

**ANALYSE STATISTIQUE DE LA SÉRIE ANNUELLE DES APPORTS  
ÉNERGÉTIQUES**

par

Van-Thanh-Van Nguyen, ing., Ph.D.

préparé pour

HYDRO-QUÉBEC

Juillet 2001

## 1. OBJET DE L'ÉTUDE

La présente étude a pour but principal d'effectuer une analyse statistique d'une série annuelle des apports énergétiques fournie par Hydro-Québec pour la période à partir de 1943 jusqu'à 2000 afin de répondre à six questions spécifiques suivantes:

1. Est-ce qu'il existe une tendance dans la série d'apports énergétiques annuels?
2. Est-ce qu'il existe des ruptures de moyenne dans la série d'apports énergétiques annuels?
3. Est-ce qu'on peut mettre en évidence des cycles significatifs dans la série d'apports énergétiques annuels?
4. Si les données d'apports énergétiques annuels récentes ne s'inscrivent pas dans la continuité des précédentes (réponse affirmative à l'une des 3 premières questions),
  - quel modèle et quel estimateur de l'apport énergétique moyen proposez-vous?
  - comment peut-on prendre en compte cette non-stationnarité en mode prévisionnel?
5. Quelle est votre prévision de l'apport énergétique annuel des 3 prochaines années? Quelle en est l'incertitude?
6. Recommandez-vous de prendre en compte le caractère autorégressif des apports énergétiques annuels ? Si oui, qu'elle serait la cause d'une telle persistance?

Ce rapport décrit la méthodologie utilisée et présente les résultats obtenus dans cette étude.

## 2. MÉTHODOLOGIE

En vue des objectifs spécifiques mentionnés ci-haut, il est alors nécessaire d'élaborer un modèle statistique qui peut tenir compte des propriétés stochastiques (e.g., tendance, variabilité saisonnière, ...) de la série des apports énergétiques considérée et, également, qui est capable de fournir l'estimation la plus adéquate des apports énergétiques futurs. Dans cette étude, un modèle de prévision basé sur la technique de lissage exponentiel a été proposé. Cette technique a été adoptée parce que plusieurs études précédentes (e.g., Makridakis et al., 1982) ont effectivement démontré que le lissage exponentiel est une des méthodes les plus appropriées pour la prévision en temps réel ou à court terme des séries temporelles stochastiques. Le modèle proposé est utilisé pour répondre aux questions posées ci-dessus.

## 3. RÉSULTATS

### Réponse à la question 1

Les figures 1 et 2 présentent la comparaison entre les apports énergétiques observés et les apports qui sont estimés respectivement à partir du modèle de lissage exponentiel avec aucune tendance et du modèle avec l'hypothèse d'une tendance linéaire. On peut constater que les résultats fournis par ces deux modèles sont comparables (erreurs quadratiques moyennes semblables). Ainsi, pour la prévision des apports énergétiques futurs, on pourra supposer qu'aucune tendance existe dans la série des apports considérée.

### Réponse à la question 2

En regardant la figure 2, on peut constater que le modèle avec l'hypothèse d'une tendance linéaire indique approximativement une variation constante de la moyenne (ligne approximativement horizontale). On peut alors accepter l'hypothèse qu'il n'y aucune rupture dans la moyenne de la série des apports énergétiques étudiée.

### Réponse à la question 3

Pour répondre à cette question, on a fait l'hypothèse que la série des apports énergétiques totale contient un cycle. Ce cycle sera déterminé en fonction de la meilleure performance du modèle statistique proposé dans la description de la série des apports énergétiques observée. Le tableau suivant présente le résultat de la comparaison entre les apports observés et estimés par le modèle en considérant une gamme des valeurs possibles pour le cycle (à partir de 3 ans jusqu'à 11 ans). Ces valeurs ont été choisies en tenant compte de la longueur limitée de la série des données disponibles. On peut alors observer que le modèle avec un cycle de 9 ans donne le meilleur résultat (l'erreur quadratique moyenne la plus petite). Les figures 3 et 4 présentent également une comparaison graphique de la performance du modèle proposé pour le cycle de 3 ans et 9 ans, respectivement.

| Cycle (ans)                      | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9          | 10  | 11  |
|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------|-----|-----|
| Erreur quadratique moyenne (EQM) | 394 | 397 | 396 | 390 | 376 | 388 | <b>328</b> | 363 | 354 |

### Réponse à la question 4

Tel que mentionné ci-haut, le modèle avec un cycle de 9 ans possède la meilleure performance dans la description de la série des apports énergétiques totale. On peut alors croire que ce modèle pourrait fournir la meilleure estimation des apports énergétiques futurs.

### Réponse à la question 5

De la même manière que précédemment, le modèle avec un cycle de 9 ans est utilisé pour calculer les apports énergétiques pour les 3 prochaines années. Les valeurs obtenues sont:

| Année        | 2001  | 2002  | 2003  |
|--------------|-------|-------|-------|
| Apport (TWh) | 200.9 | 188.3 | 187.6 |

Des études plus approfondies sont nécessaires pour déterminer l'intervalle de confiance pour chaque prévision d'apport. Toutefois, un indice de l'incertitude de ces prévisions pourrait être basé sur 2 à 3 fois de la valeur de l'erreur absolue moyenne (EAM) du modèle considéré. Pour le modèle de lissage exponentiel avec un cycle de 9 ans, la valeur de EAM obtenue est approximativement de 14 TWh. Donc, l'indice de l'incertitude des prévisions par ce modèle est environ 28 TWh à 42 TWh.

### Réponse à la question 6

La performance du modèle de lissage exponentiel présentée ci-haut indique que l'on devrait tenir compte du caractère autorégressif de la série des apports énergétiques annuels dans la prévision à court terme (par exemple, à un pas de temps d'une année) de cette variable. Cette dépendance représente probablement la persistance inhérente dans les processus hydrologiques des bassins versants. Pour les prévisions à plus long terme, une connaissance plus approfondie du comportement de la série des apports pour des périodes de plusieurs années est nécessaire. On doit déterminer la relation entre ce comportement et la variabilité spatiale et temporelle des conditions hydrométéorologiques de la région considérée. Cette relation nous permettrait alors d'élaborer des modèles qui sont capables de fournir des prévisions plus adéquates à plus long terme.

Figure 1: Aucune tendance, aucun cycle  
Alpha=.177, Erreur quadratique moyenne = 401.70

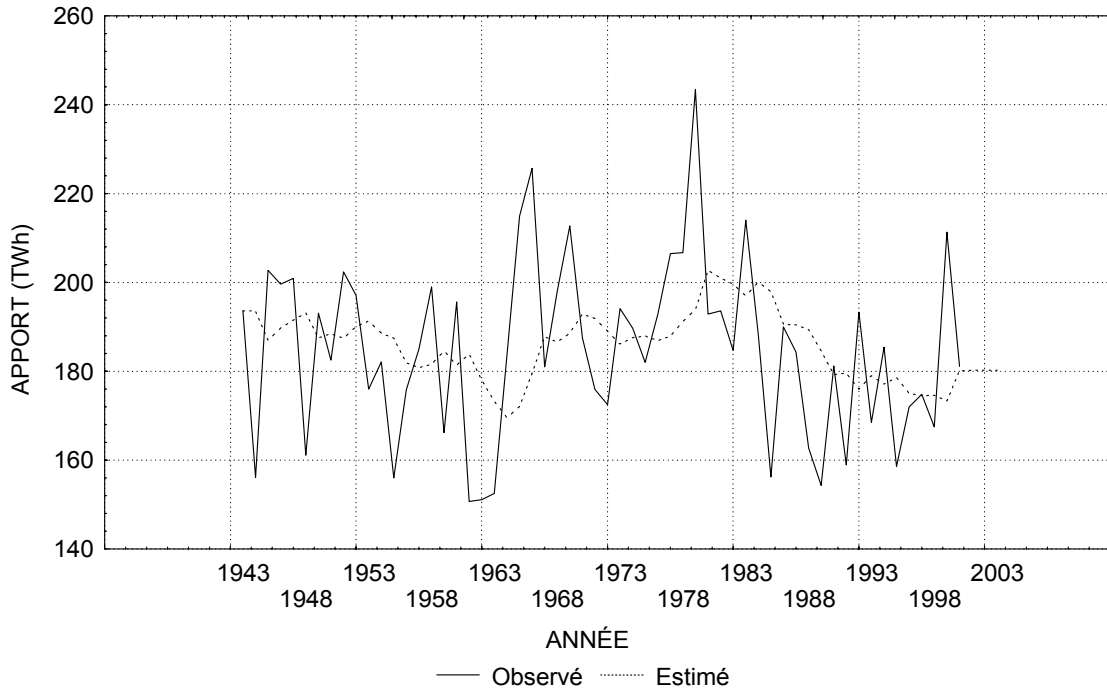


Figure 2: Tendence linéaire, aucun cycle.  
Alpha=.172, Gamma=0.00, Erreur quadratique moyenne = 400.60

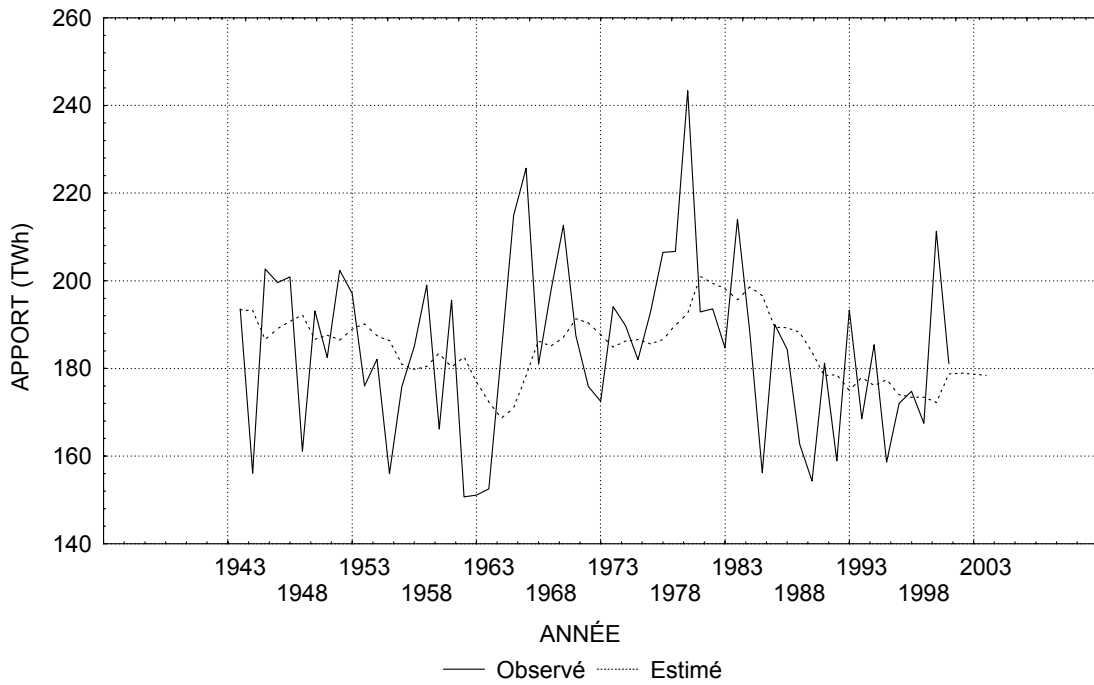


Figure 3: Aucune tendance, Cycle = 3 ans  
Alpha=.215, Delta=0.00, Erreur quadratique moyenne = 393.55

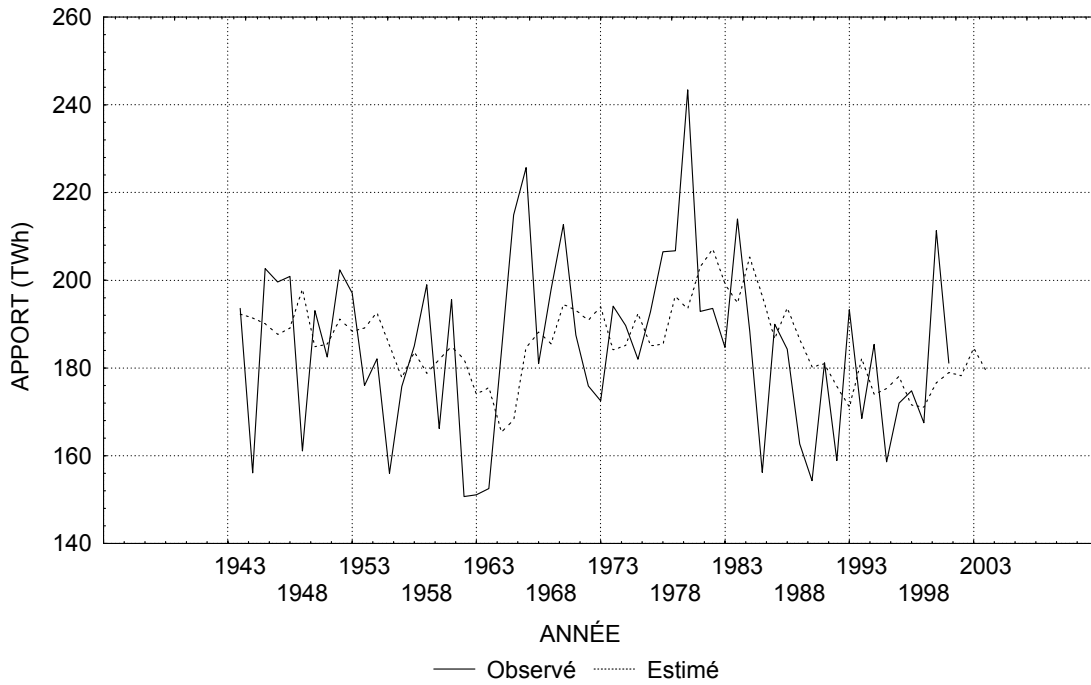


Figure 4: Aucune tendance, Cycle = 9 ans  
Alpha=.276, Delta=0.00, Erreur quadratique moyenne = 327.96

