des sols. De plus, le mode de gestion du réservoir de Butgenbach ne pouvait pas permettre une accumulation des sédiments à l'entrée du lac du barrage. C'est cette accumulation qui peut être à l'origine des changements morphologiques susceptibles d'affecter le chenal en amont du réservoir.

L'accumulation provoque une hausse du niveau de base local qui favorise une sédimentation dans le chenal même augmentant ainsi la fréquence des inondations et celle de recoupement des méandres.

Le résultat obtenu par Assani et al. (2004) démontre que la présence d'un barrage n'entraîne pas automatiquement un changement morphologique en amont de l'ouvrage, contrairement au secteur situé en aval, comme prévoit le modèle de Jiongxin. Cependant, il soulève la question fondamentale suivante : quel est le mode de gestion des barrages, susceptible de provoquer des changements morphologiques significatifs en amont ? Pour répondre à cette question, nous avons choisi d'analyser les impacts potentiels que peut induire un barrage caractérisé par un régime d'inversion sur l'évolution morphologique dans le secteur amont. Comme nous l'avons déjà souligné, les impacts morphologiques associés à ce type de régime ne sont pas encore analysés. De plus, environ 40% des barrages au Québec sont caractérisés par ce type de régime.

1.3. OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES DU SUJET DE LA RECHERCHE

À la lumière de ces considérations, notre étude poursuit les objectifs suivants :

1/ Déterminer l'influence de l'inversion du régime hydrologique d'une rivière par un barrage sur l'évolution morphologique du secteur situé en amont. Plus précisément, notre intérêt se limitera à cerner l'influence de la variabilité du niveau de base local pour les tronçons en amont du réservoir. L'hypothèse reliée à cet objectif est la suivante : la diminution importante du niveau de base local (niveau du lac) au moment de la fonte des neiges au printemps favoriserait

une reprise d'érosion en amont du barrage réduisant ainsi la fréquence de recoupement des méandres

2/ Déterminer l'influence de la succession des périodes sèches et humides sur la fréquence de recoupement des méandres, sur l'évolution de la largeur et sur la dynamique de la sinuosité du chenal principal. L'hypothèse reliée à cet objectif est la suivante : d'une part, durant les périodes humides, la fréquence de recoupement des méandres augmente en raison de la hausse de la fréquence des crues supérieures au débit à plein bord. D'autre part, durant ces mêmes périodes, la largeur du chenal tendrait à augmenter, tout comme l'indice de sinuosité. Pendant les périodes sèches, c'est la relation inverse qui se produit.

1.4. MÉTHODOLOGIE

1.4.1. CHOIX DE LA RIVIÈRE ET DESCRIPTION DU MODE GESTION DU RÉSERVOIR TAUREAU

Cette étude a été entreprise sur la rivière Matawin, principal tributaire de la rivière Saint-Maurice et sous affluent du fleuve Saint-Laurent en rive nord. Elle draine un bassin versant d'environ 5 775 km². Le climat est du type subpolaire continental avec une lame d'eau annuelle d'environ 1000 mm et une température moyenne annuelle de 4°C. Tout le bassin versant est couvert par la forêt feuillue constituée essentiellement de l'érablière à bouleau jaune (Doneys et Dubois, 1991 ; Laflamme, 1995). Quant à l'affectation du sol, les activités anthropiques se limitent à l'exploitation forestière. L'agriculture est quasi absente car les terres et le climat n'y sont pas propices. La rivière entaille le bouclier canadien et incise alternativement les formations sableuses d'origine fluvio-glaciaires et des formations caillouteuses ou rocheuses appartenant au socle. Sur ces derniers tronçons y affleurent parfois la roche en place donnant naissance ainsi à des chutes et des rapides. Le cours de la Matawin est

principalement caractérisé par une alternance quasi régulière de biefs caillouteux à écoulement turbulent, en raison de la forte pente, et de biefs sableux à écoulement lent. En 1929, la Shawinigan Water & Power Co construisit sur la rivière Matawin, le réservoir Taureau. Celui-ci avait triple objectifs : rehausser, en hiver, la capacité du réservoir des la centrales hydroélectriques (Grand-Mère, Shawinigan 2 et 3 et de la Gabelle) érigées sur la rivière Saint-Maurice ; lutter contre les inondations sur la même rivière, et enfin faciliter l'évacuation des billes de bois provenant de amont.

Vers le début de la décennie 1960, le réservoir Taureau est passé sous le contrôle d'Hydro-Québec qui venait d'être créée. Le réservoir Taureau est un barrage poids de 720 m de long et de 26 m de hauteur. Il est muni d'un évacuateur des crues, long de 42 m et haut de 25 m, d'un pertuis de fond, long de 25 m et haut de 24 m ainsi que de quatre déversoirs d'une capacité totale de 1 409 m³/s et de quatre vannes de fond d'une capacité totale de 400 m³/s. Sa réserve totale est estimée à 348 000 000 m³ d'eau. Son bassin versant est de 4 325 km², ce qui représente 75% de la superficie totale du bassin versant de la rivière Matawin. Le niveau du réservoir est maintenu entre une cote maximale d'exploitation qui se situe à 359,05 m et une cote minimale d'exploitation à 343,81 m. Le marnage annuel maximal du réservoir est donc de 15,24 m. À son niveau le plus bas, le réservoir occupe une superficie d'environ 8 km². Le réservoir Taureau est un réservoir de type annuel c'est-à-dire que son remplissage complet se fait chaque année et résulte exclusivement de l'apport en eau provenant de son bassin versant. La gestion actuelle se caractérise par une légère baisse en dessous du niveau d'exploitation maximale du réservoir en automne. Cette pratique permet de prévenir les crues d'automne (réurrence 30 ans) et éviter ainsi les inondations en amont et au niveau même du réservoir. Elle permet par conséquent de limiter le déversement de forts débits en aval lors des crues automnales. C'est à partir de la mi-novembre que s'amorce la vidange du réservoir qui se poursuit durant toute la saison hivernale. De gros

débites sont maintenus en sortie du barrage afin de créer un chenal sur la rivière Matawin libre de tout couvert de glace au cours de cette période et d'éviter la formation d'embâcles en aval. À cette époque de l'année le niveau d'eau du réservoir diminue en moyenne de 0,10 m à 0,12 m par jour. Ce taux peut atteindre jusqu'à 0,40 m par jour à la fin de l'hiver. À son niveau le plus bas, la cote minimale moyenne du réservoir est d'environ 349 m. Mais elle peut descendre exceptionnellement à environ 340 m certaines années. Un remplissage rapide (quatre à six semaines) du réservoir s'effectue avec la fonte des neiges et l'arrivée de la crue printanière. Cette hausse de 10 à 15 m se réalise avec un taux journalier d'augmentation du niveau de l'eau de plus de 50 cm. Après le remplissage complet du réservoir, celui-ci est maintenu entre les cotes 357 et 359 m. Depuis sa mise en eau en 1931, la gestion hydraulique du réservoir n'a pratiquement pas changé. Seul l'arrêt du flottage et la signature de deux ententes avec la municipalité de Saint-Michel-des-Saints sont venus modifier modérément la gestion du réservoir. Toutefois, les conditions nécessaires afin de permettre le flottage des billes de bois ne sont plus en vigueur depuis 1989. Auparavant celui-ci exigeait le maintien du niveau du réservoir à une cote supérieure à 356,67 m du 1er juin au 31 octobre. Cette pratique nécessitait également un débit minimal de 70 m³/s.

Ce mode de gestion a entraîné une inversion totale du régime hydrologique de la rivière Matawin en aval du réservoir (Assani et al., 2002). En effet, les débits maximums surviennent alors en hiver et les débits minimums au printemps et en été. Il s'ensuit un changement de la période d'occurrence des débits minimums en aval du réservoir. Ces débits sont mesurés au printemps en aval du réservoir mais en hiver en amont. Nous avons choisi cette rivière pour les raisons suivantes :

- Le réservoir Taureau construit sur la rivière Matawin a induit un régime d'inversion en aval.

- La rivière est facilement accessible par route.
- Il existe plusieurs stations hydrométriques en amont du réservoir dont les mesures des débits ont débuté au moment de la construction du réservoir. Ceci permet une meilleure interprétation des changements morphologiques en fonction de la variabilité interannuelle des débits.
- Il existe des photographies aériennes prises presque tous les dix ans avant (1928) et après (1937, 1950, 1964-1965, 1996, 2001) la construction du réservoir. Ceci permet de suivre les changements morphologiques progressifs induits éventuellement par le réservoir depuis sa construction.

Notre site d'étude se situe en amont du réservoir Taureau. Ce tronçon d'une quarantaine de kilomètres présente de nombreux méandres abandonnés situés à différents stades d'évolution. Le débit moyen annuel, exprimé en débit spécifique, est de 17,2 L/s/km² (23,9 m³/s) (Assani et al. 2002).

1.4.2. ESTIMATION DES CHANGEMENTS MORPHOLOGIQUES DE LA RIVIÈRE MATAWIN ET ANALYSES STATISTIQUE

Les cartes historiques ainsi que les photographies aériennes sont la principale source d'information pour l'étude des changements morphologiques d'un cours d'eau (Hooke, 2004). Par contre, leur utilisation n'est envisageable seulement si les changements observables excèdent les erreurs spatiales inhérentes aux sources et les erreurs inhérentes au traitement de ces mêmes sources (Downward, 1995 dans Gurnell et al. 1998). Les photographies aériennes offrent davantage de précision que les cartes topographiques quant à la modification morphologique des cours d'eau. Elles permettent l'observation précise des processus d'érosion et de sédimentation dans les cours d'eau, mais

aussi de l'évolution de la végétation riveraine, du développement de l'urbanisation, des activités anthropiques etc. Par contre, le traitement des photographies aériennes nécessite les plus grands soins en ce qui concerne le géoréférencement et l'orthorectification afin de limiter au maximum les distorsions planimétriques.

Pour la rivière Matawin, nous possédons des séries de photographies aériennes des années 1928, 1935, 1950, 1965, 1975 et 1998. Chaque cliché a été géoréférencé dans le système de projection UTM NAD 1983. Les prises de vue de 1928 à 1950 ont été scannées à une résolution de 600 dpi et 8 bits. Pour des raisons d'espace de stockage et parce que leur échelle est plus petite, les clichés pris depuis de 1965 on été scannés à une résolution de 400 dpi et 8bits. Des coordonnées ont donc été attribuées à chacun des pixels de chaque photographie. Après avoir été géoréférencée, chaque image a été orthorectifiée. L'orthorectification est un traitement qui permet la correction des distorsions spatiales causées par l'inclinaison du capteur et/ou le relief du terrain. Cette correction est obtenue à partir des paramètres d'orientation de la chambre de prise de vue, des différents points de référence connus (en XYZ), et du Modèle Numérique d'Élévation (MNE). Une fois les photographies géoréférencées et orthorectifiées, nous avons procédé à la création d'une mosaïque (une par période). L'étape du «mosaïquage» des prises de vues permet de constituer une orthophotographie (ou orthoscène) qui couvrira la totalité de notre site d'étude. Les produits finaux sont au format TIFF et chaque pixel représente une unité de un mètre.

Ce traitement vise la reconstitution du linéaire du cours d'eau pour chaque période. Par la suite, une analyse cartographique a été effectuée pour, entre autres, de déceler toutes les modifications morphologiques du cours d'eau depuis 1928 jusqu'en 1988 (par superposition des tracés). Grâce à ce support nous avons vectorisé, pour chaque année d'observation, le chenal principal de la Matawin. Les limites du chenal ont été tracées en fonction de la végétation et

non pas en fonction de la surface de l'eau. Cette méthode de vectorisation permet de limiter les erreurs dues à la variabilité du débit et de la hauteur d'eau.

Après avoir vectorisé le chenal principal pour chaque période et dans un premier temps, l'axe central a été défini. Celui-ci a été déterminé à l'aide de Arc GIS et de l'outil 3D Analyst. Pour chaque année d'observation une interpolation linéaire a été effectuée entre la rive gauche et la rive droite. Nous avons alors obtenu une ligne qui représente l'axe central de notre cours d'eau. C'est cet axe central qui a été utilisé pour calculer l'indice de sinuosité pour chaque période d'observation. Par la suite, la largeur du chenal principal a été mesurée en plusieurs points tout au long du linéaire. Chaque mesure de largeur a été prise perpendiculairement à l'axe central du chenal principal. Pour chaque période les mesures de largeur ont été renouvelées aux mêmes points de manière à évaluer toute variation locale (figure 1.2). Pour chaque période nous avons relevé 314 mesures de largeur grâce au logiciel Arc GIS. Dans le but d'évaluer la variabilité de la largeur de la rivière Matawin, des mesures ont été faites pour six années s'échelonnant de 1928 à 1988. Afin de mieux cerner cette problématique nous avons sectorisé notre aire d'étude en cinq tronçons, de longueur différente, en fonction de la nature du substrat. Nous observons donc une alternance de tronçons sableux (3) et caillouteux (2), caractéristiques des rivières drainant le Bouclier Canadien. Nous considérons alors l'hypothèse selon laquelle la largeur des tronçons tendrait à augmenter durant les périodes hydroclimatiques humides et inversement durant les périodes sèches. Afin de vérifier cette hypothèse plusieurs mesures ont été prises pour chaque tronçon pour les années dont les photographies aériennes sont disponibles. Les tronçons étant de longueur différente, nous n'avons pas le même nombre de mesure par tronçon. Les tronçons sableux 1, 3 et 5 étant les plus longs nous obtenons respectivement effectué 101, 90 et 107 mesures de longueur par année. Pour les tronçons caillouteux 2 et 4 nous obtenons respectivement 13 et 3 mesures par année.

Concernant les analyses statistiques de ces données, nous avons mesuré la sinuosité du chenal et comparé les différentes années d'observation. Pour les données de largeur, les données brutes ont été analysées et chaque tronçon a été comparé, notamment en fonction de la nature du substrat. Nous avons également analysé la variabilité longitudinale de la largeur de manière à déterminer si la largeur moyenne augmente de l'amont en aval dans un même tronçon. Pour cela les données ont été standardisées et une moyenne mobile a été calculée pour chaque tronçon. Des analyses de variance ont également été effectuées de manière à déterminer, s'il existe des différences significatives entre les mesures de largeur effectuées pendant les années 1928, 1937-39, 1950, 1965, 1975 et 1988.

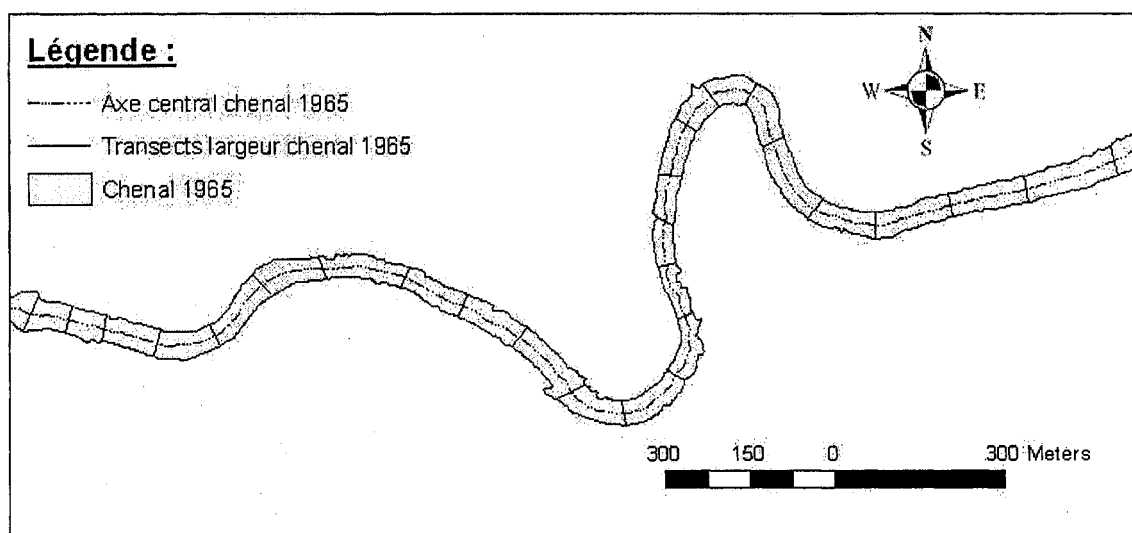


FIGURE 1.2 Exemple de mesures de largeur du chenal principal pour l'année 1965.

1.4.3. ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES DE DÉBIT

Il existe plusieurs stations hydrométriques en amont et en aval du réservoir dont les mesures des débits ont débuté au moment de la construction du réservoir en 1930. Ceci permet une meilleure interprétation des changements morphologiques en fonction de la variabilité interannuelle des débits. Nous

avons donc analysé la variabilité interannuelle des débits moyens annuels et des débits moyens du mois de mai. La méthode de la moyenne mobile simple a été utilisée pour mettre en évidence la succession des périodes hydroclimatiques humides et sèches en éliminant les variations annuelles. En mettant en parallèle la variabilité des débits et l'évolution morphologique du chenal de la Matawin, nous avons pu déterminer l'influence de la succession des périodes sèches et humide sur l'évolution de la largeur des tronçons sableux et caillouteux mais également sur la variabilité de la sinuosité du chenal principal ainsi que sur la fréquence de recoupement des méandres.

Le nombre de crues de récurrence biennale et quinquennales a également été déterminé afin de savoir si cette information peut justifier les changements morphologiques de la Matawin. Ces données ont été calculées à partir de l'approche régionale d'estimation de crues établie par Anctil et al (1998). Cette approche consiste en quatre étapes.

$$Q_m = 1.61S^{0.70} \quad (1)$$

Q_m est la moyenne des débits maximums annuels

S est la superficie du bassin versant du site.

$$Q_T = \beta + \alpha \cdot \{1 - [-\ln B]^k\} \quad (2)$$

$$B = [(T - 1)/T] \quad (3)$$

- Q_T est le quantile normalisé régional

- κ est le paramètre de forme de la loi GEV (General Extreme Value) régionalisée

- α est le paramètre de localisation de la loi GEV régionalisée

- β est le paramètre d'échelle.

Ces trois paramètres sont des fonctions des moyennes régionales des moments L normalisés.

- T est la période de retour correspondant à un quantile donné.

$$Q_e = Q_T \cdot Q_m \quad (4)$$

Q_e est le quantile estimé correspondant à la période de retour T

TABLEAU 1.1
Les valeurs des paramètres dans les trois régions hydrologiques homogènes

Région hydrologique homogène	β	α	κ
I	0,8397	0,2819	0,0086
II	0,8659	0,2754	0,0993
III	0,8910	0,2308	0,1173

1.4.4. ANALYSE DES DONNÉES DE TEMPÉRATURE

Il existe des données historiques de température depuis l'année 1900 pour une région voisine de notre site d'étude. Ces données ont été analysées de manière à connaître les conditions climatiques printanières. Cela nous a permis d'analyser la variabilité interannuelle des températures du mois de mai. Nous

avons utilisé la méthode de la moyenne mobile simple pour mettre en évidence la succession des périodes de température froide et chaude.

1.5. RESULTATS OBTENUS

1.5.1. ANALYSE DE LA VARIABILITÉ DES DÉBITS ET DE LA TEMPÉRATURE

La variabilité interannuelle des débits moyens annuels est caractérisée par trois périodes bien distincts : une période sèche qui s'étend de 1930 jusqu'au milieu de 1965. Cette période se caractérise par une faible fréquence des crues de récurrence ≥ 2 ans. Elle a été suivie par une période humide durant toute la décennie 70. Le nombre de crues de récurrence ≥ 2 ans a significativement augmenté. Enfin, une nouvelle période sèche lui a succédé depuis la décennie 80. La fréquence de crues a de nouveau diminué.

En ce qui concerne la température, sa variabilité interannuelle est caractérisée par deux grandes périodes : une période « froide » (température inférieure à la moyenne) avant 1970 et une période « chaude » après cette année.

En combinant les résultats issus de l'analyse des débits et de la température, on peut distinguer trois grandes périodes hydroclimatiques pour le bassin versant de la rivière Matawin :

- Une période froide et sèche entre 1930 et 1970
- Une période chaude et humide durant la décennie 70.
- Une période chaude et sèche après la décennie 70.

1.5.2. ANALYSE DE LA VARIATION SPATIO-TEMPORELLE DE LA LARGEUR DU CHENAL

1.5.2.1. Variation longitudinale

Les figures 1.3, 1.4 et 1.5 présentent l'évolution de la largeur d'amont en aval pour chacun des tronçons sableux pour l'année 1988. Nous pouvons observer que pour chaque tronçon nous retrouvons la même tendance. La largeur est toujours supérieure à la largeur moyenne en amont alors que nous observons l'inverse en aval. Il semble que les tronçons caillouteux aient un impact direct sur l'élargissement des chenaux sableux dans leur secteur amont. En effet, il est probable que l'accélération de la vitesse de l'eau dans les tronçons caillouteux permette, au contact du tronçon sableux suivant, une érosion importante des berges. En progressant petit à petit dans le tronçon sableux l'énergie se dissipe et sa capacité érosive diminue. Nous avons donné ici l'exemple pour l'année 1988 mais ce phénomène se répète durant d'autres périodes d'observation.

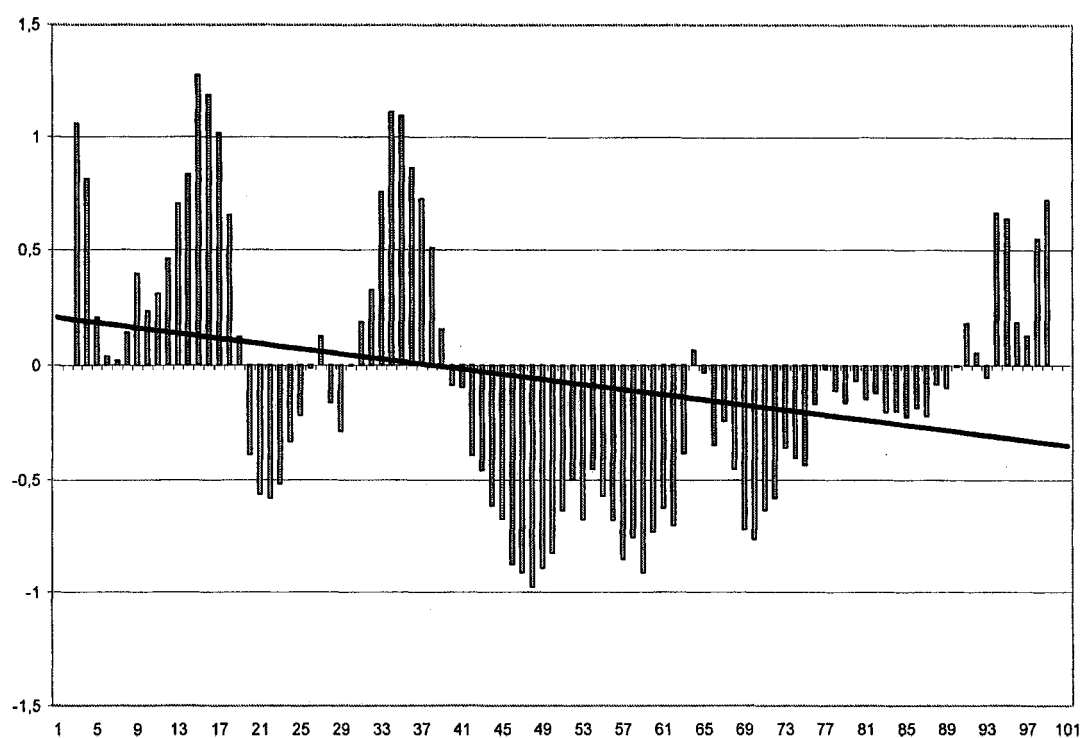


FIGURE 1.3 Variabilité longitudinale de la largeur du tronçon 1 en 1988 et courbe de tendance

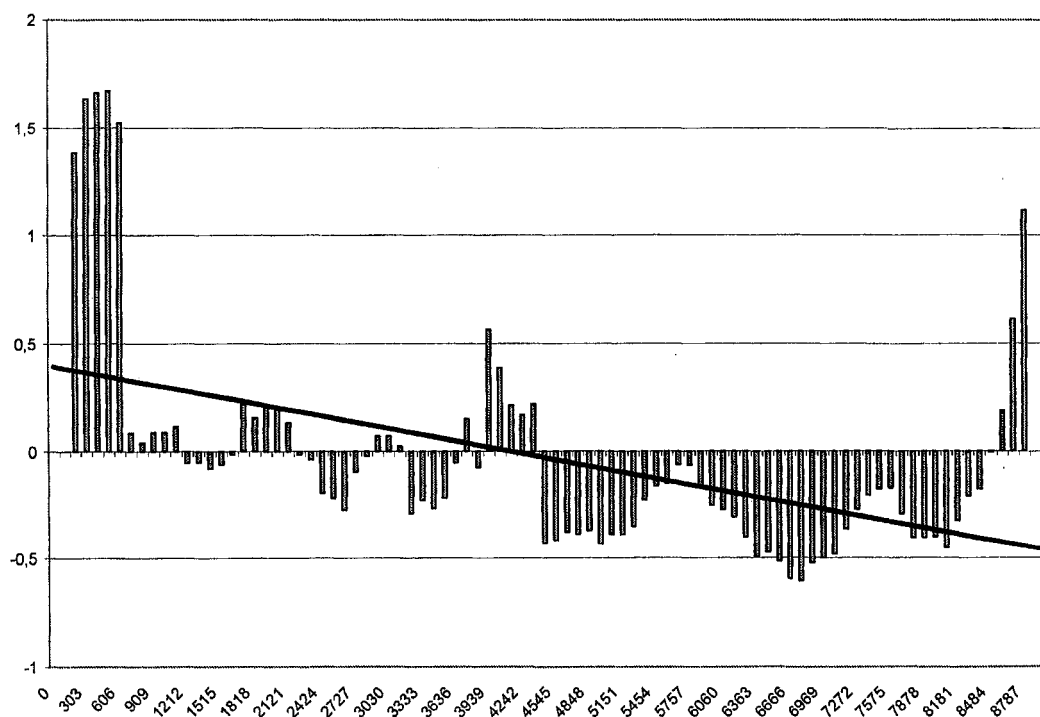


FIGURE 1.4 Variabilité longitudinale de la largeur du tronçon 3 en 1988 et courbe de tendance

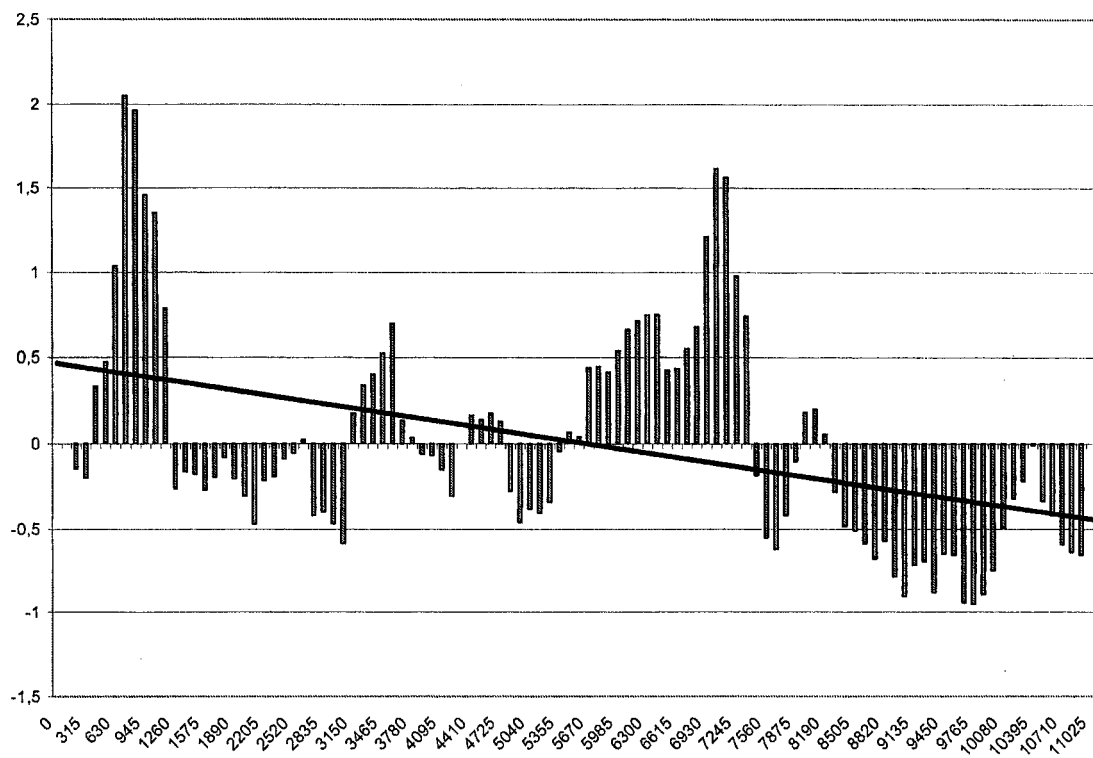


FIGURE 1.5 Variabilité longitudinale de la largeur du tronçon 5 en 1988 et courbe de tendance

1.5.2.2. Variation temporelle

Pour pouvoir comparer la largeur moyenne du chenal sur les photographies aériennes prises en différentes périodes, nous avons mesuré la largeur du tronçon sableux 1 à 101 stations. Sa largeur moyenne maximale est de 46,9 m en 1965. La largeur moyenne minimale est de 37,8 m en 1988 (tableau 1.2). L'ANOVA effectuée sur ce tronçon nous donne : $F(5) = 13,115$, $p < 0,001$. Les mesures de largeur moyenne du chenal sont donc significativement différentes en fonction des années d'observation (tableau 1.5). Grâce à un test de comparaison des moyennes par paire (test de Tuckey) nous constatons que pour le tronçon1 nous avons deux étapes d'évolution : la

première entre 1937-39 et 1950 et la seconde entre 1965 et 1975 (tableau 1.3). Afin de mieux cerner l'étendue de ces différences, nous avons calculé le pourcentage d'accroissement entre les années significativement différentes. Le tronçon 1 s'est donc élargi de 12,08 % entre 1937-39 et 1950. Par contre sa largeur a diminuée de 18,57 % entre 1965 et 1975 (tableau 1.4).

La comparaison de la largeur moyenne du tronçon 2, de nature caillouteuse, a été fondée sur les mesures effectuées à 13 stations car sa longueur totale est courte. Cela est dû à sa longueur beaucoup plus faible que le tronçon précédant. La largeur moyenne maximale est de 40,8 m en 1965. La largeur moyenne minimale est de 31.4 m en 1928 et 1937-39 (tableau 1.2). L'ANOVA effectuée sur ce tronçon nous donne : $F(5) = 1,784$, $p > 0,1$. Les mesures de largeur ne sont donc pas significativement différentes en fonction des années d'observation (tableau 1.5). Le test de comparaison multiple de Tuckey nous l'a confirmé.

Sur le second tronçon sableux (tronçon3), la largeur moyenne a été déduite des mesures effectuées à 90 endroits (à l'exception de 1928 car les photographies aériennes sont inexistantes pour cette partie du cours d'eau). La largeur moyenne a significativement varié entre de 37,2 m (1988) et 49,5 m (1950) (tableau 1.2). Le test de Tuckey révèle deux étapes de variation de ce tronçon : une hausse (18,4%) entre 1937-39 et 1950 suivie d'une diminution (18,3%) entre 1965 et 1975 (tableaux 1.3 et 1.4).

Le second tronçon caillouteux (tronçon 4) est le plus court. Seules trois mesures ont été effectuées à chaque année d'observation. La largeur moyenne a varié entre 27,9 m (1988) et 31,7 m (1950). Mais cette variation ne doit pas être considérée comme statistiquement significative.

Le dernier tronçon sableux (tronçon 3) est caractérisé par la même évolution que les deux tronçons sableux précédents : une hausse de la largeur moyenne entre 1937 et 1950 suivie d'une diminution après 1970. Sa largeur moyenne a varié entre 39 m et 44,2 m (tableau 1.2).

TABLEAU 1.2

Moyenne et erreur standard (entre parenthèses) de la largeur du chenal (en mètres) pour les cinq tronçons de notre étude à différentes dates

	Tronçons				
	1 - Sableux	2 - Caillouteux	3 - Sableux	4 - Caillouteux	5 - Sableux
Nombre de mesures	101	13	90	3	107
Années					
1928	41,4 (1,2)	31,4 (2,0)	*	*	*
1937-1939	41,6 (0,9)	31,4 (2,0)	41,8 (1,7)	31,1 (6,1)	39,9 (1,1)
1950	46,6 (1,1)	35,9 (2,9)	49,5 (2,1)	31,7 (6,2)	41,2 (1,4)
1965	46,9 (1,3)	40,8 (3,1)	46,5 (2,1)	29,4 (4,0)	44,2 (1,2)
1975	38,2 (1,0)	32,7 (2,6)	38,0 (1,8)	29,5 (3,0)	39,3 (1,0)
1988	37,8 (1,0)	34,3 (3,1)	37,2 (1,8)	27,9 (3,4)	39,0 (1,0)

* Pour l'année 1928, seules les informations concernant les tronçons n° 1 et 2 sont disponibles.

TABLEAU 1.3

Moyenne de la largeur du chenal (en mètres) pour les quatre tronçons retenus avec, entre parenthèse, les périodes présentant une différence significative

	1928 (a)	1937-1939 (b)	1950 (c)	1965 (d)	1975 (e)	1988 (f)
Tronçon 1 sableux	41,40 (c,d)	41,62 (c,d)	46,65 (a,b,e,f)	46,89 (a,b,e,f)	38,18 (c,d)	37,85 (c,d)
Tronçon 2 caillouteux	31,41	31,41	35,86	40,77	32,68	34,28
Tronçon 3 sableux		41,80 (c)	49,50 (b,e,f)	46,47 (e,f)	37,97 (c,d)	37,25 (c,d)
Tronçon 5 sableux		39,95 (d)	41,28	44,23 (b,e,f)	39,32 (d)	38,98 (d)

TABLEAU 1.4

Variation temporelle de la largeur moyenne pour les tronçons présentant des périodes dont les largeurs sont significativement différentes

Tronçon 1	1937-39	12,08% →	1950	1965	-18,57% →	1975
Tronçon 3	1937-39	18,42% →	1950	1965	-18,29% →	1975
Tronçon 5	1937-39	10,71% →	1965	1965	-11,10% →	1975

TABLEAU 1.5

Résultats des ANOVA pour chacun des tronçons

Tronçons	Source	SS	df	Ms	F ratio	P
1	Années	7844,2	5	1568,84	13,115	$p < 0.001$
	Erreur	70215,7	587	119,61		
2	Années	825,77	5	165,15	1,784	$p > 0.1$
	Erreur	6664,01	73	92,55		
3	Années	10202,18	4	2550,54	7,531	$p < 0.001$
	Erreur	150719,21	445	338,69		
5	Années	1946,75	4	486,68	3,496	$p < 0.01$
	Erreur	73779,29	530	139,2		

1.5.3. VARIABILITÉ TEMPORELLE DE LA SINUOSITÉ ET ÉVOLUTION DES MÉANDRES RECOUPÉS

L'indice de sinuosité de la rivière Matawin varie peu au cours des 80 dernières années. La sinuosité maximale est observée en 1937-39 avec un indice de 1,83 alors que la sinuosité la plus faible est relevée en 1988 avec un indice de 1,75. Durant toute cette période nous n'avons pas observé

d'événements de recoupement de méandres. Toutefois, certains méandres se sont déformés, ceci doit être à l'origine de la variation de l'indice de sinuosité.

En ce qui concerne la largeur des méandres dont le recoupement s'est produit avant 1928, on peut observer aussi les deux types de changements. En effet, entre 1937-1965, la largeur des méandres recoupés a augmenté. En revanche, pendant la période humide (1975), la largeur a significativement diminué. Cette diminution s'accompagne d'une forte végétalisation des chenaux et des berges. Cette végétalisation traduit en fait une stabilisation des berges et une sédimentation relativement importante dans les chenaux des méandres recoupés.

1.6. CONCLUSIONS

Nous avons analysé les impacts de la succession des périodes hydro-climatiques sur l'évolution morphologique de la rivière Matawin sur une période de 50 ans environ (1928-1988). Durant cette période, nous avons identifié trois grands épisodes hydroclimatiques qui ont été corrélés aux changements morphologiques du chenal principal de la rivière et des méandres abandonnés.

Le premier épisode (de 1937 à 1965) est caractérisé par une diminution des débits et de la température. C'est un épisode froid et sec. Nous y avons observé une hausse de la largeur moyenne entre 10 et 18% selon les tronçons sableux. Cette hausse, observable également dans les méandres recoupés, ne peut être expliquée que par l'action de la glace sur les berges lors du dégel.

Le second épisode (1970 À 1980) est caractérisé par des débits relativement élevés. C'est un épisode chaud et humide. Or, nous avons observé durant cette période une diminution de la largeur du chenal et des méandres recoupés. L'observation de ces méandres recoupés nous a permis d'expliquer cette diminution. En effet nous y avons observé une sédimentation importante qui résulte d'un charriage provenant du chenal principal. Cette période humide a donc provoqué une incision du chenal dont les matériaux ont contribué au colmatage des méandres recoupés et certainement à un alluvionnement important de la plaine alluviale.

Le troisième épisode (depuis 1980) est caractérisé par une diminution des débits et une hausse des températures. C'est un épisode chaud et sec. Cet épisode n'a généré aucun changement significatif du point de vue morphologique contrairement au premier épisode qui était sec mais froid. Cette absence de changement pourrait être attribuable à la hausse de la température qui aurait eu pour effet une diminution de la quantité et de la dynamique de la glace charriée par la rivière Matawin.

L'absence de recoupement de méandre durant ces trois périodes nous laisse penser que les méandres déjà recoupés l'ont été durant la seule période que nous n'avons pas eu l'occasion d'observer. Une période froide et humide, favorable à un charriage important et fréquent de la glace ainsi que des débordements également plus fréquents. Les débordements sont susceptibles de provoquer des recoupements de méandres de type « déversement ». Ce type de recoupement est largement majoritaire pour les méandres abandonnés de la rivière Matawin.

Enfin, cette étude met en évidence le lien entre les périodes hydroclimatiques et les changements morphologiques du chenal et des méandres recoupés de la rivière Matawin dont les caractéristiques morphologiques sont typiques de rivières du Bouclier Canadien. Ce lien pourrait être utilisé pour prédire l'évolution morphologique des rivières du Bouclier Canadien dans un contexte actuel de réchauffement climatique.

1.7. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Anctil F., Martel F., Hoang V.D. (1998) "Analyse régionale des crues journalières de la province du Québec", *Canadian Journal of Civil Engineering* 25 : 125-146.

Assani, A.A., Buffin-Bélanger, T., Roy, A.G. (2002) "Analyse d'impacts d'un barrage sur le régime hydrologique de la rivière Matawin (Québec, Canada)", *Revue des Sciences de l'Eau* 15 : 557-574.

Assani, A.A., Petit, F., Buffin-Bélanger, T., Roy, A.G. (2003) "Analyse de la variation spatio-temporelle de la morphologie du chenal de la Warche en amont du barrage de Bütgenbach (Belgique)", *Zeitschrift für Geomorphologie* 47 : 469-483.

Assani, A.A., Petit, F. (2004) "Impact of hydroelectric power releases on the morphology and sedimentology of the bed of the Warche River (Belgium)", *Earth Surface Processes and Landforms* 28 : 133-143.

Assani, A.A., Gravel, É., Buffin-Bélanger, T., Roy, A.G. (2005) "Impacts des barrages sur les caractéristiques des débits annuels minimums en fonction des régimes hydrologiques artificialisés au Québec (Canada)", *Revue des Sciences de l'Eau* 18 : 103-127.

Assani, A.A., Stichelbout, É., Roy, A.G., Petit, F. (2006a) "Comparison of impacts of dams on the annual maximum flow characteristics in three regulated hydrologic regimes in Québec", *Hydrological Processes* 20 : 3448-3501.

- Assani, A.A., Gravel, E., Buffin-Bélanger, T., Roy, A.G. (2006b) "Classification et caractérisation des régimes hydrologiques des rivières régularisées au Québec (Canada). Application de l'approche écologique", *Canadian water resources journal* (soumis).
- Bravard, J.P., et Petit, F. (2000) "Les cours d'eau, dynamique du système fluvial" Éditions Armand-Colin, Paris (France).
- Brandt, S.A. (2000) "Classification of geomorphological effects downstream of dams", *Catena* 40 : 375-401.
- Doneys E., Dubois L. (1991) "Application du modèle d'analyse d'utilisation de l'eau au bassin de la rivière Saint-Maurice", Mémoire déposé au ministère de l'Environnement Canada, 36p + annexes.
- Downward, S.R. (1995) "Information from topographic survey", in Gurnell, A.M., Bickerton, M., Angold, P., Bell, D., Morrissey, I., Petts, G.E., and Sadler, J. (1998) "Morphological and ecological change on a meander bend: the role of hydrological process and the application of GIS", *Hydrological Process* 12 : 981-993.
- Gurnell, A.M., Bickerton, M., Angold, P., Bell, D., Morrissey, I., Petts, G.E., and Sadler, J. (1998) "Morphological and ecological change on a meander bend: the role of hydrological process and the application of GIS", *Hydrological Process* 12 : 981-993.
- Hooke, J.M. (2004) "Cutoffs galore! : occurrence and causes of multiple cutoffs on a meandering river", *Geomorphology* 61 : 225-238.

- Jiongxin, X. (1993) "Complex response in adjustment of the Weihe river channel to the construction of the Sanmenxia Reservoir", *Zeitschrift für Geomorphologie* 34 : 233-245.
- Laflamme, D. (1995) "Qualité des eaux du bassin de la rivière Saint-Maurice, 1979 à 1992", Mémoire déposé au ministère de l'Environnement et de la Faune, province du Québec, Montréal, 87p + annexes.
- Petts, G.E. (1984) "Impounded rivers: perspectives for ecological management", Wiley-Interscience, John Wiley and Sons, Chichester.
- Schumm, S. A. (1969) "River metamorphosis", *Journal of the Hydraulics Division American Society of Civil Engineers* 95 : 255–273.

CHAPITRE 2 :
RELATION ENTRE PÉRIODES HYDROCLIMATIQUES ET
CHANGEMENTS MORPHOLOGIQUES DU CHENAL PRINCIPAL
ET DES MÉANDRES ABANDONNÉS DE LA RIVIÈRE MATAWIN
EN AMONT DU RÉSERVOIR TAUREAU

Matthieu **ALIBERT**¹, Ali A. **ASSANI**¹ et Denis **GRATTON**²

1 Laboratoire d'Hydro-climatologie et de Géomorphologie fluviale, section de géographie, Pavillon Léon-Provencher, Université du Québec à Trois-Rivières, 3351, Boulevard de Forges, Trois-Rivières, Québec, G9A 5H7, Canada

2 Laboratoire Interdisciplinaire d'Application Géomatique et Environnementales, section de géographie, Pavillon Léon-Provencher, Université du Québec à Trois-Rivières, 3351, Boulevard de Forges, Trois-Rivières, Québec, G9A 5H7, Canada

Adresse de correspondance :

Ali A. ASSANI

Section de géographie, Pavillon Léon-Provencher, Université du Québec à Trois-Rivières, 3351, Boulevard de Forges, Trois-Rivières, Québec, G9A 5H7, Canada.

Tél. : (819) 376-5011 ; Fax : (819) 376-5179 ; Email : ali.assani@uqtr.ca

Cet article sera soumis à la revue GEOMORPHOLOGY

2.1. INTRODUCTION

L'augmentation prévue de la température peut logiquement apporter des modifications significatives aux précipitations et aux débits des cours d'eau. Selon Ashmore et Church (2001) le plus préoccupant n'est pas tant le réchauffement du climat mais son humidification. En effet, de nombreuses études (Knox, 1983 ; Macklin et Lewin, 1989 ; Rumsby et Macklin, 1994) ont démontré que les variations climatiques régulent la fréquence et la magnitude des crues qui peuvent avoir un rôle important dans le contrôle de l'instabilité verticale et latérale d'un cours d'eau. Les principaux facteurs climatiques qui affecteront la morphologie des cours d'eau sont le type, l'intensité et le volume des précipitations (Ashmore et Church, 2001) car ce sont les événements d'inondation marqués qui ont une incidence importante sur la morphologie des cours d'eau (Knox, 1983, 1993). De plus, des modifications morphométriques des chenaux (largeur, sinuosité, profondeur, etc....) qui en résultent peuvent avoir des impacts socio-économiques et environnementaux sévères (Bravard et Al. 1999 dans Rinaldi 2003). Selon Rinaldi (2003) ces impacts peuvent être les suivants : dommages aux ponts, aux berges artificielles et autres structures ; pertes de terres agricoles ; apports de grands volumes sédimentaires et de bois pouvant créer des embâcles importants ; dommages aux écosystèmes aquatiques et riverains (par la perte d'une diversité des habitats) etc.

Ces variations climatiques ne sont pas linéaires. Elles se traduisent généralement par une alternance de périodes hydro-climatiques dominées par des inondations ou par des sécheresses. Des régimes d'inondation et de sécheresse dominantes ont été identifiés pour de nombreux bassins versant de l'Australie du Sud-Est (Warner 1995, 1994, 1993, 1992, 1987). Les travaux de Warner (1995) ont permis de déterminer que chaque régime peut durer jusqu'à 50 ans avant d'alterner et que chacun de ces régimes impose des conditions tout à fait différentes de manière à ce que le cours d'eau tente de s'ajuster à

chaque régime. En fonction de cette alternance des périodes sèches et humides, l'évolution des rivières se caractérisera par des phases d'accumulation et d'incision. Ces changements d'activité peuvent être rapides et importants en ce qui concerne le lit des rivières à méandres (Bravard et Petit 2000). Cette mobilité se traduit notamment par l'abandon de nombreux tronçons sinueux (méandres abandonnés) contribuant à la genèse des plaines alluviales.

Cependant, il existe encore très peu de travaux sur l'influence de l'alternance des périodes sèches et humides sur l'évolution morphologique des chenaux. Au Québec, à notre connaissance, aucune étude n'a jamais été consacrée sur ce sujet. Pour combler cette lacune, nous avons entrepris une étude sur l'évolution morphologique du chenal de la rivière Matawin en amont du réservoir Taureau en relation avec la variabilité interannuelle des débits et la variabilité de la température. L'objectif de cette étude de déterminer les impacts des périodes sèches et humides sur la dynamique du chenal.

2.2. MÉTHODOLOGIE

2.2.1. PRÉSENTATION DU SITE D'ÉTUDE

Cette étude a été entreprise sur la rivière Matawin, principal tributaire de la rivière Saint-Maurice et sous affluent du fleuve Saint-Laurent en rive nord. La rivière Matawin draine un bassin versant d'environ 5 775 km² (figure 2.1). Ce cours d'eau incise alternativement et de manière quasi régulière des formations sableuses d'origine fluvio-glaciaires et des formations caillouteuses ou rocheuses appartenant au socle du bouclier Canadien. Ainsi, le cours de la Matawin est caractérisé par une alternance quasi régulière de biefs caillouteux à écoulement turbulent, en raison de la forte pente, et de biefs sableux à écoulement lent soumis à une érosion importante (figure 2.2).

En 1929, la Shawinigan Water & Power Co construisit le réservoir Taureau sur la rivière Matawin. Celui-ci avait trois objectifs principaux : le rehaussement de la capacité du réservoir de la centrale hydroélectrique de Grand-Mère, Shawinigan 2 et 3 et la Gabelle érigées sur la rivière Saint-Maurice en hiver ; la lutte contre les inondations ; et faciliter l'évacuation des billes de bois provenant de l'amont. Vers le début de la décennie 1960, il est passé sous le contrôle d'Hydro-Québec qui venait d'être créée. Le bassin versant du réservoir Taureau est de 4 325 km², ce qui représente environ 75% de la superficie totale du bassin versant de la rivière Matawin. Le niveau du réservoir est maintenu entre une cote maximale d'exploitation qui se situe à 359,05 m et une cote minimale d'exploitation à 343,81 m. Le marnage annuel maximal du réservoir est donc de 15,24 m. Le réservoir Taureau est un réservoir de type annuel c'est-à-dire que son remplissage complet se fait chaque année et résulte exclusivement de l'apport en eau provenant de son bassin versant. La gestion actuelle se

caractérise par une légère baisse en dessous du niveau d'exploitation maximale du réservoir en automne.

Notre site d'étude se situe en amont du réservoir Taureau. Il n'est pas influencé par le réservoir Taureau. Ce tronçon d'une quarantaine de kilomètre est fort sinueux malgré l'alternance des tronçons sableux et caillouteux. La sinuosité se développe, bien entendu, dans les secteurs sableux. Les débits sont mesurés de manière continue à la station Saint-Michel-des-Saints depuis 1931. Cette station fait partie du réseau national de bassins hydrométriques de référence. Nous avons analysé les débits moyens annuels et du mois de mai ainsi que la durée et la fréquence des crues, de récurrence ≥ 2 ans. L'existence de cette série de mesure des débits relativement longue nous permet d'établir une relation entre l'alternance des périodes sèches et humides et les modifications qui affectent la morphologie du chenal. Le débit moyen annuel, exprimé en débit spécifique, est de 17,2 L/s/km² (23,9 m³/s) (Assani et al. 2002). Cette rivière a été choisie car, en plus de présenter une grande mobilité potentielle et de nombreux méandres recoupés, la présence de photographies aériennes prises en différentes périodes depuis 1928 nous permet de suivre son évolution pendant environ 80 ans.

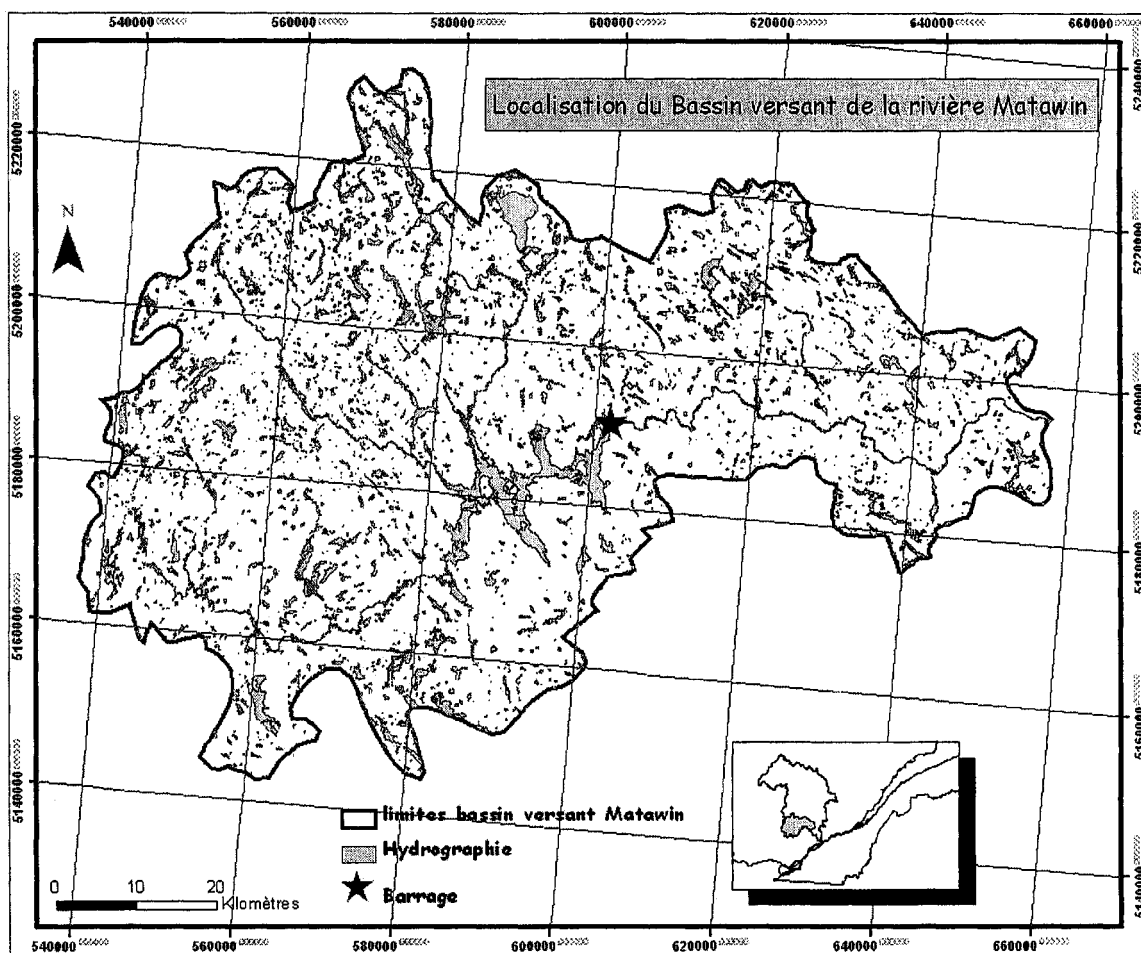


FIGURE 2.1 Localisation du bassin versant de la rivière Matawin et de la zone d'étude.

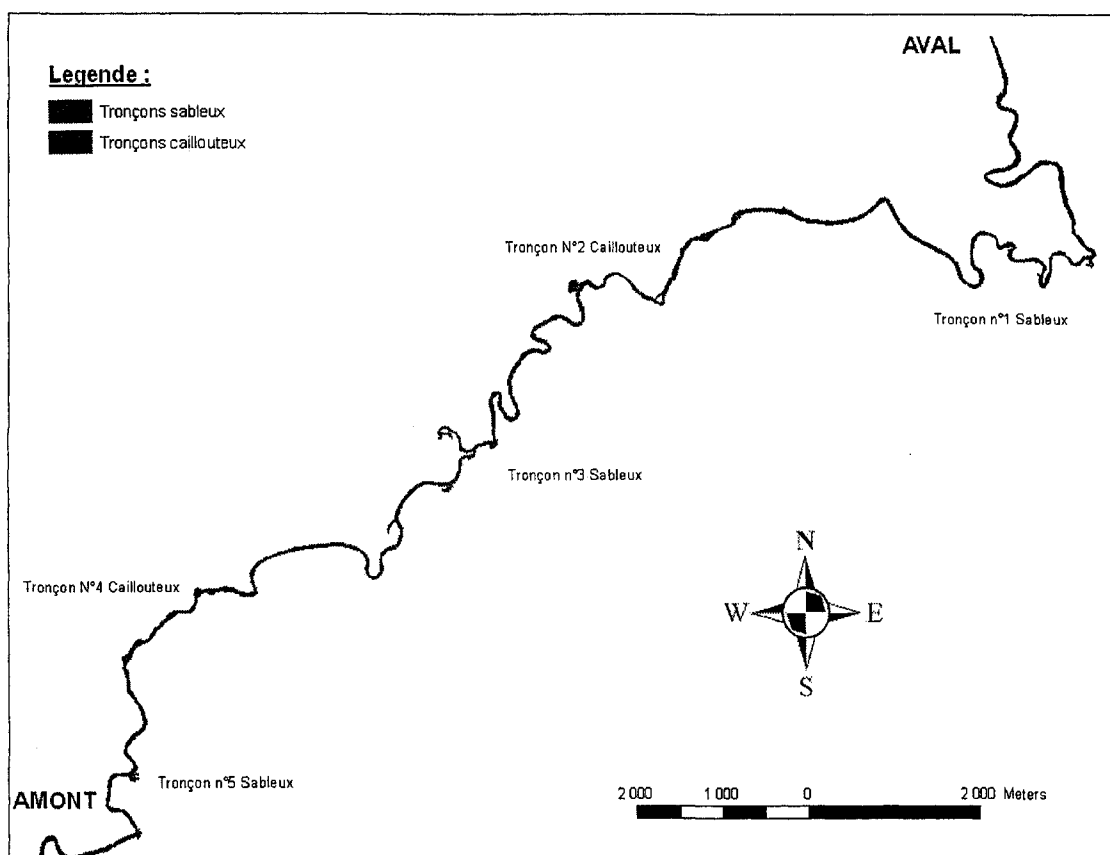


FIGURE 2.2 Visualisation des tronçons étudiés, Matawin en amont du réservoir Taureau.

2.2.2. ANALYSE ET TRAITEMENT DES PHOTOS AÉRIENNES ET ESTIMATION DES CHANGEMENTS MORPHOLOGIQUES DE LA RIVIÈRE MATAWIN

Il existe des photographies aériennes prises presque tous les dix ans : 1928, 1937-1939, 1950, 1965, 1975 et 1998. Les photographies de 1928, 1937-1939 et 1950 sont issues de la Photothèque nationale de l'air du Canada et celles de 1965 et 1975 sont issues de la Photocartotheque Québécoise (tableau 2.1). Les cartes historiques ainsi que les photographies aériennes sont la principale source d'information pour l'étude des changements morphologiques d'un cours d'eau (Hooke, 2004). Par contre, leur utilisation n'est envisageable

seulement si les changements observables excèdent les erreurs spatiales inhérentes aux sources et les erreurs inhérentes au traitement de ces mêmes sources (Downward, 1995 dans Gurnell et al. 1998). Les photographies aériennes offrent davantage de précision que les cartes topographiques quant à la modification morphologique des cours d'eau. Elles permettent l'observation précise des processus d'érosion et de sédimentation dans les cours d'eau, mais aussi de l'évolution de la végétation riveraine, du développement de l'urbanisation, des activités anthropiques etc. Par contre, le traitement des photographies aériennes nécessite les plus grands soins en ce qui concerne le géoréférencement et l'orthorectification afin de limiter au maximum les distorsions planimétriques.

Chaque cliché a été géoréférencé dans le système de projection UTM NAD 1983. Des coordonnées ont donc attribuées à chacun des pixels de chaque photographie. Après avoir été géoréférencée, chaque image a été orthorectifiée. L'orthorectification est un traitement qui permet la correction des distorsions spatiales causées par l'inclinaison du capteur et/ou le relief du terrain. Cette correction est obtenue à partir des paramètres d'orientation de la chambre de prise de vue, des différents points de référence connus (en XYZ), et d'un Modèle Numérique d'Élévation (MNE). Le modèle numérique d'élévation a été créé à partir de feuillets numériques au 1/20 000 (suite à la validation nous avons dans 99.7 % des cas une erreur de +/- 4.9 m). Nous utiliserons également les feuillets topographiques à l'échelle 1/20 000 existants (basées sur des photos aériennes de 1988) afin d'ajouter une période d'observation supplémentaire.

Une fois les photographies géoréférencées et orthorectifiées, nous avons procédé à la création de mosaïques (une par période). L'étape du «mosaïquage» des prises de vues permet de constituer une orthophotographie (ou orthoscène) qui couvrira la totalité de notre site d'étude. Cela permettra la

reconstitution du linéaire du cours d'eau pour chaque période. Les produits finaux sont au format TIFF et chaque pixel représente une unité de un mètre. Les années 1937 et 1939 seront unies sur une même mosaïque car ces dernières ne peuvent couvrir l'ensemble de notre linéaire d'étude à elles seules.

TABLEAU 2.1

Sources et caractéristiques des photographies aériennes

Sources	Rouleau	Échelle
Photothèque nationale de l'air du Canada	A181	1 : 15 000
	A5704	1 : 15 000
	A6776	1 : 25 000
	A6777	1 : 25 000
	A12479	1 : 40 000
	A12487	1 : 40 000
Photocartothèque Québécoise	Q65157	1 : 15 840
	Q65158	1 : 15 840
	Q65159	1 : 15 840
	Q66181	1 : 15 840
	Q75377	1 : 15 840
	Q75384	1 : 15 840
	Q75907	1 : 15 840
	Q75908	1 : 15 840
	Q75909	1 : 15 840
	Q75910	1 : 15 840

Nous avons alors effectué une analyse cartographique qui nous a permis de déceler toutes les modifications morphologiques du cours d'eau depuis 1928 jusqu'en 1988 (par superposition des tracés). Après avoir vectorisé le chenal principal pour chaque période, nous avons dans un premier temps déterminé

l'axe central. C'est cet axe central qui a été utilisé pour calculer l'indice de sinuosité pour chaque période d'observation. Cet indice a été défini par le rapport entre la distance selon l'axe central du chenal et la distance à vol d'oiseau entre deux points. Par la suite la largeur du chenal principal a été mesurée en plusieurs points tout au long du linéaire. Chaque mesure de largeur, effectuée au moyen du logiciel Arc GIS, a été prise perpendiculairement à l'axe central du chenal principal. Nous avons analysé séparément les tronçons en fonction de leur granulométrie : trois tronçons sableux et deux tronçons caillouteux (figure 2.2). Pour chaque tronçon et pour chaque période, des mesures de largeur ont été effectuées aux mêmes points de manière à comparer les valeurs de largeur mesurées à des périodes différentes. Comme les tronçons étaient de longueur différente, le nombre de mesure de largeur variait d'un tronçon à un autre en fonction de sa longueur. Les tronçons sableux 1, 3 et 5 étant les plus longs, nous avons effectué respectivement 101, 90 et 107 mesures de longueur par année. Pour les tronçons caillouteux 2 et 4, 13 et 3 mesures ont été effectuées par année. Pour chaque période nous avons relevé au total 314 mesures de largeur sur tout le chenal.

Il n'existe aucune mesure de profondeur du chenal. Pour suivre la variabilité temporelle de la profondeur, le taux de sédimentation a été analysé dans quelques méandres recoupés qui sont encore connectés au chenal actif. Ce taux de sédimentation permet ainsi d'évaluer l'importance de la charge charriée par la rivière au cours du temps. Il convient de noter que depuis 1928, il y a eu très peu de changement d'affectation des sols dans le bassin versant en raison de l'absence des activités agricoles. Ainsi, les sédiments qui se déposent dans les méandres recoupés proviennent principalement du charriage ou des affluents et non de l'érosion des versants.

2.2.3. ANALYSES STATISTIQUES DES DONNÉES

En ce qui concerne les données des débits, la série des débits mensuels a été lissée (moyennes mobiles simples sur 5 termes) et standardisées afin de déterminer la succession des périodes sèches et humides. Quant aux crues printanières, nous avons d'abord estimé les crues de récurrence biennale et quinquennale au moyen des équations régionales établies par Anctil et al. (1998) pour les rivières du Québec. Ensuite, leur fréquence et leur durée ont été déterminées à partir des données journalières.

Pour la largeur des tronçons, nous avons appliqué la même technique de lissage et de standardisation pour analyser la variabilité longitudinale de la largeur dans chaque tronçon. Quant à la variabilité temporelle de la largeur, dans un premier temps les moyennes de largeur mesurées en différentes périodes ont été comparées au moyen de l'analyse de variance à un seul critère de classification (Dagnélie, 1986). Ensuite, lorsque la différence entre les valeurs moyennes a été détectée pour l'ensemble de tronçons, les années ont été comparées deux à deux au moyen du test de Tukey.

2.3. RÉSULTATS

2.3.1. ANALYSE DE LA VARIABILITÉ DES DÉBITS ET DE LA TEMPÉRATURE

La variabilité interannuelle des débits moyens annuels est caractérisée par trois périodes bien distinctes (figures 2.3a et 2.3b) :

- Une période sèche qui s'étend de 1930 jusqu'au milieu de 1965. Cette période est caractérisée par une faible fréquence des crues de récurrence ≥ 2 ans.
- Une période humide durant la décennie 70. Le nombre de crues de récurrence ≥ 2 ans a significativement augmenté.
- et enfin, une période sèche depuis la décennie 80. La fréquence de crues a de nouveau diminué.

Quant à la température (figure 2.5), sa variabilité interannuelle est caractérisée par deux grandes périodes : une période « froide » (température inférieure à la moyenne) avant 1970 et une période « chaude » après cette année.

En tenant compte de la variabilité interannuelle des débits et de la température, on peut distinguer trois grandes périodes hydroclimatiques dans le bassin versant :

- Une période froide et sèche entre 1930 et 1970
- Une période chaude et humide durant la décennie 70.
- Une période chaude et sèche après la décennie 70.

Nous avons analysé les impacts de ces trois périodes hydroclimatiques sur l'évolution morphologique du chenal de la rivière Matawin.

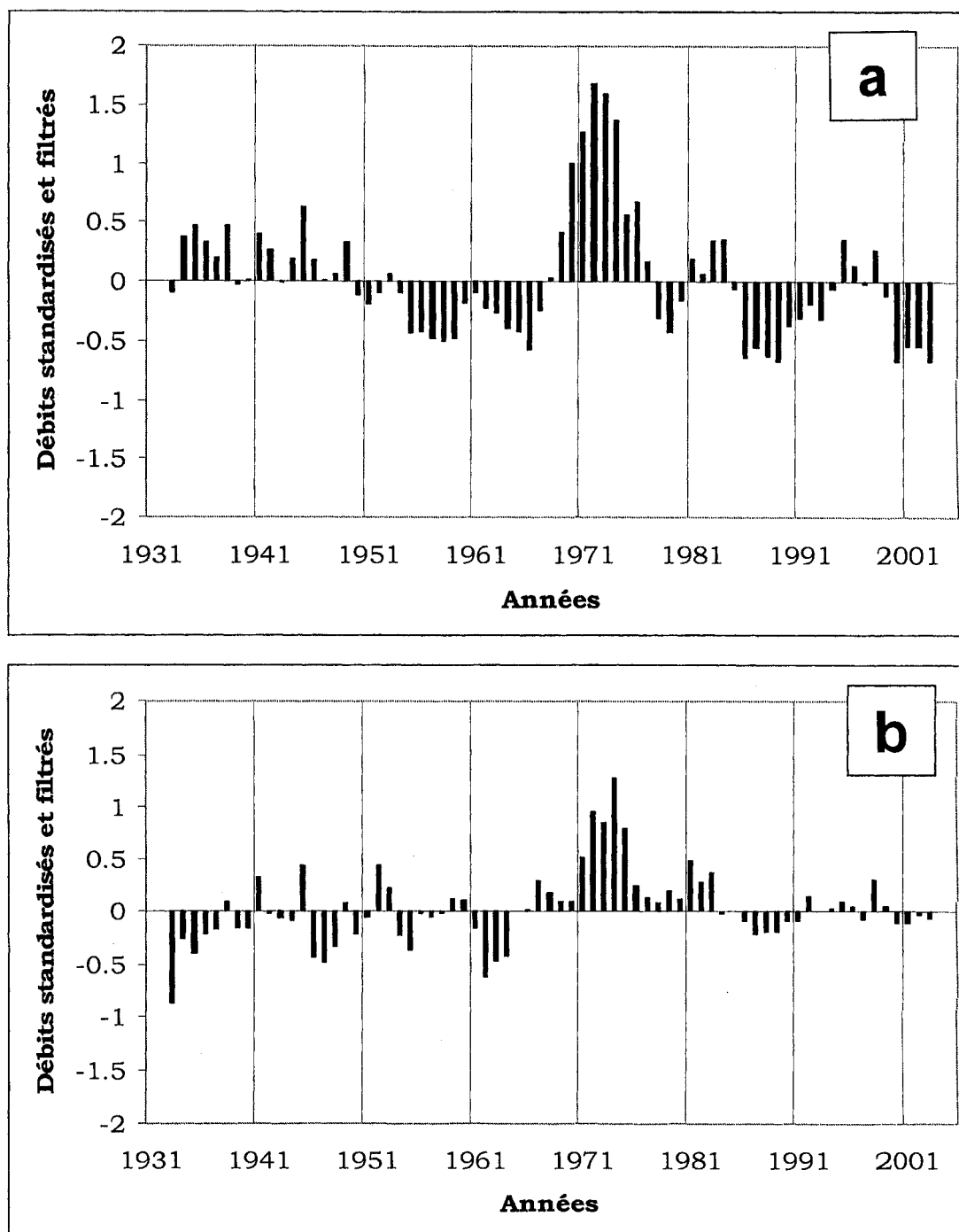


FIGURE 2.3 Variabilité interannuelle des débits du mois de mai (a) et variabilité interannuelle des débits (b) (valeurs standardisées et filtrées) à la station des Saint-Michel-des-Saints en amont du réservoir Taureau (rivière Matawin).

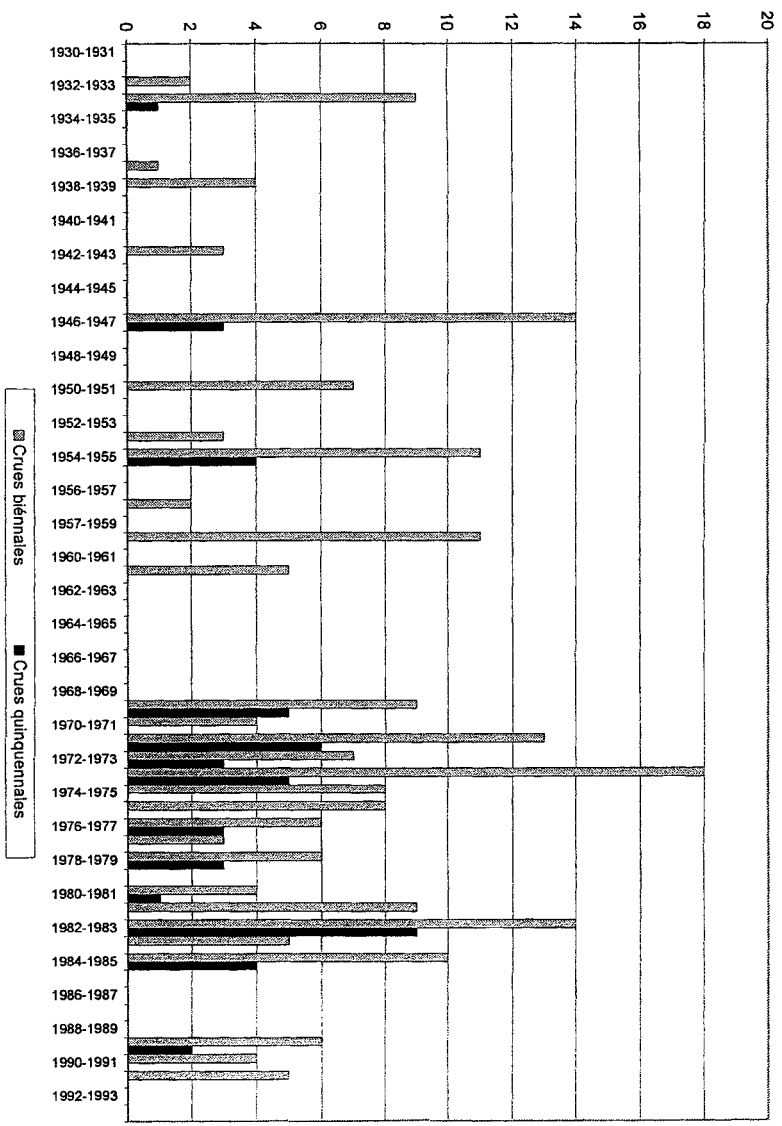


FIGURE 2.4 Nombre de crues de récurrence de deux ans (en gris) et de récurrence de cinq ans (en noir) par année pour la Matawin amont.

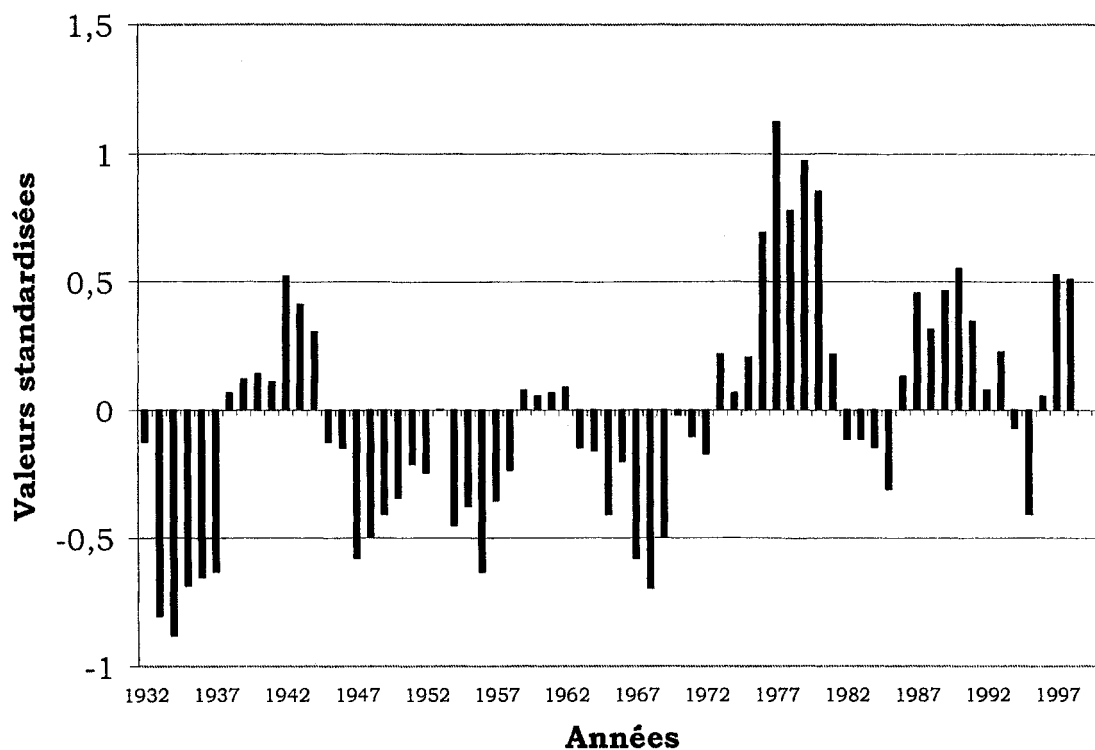


FIGURE 2.5 Variabilité de la température moyenne du mois de mai. Moyennes mobiles simples (5 termes). Station météorologique de Drummondville.

2.3.2. ANALYSE DE LA VARIATION SPATIO-TEMPORELLE DE LA LARGEUR DU CHENAL

Les figures 2.6, 2.7 et 2.8 présentent l'évolution de la largeur d'amont en aval pour chacun des tronçons sableux pour l'année 1950. Nous pouvons observer une tendance à la diminution longitudinale de la largeur pour les trois tronçons. Cette tendance est particulièrement manifeste pour les tronçons 3 et 5. Elle dénote une certaine influence des tronçons rocheux situés en amont sur la largeur des tronçons sableux en aval. En effet, la largeur des tronçons caillouteux est inférieure à celle des tronçons sableux. Ce rétrécissement du chenal dans le tronçon caillouteux augmente la vitesse de l'eau par effet de canalisation. Lorsque l'eau débouche sur le tronçon sableux élargi, sa vitesse est encore suffisamment forte pour éroder les berges sableuses. Mais, en raison de la diffuence, cette vitesse diminue progressivement vers l'aval atténuant ainsi l'érosion des berges.

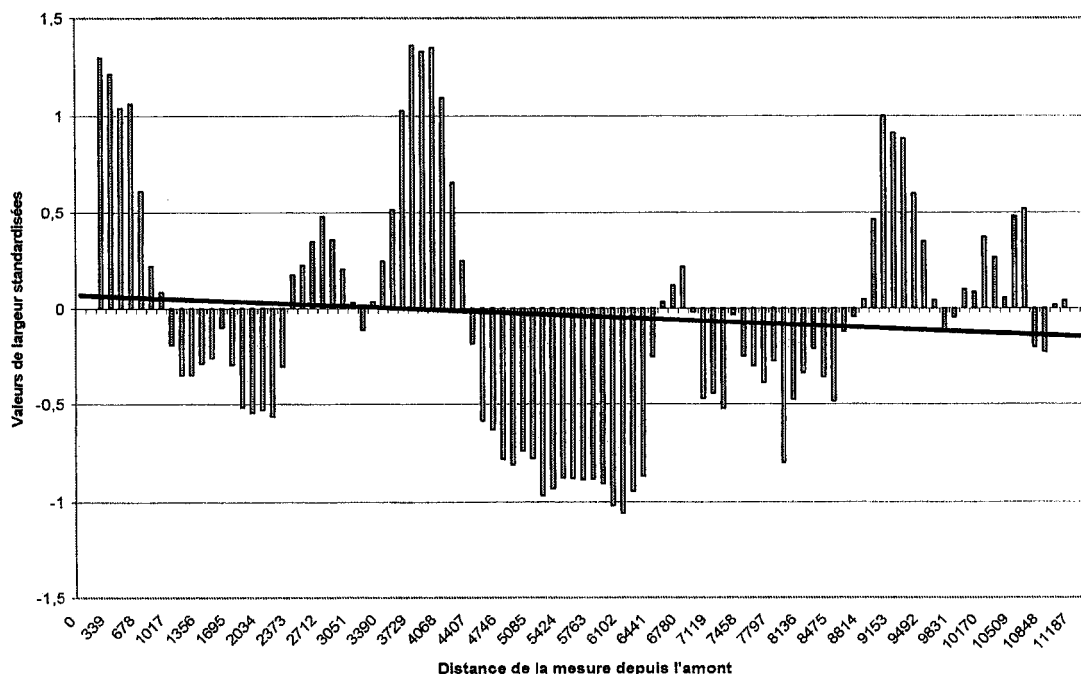


FIGURE 2.6 Variabilité longitudinale de la largeur du tronçon 1 en 1950 et courbe de tendance. Moyennes mobiles simples (5 termes).

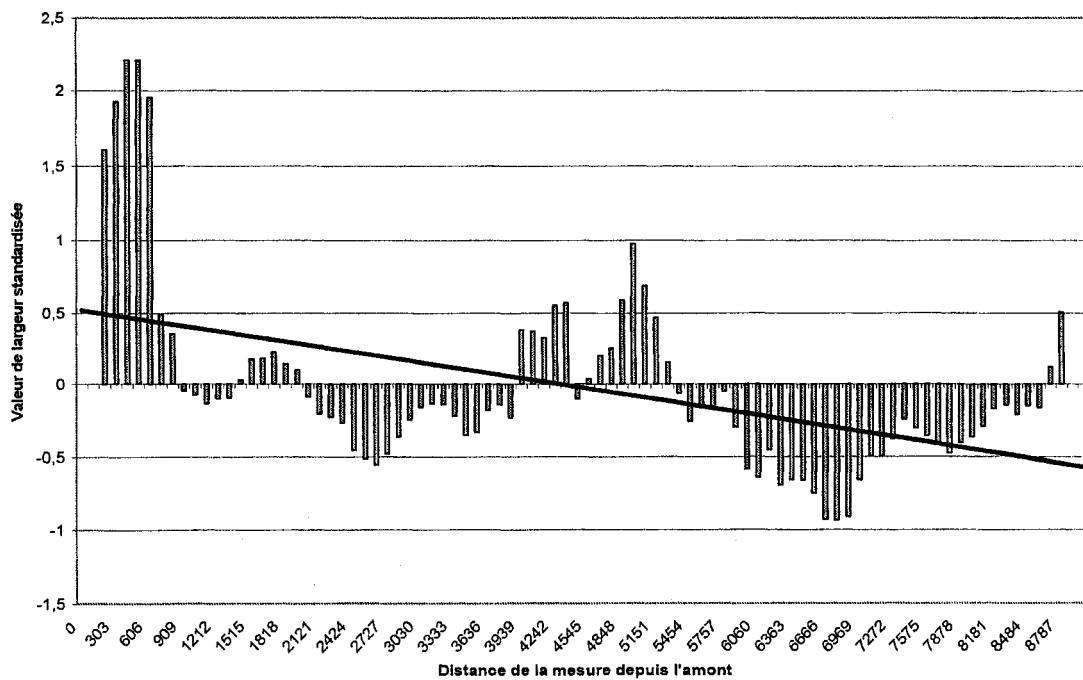


FIGURE 2.7 Variabilité longitudinale de la largeur du tronçon 3 en 1950 et courbe de tendance. Moyennes mobiles simples (5 termes).

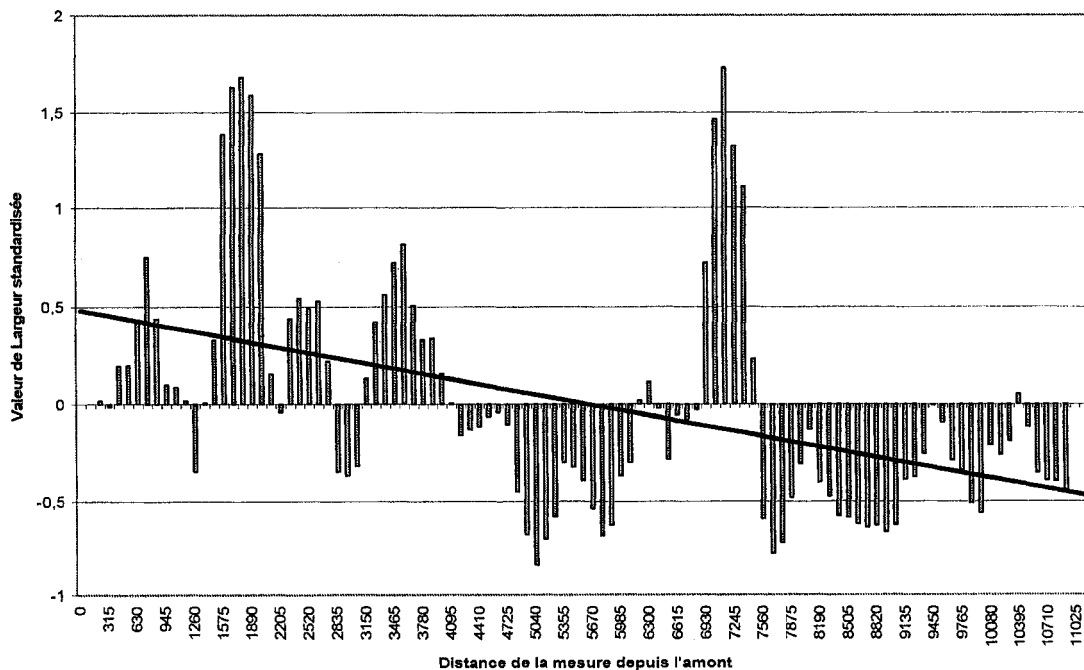


FIGURE 2.8 Variabilité longitudinale de la largeur du tronçon 5 en 1950 et courbe de tendance. Moyennes mobiles simples (5 termes).

Les figures 2.9, 2.10, 2.11 et 2.12 présentent les valeurs de largeur du chenal mesurées en différentes périodes dans les quatre tronçons. Rappelons que la comparaison de ces valeurs a été effectuée au moyen de l'analyse de variance et du test de Tukey. Pour les trois tronçons sableux, on observe deux types changements significatifs synchrones. Le premier changement, survenu entre 1937 et 1965, consiste à une hausse de largeur moyenne du chenal. Cette hausse est respectivement de 10,7; 12,1 et 18,4% respectivement pour les tronçons sableux 5, 1 et 3 (tableau 2.2). Quant au second changement observé entre 1965 et 1975, il consiste à une diminution de la largeur moyenne. Cette diminution varie entre 11,1% (tronçon 5) et 18,6 % (tronçon 1). Entre 1975 et 1988, aucun changement de largeur significatif n'a été observé. Les tronçons caillouteux n'ont subi aucun changement significatif de la largeur moyenne.

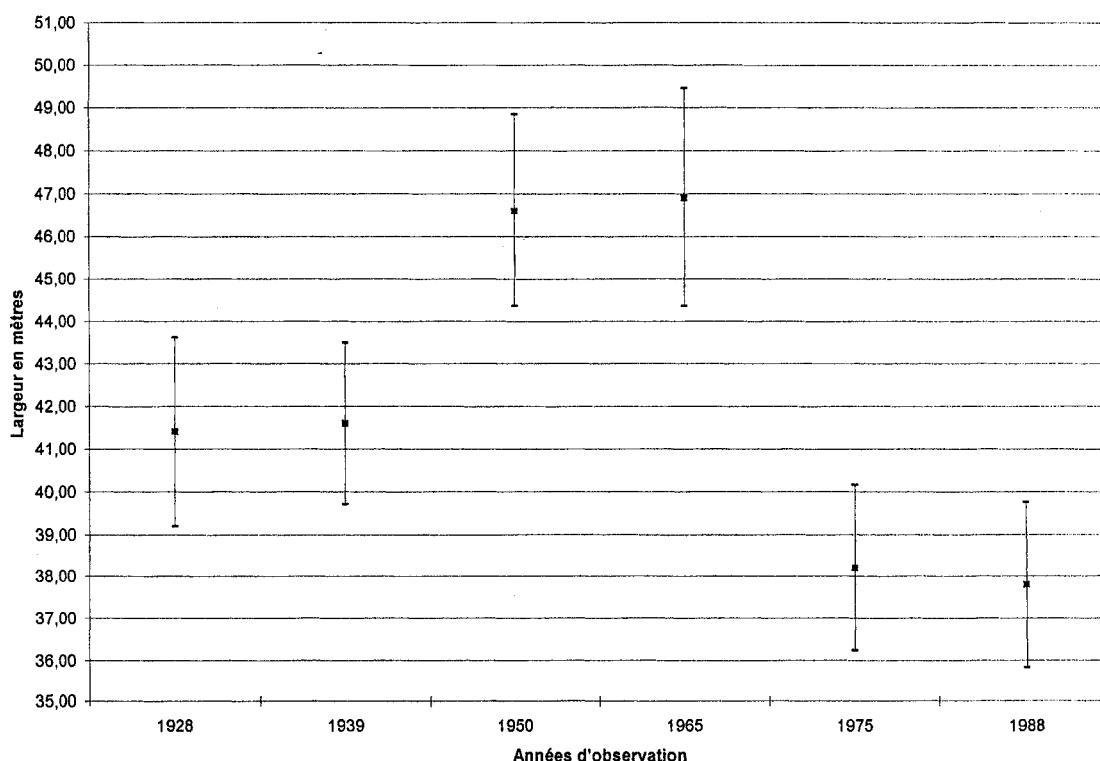


FIGURE 2.9 Comparaison de la variation temporelle de la largeur moyenne (m) du tronçon 1 (sableux) et intervalle de confiance.

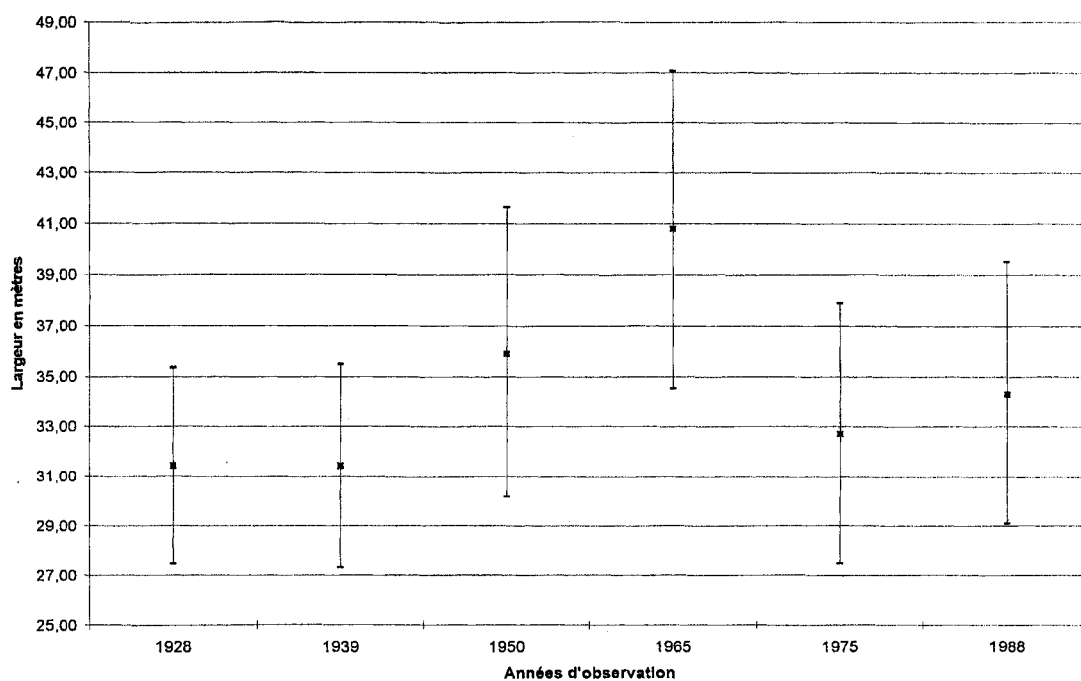


FIGURE 2.10 Comparaison de la variation temporelle de la largeur moyenne (m) du tronçon 2 (caillouteux) et intervalle de confiance.

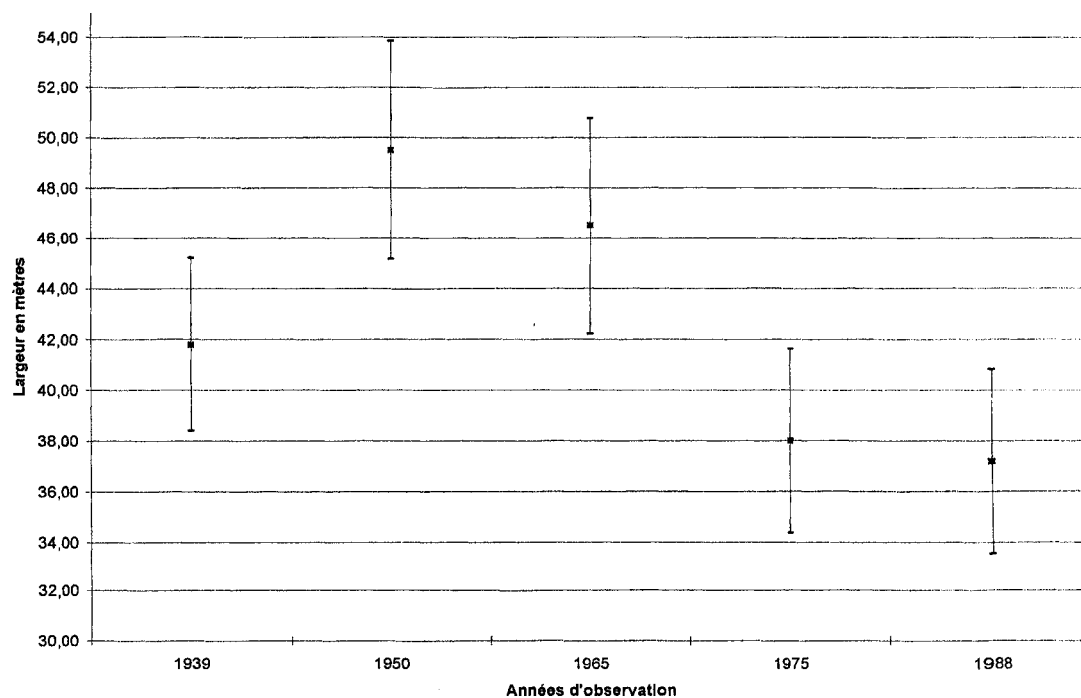


FIGURE 2.11 Comparaison de la variation temporelle de la largeur moyenne (m) du tronçon 3 (sableux) et intervalle de confiance.

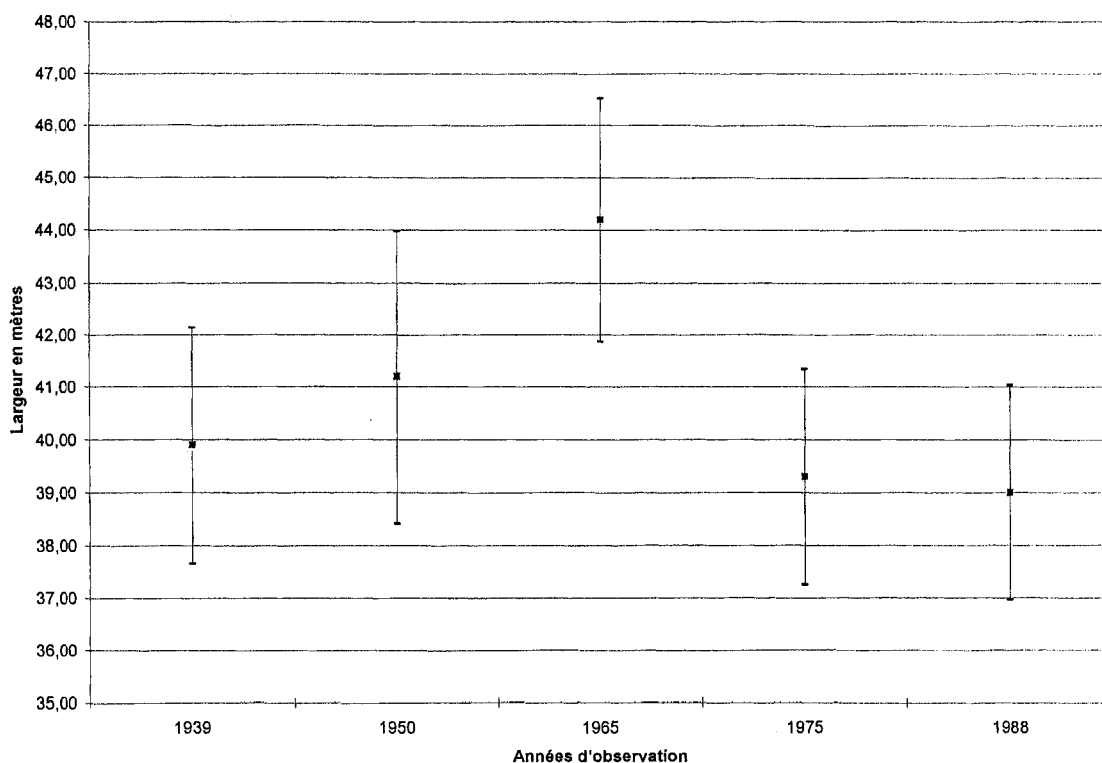


FIGURE 2.12 Comparaison de la variation temporelle de la largeur moyenne (m) du tronçon 5 (sableux) et intervalle de confiance.

TABEAU 2.2

Variation temporelle de la largeur moyenne de trois tronçons sableux entre 1939-1998.

Tronçon 1	1937-39	+ 12,08%	1965	-18,57%
		→ 1950		
Tronçon 3	1937-39	+ 18,42%	1965	-18,29%
		→ 1950		
Tronçon 5	1937-39	+ 10,71%	1965	-11,10%
		→ 1965		

+ = hausse; - = diminution.

2.3.3. VARIABILITÉ TEMPORELLE DE LA SINUOSITÉ ET ÉVOLUTION DES MÉANDRES RECOUPÉS

Entre 1937 et 1998, nous n'avons observé aucun recoupement des méandres malgré des valeurs d'indice de sinuosité relativement élevées et l'occurrence d'un épisode humide. Ainsi, les indices de sinuosité varient faiblement (figure 2.13) d'un épisode climatique à un autre. Cette variation est due au mouvement de rotation et de translation du chenal principal (figure 2.14).

En ce qui concerne la largeur des méandres dont le recoupement s'est produit avant 1928, on peut observer aussi les deux types de changements. En effet, entre 1937-1965, la largeur des méandres recoupés a augmenté (tableau 2.3). En revanche, pendant la période humide (1975), la largeur a significativement diminué. Cette diminution s'accompagne d'une forte végétalisation des chenaux et des berges (figures 2.15, 2.16 et 2.17). Ce qui traduit une sédimentation relativement importante dans les chenaux des méandres recoupés. La figure 2.17 montre par exemple une importante sédimentation en aval de la confluence d'un affluent. Ce qui dénote un charriage important qui est survenu durant cette période humide aussi bien dans le chenal principal que dans ses affluents.

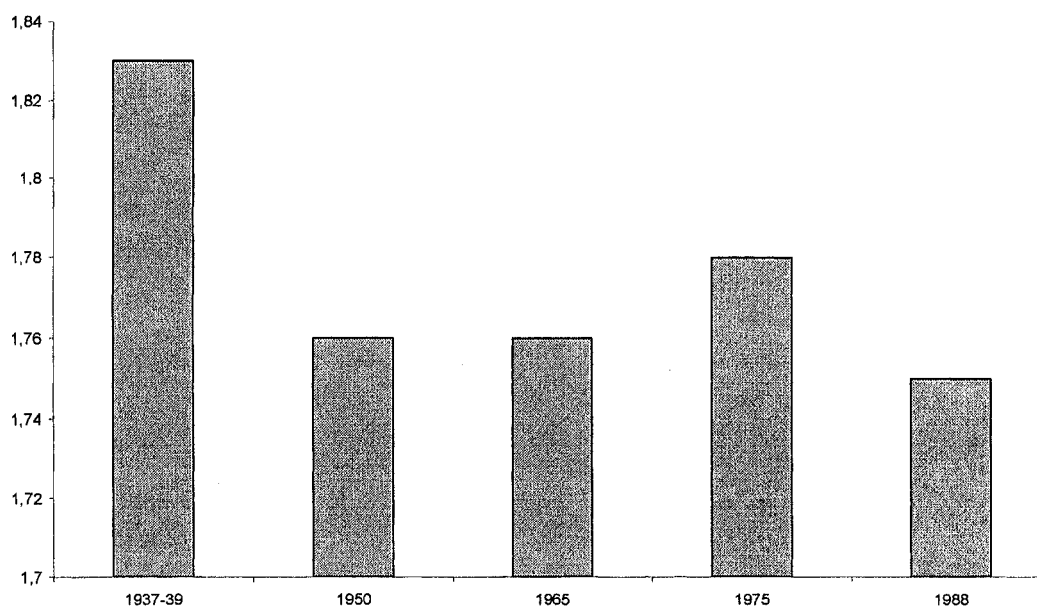


FIGURE 2.13 Variation de l'indice de sinuosité pour la Matawin en amont du réservoir Taureau entre 1937-39 et 1988.

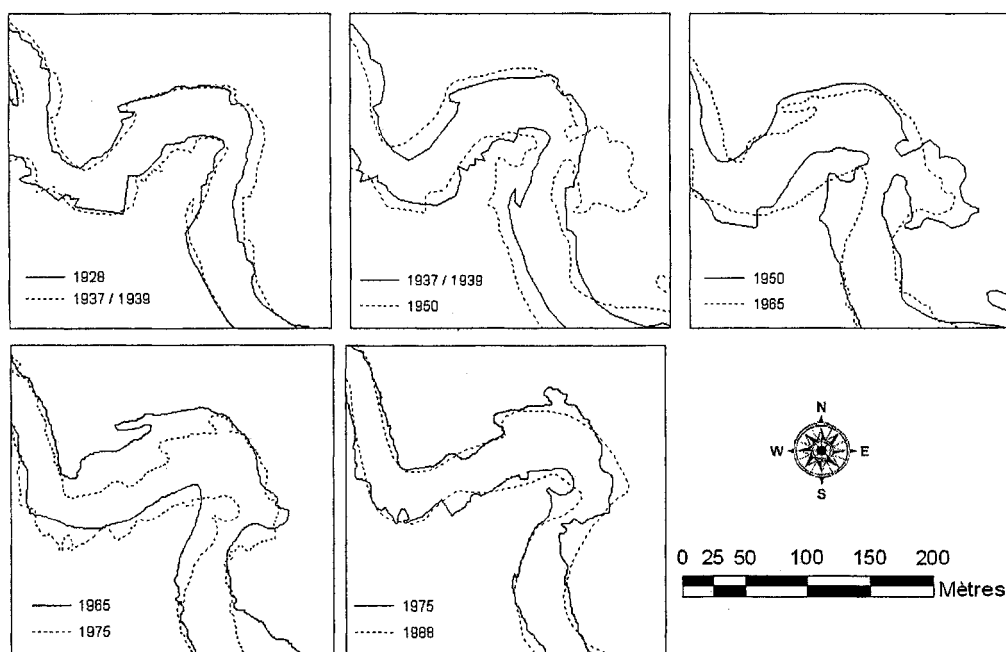


FIGURE 2.14 Développement, translation et rotation d'un méandre de la rivière Matawin entre 1928 et 1988.

TABLEAU 2.3

Comparaison de la variation temporelle de la largeur moyenne (m) dans les neuf méandres recoupés.

Méandres	1928	1939	1950	1965	1975
A	24,5 (3,4) 20	29,5 (3,7) 22	42,8 (7,9) 19	33 (3,8) 29	29 (4,6) 35
B	30,3 (6) 21	27,9 (7,5) 25	39,3 (5,2) 20	34,1 (4,8) 28	27,8 (4,5) 27
C	27,3 (8,2) 50	29,3 (5,8) 59	37,7 (6,5) 87	34,9 (5,2) 93	27,3 (7,2) 94
D	37,1 (1,3) 13	41,6 (7) 14	38,2 (8,6) 25	31,5 (7,3) 24	29,7 (6,9) 25
E	Nd	34,9 (7,1) 33	32,1 (6,6) 43	30,3 (7,5) 40	28,3 (7,6) 38
F	Nd	38 (10,9) 32	38,6 (11) 44	35,5 (7,6) 49	32,1 (10,7) 41
G	Nd	27 (7,2) 26	32,9 (6,2) 35	33,2 (7,7) 36	28,2 (5,2) 32
H	Nd	34,3 (10,1) 29	36,9 (5,7) 32	32,6 (3,8) 42	26,9 (7,1) 45
I	Nd	Nd	28,7 (6,2) 56	27,4 (11,6) 70	34,4 (7,2) 53

() = écart type. En italique : nombre de mesures. Nd= données non disponibles

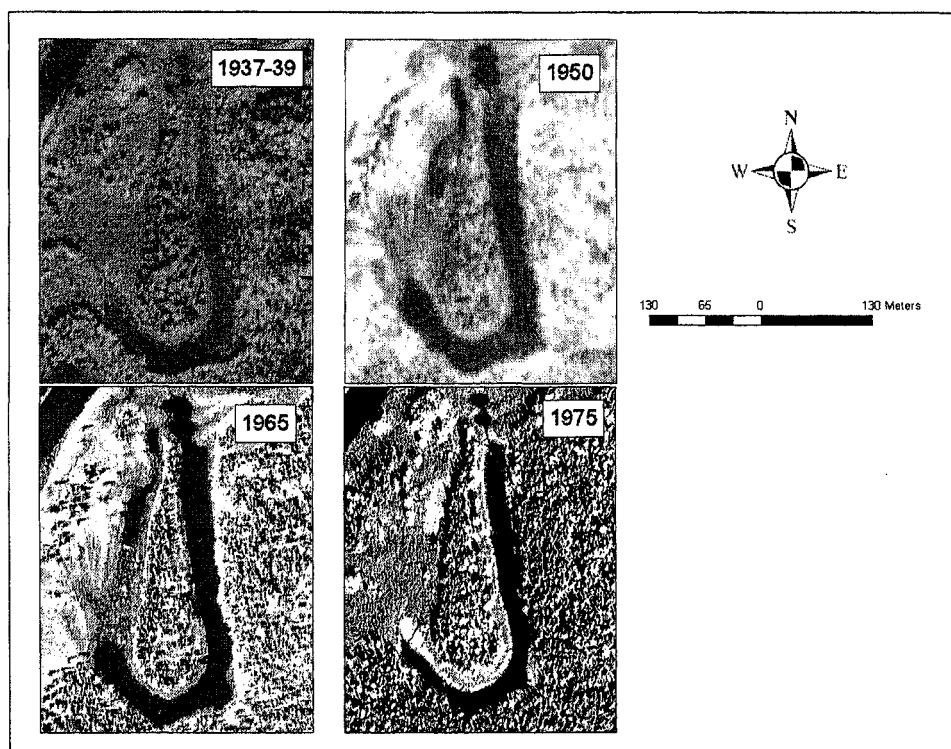


FIGURE 2.15 Évolution du méandre recoupé G entre 1937-39 et 1975.

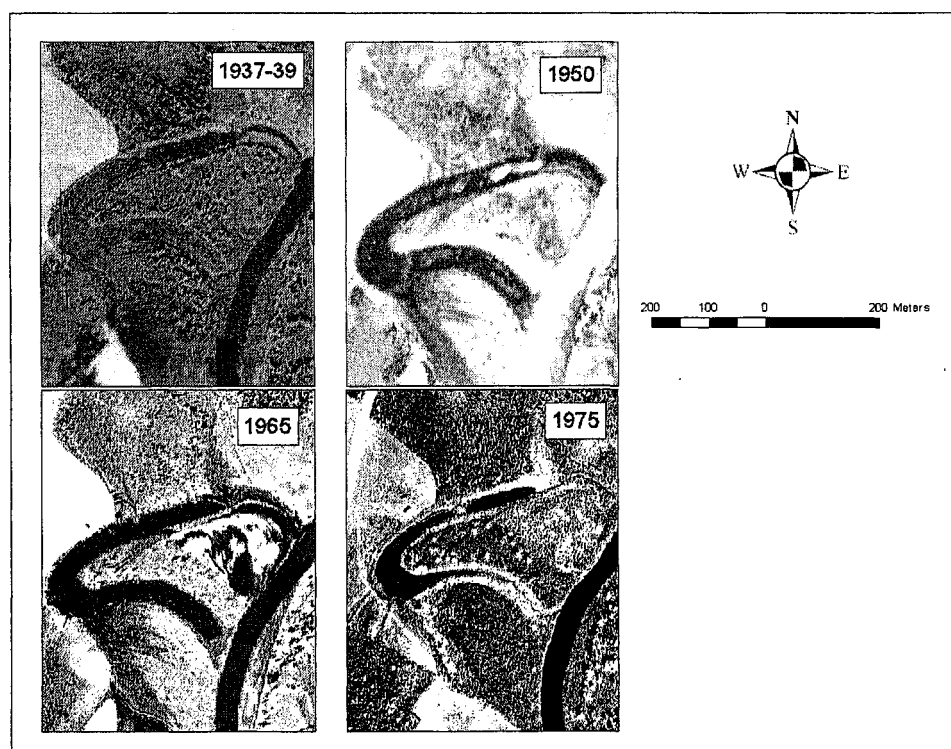


FIGURE 2.16 Évolution du méandre recoupé F entre 1937-39 et 1975.

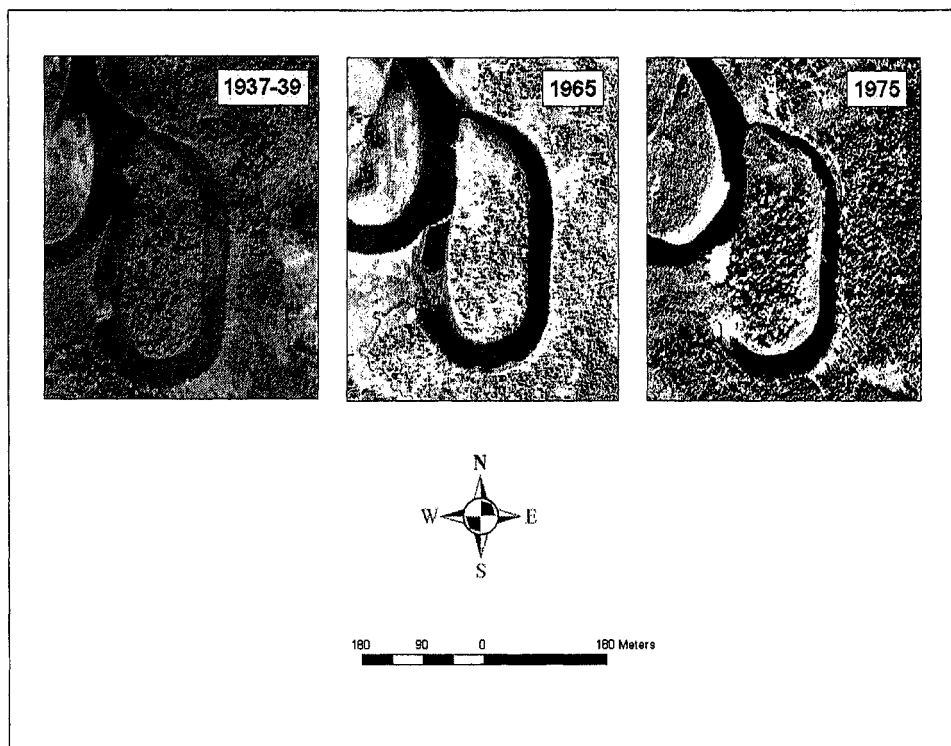


FIGURE 2.17 Évolution du méandre recoupé E entre 1937-39 et 1975.

2.4. DISCUSSION ET CONCLUSION

Les impacts de la succession des périodes hydroclimatiques sur l'évolution morphologique des rivières sont encore mal documentés au Québec en particulier mais également dans les autres parties du globe. Jusqu'à présent tous les modèles déjà proposés pour prédire l'évolution morphologique des chenaux ne tiennent compte que des précipitations considérées comme variable climatique majeure. La température, malgré son influence potentielle sur la quantité de glace formée dans les chenaux et la période de leur fonte sous climats froids, est toujours considérée comme un facteur climatique négligeable dans les changements morphologiques des cours d'eau. Dans le cadre de ce travail, notre objectif était de déterminer l'influence de la variabilité interannuelle de la température et des débits sur l'évolution morphologique des rivières du Bouclier canadien. Ces rivières sont caractérisées par une alternance régulière des tronçons sableux, sensibles à l'érosion, et des tronçons caillouteux très résistants. En raison de cette alternance, il est souvent admis que ces rivières sont très peu sensibles aux changements climatiques.

Pour vérifier le bien-fondé de cette affirmation, nous avons analysé les impacts de la succession des périodes hydro-climatiques sur l'évolution morphologique de la rivière Matawin sur une période de 50 ans environ (1928-1988). Durant cette période, nous avons identifié trois grands épisodes climatiques qui ont été corrélés aux changements morphologiques du chenal principal de la rivière et des méandres abandonnés. Cette corrélation est résumée au tableau 4.

- Le premier épisode qui s'étend de 1937 à 1965 est caractérisé du point de vue hydroclimatique par une diminution de la température et des débits (Épisode froid et sec). Ainsi, le nombre de crues est relativement faible. Cependant, du point de vue morphologique, malgré la diminution de nombre de

crues, on note une augmentation significative de la largeur moyenne de la rivière dans les trois tronçons sableux. En effet, le taux de hausse de la largeur moyenne varie entre 10 et 18%. Cette hausse est observée aussi dans les méandres recoupés. À notre avis, cette érosion relativement importante et active même dans les méandres recoupés, ne peut être expliquée que par un transport plus fréquent de la glace. En raison de la température relativement faible durant cette période, toute la glace ne fond pas complètement et en même temps. Une partie peut être charriée et peut ainsi éroder facilement les berges sableuses fragilisées par le processus de gel et de dégel. Ce processus devient important en période froide. Par ailleurs, Smith (1979) a démontré que les rivières canadiennes sont plus larges que celles des États-Unis et de l'Australie en raison de l'action érosive de la glace. Celle-ci est considérée comme un agent important d'érosion et d'accumulation en milieu fluvial (Prowse, 2001). Par ailleurs, il est aussi connu que la glace accélère l'érosion des berges constituées des matériaux ou des roches peu résistants (Dionne, 1974).

- Le second épisode n'a duré qu'environ une décennie (de 1970 à 1980). Du point de vue climatique, cet épisode est caractérisé par des débits relativement élevés. Cette hausse se traduit par une diminution de la largeur du chenal principal et des méandres recoupés. L'observation attentive de ces derniers permet d'expliquer cette diminution de la largeur du chenal. En effet, dans tous les méandres recoupés, nous avons observé une forte sédimentation qui résulte d'un charriage important provenant du chenal principal. Car, les versant sont bien protégés par la végétation et ne peuvent donc pas être la source des sédiments dans les méandres recoupés. De plus, une sédimentation importante a été observée en aval de la confluence d'un affluent (figure 2.17). Ceci dénote un charriage important des sédiments à cause de l'augmentation du nombre de crues (figure 2.4). Il s'ensuit que cette période humide a provoqué une incision du chenal dont les matériaux ont contribué au colmatage des méandres recoupés et vraisemblablement à un alluvionnement important de la

plaine alluviale. Cet alluvionnement favorisa la végétalisation des berges du chenal principal et des méandres recoupés provoquant ainsi une diminution de leur largeur (Amoros et al, 2000; Piégay et al, 2000; Barrat-segretain 1996).

- Le troisième épisode, qui dure depuis 1980, est caractérisé par une diminution des débits mais, en revanche, par une hausse de la température. Il s'agit d'un épisode sec et chaud. Du point de vue morphologique, cet épisode n'a généré aucun changement significatif comparativement au premier épisode qui était aussi sec mais froid. Cette absence de changement pourrait être due à l'effet de la hausse de la température sur la quantité et la dynamique de la glace charriée par la rivière. En effet, la hausse de la température réduit la quantité de glace formée dans la rivière tout en favorisant sa fonte rapide et complète. Il s'ensuit une diminution de la quantité de glace charriée par la rivière. L'érosion des berges devient ainsi insignifiante.

TABLEAU 2.4

Relation entre périodes hydroclimatiques et changements morphologiques du chenal de la rivière Matawin

Périodes hydroclimatiques	Durée	Largeur	Profondeur	Sinuosité
Sèche et froide	1940-1970	Hausse	?	Pas de changement
Humide et chaude	1970-1980	Diminution	Hausse ?	Pas de changement
Sèche et chaude	1980-2000	Pas de changement	Pas de changement ?	Pas de changement
Sèche et froide ?	Avant 1900	Hausse ?	Hausse ?	Diminution ?

? = les mesures n'ont pas été effectuées. L'interprétation découle de l'analyse de l'évolution morphologique du chenal et des méandres recoupés.

Par ailleurs, malgré la succession des épisodes secs et humides, la sinuosité du chenal est restée relativement stable. C'est ainsi que, malgré les valeurs d'indices de sinuosité relativement élevée, aucun méandre ne s'est recoupé depuis 1928. Pourtant de nombreux méandres abandonnés jonchent la plaine. On ne peut pas invoquer la faiblesse du pouvoir érosif de la rivière pour expliquer l'absence du recouplement des méandres. Car, durant l'épisode humide, le charriage des sédiments était fort important comme le témoigne le comblement dans les méandres abandonnés. Par conséquent, le sable charrié ne semble être efficace à l'érosion de la plaine alluviale et par le fait même à celle des berges comme nous l'avons déjà mentionné. On peut dès lors présumer que ces méandres se sont recoupés durant un épisode climatique différent des trois que l'on vient de décrire. Il s'agirait probablement d'un épisode froid et humide favorable à un transport plus fréquent de la glace et un débordement plus fréquent de l'eau dans la plaine alluviale lors de la fonte de glace (tableau 2.4). De plus, La majorité des méandres abandonnés de la rivière Matawin présentent les caractéristiques de recouplements de type « déversement ». Ce type de recouplement survient uniquement lors de débordements successifs du cours d'eau. Ces conditions climatiques favorables à cet épisode auraient régné au cours du 19^{ème} siècle.

Enfin, cette étude met en évidence le lien entre les périodes hydroclimatiques et les changements morphologiques du chenal et des méandres recoupés de la rivière Matawin dont les caractéristiques morphologiques sont typiques de rivières du Bouclier Canadien. Ce lien pourrait être utilisé pour prédire l'évolution morphologique des rivières du Bouclier Canadien dans un contexte actuel de réchauffement climatique.

2.5. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Amoros, C., Bornette, G., Henry, C.P. (2000) "Environnemental Auditing; A vegetation based method for ecological diagnosis of riverine wetlands", *Environnemental Management* 25 : 211-227.

Ancil F., Martel F., Hoang V.D. (1998) "Analyse régionale des crues journalières de la province du Québec", *Canadian Journal of Civil Engineering* 25 : 125-146.

Ashmore, P. and Church, M. (2001) "The impact of climate change on rivers and river processes in Canada", Geological Survey of Canada Bulletin 555, Ottawa, 58 p.

Assani, A.A., Buffin-Bélanger, T., Roy, A.G. (2002) "Analyse d'impacts d'un barrage sur le régime hydrologique de la rivière Matawin (Québec, Canada)", *Revue des Sciences de l'Eau* 15 : 557-574.

Barrat-Segretain, M.-H. (1996) "Germination and colonisation dynamics of *Nuphar lutea* (L.) Sm. In a former river channel", *Aquatic Botany* 55 : 31-38.

Bravard JP, Kondolf GM, Piegay H. (1999) "Environmental and societal effects of channel incision and remedial strategies", In Rinaldi, M. (2003) "Recent channel adjustments in alluvial rivers of Tuscany, central Italy", *Earth Surface Processes and Landforms* 28 : 587-608.

Bravard, J.P., et Petit, F. (2000) "Les cours d'eau, dynamique du système fluvial", Éditions Armand-Colin, Paris (France).

Dagnélie, (1986) "Théorie et méthodes statistiques", Vol. 2, Les Presses Agronomiques de Gembloux, Gembloux (Belgique).

- Dionne, J-C. (1974) "How drift ice shapes the St.Lawrence", *Canadian Geographical Journal* 88 : 4-9.
- Downward, S.R. (1995) "Information from topographic survey", in Gurnell, A.M., Bickerton, M., Angold, P., Bell, D., Morrissey, I., Petts, G.E., and Sadler, J. (1998), "Morphological and ecological change on a meander bend: the role of hydrological process and the application of GIS", *Hydrological Process* 12 : 981-993.
- Gurnell, A.M., Bickerton, M., Angold, P., Bell, D., Morrissey, I., Petts, G.E., and Sadler, J. (1998) "Morphological and ecological change on a meander bend: the role of hydrological process and the application of GIS", *Hydrological Process* 12 : 981-993.
- Hooke, J.M. (2004) "Cutoffs galore! : occurrence and causes of multiple cutoffs on a meandering river" *Geomorphology* 61 : 225-238.
- Knox JC. (1993) "Large increases in flood magnitude in response to modest changes in climate", *Nature* 361 : 430–432.
- Knox JC. (1983) "Responses of river systems to Holocene climates. In Late Quaternary Environments of the United States, The Holocene", Vol. 2, Wright HE Jr (ed.). University of Minesota, Press Minneapolis 26–41.
- Macklin, M.G., Lewin, J. (1989) "Sediment transfer and transformation of an alluvial valley floor – The river south Tyne, Northumbria, UK", *Earth Surface Processes and Landforms* 14 : 233-246.

- Piégay, H., Bornette, G., Citterio, A., Hérouin, E., Moulin, B., Statiotis, B. (2000) "Channel instability as a control on silting dynamics and vegetation patterns within perfluvial aquatic zones", *Hydrological Processes* 14 : 3011-3029.
- Prowse, T.D. (2001) "River-ice ecology I : Hydrologic, Geomorphologic, and water-quality aspects", *Journal of Cold Regions Engineering* 15 : 1-16.
- Rinaldi, M. (2003) "Recent channel adjustments in alluvial rivers of Tuscany, central Italy", *Earth Surface Processes and Landforms* 28 : 587–608.
- Rumsby, B.T., Macklin, M.G. (1994) "Channel and floodplain response to recent abrupt climate-change. The Tyne basin, Northern England", *Earth Surface Processes and Landforms* 19 : 499-515.
- Smith, D.G. (1979) "Effects of channel enlargement by river ice processes on bankfull discharges in Alberta, Canada", *Water Resources Research* 15 : 469-475.
- Warner, R.F. (1995) "Predicting and managing channel change in southeast Australia", *Catena* 25 : 403-418.
- Warner, R.F. (1994) "A théorie of channel and floodplain responses to alternating regimes and its actual application to actual adjustments in Hawkesbury River, Australia", In: *Process models and théorical geomorphology*. Wiley, Chichester, 173-200.
- Warner, R.F. (1993) "Channel erosion and sedimentation in the alternating hydrologic regimes of the Hawkesbury River, New South Wales, Australia", In : *Catchments and coast in eastern Australia*. Reserch Monograph 5, Department of Geography, University of Sydney, 25-38.

Warner, R.F. (1992) "Floodplain evolution in a New South Wales coastal valley, Australia: spatial process variation", *Geomorphology* 4 : 447-458.

Warner, R.F. (1987) "The impacts of alternating flood and drought-dominated regimes on channel morphology at Penrith, New South Wales, Australia", *The International Association of Hydrological Sciences publication* 168 : 327-338.