

Université du Québec

INRS-Eau

**OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION DANS LES TRANSFERTS DE  
TECHNOLOGIES SATELLITAIRES**

**Étude de cas : suivi du couvert nival pour la gestion des réservoirs  
hydroélectriques**

par

**Daniel Martin**

**Maîtrise en gestion des ressources maritimes (M.Sc.)**

**Thèse présentée**

**pour l'obtention**

**du grade de Philosophiae doctorat (Ph.D.)**

**en Sciences de l'eau**

**Jury**

**Président du jury et examinateur externe**

**M. Marc D'Iorio  
Centre Canadien de Télédétection**

**Examineur externe**

**M. René Roy  
Hydro-Québec**

**Examineur interne**

**M. Jean-Pierre Fortin  
INRS-Eau**

**Co-directeur de recherche**

**M. Jean-Louis Sasseville  
INRS-Eau**

**Directeur de recherche**

**Mme Monique Bernier  
INRS-Eau**

**Thèse soutenue le 06/04/98**



*Hâtez-vous lentement; et, sans perdre courage,  
Vingt fois sur le métier remettez votre ouvrage :  
Polissez-le sans cesse et le repolissez;  
Ajoutez quelquefois, et souvent effacez.*

Nicolas Boileau (1636-1711)  
*L'art poétique, chant 1*

---

*Il n'est de véritable savoir que celui qui peut se  
changer en être et en substance d'être - c'est à dire  
en acte.*

Paul Valéry (1871-1945)



## **Dédicaces**

A mes collègues, pilotes d'avions et d'hélicoptères, qui ont donné leur vie pour que le projet de la Baie James devienne une réalité.

A mes parents, qui ont encouragé la poursuite de mes études, malgré de modestes moyens financiers;

A mes enfants : Johanne, Chantal et Jean-François, qui m'ont toujours apporté de grandes satisfactions et chez lesquels, je l'espère, j'ai suscité et continuerai à susciter la curiosité intellectuelle et le goût de l'étude;

A mon amie Edith pour sa compréhension et son support moral au cours de ces trois dernières années;

A Mozart dont les mesures ont si souvent accompagné la rédaction des pages de cette thèse.



## Avant-propos et remerciements

J'ai choisi de présenter une thèse par articles. Ce document comporte donc deux parties. La première partie consiste en une présentation de mon travail de recherche (la synthèse). La seconde partie regroupe les articles eux-mêmes.

Dans la partie synthèse, j'ai voulu mettre en relief ma contribution à l'avancement des connaissances dans le domaine de la gestion des ressources naturelles par télédétection en proposant un outil original d'aide à la décision.

Dans la seconde partie, je présente les articles à l'appui de mon travail de recherche. Ces articles sont classés selon l'ordre logique du protocole expérimental. J'invite le lecteur à y référer pour des informations plus complètes sur les méthodes de recherche, résultats, tableaux, graphiques, etc. Ces articles, dont je suis le premier auteur, ont fait, pour la plupart, l'objet de présentations au Canada et aux Etats-Unis. Une liste des articles figure à la fin de la synthèse.

Je tiens, en premier lieu, à exprimer ma profonde gratitude envers mon directeur de recherche, le Dr Monique Bernier pour sa disponibilité hors pair, ses conseils et cette perpétuelle bonne humeur qui m'ont beaucoup aidé durant ces trois dernières années passées à l'INRS-Eau.

J'aimerais également remercier mon codirecteur de recherche, le Dr Jean-Louis Sasseville, qui, par ses conseils et ses encouragements constants, a rendu nos entretiens à la fois agréables et stimulants.

Je tiens également à souligner la contribution de M. Marcel St-Pierre, de l'Agence Spatiale Canadienne à mon projet de doctorat. Il a suscité l'intérêt pour le sujet de recherche que je vous présente et son soutien technique fut des plus profitables.

Je tiens à remercier l'INRS-Eau, l'institution qui m'a accueilli, m'a apporté un support financier appréciable et au sein de laquelle j'ai trouvé un milieu d'études stimulant et des collègues particulièrement sympathiques.

Ces remerciements seraient incomplets si j'omettais de mentionner l'apport financier de la fondation FCAR et du programme CRYSYS. A ce propos, je tiens à adresser un merci tout particulier au Dr Barry Goodison, d'Environnement Canada, qui a toujours témoigné la plus grande confiance dans ce projet qui dépassait le cadre rigide des études scientifiques sur la cryosphère mais dont il était convaincu de la pertinence sur le plan économique.





## **TABLE DES MATIÈRES**

<i>Dédicaces</i>	v
<i>Avant-propos et remerciements</i>	vii
<i>Liste des tableaux</i>	x
<i>Liste des figures</i>	x
<i>Résumé</i>	xi
<b>PARTIE 1 : SYNTHÈSE</b>	<b>13</b>
<i>Introduction</i>	3
<b>1. Considérations théoriques</b>	<b>7</b>
1.1 Concepts de base	7
1.2 Les facteurs socio-économiques impliqués dans les processus de transfert et de diffusion	8
1.3 Présentation de modèles simples de transaction entre offreurs et demandeurs de technologie	9
1.4 Modes de transfert technologique	10
1.5 Freins et stimulants au sein d'un processus d'échange	11
<b>2. Protocole expérimental et méthodologies utilisées</b>	<b>15</b>
2.1 Justification d'un processus d'enquête au sein d'un processus d'évaluation technologique	16
2.2 L'analyse multicritère dans un processus d'évaluation technologique	19
2.3 L'évaluation monétaire des nouvelles technologies	22
<b>3. Cas d'application de RADARSAT 1 à la gestion des réservoirs d'eau et à la production hydroélectrique</b>	<b>27</b>
3.1 Contexte	27
3.2 Application du protocole expérimental au cas étudié	28
3.3 Résultats de l'enquête	30
3.4 Résultats de l'analyse multicritère	31
3.5 Résultats de l'analyse bénéfices - coûts	34
<b>4. Discussion des résultats et généralisation de la démarche</b>	<b>43</b>
<i>Bibliographie</i>	58
<i>Liste des articles</i>	62
<b>PARTIE 2 : ARTICLES</b>	<b>64</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Capteurs ou modes d'acquisition de l'image considérés	32
<b>Tableau 2</b> : Rangements obtenus pour trois analyses différentes	33
<b>Tableau 3</b> : Coûts d'acquisition et de traitement des images	35
<b>Tableau 4</b> : Ratios bénéfiques - coûts avec une réduction de l'écart-type prévisionnel de 4%	39
<b>Tableau 5</b> : Freins au transfert et à la diffusion	44
<b>Tableau 6</b> : Stimulants au transfert et à la diffusion	45

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Structure du modèle initial simplifié (Robinson, 1989)	9
<b>Figure 2</b> : Schéma des liaisons entre les acteurs du transfert de technologie et le système de transfert à concevoir (Seurat, 1976)	10
<b>Figure 3</b> : Modèle utilisé par Poher (adapté de Kumar et Neyer, 1992)	12
<b>Figure 4</b> : Protocole expérimental	16
<b>Figure 5</b> : Problématique de rangement (tiré de Schärliig, 1985)	21
<b>Figure 6</b> : Analyse de sensibilité (état initial du réservoir : 44 TWh)	40
<b>Figure 7</b> : Analyse de sensibilité (état initial du réservoir : 60 TWh)	41
<b>Figure 8</b> : Modèle de transfert	53

## Résumé

L'objectif principal de cette thèse consiste à élaborer un outil d'aide à la décision pour les gestionnaires publics dans les processus de transfert et de diffusion des technologies satellitaires. Nous avons choisi, comme cas d'application, le suivi du couvert de neige, dans le bassin de la rivière La Grande, pour améliorer la gestion des réservoirs destinés à la production destinés à la production hydroélectrique. Ce bassin, d'une superficie de 176,000 km<sup>2</sup> (51<sup>0</sup> 30' - 55<sup>0</sup> 00' N ; 67<sup>0</sup> 00' E - 78<sup>0</sup> 20' O), est situé sur le territoire de la Baie James.

Nous avons tout d'abord, à l'aide de modèles puisés dans la littérature, explicité les relations entre les facteurs qui influencent les processus de transfert et de diffusion d'une technologie (que nous appellerons *freins* et *stimulants*) et les parties prenantes impliquées dans ces processus (*offreurs* et *demandeurs* de technologie). Les *freins* et *stimulants* conditionnent le succès ou l'échec de la transaction entre les *offreurs* et les *demandeurs* de technologie. Dans notre analyse, l'évaluation des *freins* et *stimulants* pertinents au cas d'application a été effectuée aux niveaux technique et financier, en tenant compte des éléments suivants : 1) des besoins exprimés sur les marchés, 2) de l'intégration ou de la capacité de substitution aux techniques déjà en utilisation et 3) de l'intérêt des gouvernements à supporter la diffusion vers les applications du domaine public ou privé.

Pour effectuer cette évaluation, nous avons élaboré un protocole expérimental faisant appel à trois méthodologies qui ont fait leur preuve dans les sciences de la gestion. Une *enquête* (de type DELPHI) nous a permis de cerner les attentes des utilisateurs potentiels de technologies satellitaires en vue du suivi du couvert nival, de faire ressortir certains freins et stimulants intervenant dans les processus de transfert et de diffusion et de fournir des paramètres essentiels à l'*analyse multicritère des capteurs*. Cette *analyse multicritère*, qui constitue la seconde partie de notre protocole expérimental, nous a donné l'opportunité de cibler les capteurs satellitaires les mieux adaptés aux fins poursuivies et, en particulier, de faire ressortir les possibilités du satellite canadien RADARSAT I. Trois modes d'acquisition de l'image de RADARSAT se sont démarqués dans cette *analyse multicritère* : il s'agit de ScanSAR 500 km, de Wide 150 km et de Standard 100 km. Une *analyse financière, de type bénéfices - coûts*, a permis d'évaluer

différentes combinaisons de modes d'acquisition de l'image de RADARSAT 1 et d'outils de terrain sur une base monétaire. Le mode ScanSAR 500 km est celui qui présente le plus grand intérêt au niveau de la rentabilité puisque, compte tenu des hypothèses fixées, celle-ci est acquise avec une réduction de 3 % de l'écart-type sur la prévision des apports dus à la fonte des neiges. De plus, cette analyse financière fait ressortir l'importance des programmes gouvernementaux pour financer une partie de la Recherche et du Développement des nouvelles technologies satellitaires.

Ce diagnostic permet de prédire le potentiel de transfert et de diffusion des technologies satellitaires en raison de la présence, au sein du cas d'application, d'éléments qui permettent d'accroître l'effet des stimulants et de diminuer celui des freins intervenant dans ces processus. Ces éléments du diagnostic sont les suivants : 1) une implication importante, parmi les utilisateurs, de personnes fermement convaincues de l'utilité des nouvelles technologies, 2) la présence d'agents de transfert, traits d'union essentiels entre les *offreurs* et les *demandeurs* de technologies, 3) une intervention gouvernementale destinée à encourager la Recherche et le Développement sur les nouvelles technologies et accroître le rythme de diffusion et 4) la configuration technologique, c'est-à-dire la réduction des incertitudes associées au lancement de produits *technologiquement innovants*. La mise en évidence des éléments mentionnés nous permet d'élaborer un nouveau modèle de transfert

Finalement, il découle de cette analyse que les éléments influençant le bilan des freins et stimulants aux processus peuvent être exploités au sein d'une stratégie d'aide au transfert et à la diffusion, généralisable à d'autres cas d'application, particulièrement dans le domaine des ressources naturelles.

---

Étudiant

---

Directrice de recherche

**PARTIE 1 : SYNTHÈSE**

# Introduction

---

Conçues à partir de projets de « poussée technologique », dans lesquels la logique du développement est purement scientifique et technique, les technologies satellitaires suscitent, au cours de leur évolution, de l'intérêt pour de nombreuses applications. Certaines d'entre elles ont atteint un stade de maturité qui les rend maintenant applicables aux besoins déjà exprimés ou en voie d'expression sur les marchés<sup>1</sup>. La logique de leur développement se modifie alors : les entreprises conceptrices sont incitées à fabriquer des produits qui dépassent le niveau de l'intérêt scientifique et de la performance et qui répondent aux besoins et aux exigences de clients potentiels.

Deux étapes importantes marquent l'évolution d'une nouvelle technologie. Il s'agit, en premier lieu, du *transfert technologique* : une transaction s'engage alors entre les concepteurs (*offreurs*) et les utilisateurs (*demandeurs*) de cette technologie. Les nouveaux utilisateurs recourent fréquemment à une technologie élaborée dans des conditions différentes de son application initiale (November, 1990). A un stade plus avancé, la technologie évolue vers son succès commercial : étape à laquelle on réfère par *diffusion technologique*. Le transfert et la diffusion réussis d'une technologie dépendent de plusieurs facteurs qui favorisent ou défavorisent l'accès de ce type de technologie aux marchés. Ces facteurs, que nous appellerons les *freins* et les *stimulants* et, conditionnent l'échec ou le succès de la transaction entre les parties impliquées.

Dans cette thèse, nous tenterons d'élaborer un outil d'aide à la décision pour les gestionnaires publics visant à favoriser les processus de transferts de technologies issues de la « poussée technologique » pour des marchés peu ou pas structurés. Pour ce faire, nous expliciterons les relations entre les facteurs qui influencent les processus de transfert et de diffusion d'une technologie (les *freins* et *stimulants*) et les parties prenantes impliquées dans ces processus (*offreurs*, *demandeurs* de technologie). Sur cette base, nous tenterons de prédire le potentiel de transfert et de diffusion en traçant le bilan de ces freins et stimulants dans un cas particulier d'application : l'utilisation éventuelle des technologies satellitaires pour l'estimation de

l'équivalent en eau du couvert nival des bassins en vue de gérer les réservoirs d'eau et la production hydroélectrique. En dernier lieu, nous essayerons de mettre de l'avant des solutions visant à augmenter l'effet des stimulants et à diminuer celui des freins au sein d'une stratégie globale d'aide au transfert et à la diffusion d'une technologie.

La première partie de cette thèse expose les éléments théoriques qui sont à la base de notre réflexion. Nous aborderons les concepts fondamentaux de *transfert et de diffusion technologiques* et certains facteurs socio-économiques impliqués dans ces processus. Nous présenterons quelques modèles de transaction entre les *offreurs* et les *demandeurs de technologie*. Nous définirons ensuite ce que nous entendons par *freins* et *stimulants* au transfert et à la diffusion. Nous illustrerons enfin, à l'aide d'un exemple pertinent, l'impact de ces facteurs sur le succès ou l'échec d'une transaction. Cette première partie nous permettra d'explicitier les relations entre les différents éléments impliqués dans les processus de transfert et de diffusion.

Au chapitre 2, nous avons conçu un protocole expérimental pour cerner les *freins* et les *stimulants* pouvant affecter les transactions entre les concepteurs et les utilisateurs de technologies satellitaires. Ce protocole expérimental tire parti de méthodes éprouvées dans le domaine des sciences de la gestion. Il débute par une *enquête*, dont la majeure partie est de type *DELPHI*. Cette enquête vise à cibler les attentes et à récolter les opinions et les commentaires d'éventuels utilisateurs de technologies satellitaires. Les renseignements obtenus servent également à alimenter une *analyse multicritère* (de type *PROMETHEE II*), destinée à classer une dizaine de capteurs satellitaires susceptibles de fournir des informations intéressantes pour le suivi du couvert nival. L'*analyse multicritère* permet, par la suite, d'élaborer des scénarios simples d'utilisation de technologies satellitaires et de méthodes conventionnelles de terrain que nous évaluerons à l'aide d'une *analyse de type bénéfices - coûts*.

Dans un troisième chapitre, nous présenterons les résultats de l'application de notre protocole expérimental au cas particulier du suivi du couvert nival sur le territoire de la Baie James (nord du Québec). Ce cas est d'intérêt commercial puisque, depuis plusieurs années, la société Hydro-

---

<sup>1</sup> Dans la langue anglaise, les expressions utilisées pour catégoriser ces deux types de projets sont *technological push* : poussée technologique et *market pull* : attraction des marchés.

---

Québec s'intéresse à l'intégration de technologies satellitaires aux mesures conventionnelles de terrain dans les bassins hydroélectriques éloignés des grands centres de consommation. L'éloignement des sites de production d'électricité et la taille importante des bassins à surveiller génèrent des coûts élevés d'acquisition de données pour l'émission de prévisions hydrologiques. L'introduction d'approches permettant l'observation répétitive de grandes surfaces avec un minimum d'intervention humaine représente un avantage majeur dans ces bassins où le réseau hydrométéorologique se restreint au fil des compressions budgétaires.

Dans une dernière partie, à l'aide de la théorie élaborée, nous tenterons de prédire le potentiel de transfert et de diffusion des technologies satellitaires et de mettre de l'avant des modalités visant à faciliter les transferts et la diffusion de ces technologies. Nous verrons ensuite comment ces modalités pourraient être exploitées au niveau d'une stratégie d'aide au transfert et à la diffusion, généralisable à d'autres cas d'applications, particulièrement dans le domaine des ressources naturelles. Nous insisterons particulièrement sur les éléments qui permettent d'augmenter l'effet des stimulants et de diminuer celui des freins affectant habituellement ces processus. Nous verrons également comment cette stratégie peut s'intégrer au sein d'un modèle de transfert.





# 1. Considérations théoriques

---

## 1.1 Concepts de base

November (1990) définit le *transfert* de technologie comme le « déplacement » des connaissances techniques d'une entreprise à une autre, d'un lieu de conception à un autre lieu de mise en œuvre. Seurat (1976), de son côté, propose deux notions essentielles qu'il voit sous-jacentes au concept de *transfert technologique* : celle liée à l'idée de déplacement et celle de l'origine et de la destination du transfert. Dans le transfert technologique, la transaction fait intervenir deux groupes d'acteurs : ceux qui conçoivent et distribuent la technologie (les *offreurs*) et ceux qui l'utilisent (les *demandeurs*). Pour le second groupe, il s'agit d'acquérir une technologie, c'est-à-dire le « discours ayant trait à une technique », les connaissances relatives à cette technique. Dans le processus de transfert, il n'est nullement question de réinventer ce qui existe déjà (il s'agirait alors d'invention et de découverte) mais de bénéficier, avec l'accord du concepteur, d'une technologie existante (Seurat, 1976). D'un point de vue économique, il peut être plus efficient de réutiliser que d'inventer, même si la première éventualité implique l'adaptation de la technologie à un nouveau contexte de mise en œuvre. De plus, aux niveaux économique, social et culturel, cette réutilisation permet une exploitation plus complète de la Recherche et du Développement effectués sur cette technologie (St-Pierre, 1996).

Pour sa part, l'OCDE (1988a) considère que la notion de *diffusion* consiste en la propagation de la technologie depuis la source où elle est créée jusqu'aux utilisateurs. Rogers et Shoemaker (1971) envisagent la diffusion d'une innovation comme le processus par lequel l'innovation est distribuée parmi les membres d'un système social. Le terme diffusion possède une connotation plus large que celle de transfert, bien que ces deux concepts fassent fréquemment l'objet de confusion dans la littérature. En fait, la diffusion couronne le succès commercial d'une technologie, sa percée sur les marchés.

## **1.2 Les facteurs socio-économiques impliqués dans les processus de transfert et de diffusion**

Le transfert et la diffusion d'une nouvelle technologie sont généralement conditionnés par des facteurs traduisant : 1) la demande pour la technologie créée par les besoins spécifiques exprimés sur les marchés, 2) la capacité de la technologie de s'intégrer ou de se substituer aux pratiques actuelles, ainsi que 3) les façons de faire des gouvernements dans l'aide aux transferts vers des applications des domaines privé ou public.

1) La validation d'une technologie vise à la mise en forme d'une configuration efficace et à la démonstration aux éventuels acheteurs industriels que la technologie convoitée sera la plus avantageuse pour leur entreprise (Brisson, 1997). Les efforts de validation sont presque tous orientés vers la satisfaction des besoins exprimés sur les marchés. Les *offreurs* cherchent à maximiser le niveau de satisfaction et à minimiser les réactions d'insatisfaction en regard du produit tels qu'ils se produiront en situation réelle.

2) Selon Metcalfe (1981), la diffusion d'une innovation est le processus par lequel les nouvelles technologies déplacent ou se substituent aux technologies existantes. L'intégration de la technologie ou sa capacité de substitution aux techniques déjà en utilisation est un facteur important qui influe sur son potentiel de transfert.

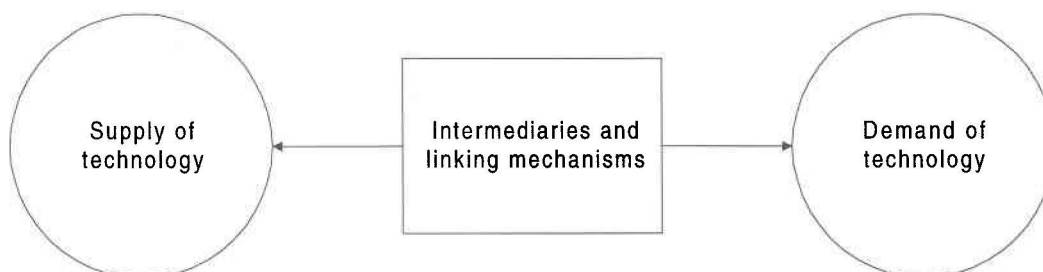
3) Les gouvernements ont intérêt à supporter le transfert ou la diffusion, notamment dans le domaine des nouvelles technologies. L'action publique trouve sa justification dans l'écart entre les *gains privés*, réalisés par les entreprises, et les *gains pour la collectivité* (comme, par exemple, une qualité de vie accrue) générés par une innovation. Selon une étude de l'OCDE (1992), l'action publique devrait permettre d'instaurer un environnement susceptible d'intégrer et de concilier les deux objectifs suivants :

- des incitations pour que l'anticipation de *gains privés* importants puisse stimuler la création de nouvelles technologies par les entreprises ;

- des retombées importantes pour que les entreprises « créatrices » ne puissent s'approprier qu'une partie des bénéfices de leur innovation et que les *gains pour la collectivité* soient maximisés.

### **1.3 Présentation de modèles simples de transaction entre offreurs et demandeurs de technologie**

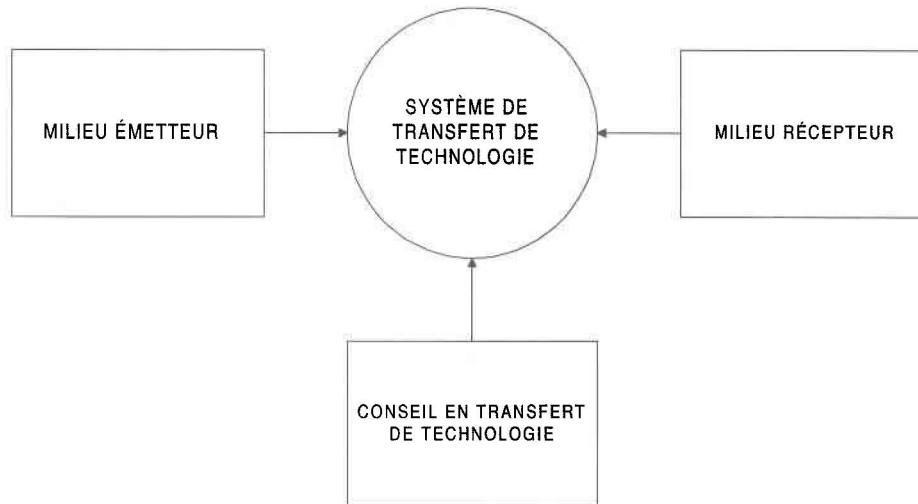
Nous passerons en revue quelques modèles de transaction afin, éventuellement, de les adapter aux fins poursuivies dans notre recherche. Ces modèles sont représentés ici sous leurs formes les plus simples. Le premier modèle, présenté à la Figure 1, est celui de Robinson (1989). L'auteur identifie quatorze (14) mécanismes de transfert (« *linking mechanisms* », dans le graphique) : 1) *le flot d'informations normal*, 2) *la formation et l'entraînement*, 3) *la vente et l'achat de biens et services*, 4) *la licence*, 5) *le contrat d'assistance technique*, 6) *le contrat de fabrication*, 7) *la production partagée*, 8) *la co-production*, 9) *l'architecture et l'ingénierie*, 10) *la consultation*, 11) *la recherche et le développement*, 12) *la construction et la supervision*, 13) *le contrat clef en main* et 14) *le contrat d'exploitation*. Ces mécanismes de transfert sont utilisés via différents liens organisationnels entre les deux parties comme le *partenariat*, la *participation*, les *alliances stratégiques*, etc. Ce modèle de base illustre non seulement les liens qui existent entre l'offre et la demande de technologie et les mécanismes qui les relient mais également le fait que la démarche entre les parties impliquées est bilatérale.



**Figure 1:** Structure du modèle initial simplifié (Robinson, 1989)

Le second modèle abordé est celui de Seurat (1976). Nous avons introduit ce modèle (Figure 2) parce qu'il fait ressortir un élément nouveau qui influe sur le système de transfert de technologie :

le « conseil en transfert technologique »<sup>2</sup>. Nous insisterons d'ailleurs, dans une prochaine partie, sur cet atout important au sein du processus.



**Figure 2 :** Schéma des liaisons entre les acteurs du transfert de technologie et le système de transfert à concevoir (Seurat, 1976)

## 1.4 Modes de transfert technologique

Mogavero et Shane (1982) ont identifié trois modes principaux de transfert technologique : les modes passif, semi-actif et actif. Si le transfert n'implique aucun intermédiaire entre l'émetteur et le récepteur de technologie, le mode de transfert est de type passif. Pour connaître la technologie, l'utilisateur éventuel doit se contenter d'informations glanées çà et là. Des trois modes abordés, le mode passif est le plus répandu. La présentation des technologies disponibles par le biais de magazines, revues, articles scientifiques est une forme de transfert passif. L'efficacité de ce mode de transfert est relativement limitée.

Si un agent de transfert joue un rôle d'informateur auprès de l'utilisateur, c'est-à-dire de guide et de conseiller dans le choix de technologies, le transfert est de type semi-actif.

Cependant, si cet agent de transfert participe activement à l'application de la technologie, le transfert devient actif. Le mode actif présente des avantages évidents pour les entreprises qui

<sup>2</sup> Termes utilisés par l'auteur

n'ont pas les capacités financières et/ou les ressources humaines pour faire de la Recherche et du Développement ou pour celles dont le personnel n'a pas la formation requise pour comprendre les concepts de technologies compliquées.

### **1.5 Freins et stimulants au sein d'un processus d'échange**

Comme le signale Poher (1994), dans le cadre d'un processus d'échange entre *offre* et *demande* de technologie, il est nécessaire de tenir compte des facteurs contribuant au *succès* ou à l'*échec* du processus. Comme le signale Poher (1994), dans le cadre d'un processus d'échange entre *offre* et *demande* de technologie, il est nécessaire de tenir compte des facteurs contribuant au *succès* ou à l'*échec* du processus. Ces facteurs, que nous désignerons par *stimulants* et *freins*, interviennent dans le calcul rationnel<sup>3</sup> des intervenants dans le processus. L'action de ces facteurs sur le comportement d'un intervenant se traduit par une incitation à s'engager (ou à se retirer, selon le cas) des transactions nécessaires pour que le transfert se réalise effectivement.

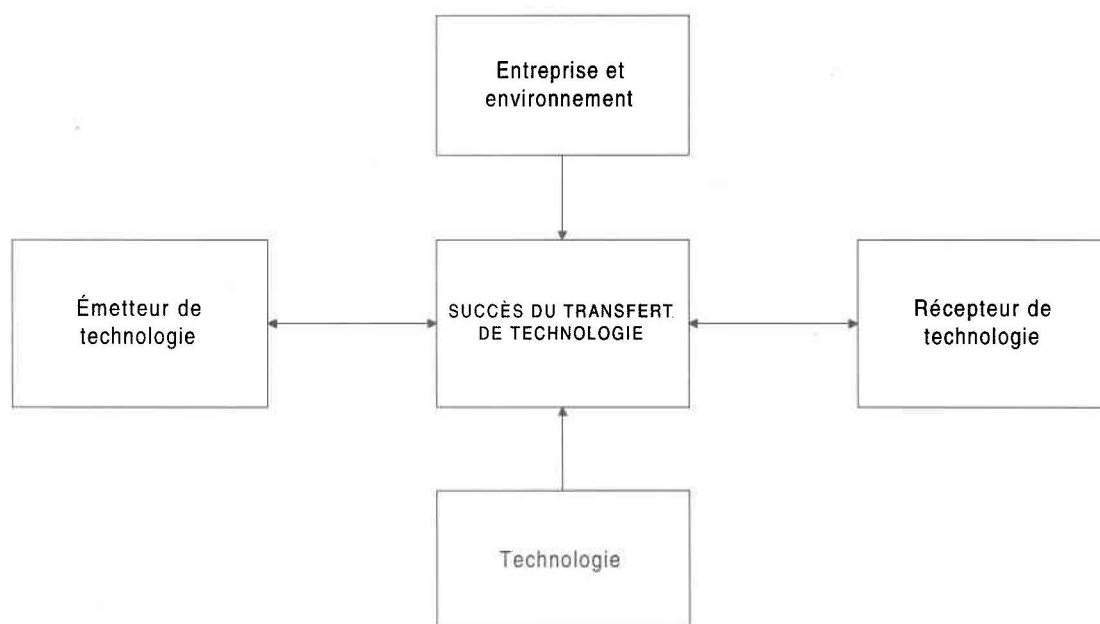
Pour illustrer la présence de facteurs contribuant à la réussite ou à l'échec d'un processus de transfert, nous avons choisi de présenter le modèle de Poher (1994). L'auteur a repris la structure du modèle de Kumar et Meyer (1992) et utilisé les variables proposées par Robinson (1989) pour les besoins d'une étude sur les transferts de technologie des assembleurs (les géants de l'industrie aéronautique) vers les sous-traitants dans la grappe aérospatiale au Québec. Dans ce troisième modèle (Figure 3), Poher a mis en relief les variables clefs qui favorisent le succès ou l'échec du transfert de technologie dans un domaine particulier. Les faits saillants de cette étude sont les suivants :

- la coopération entre les parties augmente les chances de succès du transfert ;
- plus l'émetteur axe ses activités sur la Recherche et le Développement (à l'instar des activités de fabrication proprement dites), plus il est porté à transférer de la technologie vers les sous-traitants ;
- l'ancienneté de la relation entre l'émetteur et le récepteur augmente les chances de transfert ;

---

<sup>3</sup> Selon H.A. Simon (1965), ce calcul rationnel fait référence à un système de valeurs dans lequel les individus peuvent évaluer les conséquences de leur comportement.

- les chances de succès du transfert augmentent également en proportion du temps alloué par le sous-traitant aux activités de transfert ;
- chez le sous-traitant, le degré de formation des ressources humaines augmente les chances de succès du transfert ;
- le succès du transfert est intimement lié à l'augmentation du volume des ventes du sous-traitant vers l'émetteur ;
- l'apport de savoir-faire de l'émetteur et /ou du récepteur augmente les chances de succès du transfert ;
- les risques d'échec sont élevés lorsque la maison mère n'exerce aucun contrôle sur la technologie transférée ;
- l'attente de bénéfices financiers, de la part de l'émetteur, est l'un des facteurs majeurs de succès du transfert ;
- l'implication du personnel de l'émetteur (le temps de travail accordé aux activités de transfert) augmente les chances de succès du transfert.



**Figure 3 :** Modèle utilisé par Poher (adapté de Kumar et Neyer, 1992)

Les trois modèles abordés apportent des éléments essentiels à notre réflexion, tant sur le plan de l'architecture que sur celui des informations qu'ils génèrent. Au niveau de l'architecture, les

---

structures de ces modèles se ressemblent : d'un côté un *offreur* de technologie, de l'autre un *demandeur* (quelquefois appelés *émetteur* et *récepteur de technologie*) et, entre les deux parties, différents véhicules ou systèmes de transfert sur lesquels peuvent, éventuellement, interagir des conseillers experts. La complexité de ces modèles réside cependant au niveau des variables qui peuvent influencer les trois blocs principaux. Ces variables dépendent, en partie, des milieux dans lesquels évoluent les parties prenantes. Une constante demeure cependant dans les différents modèles abordés : le bilan (positif ou négatif) de l'ensemble de ces variables conditionne le succès ou l'échec de la transaction.





## **2. Protocole expérimental et méthodologies utilisées**

Nous rappellerons que l'objectif principal de cette recherche doctorale est de proposer un outil d'aide à la décision dans les processus de transfert et de diffusion technologique pour les gestionnaires publics. Un tel objectif est assorti des sous-objectifs suivants :

- l'explicitation des relations entre les facteurs qui influencent les processus de transfert et de diffusion d'une technologie (les *freins* et *stimulants*) et les parties prenantes impliquées dans ces processus (*offreurs, demandeurs* de technologie) ;
- l'élaboration d'un bilan des freins et stimulants pour tenter de prédire le potentiel de transfert et de diffusion d'une technologie ;
- la proposition de solutions visant à augmenter l'effet des stimulants et à diminuer celui des freins au sein d'une stratégie d'aide au transfert et à la diffusion d'une technologie, généralisable à d'autres cas d'application.

L'explicitation des relations entre les facteurs influençant les processus de transfert et de diffusion et les parties prenantes a fait l'objet de la première partie de notre recherche. Afin de mesurer l'impact des freins et stimulants agissant sur les processus et d'en faire un bilan, nous avons développé notre propre protocole expérimental que nous avons représenté, de manière schématique, à la figure 4. Trois blocs méthodologiques (en grisé) sont suggérés au sein du processus : une *enquête* pour connaître et quantifier les attentes des utilisateurs actuels et potentiels de nouvelles technologies, une *analyse multicritère* pour évaluer les technologies prometteuses et une *analyse économique ou financière* pour mettre en valeur les freins et stimulants d'ordre monétaire.

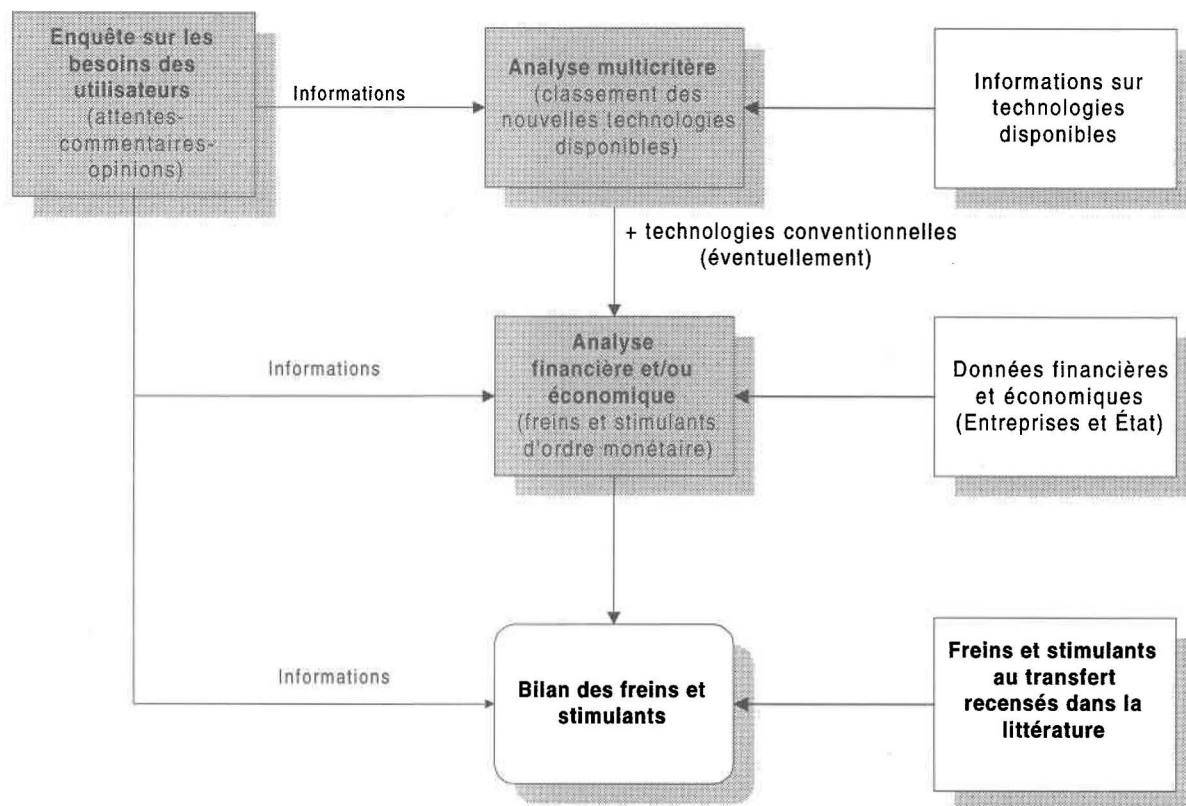


Figure 4 : Protocole expérimental

## 2.1 Justification d'un processus d'enquête au sein d'un processus d'évaluation technologique

Dans un contexte d'introduction de nouvelles technologies sur le marché, nous pensons qu'il est primordial de *connaître* et de *quantifier* les attentes d'utilisateurs actuels et potentiels de ces nouvelles technologies. L'enquête représente un outil privilégié de collecte de données. Plus spécifiquement, une enquête auprès d'experts permet à la fois de rassembler des informations *qualitatives* et *quantitatives* sur les besoins exprimés. Un processus d'enquête se déroule généralement selon le plan suivant : 1) *la constitution d'un groupe d'experts*, 2) *l'élaboration d'un questionnaire*, 3) *la consultation des experts proprement dite*, 4) *le dépouillement des questionnaires* et 5) *l'analyse des résultats*. Pour rejoindre des spécialistes disséminés aux quatre coins du monde, une enquête de type postal semble tout indiquée. Pour les personnes les plus proches, un simple appel téléphonique permet parfois de relancer le processus. Pour les experts

éloignés, il est nécessaire de recourir à des mécanismes tels que le courrier électronique ou le télécopieur.

Les deux problèmes fondamentaux associés à un processus d'enquête demeurent cependant la conception du questionnaire et la formation d'un groupe d'experts. Au niveau de la conception du questionnaire, plus les questions élaborées pour obtenir des informations sont précises, plus le problème de compréhension de la part des participants devient aigu. Il est donc nécessaire de roder les questionnaires sur une base locale pour éviter des problèmes d'interprétation au niveau de certaines questions.

Lorsque les questions et le contexte le permettent, un processus de type DELPHI<sup>4</sup> est recommandé parce qu'il permet d'obtenir une information plus fine qu'un processus conventionnel. La méthode DELPHI a été développée dans les années 50 par Olaf Helmer à la Rand Corporation et utilisée, à l'origine, pour obtenir et organiser les opinions d'un groupe sur des probabilités d'apparition d'événements futurs. Cette technique de communication de groupe s'est cependant rapidement imposée comme méthode d'évaluation technologique. Par rapport aux techniques usuelles de communication de groupe, DELPHI se distingue sur les plans suivants :

*a) la grandeur du groupe*

Elle offre la possibilité de consulter un nombre important de participants, c'est-à-dire d'obtenir un éventail d'expertise diversifié, ce qui lui confère un avantage sur la conférence téléphonique ou la réunion de comité.

*b) l'anonymat*

L'utilisation d'un questionnaire formel permet de réduire, sinon d'éliminer, l'influence d'individus dominants.

*c) la rétroaction contrôlée*

---

<sup>4</sup> Nous utiliserons, tour à tour, les expressions équivalentes suivantes : méthode DELPHI, processus DELPHI, technique DELPHI ou tout simplement DELPHI.

La technique DELPHI consiste en une série d'étapes (en général 3 ou 4) entre lesquelles un sommaire de l'étape précédent est communiqué aux participants, leur permettant ainsi, s'ils le désirent, de réviser leurs évaluations antérieures.

*d) les statistiques de groupe*

Au niveau statistique, la méthode DELPHI utilise habituellement la *médiane* et les *écarts interquartiles*. Mesure de tendance centrale, la *médiane* est préconisée parce qu'elle offre une certaine résistance aux valeurs aberrantes (Bertrand, 1986). La mesure de dispersion est donnée par *l'espace interquartile*, c'est-à-dire la différence entre le 3<sup>ième</sup> (Q3) et le 1<sup>er</sup> quartile (Q1). L'un des objectifs de DELPHI est de préciser la *médiane* tout en réduisant *l'espace interquartile*. Si l'expert désire se maintenir en dehors de *l'espace interquartile*, il est tenu de fournir les raisons qui motivent une telle décision. L'exploitation des divergences d'opinion peut s'avérer fort utile.

Dans un processus DELPHI, pour éviter des biais au niveau des réponses et éventuellement les sérier, il est recommandé d'utiliser un artifice suggéré par Saint-Paul et Tenière-Buchot (1974), c'est-à-dire de demander aux participants de « *s'autoévaluer* » vis à vis de chaque réponse ou groupe de réponses en se plaçant dans des catégories telles que 1. *Spécialiste*, 2. *Très familier*, 3. *Familier* et 4. *Peu familier*. Ces catégories, qu'il est nécessaire au préalable de définir de manière précise, se rapportent au niveau de connaissance de l'expert sur le sujet abordé. Cette procédure permet de réduire, sinon d'éliminer totalement, certains biais engendrés par des préoccupations et des objectifs différents de la part des experts

La constitution d'un groupe d'experts pose fréquemment un problème d'homogénéité. Il faut que les personnes consultées possèdent une bonne connaissance du sujet abordé, même s'ils appartiennent à des milieux de travail différents. L'appartenance à des milieux de travail différents a cependant un impact sur les réponses, particulièrement au niveau quantitatif. Un professeur d'université n'a pas forcément les mêmes exigences, au niveau de l'utilisation d'une nouvelle technologie, qu'un gestionnaire d'entreprise. Pour tenir compte des appartenances différentes, il est préférable de demander à chaque expert de remplir, au début du premier formulaire de réponses, une *fiche de profil*, où sont inscrites ses tâches principales au sein de son unité fonctionnelle. Cette fiche permet de ranger les experts par catégorie professionnelle. Une liste

d'experts peut être élaborée à partir d'auteurs de publications, des contacts personnels d'experts locaux, des sites sur l'autoroute de l'information (Internet), etc. Enfin, il est nécessaire de prévoir des délais de réponse raisonnables, qui tiennent compte de la disponibilité des participants, des périodes de vacances et des délais postaux.

## **2.2 L'analyse multicritère dans un processus d'évaluation technologique**

### **2.2.1 Justification d'une approche multicritère**

Selon Schärli (1992), *on ne peut optimiser tous les choix devant lesquels on se trouve*. Pour définir un optimum, il est nécessaire que certaines hypothèses soient vérifiées, ce qui n'est pas toujours le cas dans des situations réelles de choix (Roy, 1977; Schärli, 1985). Il faut, par exemple, que les *actions potentielles* (les choix possibles) soient munies d'une relation de *préférence* et d'une autre d'*indifférence*. Cependant, dans la réalité, certaines actions sont trop différentes l'une de l'autre pour qu'une *préférence* pour l'une des actions puisse être émise. Ces actions sont alors qualifiées d'*incomparables*. Dans la pratique, les décideurs utilisent des échelles (des *critères* de choix et de décision) sur lesquelles ils mesurent les conséquences attendues de leurs actions potentielles. Ces critères multiples, souvent contradictoires, donnent lieu à des situations d'*incomparabilité* et l'*optimum* ne peut plus être défini. A défaut de trouver cet *optimum*, des méthodes ont été mises au point pour aider les responsables à s'approcher de la bonne décision. Selon Schärli, on passe *du paradigme de l'optimisation* à celui du *compromis*. Les méthodes d'analyse multicritère à la décision (AMCD) exploitent cette dernière possibilité.

La base analytique des méthodes d'analyse multicritère à la décision (AMCD) se résume en une matrice dont les lignes constituent les actions potentielles et les colonnes les critères d'évaluation. Parmi ces méthodes, on retrouve les méthodes ELECTRE (I, Is, II, III et IV) dues à Bernard Roy et PROMETHEE (I, II, III et IV) mises au point par Jean-Pierre Brans (Schärli, 1992). Ces méthodes se distinguent les unes des autres dans la manière de faire la synthèse des conséquences et des jugements.

Les méthodes multicritères permettent d'utiliser des critères de nature variée : financiers, économiques, techniques, politiques, etc. L'approche multicritère place cependant l'analyste devant l'alternative de la problématique à retenir<sup>5</sup>. Devant un ensemble d'actions potentielles, un décideur doit se poser les questions suivantes : dans quelle catégorie (bonne, moyenne ou mauvaise) cette action devrait-elle se situer ? (c'est-à-dire de faire un tri parmi les actions) ou encore : comment ordonner les actions de la plus adéquate à celle qui l'est le moins ? (on cherche ainsi à les ranger). Les problématiques les plus couramment utilisées sont les suivantes (Schärlig, 1985) :

- a) *problématique de choix (Alpha)* : Cette problématique nous conduit à rechercher un sous-ensemble, aussi restreint que possible, contenant les « meilleures actions » ou, à défaut, les « plus satisfaisantes ».
- b) *problématique de tri (Bêta)* : Il s'agit de séparer les « bonnes » actions des « moins bonnes ».
- c) *problématique de rangement (Gamma)* : Les actions sont regroupées en classes d'équivalence ordonnées conformément aux préférences des personnes qui participent à la décision. Les actions sont ainsi classées de la « meilleure » à la « moins bonne », ce qui permet, par la suite, de former un sous-groupe de  $n$  actions parmi les meilleures.

---

<sup>5</sup> Problématique, dans le sens où l'entend Bernard Roy (1985).

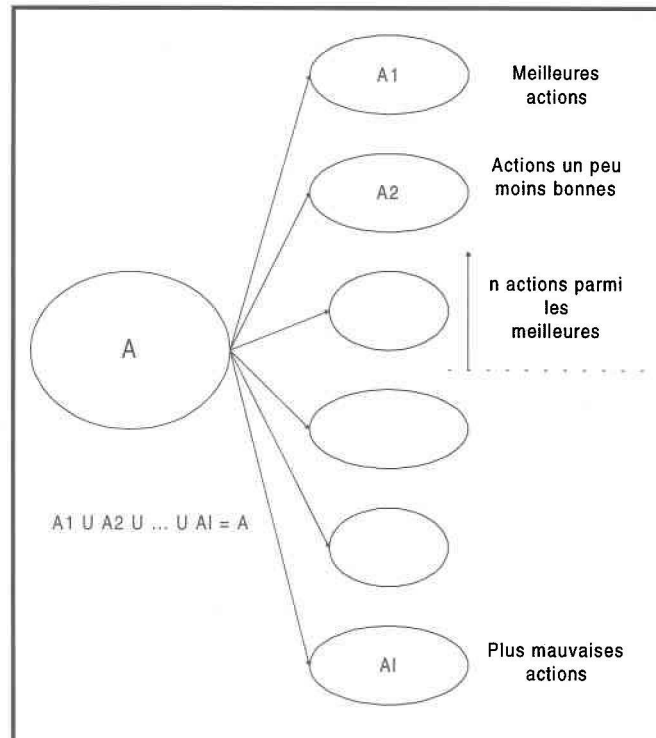


Figure 5 : Problématique de rangement (tiré de Schärliig, 1985)

### 2.2.2 Définition d'un critère et sens de l'optimisation dans une analyse multicritère

Selon Simos et al. (1986), les critères sont des expressions qualitatives ou quantitatives de points de vue, d'objectifs, d'aptitudes ou de contraintes relatives au contexte réel, qui permettent d'apprécier des alternatives. Simos attire notre attention sur le fait que la pertinence des décisions humaines décroît significativement lorsque le nombre de critères jugés simultanément dépasse sept. Cependant, les règles à respecter au niveau des critères sont les suivantes :

- il ne faut pas omettre des critères importants ;
- il est nécessaire d'éviter de considérer des critères redondants ;
- il est essentiel de ne considérer que les expressions dont le sens des préférences fait l'unanimité parmi les décideurs.



Quelle que soit la méthode d'analyse utilisée, il faut fixer, pour chaque critère, le sens de l'optimisation et, comme le mentionne Simos, le sens des préférences doit faire l'unanimité auprès des décideurs. Pour certains critères, les décideurs peuvent abonder dans le sens d'une *maximisation* et, pour d'autres, d'une *minimisation*. Habituellement les critères monétaires vont dans le sens d'une *minimisation*, c'est-à-dire que l'on souhaite les coûts unitaires les plus bas possibles. Si, dans l'analyse, on ajoute un critère qui tient compte des capacités techniques d'une nouvelle technologie, le sens de l'optimisation sera une *maximisation* car on voudra profiter au maximum des possibilités offertes par cette technologie.

## **2.3 L'évaluation monétaire des nouvelles technologies**

### **2.3.1 Justification d'une évaluation monétaire dans le protocole expérimental**

L'analyse multicritère permet de cibler les nouvelles technologies les plus prometteuses, en regard des fins visées (selon des critères fixés par les décideurs ou les utilisateurs). Supposons, par exemple, qu'en utilisant une problématique de rangement, nous isolions un petit groupe comprenant  $n$  technologies intéressantes et que, parmi ce groupe, nous ne conservions que deux ou trois technologies (par exemple, les plus accessibles au moment où nous désirons les utiliser). Les deux ou trois technologies ainsi choisies peuvent être associées à des technologies conventionnelles au sein de scénarios d'utilisation. Les différents scénarios peuvent, ultérieurement, faire l'objet d'une analyse détaillée aux niveaux financier et/ou économique. Nous tenions à souligner cette disposition pour justifier le fait que l'analyse financière et/ou économique ne soit pas incorporée d'office au sein de l'analyse multicritère.

Dans le cadre d'une étude sur le potentiel de transfert d'une nouvelle technologie, l'incidence des freins et stimulants d'ordre monétaire est particulièrement importante. Lors de l'enquête que nous avons menée (Martin et Bernier, 1997), plusieurs experts ont souligné le fait qu'ils étaient sensibles aux coûts d'introduction et d'opération fréquemment engendrés par de nouvelles technologies, ce qui semble tout à fait normal dans un contexte généralisé d'austérité budgétaire.

Cependant, beaucoup d'entre eux nous ont fait remarquer que ces coûts ne devaient pas être vus d'une manière intrinsèque mais mis en rapport avec les bénéfices (les recettes) que ces nouvelles technologies pouvaient engendrer.

### **2.3.2 Approches d'évaluation monétaire**

L'avènement de projets impliquant des technologies novatrices donne lieu à deux courants principaux d'évaluation monétaire : l'analyse financière et l'analyse économique. Le but de l'analyse financière est de veiller à la rentabilité des capitaux investis par les entreprises tandis que celui de l'analyse économique est d'aider à préparer et sélectionner les projets apportant la plus grande contribution au développement économique. La distinction est fondamentale même si les indicateurs utilisés sont du même type (l'utilisation de ratios bénéfices - coûts, par exemple) car l'impact de l'introduction d'une nouvelle technologie au niveau de l'entreprise qui la met en œuvre ne coïncide que rarement avec ses effets sur l'économie nationale (Bridier et Michailof, 1984). La nuance est importante si l'on désire comparer les résultats avec ceux d'une autre étude.

### **2.3.3 L'analyse bénéfices - coûts<sup>6</sup>**

Rappelons brièvement certains concepts que l'on retrouve fréquemment dans les analyses économiques ou financières présentées dans la littérature. L'analyse bénéfices - coûts permet de quantifier, en termes d'argent, les bénéfices d'actions alternatives alors que l'analyse efficacité - coûts permet d'estimer la valeur des bénéfices sur des bases autres que la valeur monétaire (Sharp et Randall, 1975 ; Sharp et Thomas, 1975).

L'analyse bénéfices - coûts consiste à comparer les bénéfices et les coûts d'une activité ou d'un investissement de manière à n'entreprendre que les activités dont les bénéfices dépassent les coûts. L'analyse bénéfices - coûts peut, dans le cadre d'une analyse sommaire, s'avérer intéressante dans la mesure où elle permet au décideur de comparer les différentes options qui s'offrent à lui au moment de la prise de décision. Le ratio bénéfices - coûts retient comme bénéfice l'excédent des

recettes sur l'ensemble des dépenses, investissements compris (Bridier et Michailof, 1984). Il arrive fréquemment que l'analyste soit appelé à comparer des flux monétaires survenant à des périodes différentes. Dans ce cas, il est préférable d'avoir recours à l'actualisation. Cet artifice rend possible la comparaison des flux monétaires en pondérant la valeur des flux en fonction de l'année où ils apparaissent. Le recours à l'actualisation conduit cependant à un problème délicat : celui du choix du taux d'actualisation. Selon Bridier et Michailof (1984), au niveau d'une entreprise, les principes de base qui guident le choix d'un taux d'actualisation sont les suivants :

1. si l'entreprise s'autofinance très largement, on retient le taux auquel cette unité aurait pu prêter ses fonds à l'extérieur, ce taux ( $i_1$ ) étant fréquemment augmenté d'une prime de risque ;
2. si cette unité emprunte massivement, on retiendra le taux d'intérêt du marché ( $i_2$ );
3. en cas de solution mixte (cas général de l'autofinancement + emprunt) on peut utiliser une moyenne pondérée ( $i_3$ ) entre ( $i_1$ ) et ( $i_2$ ).

Si l'on recourt à l'actualisation, les ratios bénéfiques - coûts  $r$  se présentent sous les deux formes suivantes :

$$r = \sum \frac{\overline{R} - \overline{CE} - \overline{I}}{\overline{I}} \quad (1)$$

et

$$r' = \sum \frac{\overline{R} - \overline{CE} - \overline{I}}{\overline{I} + \overline{CE}} \quad (2)$$

où  $\overline{R}$  : revenus actualisés du projet ;  
 $\overline{CE}$  : coûts d'exploitation actualisés ;

---

<sup>6</sup> Il semble que l'expression *analyse coûts - bénéfiques* soit celle que l'on retrouve le plus fréquemment dans la littérature. Nous lui préférons cependant l'expression *analyse bénéfiques - coûts* qui illustre mieux la nature des résultats obtenus puisque, dans les ratios, les bénéfiques figurent toujours au numérateur.

---

$\bar{I}$  : coûts d'investissement actualisés.

Le premier ratio  $r$ , appelé fréquemment taux d'enrichissement en capital, suppose que les capitaux circulants sont un facteur « non rare » et que les seules contraintes à considérer se situent au niveau de l'investissement lui-même. Si l'on veut tenir compte de contraintes financières au niveau des dépenses de fonctionnement, le second ratio  $r'$  est plus approprié.



### **3. Cas d'application de RADARSAT 1 à la gestion des réservoirs d'eau et à la production hydroélectrique**

---

#### **3.1 Contexte**

Au Québec, plus de 95 % de l'électricité produite est d'origine hydraulique. Climat et topographie de la province plaident en faveur de l'option hydroélectrique. D'abord générée par des centrales situées à proximité des grands centres urbains (Carillon, Beauharnois), cette électricité provient maintenant de régions fort éloignées des centres de consommation importants comme la Baie James, la Côte-Nord et le Labrador (Churchill Falls). Le territoire de la Baie James couvre une superficie de 350 000 km<sup>2</sup> représentant les deux tiers de celle de la France<sup>7</sup>, dont 176 000 km<sup>2</sup> pour le seul bassin versant de la rivière La Grande. La production brute des centrales d'Hydro-Québec fut de 147.7 TWh en 1996<sup>8</sup> et les centrales du complexe La Grande contribuent à la moitié de la production hydraulique au Québec.

Les réservoirs du complexe La Grande permettent de stocker des quantités importantes d'eau pour assurer une production régulière en toute saison, pour se prémunir contre les années où les précipitations sont inférieures à la moyenne et, éventuellement, profiter du nouveau contexte de déréglementation de l'énergie aux Etats-Unis (FERC)<sup>9</sup>. Sur le territoire de la Baie James, la neige constitue environ 40% des apports annuels en eau. La prévision hydrologique est un élément clé dans la gestion optimale des barrages et les enjeux financiers liés à la qualité des prévisions sont importants. En effet, plusieurs études dont celles de Yeh et *al* (1978) et de Castruccio et *al.* (1980) ont souligné les impacts de la surestimation et de la sous-estimation des apports au niveau des réservoirs et des centrales. L'amélioration des modes de prévision des crues printanières est d'ailleurs un objectif important pour la société Hydro-Québec. Pour établir les prévisions hydrologiques appropriées en période hivernale et printanière, Hydro-Québec utilise un système qui intègre des mesures recueillies par des précipitomètres et des carottes de neige (leur poids donnant l'équivalent en eau du couvert nival) effectuées à différents endroits du bassin.

---

<sup>7</sup> Société d'Énergie de la Baie James, 1987.

<sup>8</sup> Hydro-Québec, Rapport annuel 1996.

<sup>9</sup> En 1992, la Federal Energy Regulatory Commission (FERC), l'organisme américain de déréglementation de l'industrie de l'énergie, a amorcé l'ouverture des marchés en permettant le transit de gros. Un producteur peut ainsi vendre son électricité à un service public voisin en empruntant les lignes de transport d'un autre réseau.

En raison des problèmes techniques et économiques que pose la collecte des données sur un territoire représentant 20 % de la superficie du Québec et situé à près de 1000 km de la métropole, Hydro-Québec s'intéresse, depuis plusieurs années, à l'intégration de mesures satellitaires de suivi du couvert nival dans les modèles de prévisions hydrologiques. Au niveau de la gestion des installations hydroélectriques, la constante reste la même : il est nécessaire d'obtenir une information de meilleure qualité et ce, le plus rapidement possible. En 1982, une étude menée par Rochon *et al.* sur le bassin de la rivière Nottaway soulignait la qualité exceptionnelle des informations sur le couvert de neige que pouvaient apporter des satellites comme NOAA, TIROS-N, GOES, LANDSAT. L'intégration de ces informations à un modèle hydrologique a montré une amélioration des résultats de prévision des débits durant la période de fonte. De plus, la qualité des informations issues de la télédétection s'avérait supérieure à celle émanant des lignes de neige. Dans une étude sur la production agricole et celle des produits marins au Maryland, Harman *et al.* (1980) considèrent, d'une part, que l'acquisition d'une meilleure information est génératrice de bénéfices économiques importants et, d'autre part, que la valeur de l'information économique est positive lorsqu'elle contribue au mécanisme de prise de décision. Dans leur étude, Harman *et al.* (1980) affirment que, si la télédétection permettait de réduire, ne serait-ce que de 1 %, l'erreur dans la prévision de la production agricole, ou dans celle des produits marins, le résultat pourrait être considéré comme un gain économique.

### **3.2 Application du protocole expérimental au cas étudié**

Puisque nous faisons appel, dans notre étude, à une technologie développée et techniquement disponible (RADARSAT 1), nous nous concentrerons principalement sur les facteurs sur lesquels il est encore possible d'agir pour influencer les processus de transfert et de diffusion<sup>10</sup>.

Dans le cadre de notre enquête (Martin et Bernier, 1997a), nous avons demandé aux experts (*gestionnaires, hydrologues et télédétecteurs*), par le biais de questions très générales, de donner leur opinion et de formuler des commentaires sur les principaux facteurs qui peuvent favoriser ou,

---

<sup>10</sup> Jevons : *Bygones are bygones* : « Ce qui est passé est passé ».

éventuellement, nuire au transfert ou à la diffusion des technologies satellitaires dans le domaine de l'hydrologie. L'enquête a permis :

1. de faire ressortir la plupart des freins et stimulants intervenant dans ces processus ;
2. de cerner les paramètres du couvert nival à mesurer ;
3. de fournir des paramètres essentiels à l'analyse multicritère des capteurs satellitaires (seuils de préférence, d'indifférence, informations pour établir la pondération des critères) .

Comme second volet du protocole expérimental, une *analyse multicritère* des technologies satellitaires nous a donné l'opportunité d'effectuer un rangement parmi des capteurs susceptibles de fournir des informations sur le couvert nival (Martin et Bernier, 1997b). Ce rangement a été effectué en fonction de critères choisis par les décideurs eux-mêmes.

*L'analyse bénéfices - coûts*, troisième volet du protocole expérimental, est un élément important de la mise en évidence des *freins* et *stimulants*, d'ordre monétaire, au transfert. Au cours des dernières années, plusieurs études économiques d'envergure se sont concentrées sur les applications de RADARSAT 1 (DTE, 1986 ; DTI Econosult, 1987 ; HEGYI Geotechnologies, 1996). Les deux premières études font l'agrégation des principales utilisations du satellite : glaces et océans, agriculture, géologie et autres applications (l'hydrologie faisant partie de cette dernière catégorie). Les ratios bénéfices - coûts publiés dans ces études sont respectivement 1.84 : 1 et de 1.3 : 1. L'étude de HEGYI Geotechnologies (1996) a évalué, en utilisant une approche de type efficacité - coûts, la contribution de RADARSAT I pour le suivi du milieu forestier et des milieux avoisinants. Dans le cadre de notre projet, nous avons retenu une approche bénéfices - coûts de type financier, notre évaluation s'effectuant au niveau d'une entreprise précise (Hydro-Québec). Dans la revue de littérature, nous n'avons pas ciblé d'approche d'évaluation financière au niveau de l'utilisation de RADARSAT I.



### 3.3 Résultats de l'enquête

Sur les 103 questionnaires envoyés, 39 ont été remplis et retournés, ce qui représente une participation initiale de 37.9%. Parmi les 39 personnes qui ont répondu au premier questionnaire, 11 étaient des gestionnaires de compagnies hydroélectriques, 14 des spécialistes en hydrologie et 14 des experts en télédétection. Le questionnaire comprenait 29 questions : 8 questions ouvertes et 21 questions de type DELPHI. Le processus de type DELPHI a donné lieu à 3 rondes de questions. Les taux de participation aux deux dernières rondes ont été respectivement de 79.5% et 83.9%.

L'objectif majeur de cette enquête<sup>11</sup> était d'identifier les *freins* et *stimulants* au transfert des technologies satellitaires dans le domaine de l'hydrologie. Cependant, une revue de littérature nous a permis de confirmer certaines informations acquises par le biais de l'enquête ou d'en ajouter d'autres qu'elle n'avait pas permis de faire ressortir. Dans la dernière partie de notre recherche (tableaux 5 et 6, pages 45-46), nous avons isolé les freins et stimulants les plus pertinents au cas expérimental et fait ressortir les éléments qui permettent de diminuer l'effet des *freins* ou d'augmenter celui des *stimulants* au transfert des technologies.

Les experts ont jugé que les paramètres du couvert nival les plus importants étaient, par ordre d'importance : 1) l'équivalent en eau de la neige, 2) l'étendue du couvert nival et 3) la distribution spatiale de la neige humide<sup>12</sup>. Cette information a été utilisée dans l'analyse multicritère des capteurs (critère : polyvalence du capteur). De plus, l'enquête a permis d'obtenir des informations quantitatives qui ont servi à établir la pondération des critères ainsi les seuils de préférence et d'indifférence nécessaires au traitement de critères comme le prix des données et la fréquence de passage du satellite.

---

<sup>11</sup> Pour les détails concernant le déroulement de l'enquête, nous invitons le lecteur à consulter l'article 1 : « Enquête sur les attentes des utilisateurs de technologies satellitaires en vue du suivi du couvert nival (Martin et Bernier, 1997a).

<sup>12</sup> Sur une échelle de 0 à 10, les experts ont accordé 10 points à l'équivalent en eau, 8 points à l'étendue du couvert nival et 7 points à la distribution spatiale de la neige humide

### 3.4 Résultats de l'analyse multicritère

Dans cette étude, nous nous proposons de « ranger » un groupe de dix capteurs satellitaires (notre ensemble d'actions  $A^{13}$ ) selon cinq critères différents. Il s'agit d'un critère de nature *économique* : le prix des données, de critères à connotation *technique* : fréquence de passage, flexibilité, polyvalence du capteur et, enfin, d'un critère à saveur *politique*. De plus, le sens de l'optimisation (*maximisation, minimisation*) varie d'un critère à l'autre<sup>14</sup>. Nous avons choisi une problématique de rangement, pour classer nos actions de la « meilleure » à la « moins bonne », pour ensuite choisir  $n$  actions parmi les meilleures. Cette nuance est importante car elle permet de parer à l'objection souvent soulevée que l'on ne peut comparer des capteurs fonctionnant dans des bandes spectrales différentes.

Notre choix s'est porté vers la famille de méthodes PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHods for Enrichment Evaluation) mises au point par Brans et *al.* (1984). Ces méthodes permettent de refléter l'intégration des préférences des décideurs. Dans les méthodes PROMETHEE, la considération de vrais critères peut diminuer l'appréciation globale d'une action sans toutefois la déclasser complètement. Le logiciel utilisé (*PROMCALC*) construit d'abord une relation de surclassement<sup>15</sup> floue pour déduire ensuite soit un préordre partiel (PROMETHEE I) soit un préordre total (PROMETHEE II). Dans notre analyse, nous présentons uniquement les rangements établis par PROMETHEE II, mais nous avons tiré parti de la sensibilité de PROMETHEE I pour définir certaines fonctions de critères et réduire le nombre d'incomparabilités entre les actions.

<sup>13</sup> Voir page 21 : figure 5 « problématique de rangement »

<sup>14</sup> Nous invitons le lecteur à consulter l'article 3 : « Analyse multicritère de capteurs satellitaires pour le suivi du couvert nival » (Martin et Bernier, 1997b) pour la définition complète des critères, connaître le sens de l'optimisation et disposer d'une information plus détaillée sur les méthodes PROMETHEE

<sup>15</sup> Une relation binaire  $S_A$  définie sur l'ensemble  $A$  est appelée **relation de surclassement** si, pour toute paire d'actions, on se prononce en faveur d'une situation (Roy, 1974) :

- d'indifférence si :  $a S_A b$  et  $b S_A a$  ;
- de préférence stricte ou large, par exemple en faveur de  $a$ , si l'on a :  $a S_A b$  et non  $b S_A a$  ;
- d'incomparabilité, si l'on a :  $a S_A b$  et non  $b S_A a$ .

Notre ensemble d'outils est constitué de capteurs satellitaires ou de modes d'acquisition de l'image disponibles sur le même capteur. Les satellites retenus pour les fins de l'étude ne transportent qu'un seul capteur imageur à l'exception du satellite indien IRS-1C qui en transporte trois (dont deux considérés dans l'étude : LISS III et WIFS). Tous les capteurs retenus sont actuellement opérationnels. Les dix outils retenus sont représentés dans le tableau 1 :

**Tableau 1** : Capteurs ou modes d'acquisition de l'image considérés dans l'analyse multicritère

PLATE-FORME	CAPTEUR ou MODE D'ACQUISITION DES DONNÉES	SPECTRE
LANDSAT 5	TM (1)	Visible à Infra-rouge thermique
SPOT 2	HRV (2)	Visible et Proche infra-rouge
NOAA 14	AVHRR (3)	Visible à Infra-rouge thermique
DMSP F-8	SSM/I (4)	Micro-ondes (passives)
ERS-2	AMI-SAR (5)	Micro-ondes (radar)
RADARSAT	ScanSAR 500 km(6)	Micro-ondes (radar)
RADARSAT	Standard 100 km (7)	Micro-ondes (radar)
RADARSAT	Wide 150 km (8)	Micro-ondes (radar)
IRS-1C	LISS-III (9)	Visible et Infra-rouge
IRS-1C	WIFS (10)	Visible et Proche Infra-rouge

Afin de tester la robustesse de l'approche utilisée, nous avons effectué trois rangements avec PROMETHEE II. Dans un premier temps, nous avons établi un rangement en gardant la même pondération pour les cinq critères. Dans un second rangement, nous avons tenu compte des résultats de l'enquête (Martin et Bernier, 1997a), dans laquelle nous avons demandé aux participants d'accorder des notes variant entre 0 et 10 pour chacun des critères. Ces notes ont permis, par la suite, d'établir la pondération des critères. Les critères *prix des données*, *répétitivité*, *flexibilité opérationnelle* et *polyvalence du capteur* ont recueilli la même note (8/10) auprès des experts tandis que le critère *note politique* n'a reçu qu'une note très faible (3/10). Finalement, nous avons effectué un troisième rangement en supprimant le critère *note politique*. Le tableau 2 présente les résultats des trois rangements obtenus :

**Tableau 2** : Rangements obtenus pour trois analyses différentes

Rangement	Première analyse (poids des critères égaux)	Seconde analyse (poids des critères selon enquête)	Troisième analyse (sans le critère « note politique »)
1	RS-ScanSAR 500 km	RS-ScanSAR 500 km	RS-ScanSAR 500 km
2	SSM-I	SSM-I	SSM-I
3	RS-Wide 150 km	RS-Wide 150 km	RS-Wide 150 km
4	AVHRR	AVHRR	AVHRR
5	RS-Standard 100 km	IRS1-WIFS	IRS1-WIFS
6	IRS1-WIFS	RS-Standard 100 km	RS-Standard 100 km
7	TM	TM	TM
8	HRV	HRV	HRV
9	AMI-SAR	IRS1-LISS III	IRS1-LISS III
10	IRS1-LISS III	AMI-SAR	AMI-SAR

Nous remarquons que l'ordre de certaines actions est inversé si nous utilisons les poids obtenus à partir de l'enquête par rapport à une pondération égale pour tous les critères. Ainsi, dans la seconde analyse, WIFS devance RS-Standard 100 et LISS III précède AMI-SAR. En supprimant le critère *note politique* (troisième analyse), les résultats sont similaires à ceux de la seconde analyse.

Les trois analyses montrent cependant que les capteurs hyperfréquences occupent, à l'exception de AMI-SAR, pénalisé par sa répétitivité aux 35 jours, les premières places dans les rangements. Dans les trois analyses, RADARSAT se situe parmi les six premiers outils. Même si nous n'avons pas fait intervenir la sensibilité à la couche nuageuse qui aurait pu nuire à leur évaluation, les capteurs du visible et de l'infra-rouge se retrouvent, à l'exception de AVHRR, en fin de liste.

L'analyse multicritère est, avant tout, une méthode d'aide à la décision et il faut considérer les rangements obtenus dans leur globalité. Puisque, selon la problématique de rangement, les actions sont classées de la « meilleure » à la « moins bonne », il reste au décideur à choisir, parmi les listes rangées, les  $n$  actions qui lui semblent utiles parmi les meilleures. L'analyse a permis de faire ressortir le potentiel des capteurs hyperfréquences et, en particulier des trois modes retenus pour RADARSAT 1. L'analyse bénéfices - coûts qui suit, tire parti de l'analyse multicritère puisque c'est précisément sur les modes ScanSAR 500 km, Wide 150 km et Standard 100 km que nous

effectuerons les simulations financières. Cependant, ces rangements nous autorisent à proposer, pour le futur, des combinaisons de capteurs adaptées à la taille des bassins à surveiller :

1. Grands bassins (superficie supérieure à 100 000 km<sup>2</sup>) : SSM/I et RS-SCANSAR 500 km ;
2. Bassins de taille moyenne (superficie comprise entre 10 000 km<sup>2</sup> et 100 000 km<sup>2</sup>) : RS- Wide 150 km ou RS- Standard 100 km et AVHRR ;
3. Petits bassins (superficie inférieure à 10 000 km<sup>2</sup>) : RS- Standard 100 km et IRS-WIFS.

### ***3.5 Résultats de l'analyse bénéfiques - coûts***

L'analyse bénéfiques - coûts ne s'applique qu'à une seule mesure du couvert nival soit l'équivalent en eau. L'enquête (Martin et Bernier, 1997a) a dévoilé, chez les experts consultés, un intérêt prédominant pour ce paramètre. Il s'agit, de la seule mesure qui donne directement la hauteur de la lame d'eau se rendant aux réservoirs et à partir de laquelle il est possible d'effectuer des simulations financières ou économiques.

#### **3.5.1 Données utilisées pour l'analyse financière**

Nous avons choisi un horizon de 10 ans (1998 - 2007), à compter de la dernière année d'investissements (dépenses de Recherche et Développement), pour effectuer cette analyse. Afin de comparer des flux monétaires qui surviennent à des périodes différentes, nous les avons actualisés<sup>16</sup>.

Pour ce projet particulier, entre 1994 et 1998, les dépenses engagées par Hydro-Québec, au titre de la Recherche et du Développement (l'investissement) s'élèvent à 491,950 \$. Ce montant ne représente toutefois que 40 % des dépenses réelles de R & D investies sur ce projet (un total de 1,185,250 \$), le reste ayant été assumé par des subventions ou des programmes gérés par les agents de transfert : INRS-Eau et VIASAT Inc.<sup>17</sup>.

<sup>16</sup> Le taux d'actualisation utilisé est le taux officiel de l'Hydro-Québec<sup>16</sup> : 9.3 % (arrondi à 9 %).

<sup>17</sup> Pour connaître le détail des coûts de Recherche et Développement, nous invitons le lecteur à consulter l'analyse bénéfiques - coûts complète figurant dans la seconde partie de la thèse (article 4).

Pour la société d'État, les coûts d'exploitation à prévoir, pour la période opérationnelle (1999-2007) se divisent en : 1) achat et traitement d'images et 2) relevés manuels de neige (coûts de terrain). Pour évaluer le nombre d'images nécessaires pour couvrir en partie (80 %) ou en totalité le bassin de la rivière La Grande, nous avons utilisé le logiciel *RADARSAT SWATH PLANNER*. A titre d'exemple, en mode ScanSAR 500 km, deux orbites, réparties sur quatre jours suffisent pour couvrir la totalité du territoire. Pour obtenir la même couverture, six orbites sont nécessaires en mode Wide 150 km (délai total d'acquisition : 15 jours) et dix en mode Standard 100 km (délai d'acquisition : 22 jours). Cependant, une seule image ScanSAR couvre 80 % du bassin, couverture nécessitant 4 orbites en mode Wide (9 images) et 7 orbites en mode Standard (23 images). Le suivi de l'équivalent en eau de la neige du bassin nécessite au moins deux périodes d'acquisition d'images : l'une en janvier et l'autre en mars. Cependant, durant la première année de la phase opérationnelle (1999), il est également nécessaire de prévoir l'acquisition d'images de référence durant l'automne. Les tableaux 3a et 3b présentent en détail les coûts d'achat et de traitement des images pour la première période d'opération (1999) et la période subséquente (2000-2007).

**Tableau 3 :** Coûts d'acquisition et de traitement des images

a) durant la première année d'opération (1999)

Mode d'acquisition de l'image	Pourcentage de couverture du bassin (%)	Nombre d'images requises en 1999	Coût d'achat total des images* (\$ can.)	Coût total de traitement des images** (\$ can.)	Coût total (\$ can.)
ScanSAR 500	100	6	32,400	30,000	62,400
ScanSAR 500	80	3	16,200	15,000	31,200
Wide 150	100	39	184,275	65,325	249,600
Wide 150	80	27	127,575	45,225	172,800
Wide 150	75	21	99,225	35,175	134,400
Standard 100	100	99	400,950	165,825	566,775
Standard 100	80	69	279,450	115,575	395,025
Standard 100	50	30	121,500	50,250	171,750

## b) durant la période 2000 -2007

Mode d'acquisition de l'image	Pourcentage de couverture du bassin (%)	Nombre d'images requises en 1999	Coût d'achat total des images* (\$ can.)	Coût total de traitement des images** (\$ can.)	Coût total (\$ can.)
ScanSAR 500	100	4	21,600	20,000	41,600
ScanSAR 500	80	2	10,800	10,000	20,800
Wide 150	100	26	122,850	43,550	166,400
Wide 150	80	18	85,050	30,150	115,200
Wide 150	75	14	66,150	23,450	89,600
Standard 100	100	66	267,300	110,550	377,850
Standard 100	80	46	186,300	77,050	263,350
Standard 100	50	20	81,000	33,500	114,500

\* prix de l'image brute : ScanSAR 500 : 5,400 \$ - Wide 150 : 4,725 \$ - Standard 100 : 4,050 \$ (source : RSI ; décembre 1996)

\*\* prix du traitement par image : ScanSAR 500 : 5,000 \$ - Wide 150 et Standard 100 : 1,675 \$ . Les coûts de traitement d'image pour ScanSAR sont estimés, ceux-ci étant difficiles à déterminer avec précision, à l'heure actuelle (source : VIASAT Géotechnologies Inc. ; novembre 1997).

Durant la période 2000-2007, les coûts totaux pour l'achat et le traitement des images varient, selon le mode et la couverture désirés, entre 20,800 \$ (mode ScanSAR 500 km et 80 % de couverture du territoire : 2 images) et 377,850 \$ (mode Standard 100 km et 100 % de couverture du territoire : 66 images)<sup>18</sup>. Les quatre campagnes de mesure de l'équivalent en eau de la neige au sol aux stations du réseau nivométrique représentent un montant annuel de 20,000 \$ que nous avons considéré comme invariable durant la période considérée (M. Raymond Gauthier, communication personnelle).

Les recettes (profits d'exploitation) ont été évaluées à partir d'une éventuelle amélioration de la précision de la prévision des apports par l'utilisation de RADARSAT 1. L'analyse effectuée porte sur les gains associés à la réduction de l'écart-type prévisionnel. L'estimation du pourcentage de réduction de l'erreur sur la mesure tire parti d'une étude, menée par Sharp & Randall (1975) sur un bassin d'une superficie de 8800 km<sup>2</sup>, situé en Californie. Les auteurs de cette étude

<sup>18</sup> Ces calculs sont basés sur le prix commercial des images tels que fournis par RSI (décembre 1996) et sur les informations fournies par VIASAT Inc. pour le traitement. Pour une information détaillée, veuillez consulter l'analyse bénéfices - coûts complète (partie 2 ; article 4).

comparaient une approche utilisant une combinaison de données satellitaires (Landsat) et de mesures au sol à l'approche traditionnelle (ne comprenant que des mesures au sol). Dans cette étude, l'amélioration de la précision sur la mesure de l'équivalent en eau se situait à environ 4 %. En concertation avec les experts d'Hydro-Québec, il nous a semblé raisonnable de prendre ce pourcentage de réduction de l'erreur comme hypothèse de départ. Cependant, ultérieurement, nous avons fait varier ce pourcentage entre 1 et 10 %, par pas de 1 %, au sein d'une analyse de sensibilité.

Afin d'évaluer l'impact d'une prévision plus précise, une simulation de gestion a été effectuée par M. R. Charbonneau en utilisant le modèle mathématique PERESE<sup>19</sup> (Turgeon, 1992), modèle d'optimisation de la production utilisé chez Hydro-Québec qui tient compte des apports naturels. Ce modèle stochastique utilise un pas de temps mensuel sur un horizon de temps de 19 ans. Dans le contexte de déréglementation, les prévisions d'apport seront plus importantes. De plus, la qualité des prévisions peut permettre d'anticiper des crues importantes et de prendre des mesures appropriées de façon à limiter les risques inhérents aux bris d'ouvrages hydrauliques. Dans l'exercice de planification, nous nous sommes placés au début du mois de mai, en réduisant l'écart-type des apports de mai, juin et juillet. Il s'agit de la période où les gains peuvent être maximisés car ils correspondent aux crues consécutives à la fonte des neiges<sup>20</sup>.

Nous voudrions cependant souligner le fait que la réduction de l'écart-type représente une action ponctuelle qui se produit durant une année précise (dans ce cas, 1997). Les conséquences d'une telle action se font sentir sur un horizon de 19 ans (jusqu'en 2015). Nous avons émis l'hypothèse que cette action ponctuelle peut se répéter d'une année à l'autre et, à ce titre, nous considérons qu'il s'agit d'un gain « annuel ». Ce gain a été considéré comme invariable durant la période visée (1999 - 2007) et actualisé au même titre que les coûts d'exploitation.

En prenant pour hypothèses des états initiaux des réservoirs de 60 et 44 TWh, les gains annuels respectifs sont de 491,000 \$ et 607,000 \$ avec une réduction de l'écart-type prévisionnel de 4 %

<sup>19</sup> PERESE : Planification de l'Exploitation des RESsources Énergétiques

<sup>20</sup> Les gains totaux sont cependant sous-estimés parce que la contribution des autres mois n'est pas prise en considération.



(0.96 $\sigma$ ). L'impact monétaire est supérieur avec une situation initiale des réservoirs de 44 TWh . Il provient d'une réduction plus importante des coûts associés à l'utilisation de moyens exceptionnels de production (énergie thermique et/ou achats sur les réseaux voisins).

### 3.5.2 Calcul des ratios bénéfiques - coûts

Douze scénarios d'utilisation des images de RADARSAT ont été considérés et nous avons évalué leurs performances respectives. Ces scénarios tiennent compte des différents modes d'acquisition de l'image (ScanSAR 500 km, Wide 150 km et Standard 100 km), du pourcentage de couverture du territoire, de l'état initial du réservoir (60 ou 44 TWh) et d'une réduction de l'écart-type prévisionnel de 4 % (0.96 $\sigma$ ). Les ratios ont été calculés avec l'équation suivante, qui tient compte de contraintes financières au niveau des dépenses de fonctionnement :

$$r' = \sum \frac{\overline{R} - \overline{CE} - \overline{I}}{\overline{I} + \overline{CE}}$$

où  $\overline{R}$  : revenus actualisés du projet  
 $\overline{CE}$  : coûts d'exploitation actualisés  
 $\overline{I}$  : coûts d'investissement actualisés

Les résultats obtenus figurent dans le tableau 3. Les ratios varient entre 2.3 : 1 et 3.9 : 1 en mode ScanSAR 500 km et entre 0.7 : 1 et 1.7 : 1 en mode Wide 150 km. Cependant, en mode Standard 100 km, la valeur maximale du ratio est de 0.6 : 1 (80 % de couverture du territoire et un état initial du réservoir de 44 TWh) et sa valeur minimale est négative, ce qui signifie que, dans ce cas, la somme des coûts d'exploitation actualisés et de l'investissement en R & D excède le montant des recettes actualisées. Dans les modes Wide150 km et Standard 100 km, le nombre d'images à acheter occasionne des coûts importants et affecte, de manière prononcée, la rentabilité associée à l'utilisation de ces deux modes d'acquisition de l'image<sup>21</sup>.

<sup>21</sup> A cet inconvénient majeur, il faut ajouter certains aspects techniques au sein du projet, comme les délais d'acquisition et de traitement des images, qui limitent l'utilisation de ces deux modes. Ainsi, en mode *STANDARD 100 km*, il peut s'écouler un mois entre l'acquisition de la première image et la fin du traitement de la dernière.

**Tableau 4** : Ratios bénéfiques - coûts avec une réduction de l'écart-type prévisionnel de 4%

Mode d'acquisition de l'image	Pourcentage de couverture du territoire	État initial du réservoir (TWh)	Ratio B-C (dépenses R & D d'Hydro-Québec)	Ratio B-C (dépenses totales en R & D)
ScanSAR 500 km	80	44	3.9 : 1	
ScanSAR 500 km	100	44	3.1 : 1	1.3 : 1
ScanSAR 500 km	80	60	2.9 : 1	
ScanSAR 500 km	100	60	2.3 : 1	
Wide 150 km	80	44	1.7 : 1	
Wide 150 km	100	44	1.2 : 1	0.5 : 1
Wide 150 km	80	60	1.2 : 1	
Wide 150 km	100	60	0.7 : 1	
Standard 100 km	80	44	0.6 : 1	
Standard 100 km	80	60	0.3 : 1	
Standard 100 km	100	44	0.2 : 1	-0.03 : 1
Standard 100 km	100	60	-0.03 : 1	

Les dépenses de Recherche et Développement engagées par Hydro-Québec ne représentent que 40 % des dépenses totales de R & D. En effet, l'INRS-Eau et VIASAT Inc. ont bénéficié d'images gratuites, de la part de l'Agence Spatiale Canadienne et du Centre Canadien de Télédétection et de différentes subventions pour le projet. Nous avons calculé, pour des fins de comparaison, quelques ratios B/C à partir de ces dépenses totales de R & D qui s'élèvent à 1,185,250 \$. Avec une couverture du bassin de 100 %, un état initial du réservoir de 44 TWh et une réduction de l'écart-type de 4 %, nous avons obtenu les résultats suivants :

1. ScanSAR 500 km : le ratio B/C passe de 3.1 : 1 à 1.3 : 1;
2. Wide 150 km : le ratio passe de 1.2 : 1 à 0.5 : 1 ;
3. Standard 100 km : le ratio passe de 0.2 : 1 à -0.03 : 1.

Cette solution est, selon les experts d'Hydro-Québec consultés, inacceptable sur le plan opérationnel, le délai acceptable se situant entre une et deux semaines.

Ces comparaisons nous permettent de constater qu'un apport financier externe agit comme un stimulant efficace au transfert technologique.

Dans une analyse de sensibilité, nous avons réduit l'écart-type prévisionnel de 1 à 10 %, par pas de 1 %, dans les trois modes d'acquisition de l'image en tenant compte d'états initiaux du réservoir à 44 TWh et 60 TWh et d'une couverture complète du territoire. Les figures 6 et 7 présentent les ratios B/C obtenus et donnent les seuils de réduction de l'incertitude à partir desquels chacun des modes d'acquisition de l'image s'avère intéressant pour l'utilisateur<sup>22</sup>. Ces seuils se situent aux environs de 2 % en mode ScanSAR 500 km, de 4 % en mode Wide 150 km et de 7 % en mode Standard 100 km avec un état initial du réservoir de 44 TWh. Lorsque l'état initial du réservoir est de 60 TWh, le seuil se situe entre 2 et 3 % pour ScanSAR 500 km, d'environ 5 % pour Wide 150 km et 9 % pour Standard 100 km. Cette analyse de sensibilité permet de souligner l'avantage que présente l'utilisation du mode ScanSAR 500 km. Avec ce mode d'acquisition de l'image, le projet est rentable à partir d'une réduction de 3 % de l'écart-type prévisionnel si l'on tient compte des hypothèses fixées sur l'état initial du réservoir.

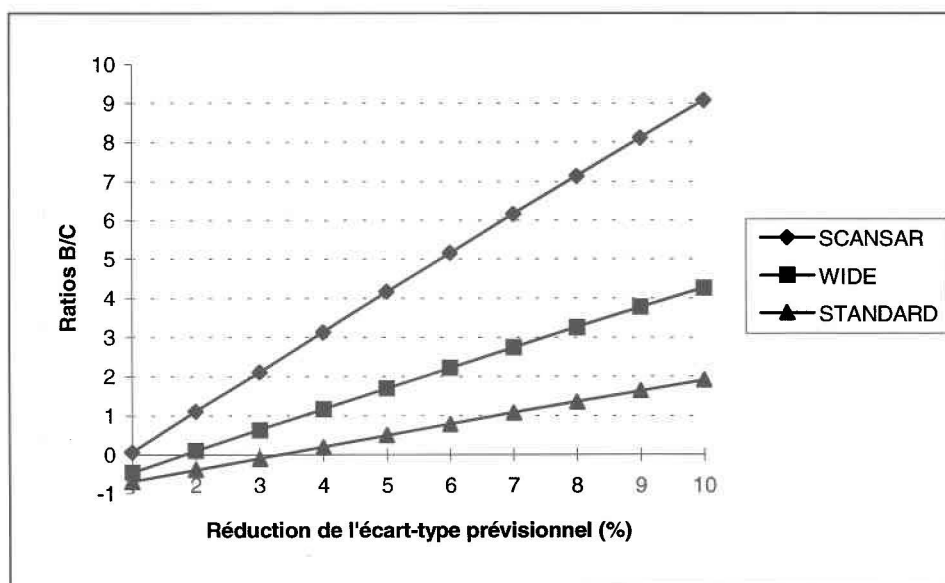
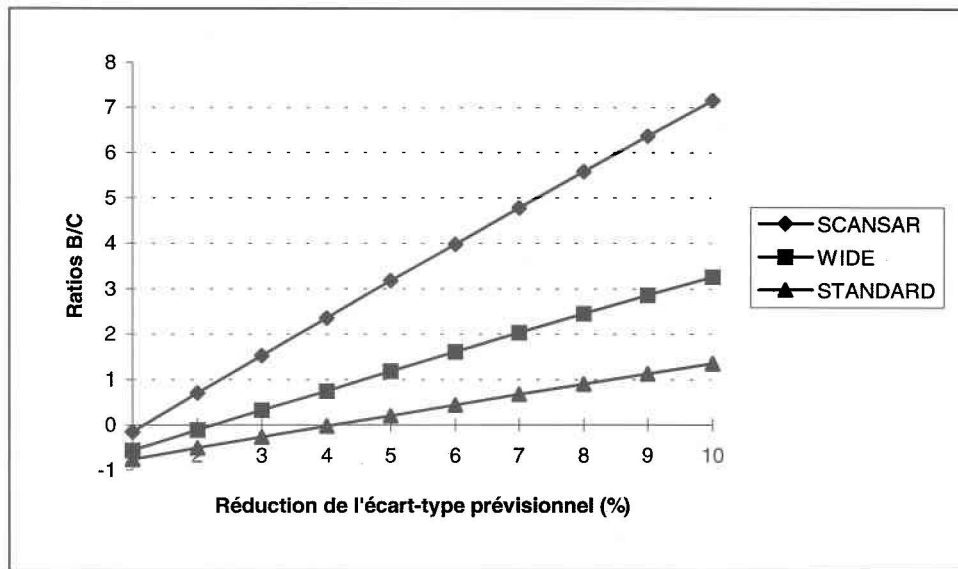


Figure 6 : Analyse de sensibilité ( état initial du réservoir : 44 TWh)

<sup>22</sup> Il est nécessaire que les ratios soient supérieurs à 1.



**Figure 7 :** Analyse de sensibilité (état initial du réservoir : 60 TWh)

Les coûts et les délais associés à l'acquisition des images en modes Wide 150 km et Standard en limitent l'utilisation sur une base régulière si l'on désire obtenir une couverture complète du bassin versant. Nous avons donc envisagé des scénarios qui tirent parti d'une couverture réduite du bassin versant mais dont les images peuvent être acquises sur une brève période (< 6 jours). Dans chacun des scénarios, les trois orbites considérées sont bien réparties puisqu'elles couvrent l'amont, le centre et l'aval du bassin versant. En mode Wide 150 km, les trois passages du satellite s'étalent sur une période de 4 jours et permettent de couvrir 75 % du bassin (7 images). Pour des états initiaux du réservoir de 44 et 60 TWh, les ratios obtenus avec une réduction de 4 % de l'écart-type prévisionnel sont respectivement de 2.0 : 1 et de 1.5 : 1. En mode Standard, il est possible de couvrir 50 % du territoire avec 3 orbites, réparties sur 6 jours (10 images). En conservant les mêmes hypothèses, les ratios calculés sont de 1.7 : 1 (44 TWh) et 1.2 : 1 (60 TWh). Ces nouveaux scénarios sont donc rentables pour l'entreprise si l'on est en mesure de réduire l'écart-type prévisionnel d'au moins 4 %.



## **4. Discussion des résultats et généralisation de la démarche**

---

Dans cette dernière partie, nous effectuerons un retour sur les freins et stimulants au transfert et à la diffusion pertinents à notre cas d'application, soit l'utilisation de RADARSAT 1 pour le suivi du couvert nival afin de mieux gérer les réservoirs hydroélectriques. Rappelons que les stimulants sont les facteurs intervenant sur les parties à une transaction et qui sont susceptibles d'encourager la conclusion d'une entente entre les partenaires. De leur côté, les freins sont les facteurs qui interviennent dans la rationalité des parties et qui les empêchent de parvenir à un échange.

Dans les tableaux 6 et 7, nous présentons les principaux freins et stimulants relevés dans notre enquête (Martin et Bernier, 1997a) et puisés dans la littérature. Ces deux tableaux permettent de tirer des conclusions importantes. La présence, dans notre cas d'application, d'éléments permettant d'augmenter l'effet des stimulants et de diminuer celui des freins au transfert et à la diffusion nous permet de prédire le potentiel de transfert et de diffusion des technologies satellitaires. Les éléments qui agissent de façon plus marquée sur les processus sont les suivants : 1) l'implication des utilisateurs, 2) la présence d'agents de transfert, catalyseurs essentiels entre les parties prenantes, 3) l'implication des agences gouvernementales au sein des processus et 4) la configuration de la technologie. Dans les pages qui suivent, nous aborderons, d'une manière plus détaillée, chacun de ces éléments.

**Tableau 5 : Freins au transfert et à la diffusion**

Freins au transfert et à la diffusion (selon enquête et littérature)	Commentaires - Éléments permettant de diminuer les freins
Investissement initial (achat d'équipement, dépenses en R & D, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les investissements font partie d'une politique globale de soutien de l'entreprise (Hydro-Québec) à la R &amp; D au Québec ;</li> <li>⇒ <i>Implication et support d'individus clés dans l'entreprise ;</i></li> <li>⇒ <i>Rôle important des programmes gouvernementaux pour financer une partie de la R &amp; D ;</i></li> <li>⇒ <i>Anticipation de bénéfices à long terme (voir analyse B/C)</i></li> </ul>
Incompatibilités notoires entre anciennes et nouvelles technologies	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aucune dans le cas d'application : complémentarité entre anciennes et nouvelles technologies ;</li> <li>⇒ <i>Implication des agents de transfert pour assurer le lien entre les deux niveaux de technologies.</i></li> </ul>
Incompatibilités entre nouvelles technologies et types de compétences et de formation présents dans l'entreprise	<ul style="list-style-type: none"> <li>• besoin de formation au niveau des utilisateurs</li> <li>⇒ <i>implication des agents de transfert pour assurer le complément de formation.</i></li> </ul>
Difficulté à trouver l'information technologique	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ <i>La recherche de cette information est assumée, en grande partie, par les agents de transfert.</i></li> </ul>
Risque assumé par les premiers « adopteurs » d'une nouvelle technologie, particulièrement au niveau de la faisabilité technique du projet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Présent, incontournable, mais accepté par l'entreprise;</li> <li>⇒ <i>Support accru des agents de transfert pour diminuer l'incertitude technologique (configuration) ;</i></li> <li>⇒ <i>Implication et support d'individus clés dans l'entreprise pour diminuer le risque.</i></li> </ul>
Coûts élevés de mise au point	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Très présents dans le cas d'application ;</li> <li>⇒ <i>Prise en charge d'une partie de ces coûts par l'aide gouvernementale via les agents de transfert ;</i></li> <li>⇒ <i>Anticipation de bénéfices à long terme (voir analyse B/C) .</i></li> </ul>
Coûts élevés d'opération et de production des résultats	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Très présents dans le cas d'application ;</li> <li>⇒ <i>devraient cependant diminuer dans l'avenir avec une baisse du coût des images et des coûts de traitement ; aide des agents de transfert ;</i></li> <li>⇒ <i>Anticipation de bénéfices à long terme (voir analyse B/C)</i></li> </ul>
Difficultés de communication entre l'utilisateur et le développeur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>rôle actif des agents de transfert : tampon et lien entre les deux parties.</i></li> </ul>
Temps	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A court terme : essentiellement des dépenses de R &amp; D pour Hydro-Québec;</li> <li>⇒ <i>A long terme cependant : anticipation de profits intéressants (voir l'analyse B / C)</i></li> </ul>

**Tableau 6 : Stimulants au transfert et à la diffusion**

Stimulants au transfert et à la diffusion (selon enquête et littérature)	Commentaires - <i>Éléments permettant d'augmenter les stimulants</i>
Moment d'apparition de l'innovation (« timing »)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La mise en service de <b>RADARSAT 1</b> (nov. 95) correspond à un <b>besoin actuel</b> dans le domaine des prévisions hydrologiques (éloignement des sites - diminution du nombre de stations de mesures) ; ⇒ <b>configuration</b> nécessaire pour adapter la technologie aux besoins existants.</li> </ul>
Présence de réseaux d'utilisateurs de technologies satellitaires (au niveau des entreprises hydroélectriques)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L'intérêt des utilisateurs est réel mais aucun réseau du genre n'existe actuellement ; ⇒ <b>Accroissement du rôle gouvernemental</b> au niveau de la diffusion des technologies satellitaires (information, organisation de colloques, etc.).</li> </ul>
Effets positifs sur l'emploi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L'introduction de technologies de télédétection a des répercussions en amont et en aval du projet ; ⇒ <b>Effet multiplicateur</b> sur l'emploi ; ⇒ <b>Rôle gouvernemental</b> au niveau de la formation d'une main d'œuvre adéquate.</li> </ul>
Effets positifs sur la valeur ajoutée	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Le traitement des données brutes peut engendrer des informations pouvant intéresser d'autres couches d'utilisateurs. ⇒ <b>Importance de la diffusion de l'information pour le bénéfice d'autres utilisateurs : rôle des agents de transfert et des agences gouvernementales</b></li> </ul>
Accroissement des performances (rapidité de production des résultats, couverture de territoires plus vastes)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réel dans le domaine de l'hydrologie (démonstré dans la littérature). ⇒ <b>Configuration de la technologie</b> ; ⇒ <b>Importance de la diffusion de l'information pour le bénéfice d'autres utilisateurs : rôle des agents de transferts et/ou des agences gouvernementales</b></li> </ul>
Respect de spécifications plus rigoureuses	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualité accrue des résultats (démonstré dans la littérature) ; ⇒ <b>Configuration de la technologie</b> ⇒ <b>Importance de la diffusion de l'information pour le bénéfice d'autres utilisateurs : rôle des agents de transferts et des agences gouvernementales</b></li> </ul>
Pressions externes pour l'utilisation des technologies satellitaires : évolution des besoins des consommateurs et globalisation des marchés	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Importance de la qualité des prévisions pour tirer parti, au maximum, des capacités de stockage des réservoirs.</li> <li>• Existence de nouvelles utilisations de l'électricité accroissant la demande (systèmes de climatisation, thermo-pompes, etc.) ⇒ <b>Rôle accru des agents de transfert (nouveaux utilisateurs) et des instances gouvernementales pour accroître et supporter la R &amp; D dans ces secteurs</b></li> </ul>



## 1. L'implication des utilisateurs

Selon Carr (1992), la plupart des barrières au transfert technologique sont d'origine humaine (résistance organisationnelle, lois et règlements, etc.). Pour transférer une technologie, il est souhaitable d'avoir un « champion » à chaque extrémité du processus. Poursuivant dans ce langage imagé, Carr mentionne que le « champion » doit « chasser les dragons » et « balayer les obstacles » constamment érigés par le système au sein des processus. Il souligne également que le rôle de « champion » est plus important du côté du receveur que de celui de l'offreur. Il est crucial, qu'au sein des entreprises réceptrices, plusieurs personnes croient fermement en la nécessité des nouvelles technologies. Il s'agit d'une condition essentielle au succès du transfert en raison de l'ampleur des efforts à déployer pour que la démarche se concrétise.

## 2. Les rôles des agents de transfert

Dans la partie première partie de cette thèse, nous avons signalé que Mogavero et Shane (1982) distinguaient trois principaux modes de transfert technologique : le mode passif, le mode semi-actif et le mode actif. La différence principale entre ces trois modes réside dans l'implication des agents au niveau du processus de transfert. De toute évidence, le mode passif, celui dans lequel l'utilisateur prend connaissance de la technologie par le biais d'informations ramassées çà et là ne convient pas au transfert de technologies complexes comme les technologies satellitaires. Nous verrons, en premier lieu, quels rôles Seurat (1976) et Deschamps (1997) attribuent aux agents de transfert au sein des modes semi-actif et actif.

Selon Seurat (1976), le transfert de technologie est, avant tout, affaire de communication. Si les différences culturelles entre le « système émetteur » et le « système récepteur » sont trop importantes, il n'existe d'autres ressources que de faire intervenir un corps « d'interprètes » (le « conseil en transfert de technologie », selon les termes mêmes de l'auteur) capables de percevoir un message dans le premier système et de le transmettre au second de manière assimilable et compréhensible. Deschamps (1997) mentionne que beaucoup de petites et moyennes entreprises (PME) ou d'entrepreneurs autonomes échouent dans leurs tentatives de transfert faute de crédibilité, de connaissances ou d'expertise. La PME intéressée par une technologie impliquant un

transfert a donc avantage à rechercher l'appui d'un conseiller expert, issu des milieux scientifiques ou technologiques apparentés à la technologie convoitée. A notre avis, une telle recommandation s'applique également à la plupart des grandes organisations en raison de la complexité des technologies actuelles et de la nécessité, fréquente, d'adapter des technologies existantes à de nouveaux contextes d'utilisation. Ce conseiller doit :

- comprendre la « culture » technico-commerciale des deux parties en présence (le vendeur et l'acheteur) ;
- comprendre comment le processus de valorisation de la technologie opère ;
- savoir évaluer les technologies à partir de scénarios ;
- savoir comment adapter la (les) technologie (s) aux besoins de l'utilisateur ;
- éventuellement, être au fait des méthodes usuelles de cession des droits, maîtriser les cas de jurisprudence, être en mesure de prévoir les sources de conflits d'intérêt, etc.

Cependant, ces auteurs négligent de mentionner un rôle important joué par les agents de transfert, celui du positionnement du récepteur de technologie par rapport aux investissements publics et privés. Pour comprendre l'ampleur d'un tel rôle, nous prendrons l'exemple de l'utilisation de RADARSAT pour la gestion des réservoirs hydroélectriques de la rivière La Grande. Il s'agit d'un cas typique de transfert actif dans lequel on retrouve les acteurs suivants :

### 1. du côté de l'offre :

Il s'agit des agences concernées par le programme RADARSAT(Hegy, 1996) :

- L'Agence Spatiale Canadienne (ASC) qui gère le programme (conception, intégration, contrôle du système et exploitation) ;
- Le Centre Canadien de Télédétection (CCT) qui est responsable du fonctionnement et du maintien des différentes tâches (réception, enregistrement, archivage) relatives au programme RADARSAT au Canada.

- la firme Radarsat International Inc. (RSI) qui est responsable du traitement, du marketing et de la distribution des données RSO (toutefois, les agences fédérales et provinciales peuvent acquérir les données directement du CCT).

2. **Du côté de la demande :**

- l'unité Prévisions d'Hydro-Québec ;

3. **Les acteurs impliqués dans le processus de transfert :**

- des chercheurs de l'INRS-Eau ;
- une firme spécialisée dans le traitement d'images RSO : VIASAT Géotechnologies Inc.

Les activités scientifiques et techniques de ce projet comprennent le pré-traitement des images, la production de données thématiques auxiliaires (MNA, contours des sous-bassins, classification de la couverture du sol), l'acquisition de données de contrôle sur le terrain, le calcul de l'équivalent en eau de la neige, l'optimisation et l'implantation des algorithmes et du progiciel d'application chez Hydro-Québec et des activités de promotion et de diffusion des résultats. Le processus implique deux agents de transfert distincts : les chercheurs de l'INRS-Eau (milieu universitaire) et la firme VIASAT Géotechnologies Inc. (secteur privé). Les démarches entreprises par ces deux organismes ont permis à Hydro-Québec de bénéficier, en phase pré-opérationnelle de dix (10) images ERS-1 fournies par le Centre Canadien de Télédétection (1994-1995) et de vingt (20) images RADARSAT fournies par l'Agence Spatiale Canadienne (1996-1998, via le programme ADRO). Pour ce projet, l'INRS-Eau a bénéficié de divers programmes du CRSNG et du programme SYNERGIE du Fonds de Développement Technologique du Québec. Dans le cadre de SYNERGIE, la firme VIASAT Inc. a également contribué à financer la R & D de ce projet.

Les agents de transfert peuvent provenir de divers milieux : universitaire, public ou parapublic et privé et, dans le cas de projets complexes, plusieurs types d'agents peuvent être impliqués en même temps. Notre objectif n'est pas de vanter les mérites respectifs des différentes catégories

d'agents de transfert mais il semble bien qu'il existe certaines corrélations entre l'état d'avancement d'un projet et le (les) type(s) d'agent(s) impliqué(s) dans le processus de transfert. Les organismes universitaires demeurent les plus appropriés pour intervenir dans des projets où la *poussée technologique* est encore très éloignée de *l'attraction des marchés*, pour y accomplir des tâches de R & D qui se déroulent sur un horizon à long terme (5 à 10 ans) telles le développement de méthodes de traitement ou le développement d'algorithmes spécifiques pour adapter la technologie à un nouveau contexte d'utilisation. Les interventions du secteur privé relèvent plus fréquemment d'un horizon à court et à moyen terme. Afin de répondre aux besoins de leurs clients, les intervenants du secteur privé doivent axer une bonne partie de leurs activités sur la configuration technologique. Les agences publiques ou parapubliques telles que le CCT et le Service des Technologies à Références Spatiales (Gouvernement du Québec) peuvent également jouer le rôle d'agent de transfert pour le compte d'autres secteurs gouvernementaux qui ne disposent pas des ressources humaines et matérielles adéquates pour mener à bien le processus de transfert.

### 3. L'implication gouvernementale

Les instances gouvernementales sont en mesure d'agir au niveau des incitations suivantes :

- la mise en commun de l'information recueillie;
- le développement des capacités d'absorption ;
- l'accroissement du rythme d'adoption des technologies nouvelles.

Au niveau des capacités d'absorption et de l'accroissement du rythme d'adoption, une des premières mesures que peuvent prendre les agences gouvernementales, face à une nouvelle technologie, serait de bien la faire connaître aux utilisateurs éventuels, de clarifier les bénéfices attendus mais également d'en exposer les limites (St-Pierre, 1996). Les agents de transfert peuvent fournir une aide précieuse à ce niveau. Dans le cas des technologies satellitaires, des programmes d'accès à des données à taux réduit ou gratuites permettent d'accroître le rythme d'adoption (ADRO : Programme de Développement d'Applications et Possibilités de Recherche, PPP : Programme des Projets Pilotes et PPUR : Programme de Promotion des Utilisations de RADARSAT).

A un niveau plus global, ces mesures doivent être accompagnées de mécanismes financiers tels que les crédits d'impôt pour la Recherche et le Développement et, le cas échéant, de subventions et d'octrois pour permettre aux entreprises d'accéder aux nouvelles technologies.

#### 4. La configuration des nouvelles technologies

Carr (1992) souligne que le transfert technologique est, avant tout, une activité commerciale (« *a business activity* », mentionne-t-il ) et tout ce qui concerne les aspects légaux du processus doit être relégué au second plan. Pour sa part, Millier (1989) s'est penché sur les aspects marketing des produits « *high tech.* » et sur les différents niveaux d'incertitude qui accompagnent les projets de Recherche et Développement. Généralement, l'incertitude se manifeste aux niveaux suivants :

- *l'incertitude technologique* liée aux caractéristiques propres du concept technologique étudié (performances attendues de la technologie, faisabilité technologique) ;
- *l'incertitude marketing* liée aux possibilités et aux difficultés de commercialisation du produit.

Dans un projet qui implique des *produits technologiquement innovants* comme RADARSAT 1, il convient de réduire une partie des incertitudes, afin de mettre le produit dans des conditions de lancement favorables. La réduction de ces incertitudes est ce qu'il est convenu d'appeler la configuration du produit. *L'incertitude technologique* touche les performances attendues de la technologie et sa faisabilité technique. Au niveau des performances attendues, la littérature prouve que les satellites sont en mesure de répondre à des besoins réels dans le domaine de l'hydrologie. Néanmoins, à l'heure actuelle, dans bien des cas, nous n'en sommes encore qu'au stade de démonstration ( ce qui est qualifié, en anglais de « *to be proven technically* ») pour ces technologies mais tout porte à croire que les réponses satisfaisantes, au niveau de la faisabilité technique, ne tarderont pas à voir le jour (Bernier et al., 1994, Bernier et Fortin, 1998, Bernier et al., soumis). Mais, d'autre part, il convient également de se demander, si après avoir fait ses preuves dans certaines conditions spécifiques, la technologie pourra être implantée ailleurs. La commercialisation du produit tient à la fois des efforts qui seront consacrés pour sa mise en

marché mais également des exemples d'application que les concepteurs sauront exploiter. Au niveau économique, la réduction de l'incertitude devra néanmoins tenir compte des éléments suivants :

- des coûts de configuration et de transfert ;
- des risques inhérents à la « poussée scientifique » ;
- de la concurrence internationale résultant d'investissements publics.

Les coûts de configuration et de transfert peuvent être très lourds pour de petites entreprises et à ce niveau également, une aide gouvernementale est souhaitable, sinon nécessaire. Les risques inhérents aux projets de « poussée scientifique » sont incontournables et les utilisateurs potentiels sont, dans la plupart des cas, prêts à assumer une partie des ces risques en absorbant une fraction des coûts de Recherche et Développement associés à ces projets mais comptent également sur de l'aide financière extérieure pour assumer le reste. C'est à ce niveau que les agences gouvernementales et les agents de transfert entrent en jeu. Même sur le plan nord-américain, la concurrence européenne est omniprésente si l'on considère les projets de l'A.S.E (Agence Spatiale Européenne) au niveau des satellites radar (projets ERS, ENVISAT), fortement supportés par des investissements publics. De plus, tant en Europe qu'aux Etats-Unis, il existe des programmes de transfert efficaces et très structurés (Spacelink en Europe et NTTC aux Etats-Unis) pour aider aux démarches entre les concepteurs et les utilisateurs.

## **5. Intégration du protocole expérimental au modèle de transfert**

La mise en évidence des éléments mentionnés nous permet d'élaborer un nouveau modèle de transfert. Les trois modèles présentés dans la partie théorique (Robinson, 1989 ; Seurat, 1976 et Poher, 1994) permettent d'explicitier, de manière globale, les relations entre les facteurs influençant les processus de transfert et de décision (que nous avons appelé les *freins* et les *stimulants*) et les parties prenantes impliquées dans ces processus (*offreurs* et *demandeurs* de technologie). Le modèle que nous proposons utilise une architecture semblable à ces modèles. Cependant, nous avons procédé de manière différente pour prédire le succès ou l'échec du transfert. Le bilan initial des freins et stimulants est issu, en grande partie, d'un protocole expérimental que nous avons

conçu. Cependant, une partie des informations nécessaires à l'établissement de ce bilan, basé en grande partie sur des évaluations qualitatives, provient d'un recensement d'écrits pertinents. La mise en relief des freins et stimulants majeurs permet de suggérer les éléments qui permettent de diminuer l'effet des freins et d'augmenter celui des stimulants au transfert. Ces éléments étant cernés, il suffit d'en doser l'utilisation de manière judicieuse, en fonction du contexte d'utilisation des technologies, de manière à favoriser le transfert et la diffusion. Les éléments suggérés : 1) l'implication des utilisateurs, 2) la présence d'agents de transfert, 3) l'implication gouvernementale et 4) la configuration technologique peuvent faire partie d'une stratégie générale d'aide au transfert ou à la diffusion. Nous ne prétendons pas que ces éléments sont uniques. Un tel modèle laisse beaucoup de latitude à des expériences basées sur d'autres cas d'application. Notre démarche s'inscrit cependant dans le cadre d'une stratégie d'aide au transfert et à la diffusion, utilisable par les gestionnaires publics et généralisable à d'autres cas d'application

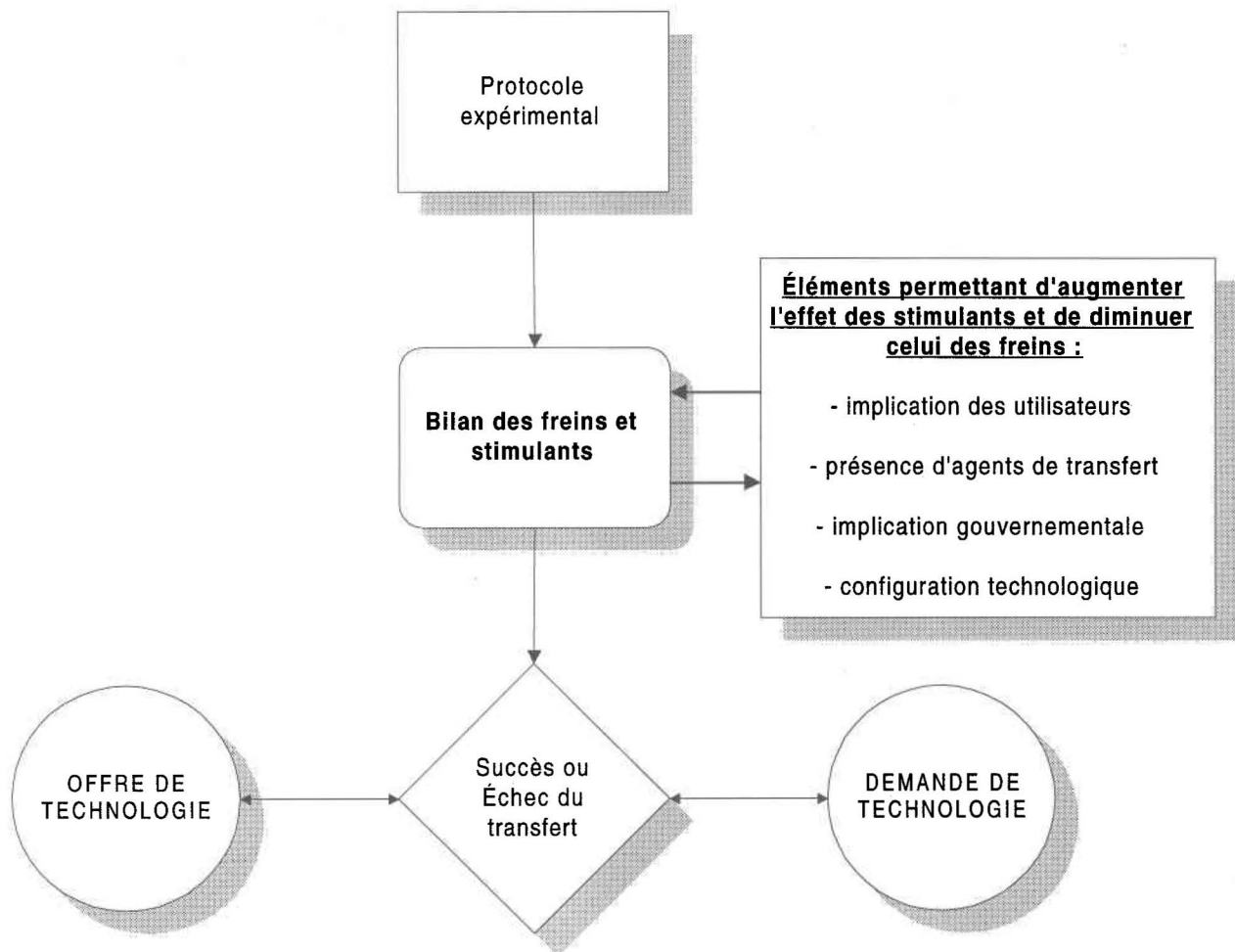


Figure 8 : Modèle de transfert



## Conclusion

---

Au terme de cette recherche, il convient de revenir sur l'objectif principal que nous nous sommes fixés : l'élaboration d'un outil d'aide à la décision pour les gestionnaires publics dans les transferts de technologies satellitaires. L'élaboration d'un tel outil, qui s'appuie sur des méthodologies issues des sciences de la gestion, constitue, en grande partie, l'originalité de cette thèse et pourrait être utilisé dans d'autres situations impliquant des décisions de transfert de hautes technologies.

Une revue de littérature nous a permis de faire ressortir des modèles illustrant les relations entre les facteurs qui influencent les processus de transfert et de diffusion d'une technologie (les *freins* et *stimulants*) et les parties prenantes impliquées dans ces processus (*offreurs*, *demandeurs* de technologie). L'utilisation d'un protocole expérimental nous a donné l'opportunité de cerner la plupart des *freins* et *stimulants* pertinents à notre cas d'application. La présence d'éléments permettant d'augmenter l'effet des stimulants et de diminuer celui des freins nous autorise à prédire le potentiel de transfert et de diffusion des nouvelles technologies satellitaires. Ces éléments sont les suivants : 1) une implication importante, parmi les utilisateurs, de personnes fermement convaincues de l'utilité des nouvelles technologies, 2) la présence d'agents de transferts, traits d'union essentiels entre les *offreurs* et les *demandeurs* de technologies, 3) une intervention gouvernementale destinée à encourager la Recherche et le Développement sur les nouvelles technologies et accroître le rythme de diffusion et 4) la configuration technologique, c'est-à-dire la réduction des incertitudes associées au lancement de produits *technologiquement innovants*. Ces éléments nous permettent ensuite de mettre de l'avant des solutions au sein d'une stratégie d'aide au transfert et à la diffusion des nouvelles technologies et de concevoir un modèle dans lequel s'intègrent ces éléments.

Notre protocole expérimental utilise trois étapes méthodologiques : une *enquête* (de type *DELPHI*), une *analyse multicritère* et une *analyse financière* de type *bénéfices - coûts*. L'enquête a permis de révéler un intérêt marqué des utilisateurs pour les technologies satellitaires dans le domaine de l'hydrologie. L'analyse multicritère des capteurs a fait ressortir les avantages de RADARSAT 1, par rapport aux autres techniques concurrentes, pour le suivi du couvert nival sur le bassin de La Grande. De son côté, l'analyse financière a montré la rentabilité du mode

ScanSAR 500 km de RADARSAT 1, alors qu'avec les modes Standard 100 km et Wide 150 km, il conviendrait de travailler à partir d'une couverture réduite du bassin, ceci permettant de diminuer le nombre d'images et les délais de traitement qui y sont associés. Cette dernière éventualité pourrait s'avérer intéressante si des problèmes importants survenaient au niveau de la correction géométrique et de la précision radiométrique des images ScanSAR.

L'analyse du processus de transfert permet de suggérer certains rôles aux gestionnaires publics dans un cadre de dynamisation du processus. Ainsi, il serait avantageux que les gouvernements aident à la promotion des nouvelles technologies et, d'autre part, encouragent les entreprises émettrices à investir dans les projets de Recherche et le Développement axés sur des objectifs environnementaux. Par exemple, l'organisation, par les agences gouvernementales, de rencontres favorise les contacts entre *offreurs*, *demandeurs* et *agents de transfert* et stimule la formation de réseaux d'utilisateurs. Lors de colloques, la présentation de nouveaux cas d'applications représente, pour les « adopteurs tardifs », une façon d'accéder aux nouvelles technologies et de franchir ce que Moore (1991) qualifie de « gouffre » (*chasm*)<sup>23</sup> entre le marché hâtif et le marché tardif. Il semble que les programmes d'accès aux données à taux réduits ou gratuites représentent un excellent moyen d'inciter des entreprises à utiliser les technologies satellitaires. L'investissement en Recherche et Développement doit cependant être assorti de crédits d'impôts utilisables par les entreprises de toutes tailles.

Cette analyse du processus de transfert met en évidence l'effet des risques sur la conduite des projets de Recherche et Développement. En effet, nous avons constaté que les gestionnaires ne sont pas prêts à accepter la totalité des risques d'investissements associés aux projets impliquant des technologies novatrices. Dans notre cas d'application, la participation de l'entreprise représente environ 40 % des coûts de Recherche et de Développement, le reste étant assumé par différents programmes gouvernementaux. Notons ici qu'un apport financier gouvernemental aidant à la Recherche et au Développement dans un projet impliquant de nouvelles technologies

---

<sup>23</sup> Selon Moore (1991) : « The chasm represents the gulf between two distinct marketplaces for technology products—the first, an early market dominated by early adopters and insiders who are quick to appreciate the nature and benefits of the new development, and the second a mainstream market representing 'the rest of us', people who want the benefits of new technology but who do not want to 'experience' it in all its gory details ».

profite non seulement au premier utilisateur mais également aux entreprises qui les adopteront ultérieurement.

Dans tout projet impliquant l'introduction et la mise en œuvre de technologies novatrices au sein d'entreprises, nous pensons que la présence d'agents de transfert, traits d'union entre *offreurs* et *demandeurs*, est cruciale. Ces agents facilitent l'accès des entreprises réceptrices aux programmes d'aide gouvernementale. D'autre part, ils jouent un rôle de *décodeurs de l'information* entre *concepteurs* et *utilisateurs* de ces technologies complexes.

Dans le cadre de cette thèse, nous nous sommes limités à considérer les bénéfices financiers parce que notre cas d'application relevait d'une entreprise particulière. Il serait intéressant, dans une recherche ultérieure, de faire ressortir, sur une base plus globale, les bénéfices sociaux de la télédétection. Par exemple, une meilleure gestion des ressources hydriques, par le biais de technologies de pointe, pourrait se traduire par une qualité de vie accrue pour la collectivité québécoise et même canadienne en générant des bénéfices directs comme la production d'une énergie à meilleur coût (l'hydroélectricité), indirects comme la conservation des sources d'énergie fossile (pétrole), l'accès à des activités récréatives (pêche, canotage, etc.) et dans certains cas, un meilleur contrôle des débits des rivières afin de prévenir les inondations. Une étude économique plus globale contribuerait ainsi à parfaire l'outil d'aide à la décision que nous avons conçu.



## Bibliographie

---

- BERNIER, M. & FORTIN, J.P., 1998, The potential of times series of C-band SAR data to monitor dry and shallow snow cover, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 36, January 1998, pp 1-18
- BERNIER, M., FORTIN, J.P. & GAUTHIER, Y., 1994, Suivi du couvert nival par le satellite ERS-1 : résultats préliminaires obtenus dans l'est du Québec, *Journal Canadien de Télédétection*, Vol. 20, No2, Mars-avril 1994, pp. 138-149.
- BERNIER, M., FORTIN, J.P., GAUTHIER, Y., GAUTHIER, R., BISSON, J.L. & VINCENT, P. (soumis), Estimation de l'équivalent en eau du couvert nival au moyen d'images satellitaires. *Revue des Sciences de l'eau*, soumis en juin 1997, 26 pages.
- BERTRAND, R., (en collaboration avec CLAUDE VALIQUETTE), 1986, *Pratique de l'analyse statistique des données*, Presses de l'Université du Québec, 379 pages.
- BRANS, J.P., MARESCHAL, B., VINCKE, Ph. (1984), 'PROMETHEE : A new family of Outranking Methods in Multicriteria Analysis,' In J.P. Brans (ed.), *Operational Research* 84, North-Holland, Amsterdam, pp. 477-490.
- BRIDIER M., MICHAÏLOF S. (1984) *Guide pratique d'analyse de projets*, Economica, 294 pages.
- BRISSON, R. (1997), Transfert de Technologie : en choisir la forme et en déterminer la valeur, *Colloque Exporter Notre Technologie : Protection et Transfert Internationaux des Innovations*, Québec, 12 mars 1997.
- CASTRUCCIO, P.A., LOATS, H.L., LLOYD, D., PIXIE, A., NEWMAN, B. (1980), Cost-benefit analysis for the operational applications of satellite snowcover observations (Oasso). Workshop on Operational Applications of Satellite Snowcover Observations Operations. *Proc. of a final workshop held in Sparks, Nevada, April 16-17, 1979*, Scientific and Technical Information Office, NASA Conf. Publ. 2116, pp. 239-253.
- CARR, R.K. (1992), Doing technology transfer in federal laboratories (Part 1), *Journal of Technology Transfer (Spring-Summer 1992)*, Vol. 17, Nos 2 & 3, pp. 8-22.
- CARR, R.K. (1992), Menu of best practices in technology transfer (part 2), *Journal of Technology Transfer (Spring-Summer 1992)*, Vol. 17, Nos 2 & 3, pp.24-33.
- DESCHAMPS, I. (1997), Négocier et conclure un transfert de technologie : les points à surveiller en cours de négociation et dans l'accord de transfert, *Colloque Exporter Notre Technologie : Protection et Transfert Internationaux des Innovations*, Québec, 12 mars 1997

- DOUSERV TELECOM - ECONOSULT (1986), Radarsat Economic Review and Assessment, Final Report, *Department of Energy, Mines and Resources, Government of Canada*, April 1986, 329 pages.
- DTI TELECOM - ECONOSULT (1987), Radarsat Economic Review and Assessment Update, *Department of Energy, Mines and Resources, Government of Canada*, March 1987.
- GORDON, T.J., HELMER, O. (1964), *Report on a Long Range Forecasting Study*, The RAND Corporation-P-2982, (DDC AD 607777), September 1964.
- HARMAN, D.M. & al. (1980), Economic Implications of a Management-Oriented Remote Sensing Program, *Coastal Zone Management Journal*, Vol. 8, No 2, pp. 105-122.
- HEGYI, F. (Hegyí Geotechnologies International Inc.), 1996, Economic Analysis of Radarsat Applications in Forest and Related Environmental Monitoring, *Report prepared for Market Development and Commercialization, Canadian Space Agency, Radarsat Program Office*, march 96, 45 pages.
- HYDRO-QUÉBEC, *Rapport annuel 1996 (site internet)*.
- JULIEN, P-A. (1997), Bilan technologique dans les PME québécoises et veille partagée, *Colloque Exporter Notre Technologie : Protection et Transfert Internationaux des Innovations*, Québec, 12 mars 1997.
- KUMAR, B. & NEYER, B. (1992), International Technology Transfer, *Advances in International Comparative Management, Volume 7*, pp. 23-40.
- MARTIN, D. et BERNIER, M. (1997a), Enquête destinée à connaître et à quantifier les attentes des utilisateurs de technologies satellitaires en vue du suivi du couvert nival, *INRS-Eau, Rapport de recherche no R-491*, février 1997, 77 pages.
- MARTIN, D et BERNIER, M. (1997b), Analyse multicritère de capteurs satellitaires pour le suivi du couvert nival, *Journal Canadien de Télédétection*, vol. 23, No. 3, septembre 1997, pp 264-275.
- METCALFE, J.S. (1981), Impulse and Diffusion in the Study of Technical Change, *Futures*, october 1981, pp. 347-359.
- MILLIER, P. (1989), *Le marketing des produits « High-Tech »*. Outils d'analyse, Les Éditions d'Organisation, 250 pages.
- MOGAVERO, L.N & SHANE, R.S. (1982), *What every engineer should know about technology transfer and innovation*. New York, Marcel Dekker Inc.

- MOORE, G.A (1991), *Crossing the chasm, marketing and selling technology products to mainstreams customers*, Harper Business, 223 pages.
- MUNRO, H. & NOORI, H. (1988), Measuring commitment to new manufacturing technology : integrating technological push and market pull concepts. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 35 (2), pp. 63-70.
- NOVEMBER, A. (1990), *Nouvelles technologies et mutations socio-économiques. Manuel des technologies nouvelles*, Institut international d'études sociales, Genève, 209 pages.
- OCDE (1988 a), *L'action des pouvoirs publics et la diffusion de la micro-électronique*, Paris, 159 pages.
- OCDE (1992), *La technologie et l'Économie. Les relations déterminantes*, Organisation de Coopération et de Développement Économiques, 364 pages.
- POHER, S. (1994), La grappe aérospatiale au Québec : variables clés de succès et modèle d'analyse des transferts de technologie des assembleurs vers les sous traitants. *Mémoire de maîtrise*. Université Laval.
- RADARSAT INTERNATIONAL (1996), *Price list canadian - World wide products and services (effective december 1996)*.
- ROBINSON, R. D. (1989), Toward creating an international technology transfer paradigm, *The International Trade Journal, Volume IV, No 1, Fall 1989*, pp1-19.
- ROCHON, G., FORTIN, J.P., DUPONT, J. et BENIE, G.B. (1982), Potentiel de la cartographie nivale par télédétection à des fins de gestion des eaux : expérience pilote sur le bassin de la rivière Nottaway. *CENTREAU, rapport scientifique No CRE-82/02*, 48 pages.
- ROGERS, E.M. and SHOEMAKER, F.F. (1971), *Communications of Innovations : A Cross-Cultural Approach*, The Free Press, New york, 1971.
- ROY, B. (1977), Critique et dépassement de la problématique de l'optimisation, *Cahiers Sema*, No 1, 1977, pp. 65-79, et *AFCET-Interfaces*, No 13, novembre 1983, pp. 35-43
- ROY, B. (1985), *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*, Economica.
- SAINT-PAUL, R. et TENIERE-BUCHOT, P.F. (1974), *Innovation et évaluation technologiques*, Entreprise Moderne d'Édition, 316 pages.
- ST-PIERRE, D. (1996), About technology transfer and diffusion programs at the Canadian Space Agency , *Report on Individual project, Master on Space Studies Program, 1995-1996*, International Space University, 49 pages.

- SCHÄRLIG, A. (1985, réimpression 1990) , *Décider sur plusieurs critères. Panorama de l'aide à la décision multicritère*, Presses polytechniques et universitaires romandes, 302 pages.
- SCHÄRLIG, A. (1992), L'aide multicritère dans les processus de décision politiques touchant l'environnement, *23<sup>e</sup> Colloque International de l'Association d'Économétrie Appliquée*, Genève, janvier 1992, pp. 1-7.
- SEURAT, S. (1976), *Réalités du transfert technologique*, Masson Éditeur, 239 pages.
- SHARP, J.M & RANDALL, W.T. (1975), A cost-effectiveness comparison of existing and LANDSAT-aided snow water content estimation systems, *Proceedings of the 10 th International Symposium of Remote Sensing of Environment*, 2 : pp. 1255-1262.
- SHARP, J.M. & THOMAS, R.W. (1975), A comparison of operational and Landsat aided snow water content estimation systems. In Rango, A. (ed.), *Workshop on Operational Applications of Satellite Snowcover Observations, Proc. The National Aeronautics and Space Administration and the University of Nevada, Reno*, Publ. no NASA SP-391, pp. 325-344.
- SIMON, H. A. (1965), *Administrative behavior*, Second Edition, The Free Press, 259 pages.
- SIMOS, J. & al. (1986), *Les méthodes Electre*; photocopié IGE, EPFL, Lausanne, 137 pages.
- SOCIÉTÉ D'ÉNERGIE DE LA BAIE JAMES (1987), *Connaissance du milieu des territoires de la Baie-James et du Nouveau-Québec*, S.E.B.J. Division Environnement, 297 pages.
- TURGEON, A. (1992), The new Hydro-Québec optimization model for the long-term scheduling of reservoirs, *Hydropower 92*, Broch & Lysne (eds), 1992 Balkema, Rotterdam.
- YEH, W-G, M.ASCE, BECKER, L., SOHN, R.L. (1978), Information requirements for improving hydropower, *Proc. ASCE, Journal of the Water Resources Planning and Management Division*, 104 (1978) WR1, November 1978, paper 14165, pp. 139-156.



## Liste des articles

### **Article 1 : Rapport scientifique officiel de l'INRS-Eau**

MARTIN, D. et BERNIER, M. (1997a), Enquête destinée à connaître et à quantifier les attentes des utilisateurs de technologies satellitaires en vue du suivi du couvert nival, *INRS-Eau, Rapport de recherche no R-491*, février 1997, 77 pages.

### **Article 2 : Article<sup>24</sup> publié dans les comptes rendus d'un congrès scientifique international, après révision par un comité de lecture**

MARTIN, D., BERNIER, M. & SASSEVILLE, J.L. (1997), Survey on expectations of actual and potential users of remote sensing technologies in hydrology, *Proceedings of the Third International Workshop, NHRI Symposium No. 17 : APPLICATIONS OF REMOTE SENSING IN HYDROLOGY*, Octobre 1996, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, U.S.A, pp. 167-181.

### **Article 3 : Note technique publiée dans une revue avec comité de lecture**

MARTIN, D et BERNIER, M., (1997), Analyse multicritère de capteurs satellitaires pour le suivi du couvert nival, *Journal Canadien de Télédétection*, vol. 23, No. 3, septembre 1997, pp 264-275.

### **Article 4 : Article soumis dans une revue avec comité de lecture**

MARTIN, D., BERNIER, M., SASSEVILLE, J.L. & CHARBONNEAU. R., (soumis), Évaluation financière de l'intégration de technologies satellitaires, pour le suivi du couvert nival, au sein d'une entreprise hydroélectrique. Le cas de l'utilisation du satellite RADARSAT I dans le bassin de la rivière La Grande (Québec.), *International Journal of Remote Sensing*, Taylor and Francis Ltd.

### **Article 5 : Article publié dans les comptes rendus d'un congrès scientifique international.**

MARTIN, D., SASSEVILLE, J.L. & BERNIER, M., 1997, La diffusion commerciale des technologies satellitaires : Le cas de l'application de RADARSAT à la gestion des

---

<sup>24</sup> Cet article est un résumé de la partie anglaise de « Enquête destinée à connaître et à quantifier les attentes des utilisateurs de technologies satellitaires en vue du suivi du couvert nival, *INRS-Eau ( Rapport de recherche no R-491) »*

barrages, *Compte rendus du Symposium international LA GÉOMATIQUE À L'ÈRE DE RADARSAT*, Ottawa, 27 au 29 mai 1997, CD-ROM (No référence : 183).

***PARTIE 2 : ARTICLES***

## **Article 1 : Enquête**

**ENQUÊTE DESTINÉE À *CONNAITRE ET QUANTIFIER LES ATTENTES*  
DES UTILISATEURS DE TECHNOLOGIES SATELLITAIRES EN VUE DU  
SUIVI DU COUVERT NIVAL.**

Rapport soumis à  
Environnement Canada  
dans le cadre du projet  
**CRYSYS**

par  
**Daniel Martin et Monique Bernier**

Février 1997

## **Avant-propos**

Cette étude est présentée en deux versions. La version française constitue la première partie du document et la version anglaise la seconde. Ce mode de présentation concilie à la fois les exigences linguistiques de notre institution et celles des agences qui ont commandité cette étude.

Les auteurs.

## Table des matières

<b>AVANT-PROPOS</b> .....	1
<b>TABLE DES MATIÈRES</b> .....	3
<b>1. CADRE DE L'ENQUÊTE</b> .....	1
<b>2. OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DE L'ENQUÊTE</b> .....	3
<b>3. MÉTHODOLOGIE UTILISÉE</b> .....	4
<b>4. DÉROULEMENT DE L'ENQUÊTE</b> .....	5
4.1. LA CONSTITUTION DU GROUPE D'EXPERTS .....	7
4.2 ÉLABORATION ET RÉPARTITION DES ENVOIS DU PREMIER QUESTIONNAIRE.....	8
4.3. RÉPARTITION DES EXPERTS AYANT RÉPONDU AU PREMIER QUESTIONNAIRE : .....	10
<b>5. ANALYSE DELPHI</b> .....	11
5.1. CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES : .....	11
5.2 DURÉE DE L'ENQUÊTE DELPHI (NOMBRE DE RONDES OU TOURS): .....	11
5.3 TAUX DE PARTICIPATION À L'ENQUÊTE DELPHI : .....	13
<b>6. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS</b> .....	14
6.1 NIVEAUX DE CONNAISSANCE.....	14
6.2 CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES .....	15
6.3 CRITÈRES ÉCONOMIQUES .....	17
6.4 CRITÈRES TECHNIQUES ET POLITIQUE.....	19
6.5 ASPECT POLITIQUE (QUESTION 3): .....	22
6.6 PRÉCISION REQUISE POUR L'ÉQUIVALENT EN EAU .....	23
<b>7. COMMENTAIRES DES PARTICIPANTS</b> .....	25
<b>CONCLUSION</b> .....	29
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	30
<b>RÉFÉRENCES</b> .....	30

## 1. Cadre de l'enquête

Cette enquête constitue la première partie d'un projet de recherche dont les buts sont, d'une part, d'examiner les processus de transfert technologique et, d'autre part, de démontrer, en guise d'évaluation de leur transférabilité, que les nouvelles technologies de télédétection, lorsqu'associées à certaines méthodes conventionnelles de terrain, présentent des avenues intéressantes pour le suivi du couvert nival dans de vastes bassins hydroélectriques éloignés des centres de consommation importants parce qu'elles sont à la fois rentables pour une entreprise hydroélectrique et économiquement viables pour l'ensemble de la collectivité nationale.

Ce projet de recherche répond au premier objectif scientifique de CRYSYS qui est de *développer des moyens pour suivre et comprendre les fluctuations, au niveau régional et sur une vaste échelle, des variables cryosphériques*. La neige constitue l'élément occupant la plus grande surface de la cryosphère. De plus, les satellites représentent des outils incomparables pour le suivi du couvert nival au niveau régional.

La partie expérimentale de cette recherche comporte les éléments suivants : 1) une enquête auprès de plusieurs intervenants (gestionnaires, hydrologues et télédétecteurs) permettant de quantifier leurs attentes sur les nouvelles technologies de télédétection, 2) une analyse multicritère permettant le classement des capteurs concurrents ou complémentaires et 3) une analyse économique de la meilleure combinaison capteurs / outils en vue de faire ressortir l'utilité socio-économique des applications. Il s'agit d'une démarche en trois étapes principales (Figure 1 : A, B, C) qui permettra de dégager un cadre méthodologique destiné à évaluer le potentiel de diffusion des technologies de télédétection.

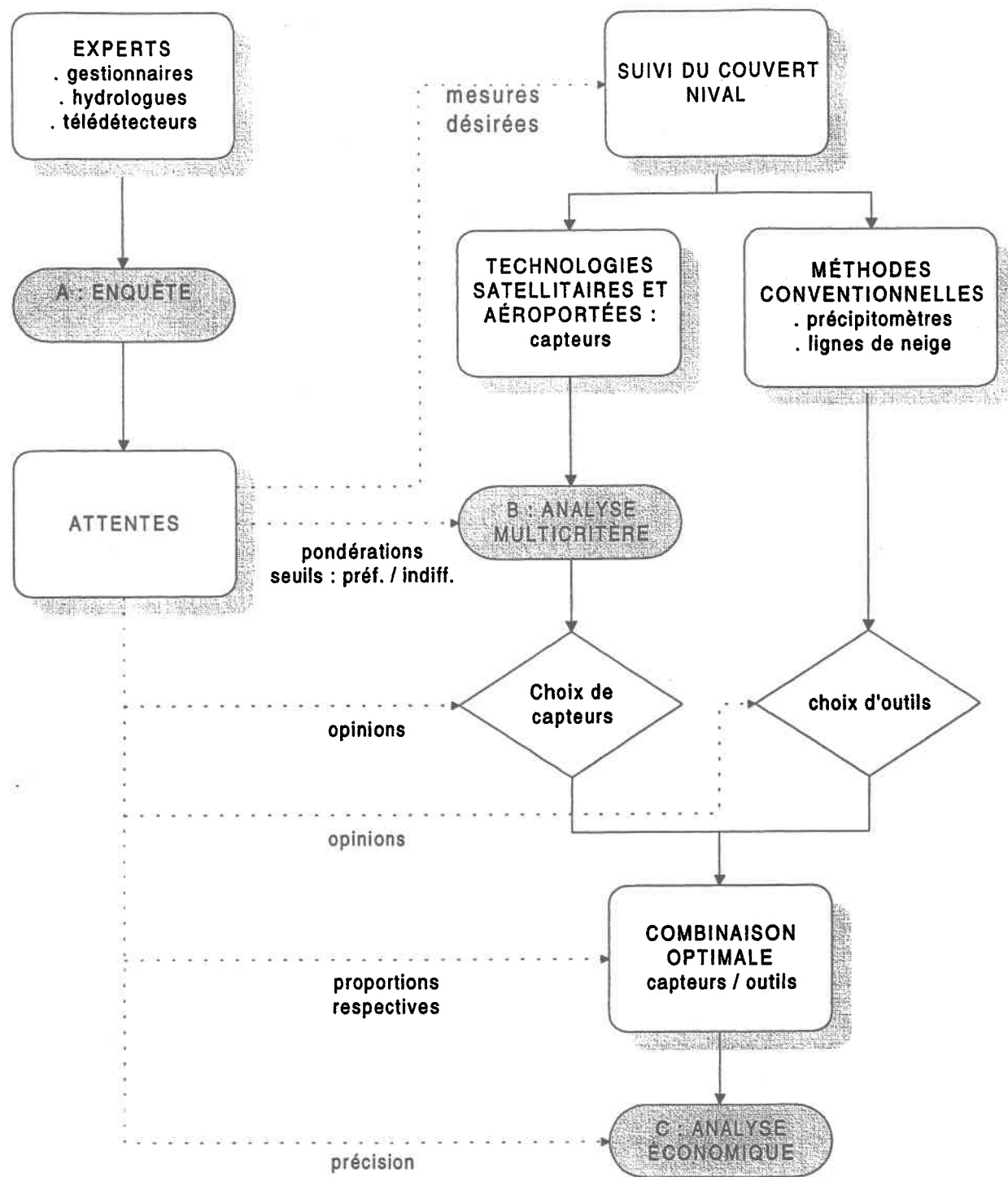
Conçues à l'origine pour répondre à des besoins spécifiques dans le secteur de la défense, la plupart des technologies satellitaires suscitent, au fur et à mesure du développement des techniques de transmission, de stockage et de décodage de l'information, des initiatives pour la promotion de nouvelles applications civiles. L'émergence de nouvelles applications ne signifie pas nécessairement qu'elles seront diffusables sur les marchés. En fait, le transfert réussi d'une application, issue de ce qui est convenu d'appeler le « *technological push* », dépend de plusieurs facteurs qui contrôlent l'accès de ce type de technologies aux marchés. La « *transférabilité*<sup>1</sup> » de ces technologies est souvent compromise par leurs coûts de développement ou encore par leur faible utilité socio-économique.

Comment peut-on évaluer le potentiel de diffusion d'une telle technologie satellitaire ?  
Quels facteurs interviennent comme freins ou comme incitatifs au transfert ?

---

<sup>1</sup> La « transférabilité » d'une technologie est définie ici comme son potentiel de diffusion socio-économique, ce potentiel étant d'autant plus élevé que ses utilités sur les marchés économiques (coûts privés d'usage versus services rendus) et politiques (coûts sociaux d'usage versus valeur sociale attribuée à l'application) seront élevées..





**Figure 1 : Plan expérimental**

L'analyse de la « transférabilité » d'une technologie, dans une situation de « poussée scientifique » doit traiter de trois questions fondamentales : 1) la réponse aux besoins des utilisateurs potentiels, 2) les modalités d'intégration ou les capacités de substitution aux façons de faire déjà en place et leur évaluation et 3) la capacité de susciter des mesures incitatives d'accompagnement ou des mesures de réduction d'obstacles aux transferts.

Le cas du transfert des applications des technologies satellitaires pour la mesure du couvert nival, en vue de gérer le remplissage des réservoirs est particulièrement bien adapté pour évaluer la transférabilité des technologies satellitaires à des applications socio-économiques civiles. En effet, depuis quelques années, les compagnies hydroélectriques (Hydro-Québec, Électricité de France, etc.) s'intéressent à l'intégration de mesures satellitaires aux méthodes conventionnelles de terrain, pour le suivi du couvert nival dans les bassins hydroélectriques éloignés de centres de consommation importants et difficiles d'accès. L'éloignement des sites de production d'électricité et la taille des bassins hydroélectriques à surveiller génèrent des coûts élevés d'acquisition de données pour l'émission de prévisions hydrologiques. L'introduction d'approches permettant l'observation répétitive de grandes surfaces avec un minimum d'intervention humaine représente un avantage de poids dans le contexte socio-économique actuel. De plus, des chercheurs américains (Castruccio *et al*; 1980) ont démontré que l'amélioration de la précision des estimations hydrologiques, à l'aide de technologies satellitaires, pouvait engendrer des bénéfices de plusieurs millions de dollars sur des bassins d'envergure, simplement au niveau de la production hydroélectrique.

## 2. Objectifs spécifiques de l'enquête

L'enquête est destinée à *connaître* et *quantifier les attentes* des éventuels utilisateurs de technologies satellitaires. Il s'agit d'une entreprise d'envergure conçue pour rejoindre des spécialistes disséminés aux quatre coins du monde. Les informations obtenues par le biais de cette enquête serviront à « alimenter » les autres parties du projet comme en témoigne la figure 1.

Plus spécifiquement, l'enquête devrait permettre :

1. de recueillir l'opinion d'experts sur la contribution que devrait apporter la télédétection à la gestion des grands réservoirs hydroélectriques situés dans les régions isolées ;
2. de cerner les paramètres du couvert nival à mesurer;
3. de fournir des informations essentielles à une analyse multicritère destinée à effectuer un classement parmi des capteurs existants et potentiels de suivi du couvert nival. Ce classement sera effectué en fonction de critères choisis par les décideurs eux-mêmes, de tels critères pouvant présenter des caractères conflictuels et multidimensionnels. A partir d'une liste rangée, nous serons en mesure de retenir le groupe de capteurs le mieux adapté aux fins visées. L'enquête servira notamment à fixer les pondérations des critères retenus et à déterminer les seuils de préférence ou d'indifférence pour certains d'entre eux.

4. d'obtenir des opinions des experts sur les proportions souhaitables capteurs / outils de terrain.

### **3. Méthodologie utilisée**

L'enquête comporte 29 questions : 21 questions de type DELPHI<sup>2</sup> et 8 questions ouvertes. Le type d'information recherchée fut le principal critère de conception des questions. Nous avons privilégié les questions de type DELPHI parce qu'elles nous permettaient d'obtenir une information plus fine.

La méthode DELPHI fut développée dans les années 50 par Olaf Helmer à la Rand Corporation. À l'origine, elle fut utilisée pour obtenir et organiser les opinions d'un groupe de spécialistes sur des questions portant sur des probabilités d'apparition d'évènements futurs. Technique de communication de groupe, elle s'est rapidement imposée comme méthode d'évaluation technologique au même titre que le *brainstorming*, les mesures d'opinion, les scénarios et les méthodes d'aide à la décision. Depuis sa création, des domaines aussi variés que la technologie, le management, le marketing, la médecine, l'économie, les besoins en termes de services, les programmes sociaux, l'ont utilisée. Déjà, en 1975, Lindstone et Turoff, dans leur bibliographie, ont recensé au-delà de 700 titres différents d'articles de revue, de monographies, de livres faisant état de travaux relatifs à la technique DELPHI.

Par rapport aux techniques usuelles de communication de groupe, DELPHI se distingue sur les plans suivants :

*a) la grandeur du groupe :*

DELPHI permet de consulter un grand nombre de participants, donc d'obtenir un éventail d'expertise diversifié, ce qui lui confère un net avantage sur la conférence téléphonique ou la réunion de comité.

*b) l'anonymat :*

L'utilisation d'un questionnaire formel permet de réduire, sinon d'éliminer, l'influence prépondérante d'individus dominants, ce qui n'est pas toujours le cas avec des techniques utilisant l'interaction directe.

---

<sup>2</sup>Dans le texte nous utiliserons les expressions équivalentes suivantes : enquête DELPHI, méthode DELPHI, technique DELPHI ou, tout simplement, DELPHI.

c) *la rétroaction contrôlée :*

L'exercice consiste en une série d'étapes entre lesquelles un sommaire de l'étape précédente est communiqué aux participants, ce qui leur permet, s'ils le désirent, de réviser leurs jugements antérieurs.

d) *les statistiques de groupe :*

DELPHI utilise habituellement la *médiane* et les *écarts interquartiles*. La *médiane* se définit comme le point milieu d'une série de données (en ordre), donc à mi-chemin entre la première et la dernière donnée. Étant une mesure de tendance centrale, la *médiane* offre une certaine résistance aux valeurs aberrantes, son calcul s'effectuant indépendamment de la distance entre les données (Bertrand, 1986). La mesure de dispersion est donnée par l'*étendue interquartile*<sup>3</sup> (E.I.Q.), c'est-à-dire la différence entre le 3ième (Q3) et le 1er (Q1) quartile. Chacun de ces deux quartiles se situe à mi-chemin entre une des valeurs extrêmes des données et la *médiane*.

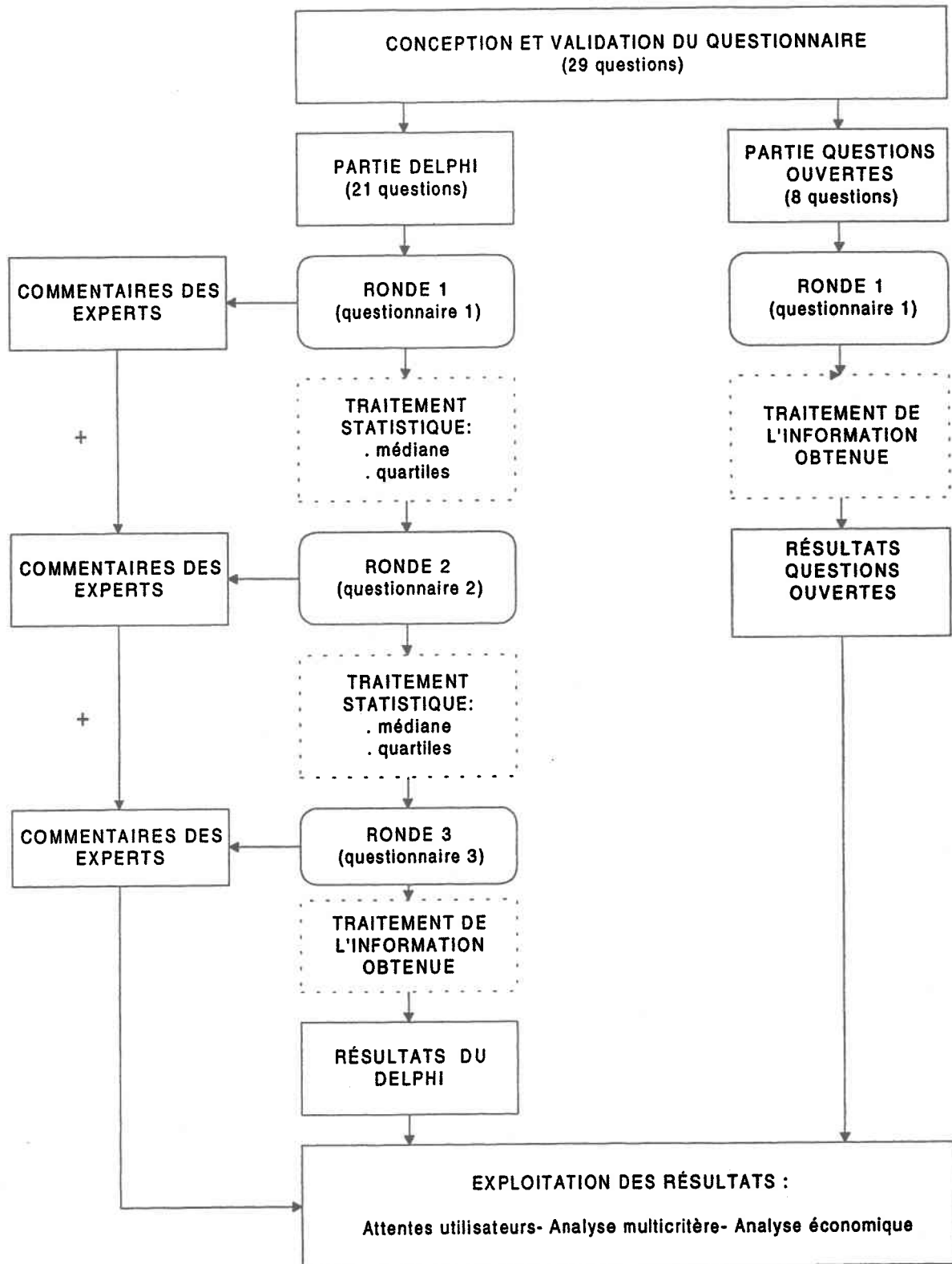
#### **4. Déroulement de l'enquête**

Le processus d'enquête s'est déroulé selon le plan suivant : 1) *la constitution du groupe d'experts*, 2) *l'élaboration du questionnaire*, 3) *la consultation des experts*, 4) *le dépouillement des questionnaires et l'analyse des résultats*.

Toute la démarche de l'enquête est résumée sur le schéma suivant :

---

<sup>3</sup>Quelquefois appelé "écart interquartile".



**Figure 2 : Déroulement de l'enquête**

#### **4.1. La constitution du groupe d'experts**

Nous voulions, au départ, limiter l'envoi des questionnaires aux *gestionnaires* de compagnies hydroélectriques de pays dans lesquels la neige constituait une partie des apports en eau. Par la suite, nous avons réalisé que ce choix restrictif nous privait de l'expertise d'autres personnes impliquées dans le suivi du couvert nival, même si celui-ci était effectué à d'autres fins que la production d'énergie. Nous avons donc ajouté à notre liste originale des spécialistes en télédétection (*téledétecteurs*) et en hydrologie (*hydrologues*). Tous les experts consultés ont cependant un point commun : une connaissance approfondie de la neige et de son importance au sein des prévisions hydrologiques.

Il fut cependant difficile d'établir des cloisonnements rigides entre ces trois catégories d'experts. Ainsi, nous avons considéré que toutes les personnes travaillant au sein des compagnies hydroélectriques pouvaient être assimilées à la première catégorie : celle des *gestionnaires*. Au sein de ces entreprises, certaines personnes peuvent occuper des fonctions d'hydrologues, d'autres d'hydrométéorologues. L'étiquette que nous leur avons attribuée vient essentiellement du fait que la préoccupation première de ces experts est d'effectuer un suivi hydrologique dans le but d'améliorer la production hydroélectrique. Les participants des deux autres catégories (*hydrologues* et *téledétecteurs*) se retrouvent, en grande partie, dans des organismes gouvernementaux ou des milieux universitaires. La répartition des experts par catégorie a été établie à partir de la *fiche de profil* présentée en début de questionnaire<sup>4</sup>. Chaque expert fut invité à inscrire sur cette fiche ses tâches principales au sein de son unité fonctionnelle. La classification a été établie selon les informations indiquées par l'expert lui-même et peut, éventuellement, comporter des erreurs d'interprétation lorsque ces informations s'avéraient insuffisantes.

Cette procédure a été établie pour réduire, sinon éliminer, les biais engendrés par de préoccupations et des objectifs différents des experts. Elle offre la possibilité de sérier les réponses dans l'éventualité de divergences majeures au niveau des réponses.

La sélection des experts consultés s'est effectuée de la manière suivante :

a) au niveau des gestionnaires d'entreprises hydroélectriques :

- personnes de la compagnie Hydro-Québec impliquées dans le suivi hydrologique ;
- pour les autres compagnies hydroélectriques : consultation du site Internet de BC-Hydro pour des adresses électroniques au Canada et à l'étranger.

b) au niveau des experts en hydrologie et télédétection :

- contacts personnels des professeur(e)s - chercheur(e)s de l'INRS-Eau;
- compte-rendus récents de conférences : *Eastern Snow Conference, Hydrology Workshop, International Geoscience and Remote Sensing Symposium*;

<sup>4</sup> Le questionnaire (version anglaise) figure en annexe

- publications diverses traitant de la télédétection de la neige;
- assistance personnelle des auteurs à des ateliers de travail (CRYSYS et PDDR) et des conférences (*Eastern Snow Conference*).

#### **4.2 Élaboration et répartition des envois du premier questionnaire**

La mise au point des questionnaires a été grandement facilitée par les apports de personnes-ressources travaillant à INRS-Eau. On y retrouve trois types de réponses possibles :

- évaluations sur une échelle de 0 à 10 (0 : faible; 10 : élevé) pour les questions de type DELPHI;
- choix de réponses et
- évaluations chiffrées pour l'expression de résultats *souhaitables* et *désirés* (la précision des mesures d'équivalent en eau, par exemple) pour la partie ouverte.

Le premier questionnaire comporte six (6) questions sur les critères économiques, dix-sept (17) questions sur les critères techniques, une (1) question sur l'aspect politique et cinq (5) questions sur la qualité attendue des résultats. Dans les questionnaires suivants (2 et 3), seules les 21 questions de type DELPHI sont maintenues.

Les critères économiques se rapportent aux incidences monétaires que peuvent avoir sur une organisation l'introduction et l'utilisation des technologies satellitaires et aéroportées de suivi du couvert nival. Nous avons retenu des critères techniques qui pourraient avoir un impact important sur la gestion des installations hydroélectriques. La question sur l'opinion politique offre l'opportunité à l'expert de donner son opinion sur l'origine du capteur. Enfin, le dernier bloc de questions permet de formuler des attentes sur la qualité attendue des résultats issus des technologies satellitaires et aéroportées de suivi du couvert nival.

Le questionnaire ainsi élaboré, accompagné d'une lettre de présentation signée par le directeur de l'INRS-Eau<sup>5</sup>, d'une description des méthodologies utilisées dans le projet (*DELPHI* et *Analyse multicritère*), a été envoyé par la poste ou remis directement aux experts.

Au total, 103 questionnaires, rédigés en français ou en anglais, ont été envoyés. La distribution géographique des envois est donnée dans le tableau 1 :

---

<sup>5</sup> Cette lettre est présentée en annexe

**Tableau 1 : Répartition géographique des premiers questionnaires envoyés**

<b>PAYS</b>	<b>NOMBRE D'EXPERTS CONSULTÉS</b>
Canada	47
États-Unis	20
Japon	6
Norvège	6
Suisse	6
Finlande	5
France	5
Italie	4
Autriche	1
Belgique	1
Nouvelle-Zélande	1
Royaume-Uni	1

Nous demandions, au début, un délai de réponse de dix (10) jours. Nous avons, par la suite, étendu cette période à un (1) mois pour tenir compte des délais postaux, des périodes de vacances, etc... Comme nous n'avions, au départ, qu'une connaissance sommaire de la plupart des experts consultés, nous avons introduit, au niveau du questionnaire, un artifice suggéré par Saint-Paul et Tenière-Buchot (1974). Chaque participant était tenu de « *s'autoévaluer* » vis à vis de chaque question ou groupe de questions en se plaçant dans l'une des quatre catégories suivantes : 1. *spécialiste* - 2. *très familier* - 3. *familier* - 4. *peu familier*. Il s'agit d'une disposition relevée dans d'autres processus d'enquête DELPHI et adaptée à nos propres besoins. Chaque niveau correspond aux critères suivants :



**Figure 3 : Description des niveaux de connaissance des experts**

<b>1) Spécialiste :</b>	Vous avez une connaissance approfondie du sujet abordé. Vous avez eu une participation majeure dans des projets d'importance portant sur le sujet.
<b>2) Très familier:</b>	Vous êtes très familier avec le sujet. Une partie de votre temps de travail a été consacrée au sujet au cours des 3 dernières années. Vous êtes familier avec les travaux faits sur ce sujet.
<b>3) Familier :</b>	Vous êtes familier avec le sujet. Vous êtes passablement bien informé sur le sujet grâce à vos lectures et conversations.
<b>4) Peu familier :</b>	Vous êtes peu familier avec le sujet et ne possédez qu'une connaissance générale en la matière.

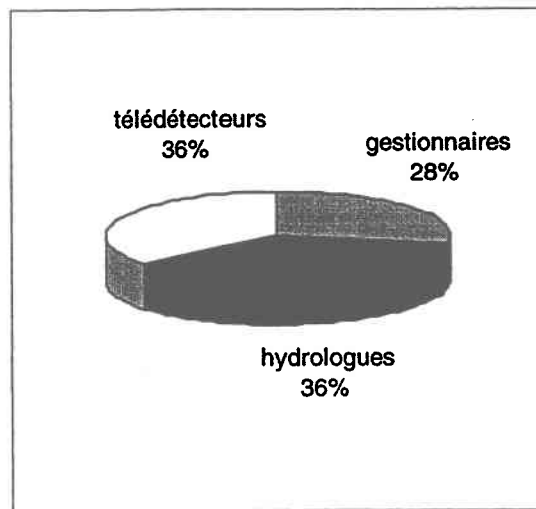
Cette disposition permet à la fois d'éliminer d'éventuelles réponses aberrantes et d'évaluer, au niveau de chaque question ou groupe de questions, le niveau de confiance que l'on peut accorder aux résultats obtenus.

#### **4.3. Répartition des experts ayant répondu au premier questionnaire :**

Sur les 103 questionnaires envoyés, 39 questionnaires dûment remplis ont été retournés (37.9 % des envois). Quelques questionnaires nous ont été renvoyés pour mauvaise adresse mais la majeure partie des questionnaires n'a pas été retournée malgré plusieurs tentatives de relance par courrier électronique et par télécopieur.

Parmi les 39 experts ayant répondu au premier questionnaire, 11 appartiennent à la catégorie *Gestionnaire* (28 %), 14 à la catégorie *Hydrologue* (36 %) et 14 à la catégorie *Téledétecteur* (36 %). La distribution est représentée sur la figure 4 :

**Figure 4 : Répartition des experts ayant répondu au premier questionnaire**



## **5. Analyse DELPHI**

### **5.1. Considérations générales :**

Les données des questionnaires DELPHI ont été traitées à l'aide du logiciel *Excel (version 5)*. Pour chaque réponse, nous avons calculé la médiane et l'espace interquartile.

Après avoir rappelé à chaque expert sa réponse et indiqué les résultats statistiques du questionnaire précédent, nous lui avons demandé s'il voulait, éventuellement, changer sa réponse afin de se rallier au « clan médian ». L'un des objectifs de DELPHI est de préciser la médiane tout en réduisant l'écart interquartile.<sup>6</sup> Dans le cas où l'expert désirait se maintenir en dehors de l'espace interquartile, nous lui demandons les raisons motivant une telle décision. L'exploitation des divergences d'opinion revêt une importance capitale et nous lui consacrerons d'ailleurs quelques lignes.

### **5.2 Durée de l'enquête DELPHI (nombre de rondes ou tours):**

Si le dépouillement des résultats des *questions ouvertes* (8 questions) a pris fin après la réception du premier questionnaire, seule la qualité des résultats de la partie DELPHI (21 questions) a permis de déterminer la durée du processus (nombre de rondes ou de tours).

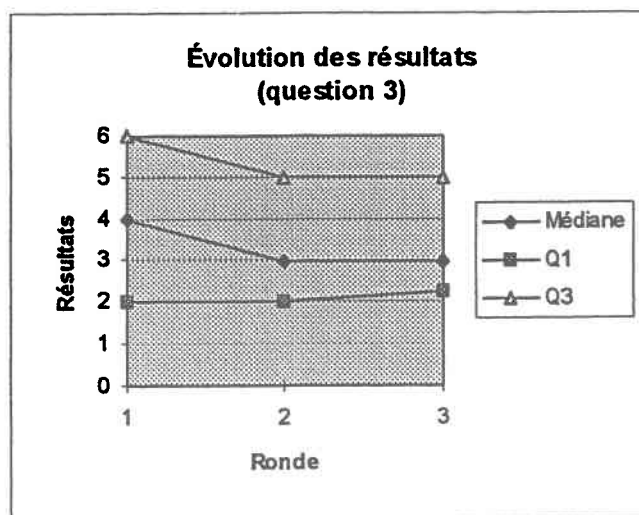
<sup>6</sup> Il s'agit de ce que Saint-Paul et Tenière-Buchot (1974) appellent la « cristallisation des opinions ».

**Tableau 2 : Évolution des médianes**

Question	Ronde 1	Ronde 2	Ronde 3
1.1	8	8	8
1.2	8	8	8
1.4	8	8	8
2.1	8	8	8
2.3	8	8	8
2.4	8	8	8
2.5	5	5	5
2.6	8	8	8
2.7	9	9	9
2.8	8	8	8
2.9.1	8	8	8
2.9.2	7	7	7
2.9.3	10	10	10
2.11.1	8	8	8
2.11.2	7	8	8
2.12	8	8	8
2.13	8	8	8
3	4	3	3
4.2.1	8	8	8
4.2.2	8	8	8
4.3	8	8	8

Nous avons donc examiné attentivement la tendance des médianes et des espaces interquartiles. Dans la plupart des cas, les médianes n'ont pas varié au cours des trois rondes. Pour quelques questions, la « cristallisation » des opinions a été obtenue à la troisième ronde. Dans tous les cas, nous avons constaté une réduction de l'espace interquartile. La figure 5 illustre, pour une question spécifique, prise comme exemple, les deux phénomènes typiques aux résultats d'un DELPHI : la précision de la médiane et la réduction de l'espace interquartile.

**Figure 5**



Les résultats obtenus nous ont permis d'arrêter le processus d'enquête après la troisième ronde. Lors d'une précédente enquête, nous avons déjà constaté que le fait de poursuivre l'exercice après trois rondes n'apportait que peu de gains. Dans la littérature, plusieurs auteurs confirment une telle affirmation (Gordon et Helmer, 1964; Borich, 1974).

### **5.3 Taux de participation à l'enquête DELPHI :**

**Tableau 3 : Taux de participation à l'enquête**

Ronde	Questionnaires envoyés (nombre)	Questionnaires reçus (nombre)	Taux de participation (%)
1	103	39	37.9
2	39	31	79.5
3	31	26	83.9

Le taux de participation peut sembler faible au premier tour (37.9 % : 39 personnes sur 103). Il faut cependant tenir compte du fait que nous avons prévu une distribution très large pour

le premier questionnaire et ce, pour deux raisons. Nous nous attendions, d'une part, à ce que certains questionnaires ne rejoignent pas les personnes visées et, d'autre part, à ce que plusieurs personnes refusent tout simplement de répondre. Nous devons cependant nous réjouir de l'intérêt manifesté par plusieurs experts qui sont restés fidèles jusqu'à la fin de l'enquête. Après le second tour, les taux de participation furent des plus encourageants (respectivement 79.5 et 83.9 %).

Le taux de participation à cette enquête est à l'image d'autres processus du même type. Par exemple, nous avons comparé les taux de participation à notre enquête à ceux d'une enquête DELPHI menée en 1976 sur l'avenir du port de Montréal. Dans cette dernière, sur 46 questionnaires envoyés au premier tour, 19 personnes ont retourné le questionnaire dûment rempli, 7 personnes ont indiqué qu'elles ne répondraient pas et 20 n'ont pas répondu du tout (participation : 41.3 %). Au second tour, des questionnaires ont été envoyés aux 19 personnes ayant répondu au premier tour et aux 20 personnes n'ayant pas répondu. Sur les 39 personnes contactées, seulement 14 ont retourné le questionnaire (36 %).

## **6. Interprétation des résultats**

### **6.1 Niveaux de connaissance**

Afin d'alléger le texte, nous ne présenterons pas en détail les niveaux de connaissance et les résultats statistiques associés à chaque question dans cette partie. Nous rappellerons cependant que nous avons introduit le processus « d'autoévaluation » pour éliminer, d'une part, d'éventuelles réponses aberrantes et, d'autre part, pour évaluer le niveau de confiance que l'on pouvait accorder à chaque réponse ou groupe de réponses.

A deux exceptions près, les experts se sont déclarés au moins « *familiers* » avec le sujet traité. Au niveau du *prix des images*, les experts, dans une proportion de 41 %, ont avoué être « *peu familiers* » avec le sujet. Trois explications semblent plausibles : 1) l'organisme auquel sont attachés les experts n'achète pas d'images, 2) l'organisme achète des images mais l'expert n'est pas impliqué dans l'achat des images, 3) l'expert appartient à un organisme qui bénéficie d'images gratuites ou à prix modique, en raisons d'ententes spéciales. En ce qui concerne la *précision de l'équivalent en eau*, nous fûmes confrontés avec une distribution bimodale puisque les experts, dans des proportions respectives de 26 % et de 31 % se sont déclarés « *spécialistes* » ou « *très familiers* » avec le sujet tandis que 13 % des personnes consultées se sont déclarées « *familières* » avec le sujet. La proportion des personnes « *peu familières* » avec le sujet est de 28 %. Selon toute vraisemblance, certains experts, moins confrontés avec cette réalité, ont pu se montrer embarrassés par une telle question.

**Tableau 4 : Niveaux de connaissance  
(question 4.4)**

Niveaux de connaissance	Nombre de réponses
Spécialiste	26% (10)
Très familier	31% (12)
Familier	13% (5)
Peu familier	28% (11)
Sans réponse	2% (1)

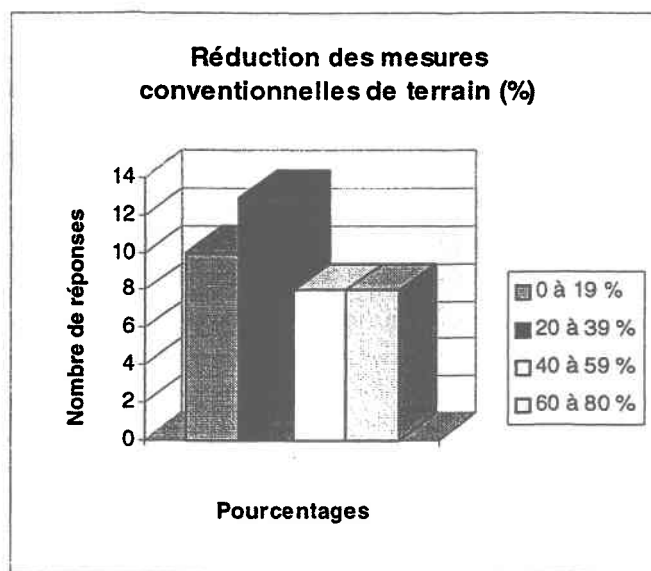
## **6.2 Considérations générales**

Nous commencerons donc l'interprétation des résultats par des informations sur ce que les experts pensent de l'utilisation de la *téledétection* dans le domaine de l'*hydrologie* et de ses rapports éventuels avec la *gestion des installations hydroélectriques*.

Tout d'abord, les experts consultés pensent que l'introduction de technologies satellitaires est en mesure d'apporter une *amélioration significative au niveau de la gestion des installations hydroélectriques* (2.13; note 8 sur 10; DELPHI). Ils affirment également que *l'introduction de technologies satellitaires devrait permettre d'accélérer l'émission de prévisions hydrologiques* (4.3; note 8 sur 10; DELPHI).

Afin de préciser l'apport que pourrait avoir l'introduction des technologies satellitaires dans la gestion des installations hydroélectriques, nous avons demandé aux experts *dans quelles proportions ces technologies pourraient réduire l'utilisation des mesures conventionnelles de terrain* (4.1). Cette question, basée sur un modèle de choix de réponses, offrait les options suivantes a) de 0 à 19 %, b) de 20 à 39 %, c) de 40 à 59 %, d) de 60 à 80 %. La distribution des réponses est représentée sur la figure 6 :

Figure 6



33 % des participants (13 personnes) pensent que le pourcentage de réduction des mesures conventionnelles devrait se situer entre 20 et 39 %.

Nous avons demandé aux experts de situer l'importance de l'efficacité attendue (2.3) des nouvelles technologies satellitaires, c'est-à-dire du gain de temps qu'ils espéraient réaliser depuis l'acquisition des données jusqu'à la production de résultats exploitables pour les prévisions hydrologiques. Il s'agit d'un critère important puisqu'une note 8 sur 10 lui fut accordée au terme du DELPHI.

Les experts consultés pensent également que l'intégration de technologies satellitaires de suivi du couvert nival et de mesures conventionnelles de terrain devrait permettre une amélioration significative de la précision de l'estimation de l'équivalent en eau de la neige (4.2.1; note de 8 sur 10; DELPHI) et du suivi de la période de fonte (4.2.2; note accordée 8 sur 10; DELPHI).

L'utilisation de technologies nouvelles s'accompagne normalement de l'acquisition de nouvelles connaissances (2.4), la plupart du temps gratifiantes pour l'utilisateur. L'opinion des experts sur cette question (note 8 sur 10; DELPHI) confirme notre hypothèse.

Le gain en prestige (2.5), que nous avons défini comme l'importance accordée au fait que l'utilisation d'une technologie pourrait éventuellement permettre aux détenteurs de la technologie de se démarquer par rapport à leurs concurrents, représente cependant, aux yeux des experts, un critère de moindre importance puisqu'une note de 5 sur 10 lui fut accordée au terme du processus DELPHI.

La simplicité d'utilisation (2.6) d'une nouvelle technologie revêt une grande importance aux yeux des experts (note 8 sur 10.)

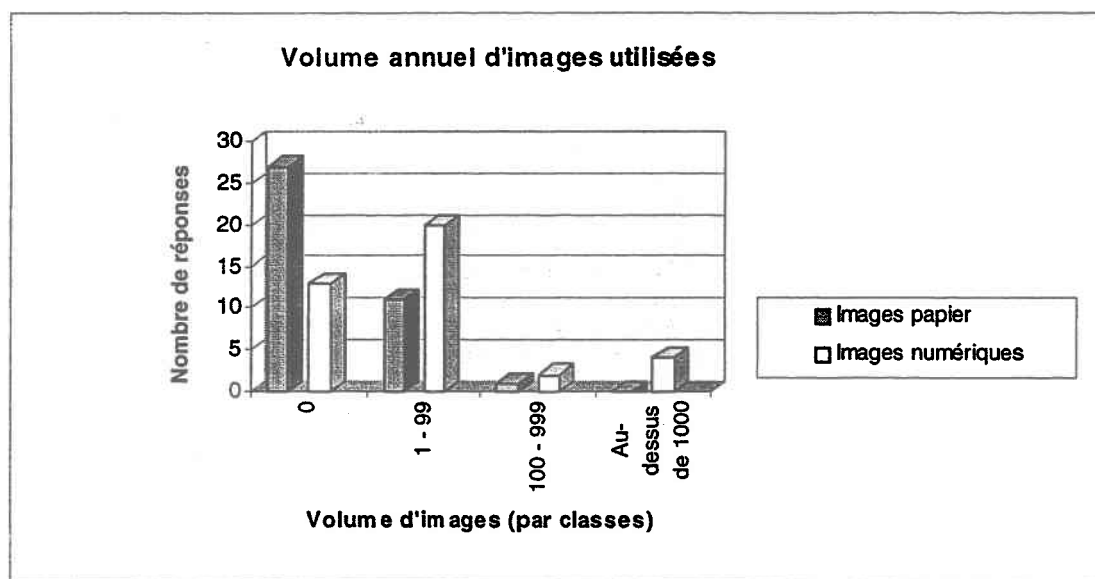
Nous estimions que ces questions, dans bien des cas, débordaient du cadre normal des activités des experts et abordaient une certaine vision du futur de leur part. Elles se prêtaient donc fort bien à ce genre d'analyse.

### 6.3 Critères économiques

Pour débiter cette seconde partie, une question très générale (ouverte) nous a permis de connaître les *habitudes de consommation (I.3)* des experts consultés au niveau de l'utilisation d'images papier et d'images numériques. Nous leur demandions simplement de nous fournir des données sur leur utilisation annuelle d'images.

En fonction des résultats obtenus, nous avons regroupé les données par classes (0 : aucune, 1 à 99, 100 à 999, au-dessus de 1000) et représenté graphiquement ces résultats :

Figure 7



Sur les 39 personnes ayant répondu au premier questionnaire, 27 rapportent qu'elles n'ont pas utilisé d'images papier au cours de la dernière année tandis que ce nombre est de 13 pour les images numériques durant la même période. Une vingtaine d'experts utilise moins de 100 images numériques par année. Ce nombre tombe à 11 pour les images papier.

Comme en témoigne le graphique, le nombre de participants à l'enquête utilisant plus de 100 images par année est restreint (un (1) pour les images papier et deux (2) pour les images numériques). L'enquête révèle que, parmi le groupe d'experts consultés, l'utilisation annuelle maximale est de 250 images papier et de 3000 images numériques. Seulement deux (2) experts



indiquent qu'ils utilisent un volume annuel de 1000 images, un (1) expert 2000 images et enfin un (1) expert 3000 images, toutes *numériques*.

Dans le contexte de l'étude, nous nous intéressons aux incidences monétaires que pouvait avoir sur une organisation l'introduction et l'utilisation des technologies satellitaires de suivi du couvert nival. Dans le questionnaire, nous avons fait la distinction entre les *coûts d'implantation (1.1)* liés à l'introduction d'une nouvelle technologie et les *coûts d'opération (1.2)* pouvant être occasionnés par l'utilisation de cette nouvelle technologie. Les *coûts d'implantation* peuvent inclure l'achat ou la location d'équipement spécialisé pour la réception ou le traitement d'images, la formation du personnel, etc. Les *coûts d'opération* font référence à l'achat d'images brutes, aux coûts de main d'oeuvre pour le traitement de l'information ainsi qu'aux coûts de fonctionnement et d'entretien de l'équipement.

*La majorité des personnes consultées, quel que soit le pays où elles habitent ou le milieu de travail qu'elles fréquentent, sont à la fois sensibles aux coûts associés à l'implantation et à l'opération d'une nouvelle technologie, puisque la note obtenue par le biais du DELPHI, pour ces deux questions, se situe à 8 (sur une échelle de 0 à 10).*

Nous avons inséré une question sur la sensibilité des experts au *prix des images brutes (1.4)*, tel que fixé par les agences de distribution. Les experts se sont déclarés sensibles au prix des images (note 8 sur 10; DELPHI). Cette information sera utilisée pour attribuer une pondération à ce critère qui sera utilisé dans l'analyse multicritère des capteurs

En supposant que deux capteurs satellitaires fournissent sensiblement la même information, nous avons demandé aux experts s'ils seraient *indifférents (1.5.1)* entre l'un ou l'autre de ces capteurs si la différence entre le prix des images était de : a) 1\$ / 100 km<sup>2</sup> b) 2 \$ / 100 km<sup>2</sup> ou 3 \$ / 100 km<sup>2</sup> (choix de réponses).

*56 % des experts (22 experts) ont opté pour le premier choix soit 1 \$ / 100 km<sup>2</sup>.*

En maintenant la même supposition, nous demandions également aux experts s'ils exprimeraient une *préférence marquée (1.5.2)* pour les capteurs dont les images seraient les moins chères si la différence de prix entre les images des deux capteurs se situait entre les valeurs suivantes a) 10 à 19\$ / 100 km<sup>2</sup> ,b) 20 à 29 \$ / 10 km<sup>2</sup> ou c)30 à 39 \$ / 100 km<sup>2</sup> (choix de réponses).

*72 % des experts (28) ont opté pour la première réponse soit 10 à 19 \$ / 100 km<sup>2</sup>.*

Ces deux questions peuvent sembler « nébuleuses » au premier abord mais les réponses fournies par les experts sont d'une importance majeure pour fixer les *seuils de préférence* et *d'indifférence* pour le critère « *prix des images* » dans l'analyse multicritère. Étant donné qu'il ne nous fallait qu'une seule réponse pour chacune des questions *1.5.1* et *1.5.2*, nous nous sommes conformés à l'opinion de la majorité. Même si nous avons introduit des intervalles dans la seconde question, seule la borne inférieure de l'intervalle nous intéressait (l'utilisation de cet artifice ne servant qu'à une meilleure compréhension de la question posée). Nous avons retenu 1

\$ / 100 km<sup>2</sup> de surface balayée comme *seuil d'indifférence* et 10 \$ / 100 km<sup>2</sup> de surface balayée comme *seuil de préférence stricte*.

#### **6.4 Critères techniques et politique**

Une première question nous a permis de connaître l'importance, pour les experts consultés, de la *fréquence d'acquisition des informations satellitaires (2.1)*. Pour mesurer cette importance, nous avons utilisé le processus DELPHI. Les réponses, dans les trois rondes de questionnaire se sont situées au niveau 8 (sur l'échelle de 0 à 10). Ce chiffre sera utilisé ultérieurement pour pondérer le critère *fréquence d'acquisition des informations* dans l'analyse multicritère destinée à classer les capteurs.

La fréquence d'acquisition de l'information est liée à la *répétitivité* du capteur, c'est-à-dire la différence entre deux passages successifs de ce capteur au-dessus du même point du globe. En supposant que deux capteurs fournissent la même information, nous avons demandé aux experts s'ils seraient *indifférents (2.2.1)* entre l'un ou l'autre capteur si la différence entre les répétitivités de ces capteurs était de a) 1 jour b) 3 jours c) 15 jours d) 30 jours (choix de réponses).

*51 % des répondants ont choisi une différence de 3 jours.*

En maintenant la même supposition, nous avons ensuite demandé à nos experts d'exprimer une *préférence (2.2.2)* pour le capteur dont la répétitivité était la plus élevée (fréquence de passage la plus rapprochée) si la différence des répétitivités entre ces deux capteurs se situait entre les valeurs suivantes : a) 10 et 19 jours b) 20 et 29 jours c) 30 et 39 jours (choix de réponses).

*95 % des répondants ont choisi une différence comprise entre 10 et 19 jours.*

Ces deux informations seront récupérées, par la suite, pour fixer les seuils d'indifférence et de préférence dans l'analyse multicritère pour le critère *fréquence de passage des capteurs* (fréquence d'acquisition des informations). Comme dans le cas des questions portant sur le prix des images, nous nous sommes conformés à l'opinion de la majorité et, lorsque le choix de réponses comportaient un intervalle (2.2.2), nous n'avons conservé que la borne inférieure de l'intervalle. Nous avons retenu *3 jours* comme *seuil d'indifférence* et *10 jours* comme *seuil de préférence stricte*.

Dans l'analyse multicritère, nous tiendrons compte de la *situation opérationnelle (2.7)* de chacune des technologies satellitaires. En effet, les capteurs retenus dans l'étude se situent à des niveaux opérationnels différents : certains sont en orbite depuis plusieurs années, d'autres viennent d'être lancés. Il faut également prendre en considération certains capteurs dont le lancement est prévu dans quelques années mais dont le potentiel de suivi du couvert nival semble d'ores et déjà prometteur. Nous avons demandé aux experts de formuler, par le biais du DELPHI, leur opinion sur l'importance de la situation opérationnelle de la technologie afin de

fixer une pondération à ce critère. Pour les experts consultés, il s'agit effectivement d'un critère très important puisqu'une note de 9 sur 10 lui a été attribuée.

Plusieurs technologies satellitaires et aéroportées s'inscrivent dans des plans de développement à long terme, c'est-à-dire qu'il existe une continuité dans les programmes spatiaux (ex Spot, Landsat). Une question avait donc été élaborée pour situer, aux yeux des experts, l'importance que l'on devait accorder à la *longévité du programme (2.8)* dans lequel s'inscrivait la (les) technologie(s) utilisée actuellement ou à utiliser dans le futur. La réponse, obtenue par le DELPHI, plaide en faveur de l'importance du critère puisque les experts lui ont accordée une note de 8 sur 10. Cette information sera utilisée ultérieurement pour l'analyse multicritère.

Par *polyvalence (2.11)*, nous entendons capacité de la technologie satellitaire de fournir simultanément plusieurs informations. Dans le contexte de l'étude, nous avons considéré que cette polyvalence pouvait s'exercer à deux niveaux :

1. La possibilité de fournir, simultanément, *plusieurs mesures de suivi du couvert nival (2.11.1)*;
2. La possibilité de fournir *d'autres mesures que celles du couvert nival (2.11.2)* comme l'humidité du sol, par exemple.

Il s'agit d'un critère important, puisque dans les deux cas (ces deux possibilités faisant l'objet de questions séparées), les notes accordées par les experts furent de 8 sur 10. Ces deux informations seront utilisées ultérieurement pour classer les capteurs par l'analyse multicritère.

Dans un premier temps, nous nous sommes attachés aux *principales mesures de suivi du couvert nival (2.9)* soit *l'étendue du couvert nival (la présence ou non de neige), la distribution spatiale de la neige humide et la distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige*. L'enquête nous a permis de connaître l'importance relative que les experts accordaient à ces mesures. La *distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige* arrive en tête de liste avec un pointage de 10 sur 10 suivie de *l'étendue du couvert nival* (8 sur 10) et de la *distribution spatiale de la neige humide* (7 sur 10). Ces évaluations relatives seront prises en considération dans l'analyse multicritère.

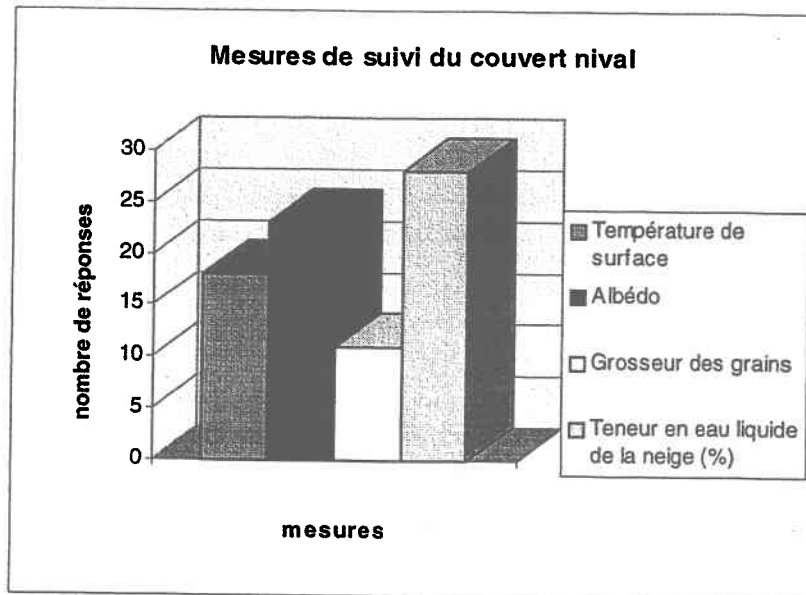
Nous avons, en second lieu, introduit une question dans laquelle nous demandions aux experts s'ils souhaitaient que la technologie leur permette *d'autres caractéristiques du couvert de neige* que les trois caractéristiques mentionnées précédemment. Trente-cinq (35) experts sur trente-neuf (39) souhaitaient cette possibilité. Nous avons alors suggéré les mesures suivantes : *la température de surface, l'albédo, la grosseur des grains et la teneur en eau liquide de la neige (en pourcentage)* et obtenu la répartition suivante :

**Tableau 5 : Autres mesures de suivi du couvert nival**

Mesure	Répartition Nombre de réponses (pourcentages)
Teneur en eau liquide de la neige	28 (80 %)
Albédo	23 (66%)
Température de surface	18 (35%)
Grosseur des grains	11 (31%)

Cette répartition est illustrée sur la figure suivante :

Figure 8



La plupart des bassins hydrographiques associés à des installations hydroélectriques (réservoirs et centrales) couvrent un territoire important. Nous avons introduit une question qui avait un rapport direct avec la résolution d'un capteur puisque nous demandions aux experts d'évaluer la *capacité d'un capteur de recueillir des données sur une grande étendue avec un minimum d'images (2.12)*. Il s'agit d'un critère important puisque l'évaluation donnée par les experts, au terme d'un processus DELPHI, se situe au niveau 8 (sur une échelle de 0 à 10). Cette information sera utilisée lors de l'analyse multicritère.

### **6.5 Aspect politique (question 3):**

Nous considérons, *a priori*, qu'il était difficile d'ignorer *l'origine d'un capteur* lorsque des contributions financières d'états ou de provinces pour des projets d'envergure étaient en jeu ou lorsque des programmes de coopération technique entre pays étaient impliqués dans les choix technologiques. Afin de connaître l'importance accordée par les différents experts à l'origine du capteur, c'est-à-dire au pays concepteur, nous avons introduit une question spécifique dans la partie DELPHI du questionnaire. Même s'il s'agit de la note la plus basse accordée par les experts à un critère (3 sur 10), nous utiliserons cependant cette information au niveau de l'analyse multicritère. Cette note a pour effet de diminuer la pondération attribuée au critère (pondération de 5% comparée à une pondération de 13 % pour le *prix des images*)

## 6.6 Précision requise pour l'équivalent en eau

Nous avons demandé aux experts de chiffrer, par le biais d'une question ouverte, la *précision souhaitable et satisfaisante sur la mesure de l'équivalent en eau de la neige (4.4)*, en mm.

A un niveau global, nous avons obtenu une plage de réponses très étendue. Pour la *précision souhaitable*, les réponses varient entre +/- 0.5 mm à +/- 30 mm (moyenne = 10.5; écart-type = 8.1) tandis que, pour la *précision satisfaisante*, la plage s'étend de +/- 2 mm à +/- 80 mm (moyenne = 22.6; écart-type = 18.5).

Dans un premier temps, nous avons réparti les résultats selon les trois catégories professionnelles (*gestionnaires, hydrologues et télédéTECTEURS*) et calculé les moyennes et les écart-types<sup>7</sup> pour chaque catégorie (tableau 6).

**Tableau 6 : Précision sur la mesure de l'équivalent en eau de la neige : moyennes (écart-types) des résultats obtenus, par catégorie professionnelle**

Catégorie professionnelle	Réponses fournies (pourcentages)	Précision désirée +/- mm (écart-type)	Précision satisfaisante +/- mm (écart-type)
Gestionnaires	8 / 11 (73 %)	7 (5)	14 (10)
Hydrologues	14 / 14 (100 %)	10 (7)	19 (15)
TélédéTECTEURS	10 / 14 (71 %)	14 (10)	33 (24)

Comme l'indique le tableau 6, il manque plusieurs données au niveau des catégories *Gestionnaires* et *TélédéTECTEURS* alors que tous les participants de la catégorie *Hydrologues* ont fourni des réponses. Il est indéniable que *les exigences en matière de précision varient selon l'appartenance professionnelle des participants*. La dispersion des résultats (donné par l'écart-type) nous a cependant incité à éliminer les réponses fournies par les personnes qui se considéraient *peu familières* avec le sujet. Dans la catégorie *Gestionnaires*, la plupart des participants *peu familiers* avec la précision de l'équivalent en eau (4) n'ont pas avancé de

<sup>7</sup> Écart-type d'échantillon

et nous n'avons retranché que 3 réponses. Dans la catégorie *Hydrologues*, nous avons ôté 2 réponses et, dans la catégorie *TélédéTECTEURS*, aucune puisque tous ceux qui se considéraient *peu familiers* (4) n'avaient pas fourni de chiffres.

**Tableau 7 : Précision sur la mesure de l'équivalent en eau de la neige : moyennes (écarts-types) des résultats obtenus, par catégorie professionnelle après avoir retranché les données des personnes peu familières avec le sujet**

Catégorie professionnelle	Réponses fournies (pourcentages)	Précision désirée +/- mm (écart-type)	Précision satisfaisante +/- mm (écart-type)
Gestionnaires	3 / 11 (27 %)	5 (4)	10 (7)
Hydrologues	12 / 14 (86 %)	10 (8)	20 (15)
TélédéTECTEURS	10 / 14 (71 %)	14 (10)	33 (24)

L'utilisation de cet artifice, suggéré par Saint-Paul et Tenière-Buchot (1974), a eu pour effet de réduire la dispersion des résultats dans les deux premières catégories, les résultats restant inchangés pour la troisième.

La diversité des résultats est conforme à ce que nous pouvions attendre d'une telle question. En premier lieu, les *Gestionnaires* sont les plus exigeants au niveau de la précision de l'équivalent en eau. En effet, si l'on suppose un couvert de neige dont l'équivalent en eau est de 200 mm, la précision relative désirée est de 2.5 %. Les *Hydrologues* ont probablement une idée plus réaliste de ce que l'on peut attendre en utilisant la télédétection satellitaire pour le suivi du couvert nival. La précision relative désirée est de 5 % tandis que la précision relative souhaitée est de 10 %. Au niveau des *TélédéTECTEURS*, les résultats obtenus sont sans doute corrélés avec leurs expériences individuelles, ce qui explique des précisions moins élevées mais également une plus grande dispersion des résultats (3 à 30 %).

## **7. Commentaires des participants**

Nous avons demandé aux experts consultés, à chaque ronde du processus DELPHI, de formuler des commentaires lorsqu'ils étaient en désaccord avec l'opinion du groupe ou même, simplement, lorsqu'ils les jugeaient nécessaires. La plupart des commentaires ont été émis lors des deux dernières rondes. Il s'avère que ces commentaires ont servi à justifier ou à préciser une réponse ou même, dans certains cas, à apporter une nuance à la formulation brute de la question. Nous n'avons cependant conservé que ceux qui nous paraissaient le plus pertinents.

### **7.1 Coûts associés à l'implantation (1.1) et à l'opération (1.2) d'une nouvelle technologie**

La plupart des experts se sont déclarés sensibles à l'importance des coûts associés à l'implantation et à l'opération d'une nouvelle technologie. Cependant, plusieurs personnes ont déclaré que l'espérance de bénéfices à long terme primait sur ces coûts. Certains experts ont mis en rapport le contexte organisationnel et les coûts. Ainsi, pour des organismes de recherche qui dépendent d'un financement externe, les coûts d'implantation et d'opération représentent un facteur important à considérer avant d'entreprendre un projet. Ce jugement nous fait saisir toute l'importance d'effectuer une analyse coûts/bénéfices lorsqu'on décide d'introduire une nouvelle technologie dans une organisation. Certaines personnes mentionnent également que les coûts d'opération doivent être envisagés sur un horizon temporel, ce qui signifie que les coûts sont susceptibles de diminuer avec l'expérience acquise dans le domaine.

Il est évident que les coûts d'implantation et d'opération représentent des freins à la diffusion des technologies satellitaires mais qu'il existe des moyens d'atténuer ces freins comme en témoigne l'opinion des experts.

### **7.2 Le prix des images (1.4)**

En premier lieu, plusieurs personnes insistent sur le fait que le prix élevé de certaines images limite, à l'heure actuelle, l'utilisation de la télédétection.

Si la plupart des personnes consultées sont sensibles au prix des images brutes, un des experts nous fait remarquer que le coût des images est relativement faible si on le compare aux coûts d'analyse, de développement et de distribution du produit fini. Plusieurs experts se sont déclarés insensibles au niveau du prix des images puisqu'ils transféraient cette dépense à leurs clients.



### **7.3 Fréquence d'acquisition des informations (2.1)**

Plusieurs experts nous ont fait remarquer, à juste titre, que la fréquence d'acquisition des informations (la répétitivité du capteur) est directement corrélée avec l'information désirée. Ainsi, pour la plupart des personnes qui appartiennent à des compagnies hydroélectriques, cette fréquence est moins cruciale lorsqu'il s'agit d'obtenir des informations autres que celles concernant le suivi du processus de fonte.

Un expert mentionne qu'il est suffisant d'obtenir des informations une fois par semaine. Une autre personne mentionne que l'essentiel est d'avoir des mesures à deux semaines d'intervalle mais que la présence d'un couvert nuageux au moment désiré pourrait impliquer une plus grande fréquence d'acquisition.

### **7.4 Gain de temps (2.3)**

Cette question se rapportait à l'efficacité attendue d'une nouvelle technologie, c'est-à-dire au temps économisé depuis l'acquisition des données jusqu'à la production de résultats. Un expert indique que, dans le cas de technologies satellitaires, la préparation des données est une étape qui consomme beaucoup de temps. Plusieurs personnes mentionnent que, pour des fins opérationnelles, il est important de fonctionner en temps réel, sinon quasi réel. Enfin, un expert nous fait remarquer que la qualité des estimations est beaucoup plus importante que le gain de temps que l'on espère réaliser en utilisant des technologies satellitaires.

### **7.5 Gain en prestige (2.5)**

Il s'agit d'un bon exemple de question mal formulée. Aussi, un expert canadien préfère parler d'avantage sur les concurrents plutôt que de prestige. Selon lui, un tel avantage, qui découle d'une avance technologique, peut se traduire, en bout de ligne, par la production de meilleurs résultats. Pour un autre expert, l'importance d'une nouvelle technologie se situe surtout au niveau de la qualité des données obtenues et non à celui du prestige.

### **7.6 Importance de la simplicité d'utilisation d'une nouvelle technologie (2.6)**

Une technologie compliquée à utiliser entraîne, selon un expert, des coûts supplémentaires à assumer. Une personne mentionne que si l'on veut qu'une nouvelle technologie soit bien utilisée, il faut qu'elle soit conviviale. Pour terminer, un expert insiste sur le fait que, dans un contexte d'exploitation, une technologie compliquée à utiliser coûte cher à implanter, à maintenir et qu'elle peut éventuellement conduire, à la longue, à un désintérêt total de la part des utilisateurs.

### **7.7 Situation opérationnelle du capteur (2.7)**

Un expert mentionne qu'il faut d'abord compter sur ce qui existe mais, en même temps, qu'il est nécessaire de se préparer à utiliser de futurs capteurs au potentiel prometteur. Cependant, aux yeux de certains experts, la situation opérationnelle du capteur est capitale au moment de l'implantation d'un système.

### **7.8 Importance de la longévité du programme dans lequel s'inscrit la technologie (2.8)**

Un expert nous fait remarquer qu'il faut un certain temps à une organisation pour s'adapter à une nouvelle technologie et pour l'utiliser de manière efficace. Si la technologie s'inscrit dans un plan de développement à long terme, les pertes de temps subséquentes seront minimisées lorsqu'il s'agira de s'adapter à la seconde ou la troisième génération de capteurs d'une même famille (ex : SPOT). Ce commentaire est vraiment intéressant, car il relance le débat sur la nécessité de mise en service de RADARSAT II.

### **7.9 Importance accordée à certaines mesures du couvert nival (2.9)**

Nous avons demandé aux experts de quantifier l'importance des mesures suivantes : *étendue du couvert nival (note : 8 sur 10), distribution spatiale de la neige humide (note : 7 sur 10), distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige (note : 10 sur 10).*

Nous avons recueilli un certain nombre de commentaires intéressants au sujet de la *distribution spatiale de la neige humide*. Un des experts mentionne que, pour les modèles de fonte, cette mesure est importante. Un autre indique que le fait de connaître la limite entre les zones de neige sèche et de neige humide est l'un des éléments clés pour l'établissement de prévisions fiables sur le processus de fonte. Un de nos correspondants finlandais nous fait remarquer qu'il s'agit du « hottest subject in microwave sensing of snow »<sup>8</sup>.

### **7.10 Capacité du satellite de fournir d'autres informations que celles du suivi du couvert nival (2.11.2).**

Les résultats de l'enquête nous ont montré que plusieurs experts souhaitaient avoir une mesure de l'humidité du sol. L'assistance récente de l'auteur à un atelier sur l'utilisation de la télédétection en hydrologie confirme d'ailleurs cet intérêt puisque ce sujet a fait l'objet de nombreuses présentations. Un de nos correspondants norvégiens fait cependant montre d'un certain pessimisme au sujet de la mesure de l'humidité du sol par télédétection. Selon lui, jusqu'à ce jour, les capteurs se sont montrés peu efficaces pour ce genre de mesure dans des zones boisées ou hétérogènes. Un autre expert souhaite que les capteurs lui fournissent des données additionnelles sur la végétation et la température de surface. Ces mesures complémentaires

<sup>8</sup> Pour conserver le sens profond de cette réflexion, nous avons préféré ne pas la traduire

permettraient de mieux interpréter les données sur le couvert de neige. Un des experts norvégiens nous fait remarquer que les mesures souhaitables seraient l'humidité du sol et l'état de la végétation mais que ces mesures sont difficiles à obtenir dans des zones non agricoles (les zones agricoles représentent moins de 5 % du territoire norvégien). Enfin, un expert canadien souhaite que les capteurs puissent fournir des informations sur la végétation, notamment pour des estimations éventuelles de l'évapotranspiration.

### **7.11 Capacité d'un capteur de balayer un grand territoire (2.12)**

Plusieurs experts canadiens souhaitent que les capteurs utilisés soient capables, selon l'application, de couvrir les grands bassins versants de ce pays. Un expert nous fait cependant remarquer que la superficie balayée est à mettre en relation avec la résolution spatiale et la perte d'information résultant de la diminution de cette résolution spatiale. Il s'agit donc de trouver un optimum à ce niveau.

### **7.12 Les technologies satellitaires et l'amélioration de la gestion des réservoirs hydroélectriques (2.13)**

La plupart des experts se sont montrés convaincus que les technologies satellitaires peuvent contribuer à l'amélioration de la gestion des réservoirs hydroélectriques. Cependant, plusieurs personnes appartenant à des entreprises productrices d'électricité se sont montrées nuancées à ce propos. Elles nous font remarquer que, s'il y a amélioration, celle-ci ne sera pas forcément significative. De plus, selon certains gestionnaires, l'avènement des technologies satellitaires ne saurait changer le mode de gestion ou de fonctionnement de leur entreprise.

### **7.13 Origine du capteur (3)**

Pour la plupart des experts consultés, l'origine du capteur est d'une importance secondaire et cette question n'a pas suscité beaucoup de commentaires. Un expert a cependant profité de l'opportunité qui lui était offerte pour nous faire remarquer, d'une part, que le développement de RADARSAT avait grandement influencé la recherche sur le radar au Canada et, d'autre part, qu'il existait des programmes de financement et d'aide pour les utilisateurs canadiens via l'Agence spatiale canadienne. Enfin, un de nos correspondants canadiens a souligné le fait que l'utilisation technologies locales (nationales) faisait partie des objectifs de sa compagnie.

### **7.14 Amélioration de l'estimation de l'équivalent en eau par l'intégration de technologies satellitaires et de mesures conventionnelles de terrain (4.2.1)**

Un expert norvégien nous fait remarquer que les micro-ondes passives pourraient être d'une grande utilité pour la mesure de l'équivalent en eau de la neige si la résolution des capteurs était meilleure (plus élevée). Pour justifier la note élevée attribuée à cette question, un expert américain nous indique qu'il a déjà fait la démonstration d'une telle amélioration dans son milieu de travail.

### **7.15 Technologies satellitaires et accélération de l'émission de prévisions hydrologiques (4.3)**

Un expert américain mentionne que les sources non traditionnelles de données n'ont jamais accéléré le processus d'émission des prévisions hydrologiques. Plusieurs experts québécois, impliqués dans ce processus, nous font remarquer que l'utilisation des technologies satellitaires devrait permettre d'améliorer la qualité des prévisions hydrologiques mais non les accélérer. Cette opinion est supportée par un expert américain qui mentionne que la présence de données supplémentaires influencera certainement la qualité des prévisions et par un expert français qui dispose, à l'heure actuelle, de mesures *in situ*, télétransmises. Ce dernier indique que ce n'est pas sur le temps qu'il gagnera mais sur la qualité des résultats.

### **Conclusion**

La conception d'un questionnaire représente, sans nul doute, la phase la plus délicate d'un processus d'enquête. Cette expérience nous a appris, qu'avant de lancer un questionnaire, il est nécessaire de le rôder sur une base restreinte, c'est-à-dire le soumettre à l'appréciation d'une expertise locale pour éviter des problèmes d'interprétation au niveau de certaines questions. Plus les questions sont conçues pour obtenir une information précise, plus le problème de compréhension de la part des participants devient aigu. Nous avons d'ailleurs connu quelques difficultés au niveau des questions destinées à faire exprimer des seuils de préférence ou d'indifférence par les *experts* (*prix des images et répétitivité*).

Pour obtenir de bons résultats, il est nécessaire d'envoyer un grand nombre de questionnaires, ce qui rend le processus fort coûteux si l'on désire donner à l'enquête une envergure internationale. Il est essentiel de prévoir de nombreux retards en cours d'enquête et d'envisager des mécanismes de relance systématique (télécopieur et courrier électronique). Dans notre cas, 8 mois se sont déroulés depuis la conception du premier questionnaire jusqu'au dépouillement du dernier. L'utilisation du processus DELPHI est, en grande partie, responsable de la longueur de l'enquête. La durée du processus a d'ailleurs découragé d'éminents spécialistes qui ont décidé d'abrégier leur participation au second tour. Cependant, nous ne regrettons pas d'avoir utilisé cette technique qui nous a permis d'obtenir des résultats plus précis qu'un sondage classique. Si les médianes n'ont pas beaucoup varié au cours des trois rondes de questions, le mécanisme de convergence a parfaitement fonctionné, c'est-à-dire que l'étendue finale de l'espace interquartile est, dans tous les cas, inférieure à l'étendue initiale.

Au niveau global, l'enquête nous a fourni l'opportunité d'aller au delà des objectifs que nous nous étions fixés. Pour les paramètres de neige, l'enquête nous a permis à la fois de situer l'importance relative des mesures principales de suivi du couvert nival : *distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige, étendue du couvert nival (présence ou non de neige) et distribution spatiale de la neige humide* et de connaître l'opinion des experts sur d'autres mesures que la télédétection par satellite devrait offrir (*température de surface, albédo, grosseur des grains et teneur en eau liquide de la neige*). En second lieu, nous avons obtenu des informations essentielles pour mener à bien l'analyse multicritère destinée à classer les capteurs satellitaires : notes essentielles pour établir la pondération des critères et données pour les seuils de préférence

et d'indifférence pour certains d'entre eux. A ce niveau, l'information récoltée s'avère plus précise que celle que nous avons obtenue précédemment par le biais d'une mini-enquête locale.

Cependant, l'avantage principal de l'enquête demeure la mesure de l'opinion des spécialistes sur l'apport que peut apporter la télédétection au niveau de la gestion des réservoirs hydroélectriques de grande superficie, éloignés de centres de consommation importants. Cette vision positive est encourageante pour la poursuite de nos travaux. De plus, cette enquête s'inscrit parfaitement dans notre philosophie des méthodes d'aide à la décision parce qu'elle introduit une démarche participative.

Pour terminer, nous souhaitons que les données de cette enquête puissent être utilisées à d'autres fins que celles de la thèse et que certains lecteurs en tirent profit pour leurs propres projets.

## Remerciements

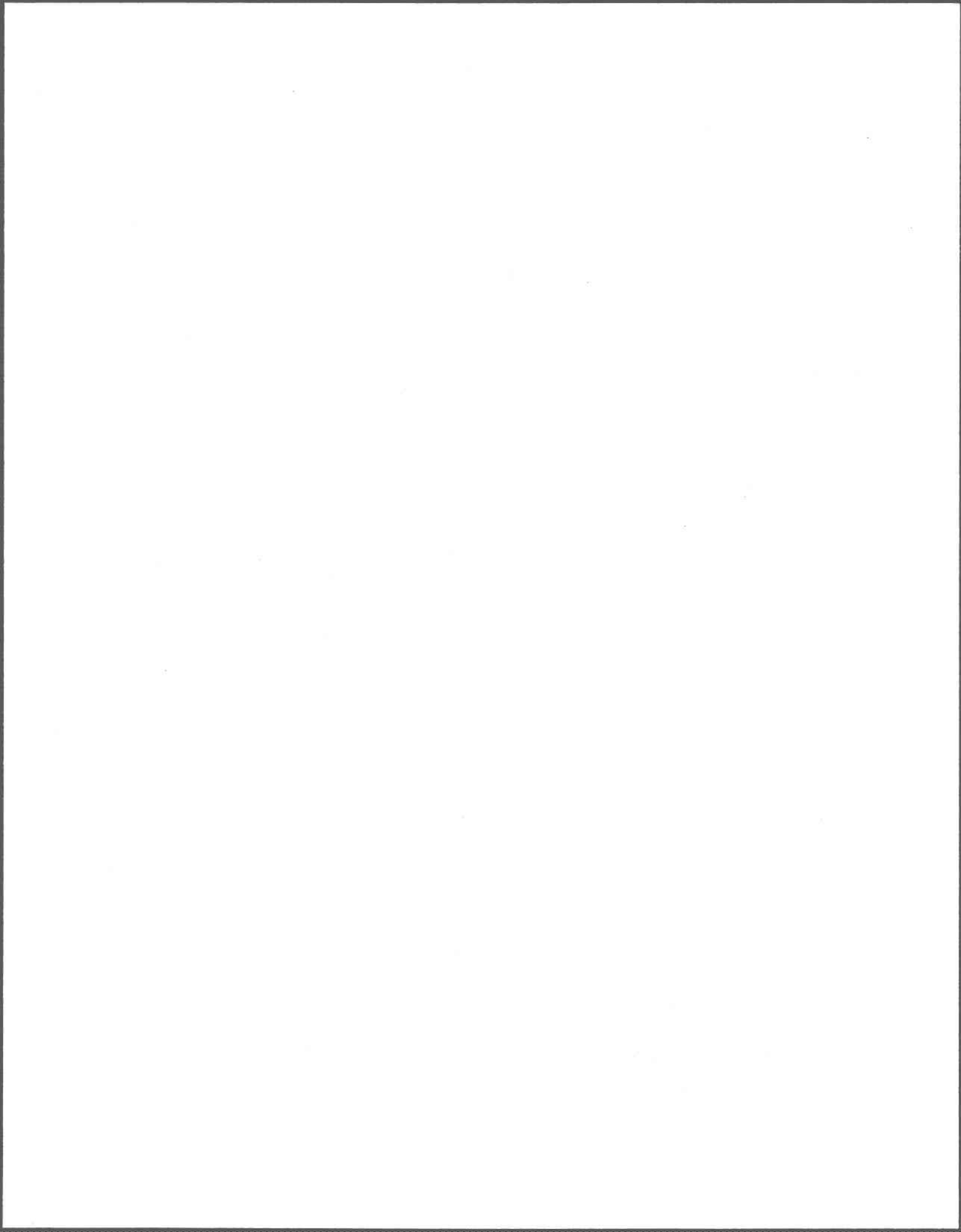
Les auteurs tiennent à remercier M. François Marquis pour sa contribution à la conception du questionnaire et au traitement des données, Mme Nathalie Fortin, M. Yves Gauthier pour la traduction anglaise et le Dr Jean-Pierre Fortin pour ses conseils au niveau technique. Cette enquête a été financée par le programme CRYSYS (Environnement Canada).

## Références

- BERTRAND, R., en collaboration avec CLAUDE VALIQUETTE, (1986), *Pratique de l'analyse statistique des données*, Presses de l'Université du Québec, 379 pages.
- BORICH, G.D., (1974), *Evaluating Educational Programs and Products*, Englewood Cliffs, N. J. : ETP.
- CASTRUCCIO, P.A., LOATS, H.L., LLOYD, D., PIXIE, A., NEWMAN, B. (1980). Cost-benefit analysis for the operational applications of satellite snowcover observations . *Proc. of a final workshop held in Sparks, Nevada, April 16-17, 1979, Scientific and Technical Information Office, NASA Conf. Publ. 2116*, pp. 239-253.
- GORDON, T.J., HELMER, O. (1964), *Report on a Long Range Forecasting Study*, The RAND Corporation-P-2982, (DDC AD 607777), September 1964.
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, Ministère des Transports, Sous-comité interministériel pour l'avenir du Port de Montréal (1976), *Étude sur l'avenir du Port de Montréal*, 67 pages.
- LINSTONE, H.A et TUROFF, M. (éditeurs), 1975, *The Delphi Method : Techniques and Applications*. Addison Wesley, Reading, MA, 620 pages.

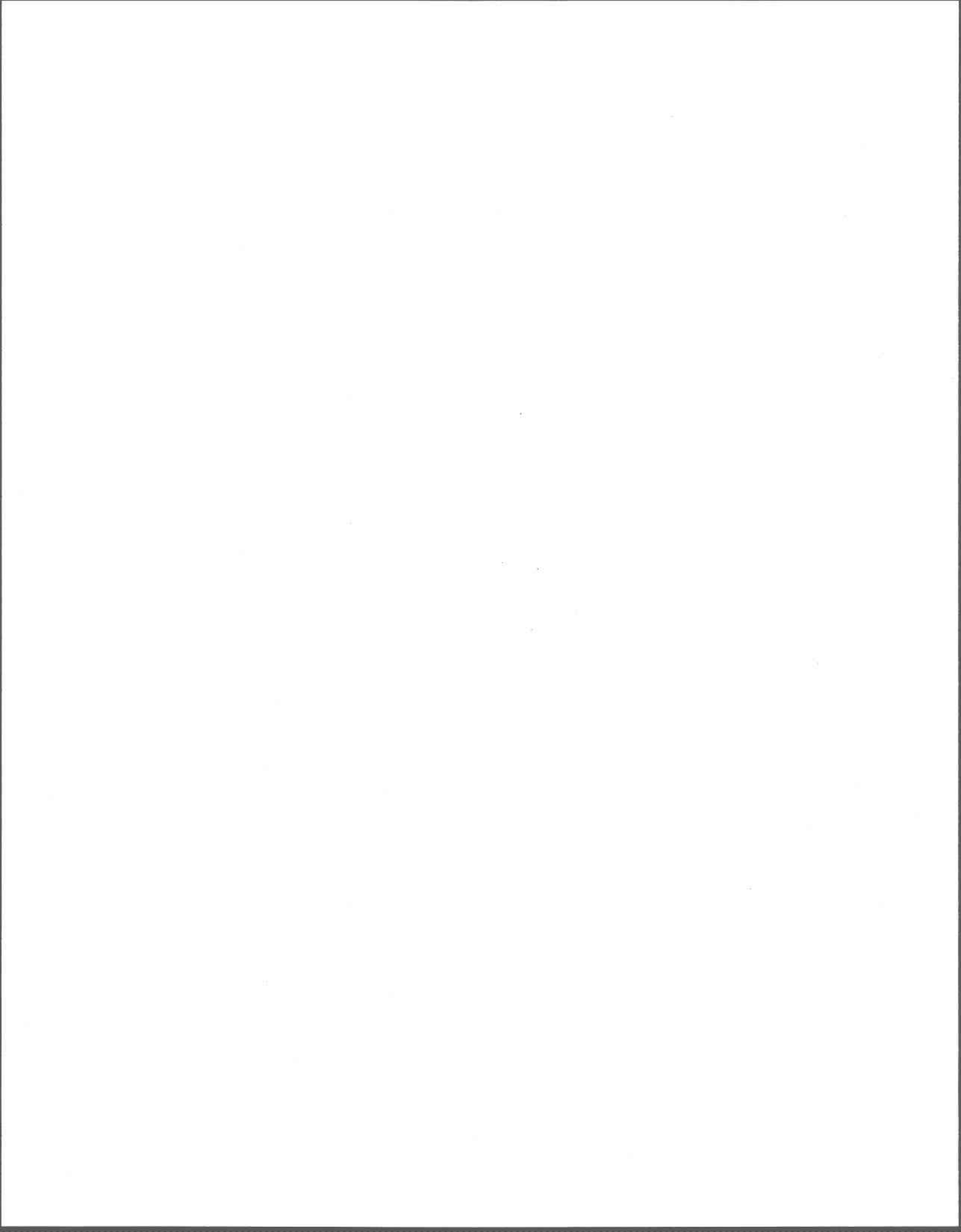
NADEAU, M.A. (1982), *La technique Delphi : une technique utile* (monographie), Université Laval, Département de Mesure et d'Evaluation, Faculté des Sciences de l'Education, 46 pages.

SAINT-PAUL, R. et TENIERE-BUCHOT, P.F. (1974), *Innovation et évaluation technologiques*, Entreprise Moderne d'Édition, 316 pages



## **Article 1 : Questionnaire**





**PROFIL DE L'EXPERT**

<b>NOM</b>	
<b>UNITÉ DE TRAVAIL</b>	
<b>FONCTIONS DE L'EXPERT</b>	<b>1.</b>
	<b>2.</b>
	<b>3.</b>
	<b>4.</b>
	<b>Autres :</b>
<b>NIVEAU DE FORMATION</b> Collège, Université : 1er cycle, 2ième cycle, 3 ième cycle	
<b>COURRIER ÉLECTRONIQUE</b> (adresse)	

## PRÉSENTATION DU QUESTIONNAIRE ET NOTES IMPORTANTES

### 1. Le questionnaire se divise comme suit :

1. Questions sur les critères économiques:	6
2. Questions sur les critères techniques :	17
3. Question sur l'aspect politique :	1
4. Questions sur la qualité des résultats :	5
TOTAL DES QUESTIONS :	29

2. Pour le premier questionnaire, chaque répondant doit se noter lui-même vis-à-vis de chaque question. L'échelle de valeur, basée sur la connaissance du sujet abordé, est la suivante :

<b>1) Spécialiste :</b>	Vous avez une connaissance approfondie du sujet abordé. Vous avez eu une participation majeure dans des projets d'importance portant sur le sujet.
<b>2) Très familier:</b>	Vous êtes très familier avec le sujet. Une partie de votre temps de travail a été consacrée au sujet au cours des 3 dernières années. Vous êtes familier avec les travaux faits sur ce sujet.
<b>3) Familier :</b>	Vous êtes familier avec le sujet. Vous êtes passablement bien informé sur le sujet grâce à vos lectures et conversations.
<b>4) Peu familier :</b>	Vous êtes peu familier avec le sujet et ne possédez qu'une connaissance générale en la matière.

3. L'expert doit fournir une réponse, quel que soit son niveau de connaissance du sujet, et cocher la case appropriée.

**4. Dans les questions sur les prix des images, nous avons utilisé le dollar canadien comme unité monétaire. Le tableau suivant vous donnera les taux de change courants :**

Country (pays)	Currency (devise)	Rate of exchange (équivalence) 1 \$ can. = ... foreign units (devises étrangères)	Rate of exchange (équivalence) 1 for. un. (dev. étr.) = ... \$ can.
<b>Canada</b>	<b>Dollar</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
Austria (Autriche)	Schilling	7,30	0,137
Belgium (Belgique)	Franc	21,61	0,046
Finland (Finlande)	Markka	3,22	0,310
France	Franc	3,59	0,278
Italy (Italie)	Lire	1078,18	0,0009
Japan (Japon)	Yen	67,68	0,0148
New-Zealand (Nouvelle-Zélande)	Dollar	1,12	0,892
Norway (Norvège)	Couronne	4,58	0,218
Switzerland (Suisse)	Franc	0,87	1,149
United Kingdom (Angleterre)	Livre	0,43	2,325
USA (États-Unis)	Dollar	0,73	1,370

Source : Thomas Cook : 03/17/1996

## INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

### 1. A propos de l'analyse multicritère ...

Pour effectuer un premier rangement parmi les capteurs satellitaires et aéroportés, nous avons choisi la méthode multicritère PROMÉTHÉE II (Preference Ranking Organization METHODS for Enrichment Evaluations) parce qu'elle nous apparaissait comme une des plus conviviales à la fois pour les décideurs et pour les analystes.

Les concepteurs de PROMÉTHÉE, J.P. Brans et al. (1984), utilisent un *critère généralisé* pour exprimer les préférences des décideurs. Parmi les six types de critères généralisés disponibles, nous avons retenus ceux qui nous paraissaient les plus pertinents pour les besoins de notre analyse.

A l'intérieur des fonctions choisies pour les *critères généralisés*, il est nécessaire de fixer certains paramètres pour délimiter les seuils de préférence ( $p$ ) et d'indifférence ( $q$ ). Pour le *prix des images brutes*, nous avons choisi une *fonction de type V*. Pour expliciter la *répétitivité* dans l'analyse multicritère, nous avons choisi une *fonction en escaliers (type IV)*.

### 2. A propos de DELPHI ...

Développée dans les années 1950 par Olaf Helmer à la Rand Corporation, la méthode DELPHI était, à l'origine, une procédure destinée à obtenir et organiser les opinions d'un groupe de spécialistes sur des probabilités d'événements futurs.

DELPHI s'est imposée, par la suite, par son approche ordonnée et systématique de résolution de problèmes complexes, comme méthode d'évaluation technologique au même titre que le *brainstorming*, les mesures d'opinion, les scénarios et les techniques d'analyse de la décision.

DELPHI est une technique de communication de groupe qui fait usage des opinions auprès de répondants sans que ceux-ci aient à se rencontrer. C'est une démarche itérative qui se déroule, habituellement, en trois ou quatre étapes

### 3. Fonctions de critères pour PROMÉTHÉE

Type de fonction critère	Définition analytique	Forme	Paramètres à définir
I Vrai critère	$H(d) = \begin{cases} 0, & d = 0; \\ 1, &  d  > 0. \end{cases}$		-
II Quasi-critère	$H(d) = \begin{cases} 0, &  d  < q; \\ 1, & \text{autrement} \end{cases}$		q
III Critère à préférence linéaire	$H(d) = \begin{cases} \frac{ d }{p}, &  d  < p; \\ 1, & \text{autrement} \end{cases}$		p
IV Critère à paliers	$H(d) = \begin{cases} 0, &  d  < q; \\ \frac{1}{2}, & q <  d  < p; \\ 1, & \text{autrement} \end{cases}$		q, p
V Critère à préférence linéaire avec seuil d'indifférence	$H(d) = \begin{cases} 0, &  d  < q; \\ \frac{ d -q}{p-q}, & q <  d  < p; \\ 1, & \text{autrement} \end{cases}$		q, p
VI Critère (inverse)-gaussien	$H(d) = 1 - \exp\left\{-\frac{d^2}{2a^2}\right\}$		a

## QUESTIONNAIRE No 1 :

### 1. CRITÈRES ÉCONOMIQUES :

Les critères économiques se rapportent aux incidences monétaires que peuvent avoir sur une organisation l'introduction et l'utilisation des technologies satellitaires et aéroportées de suivi du couvert nival.

Cette partie comporte six (6) questions.

#### Note explicative :

Les deux (2) premières questions sont d'ordre général et traitent des coûts. Nous distinguerons les *coûts d'implantation* liés à l'introduction d'une nouvelle technologie des *coûts d'opération* pouvant être occasionnés par l'utilisation de cette technologie. Les *coûts d'implantation* peuvent inclure l'achat ou la location d'équipement spécialisé pour la réception ou le traitement d'images, la formation de personnel, etc. Les *coûts d'opération* font référence à l'achat d'images brutes, aux coûts de main d'oeuvre pour le traitement de l'information ainsi qu'aux coûts de fonctionnement et d'entretien de l'équipement

### 1.1 Coûts associés à l'implantation d'une nouvelle technologie :

*Question* : Dans un contexte général de réduction des coûts et considérant votre budget de fonctionnement, situez, sur une échelle de 0 à 10, l'importance que vous accordez aux coûts associés à l'implantation d'une nouvelle technologie au sein de votre organisation.

Votre réponse : \_\_\_\_\_ Évaluation : 0 faible → 10 élevée

Votre niveau de connaissance du sujet (coûts associés à l'implantation d'une nouvelle technologie). Cochez, S.V.P :

Spécialiste    Très familier    Familier    Peu familier

## 1.2 Coûts associés à l'opération d'une nouvelle technologie :

**Question :** Dans un contexte général de réduction des coûts et considérant votre budget de fonctionnement, situez, sur une échelle de 0 à 10, l'importance que vous accordez aux coûts d'opération liés à une nouvelle technologie :

Votre réponse : \_\_\_\_\_ Évaluation : 0 faible ⇒ 10 élevée

Votre niveau de connaissance du sujet (coûts d'opération liés à une nouvelle technologie). Cochez, S.V.P :

Spécialiste    Très familier    Familier    Peu familier

## 1.3 Volume d'images utilisé dans une année (si applicable):

Donnez une estimation pour chacune des catégories, S.V.P :

Images papier : \_\_\_\_\_

Images numériques : \_\_\_\_\_

## 1.4 Prix des images brutes :

**Question :** Dans votre budget d'exploitation, situez, sur une échelle de 0 à 10, l'importance que vous accordez aux prix des images tels que fixés par les agences de distribution.

Votre réponse : \_\_\_\_\_ Évaluation : 0 faible ⇒ 10 élevée

## 1.5 Explication de paramètres de préférence ou d'indifférence pour le prix des images brutes :

*1.5.1. Question : Supposons que deux capteurs fournissent sensiblement la même information. Seriez vous indifférent entre l'un ou l'autre de ces capteurs si la différence entre les prix des images était de (une seule réponse, S.V.P) ? :*

a) 1 \$ / 100 km<sup>2</sup>.

b) 2 \$ / 100 km<sup>2</sup>.

c) 3 \$ / 100 km<sup>2</sup>.

*1.5.2. Question : Pour deux capteurs fournissant la même information, exprimeriez -vous une préférence marquée pour le capteur dont les images sont les moins chères si la différence de prix entre les images des 2 capteurs se situait entre les valeurs suivantes (une seule réponse, S.V.P) ? :*

a) 10 à 19 \$ / 100 km<sup>2</sup>

b) 20 à 29 \$ / 100 km<sup>2</sup>

c) 30 à 39 \$ / 100 km<sup>2</sup>

*Votre niveau de connaissance du sujet (prix des images). Cochez, S.V.P :*

Spécialiste  Très familier  Familier  Peu familier

## II. CRITÈRES TECHNIQUES :

**Dans cette section, nous avons retenu des critères techniques qui pourraient avoir un impact important sur la gestion des installations hydroélectriques.**

**Cette partie comporte dix-sept (17) questions .**



## 2.1 Fréquence d'acquisition des informations :

**Question** : Sur une échelle de 0 à 10, situez l'importance que vous accordez à la fréquence d'acquisition des informations pour un suivi du couvert nival.

Votre réponse : \_\_\_\_\_ Évaluation : 0 faible → 10 élevée

Votre niveau de connaissance du sujet (fréquence d'acquisition des informations). Cochez, S.V.P. :

Spécialiste    Très familier    Familier    Peu familier

## 2.2 Explicitation des paramètres de préférence ou d'indifférence pour la fréquence de passage du capteur :

### Note explicative :

La **répétitivité** est la différence entre deux passages consécutifs du capteur au-dessus d'un même point du globe. Pour les capteurs ciblés dans l'étude, la fréquence varie entre 4 fois par jour à un passage aux 35 jours.

**2.2.1 Question** : Supposons que deux capteurs fournissent la même information. Seriez vous indifférent entre l'un ou l'autre capteur si la différence entre les répétitivités de ces 2 capteurs était de (une seule réponse S.V.P) ?:

a) 1 jour

b) 3 jours

c) 15 jours

d) 30 jours

**2.2.2. Question :** Pour deux capteurs fournissant la même information, seriez-vous en mesure d'exprimer une préférence pour le capteur dont la répétitivité est la plus élevée (fréquence de passage la plus rapprochée) si la différence des répétitivités entre ces 2 capteurs se situait entre les valeurs suivantes (une seule réponse S.V.P) ? :

a) 10 et 19 jours

b) 20 et 29 jours

c) 30 et 39 jours

Votre niveau de connaissance du sujet (fréquence de passage des capteurs ou répétitivité).  
Cochez, S.V.P :

Spécialiste  Très familier  Familier  Peu familier

### 2.3. Gain de temps :

**Question :** Sur une échelle de 0 à 10, situez l'importance de l'efficacité attendue d'une nouvelle technologie (essentiellement au niveau du temps économisé depuis l'acquisition des données jusqu'à la production de résultats) pour le suivi du couvert nival :

Votre réponse : \_\_\_\_\_ Évaluation : 0 faible  $\Rightarrow$  10 élevée

Votre niveau de connaissance du sujet (efficacité attendue d'une nouvelle technologie). Cochez, S.V.P :

Spécialiste  Très familier  Familier  Peu familier

### 2.4 Acquisition de nouvelles connaissances :

**Question :** Sur une échelle de 0 à 10, situez l'importance que vous attachez au gain en connaissances procuré par l'introduction d'une nouvelle technologie :

Votre réponse : \_\_\_\_\_ Évaluation : 0 faible  $\Rightarrow$  10 élevée

*Votre niveau de connaissance du sujet (acquisition de nouvelles connaissances). Cochez, S.V.P :*

*Spécialiste*    *Très familier*    *Familier*    *Peu familier*

## **2.5 Prestige :**

***Question :*** *Sur une échelle de 0 à 10, situez l'importance accordée au fait que l'utilisation d'une nouvelle technologie puisse vous permettre de vous démarquer par rapport à vos concurrents (gain en prestige):*

*Votre réponse :*   \_\_\_\_\_   *Évaluation : 0 faible → 10 élevée*

*Votre niveau de connaissance du sujet (gain en prestige). Cochez, S.V.P :*

*Spécialiste*    *Très familier*    *Familier*    *Peu familier*

## **2.6. Simplicité d'utilisation d'une nouvelle technologie :**

***Question :*** *Sur une échelle de 0 à 10, situez l'importance que vous accordez à la simplicité d'utilisation d'une nouvelle technologie :*

*Votre réponse :*   \_\_\_\_\_   *Évaluation : 0 faible → 10 élevée*

*Votre niveau de connaissance du sujet (simplicité d'utilisation d'une nouvelle technologie)*

*Spécialiste*    *Très familier*    *Familier*    *Peu familier*

## 2.7. Situation opérationnelle de la technologie :

### Note explicative :

Les capteurs retenus dans l'étude se situent à des niveaux opérationnels différents : certains sont en orbite depuis plusieurs années, d'autres viennent d'être lancés. Nous avons également pris en considération des capteurs dont le lancement est prévu dans quelques années mais dont le potentiel de suivi du couvert nival semble prometteur. Comme il convient de tenir compte de ce critère dans l'analyse, nous vous demandons de formuler votre opinion sur ce critère.

**Question :** *En regard des décisions prises maintenant dans vos approches, situez, sur une échelle de 0 à 10, l'importance que vous accordez à la situation opérationnelle du capteur :*

Votre réponse : \_\_\_\_\_ Évaluation : 0 faible  $\Rightarrow$  10 élevée

*Votre niveau de connaissance du sujet (situation opérationnelle du capteur). Cochez, S.V.P. :*

Spécialiste    Très familier    Familier    Peu familier

## 2.8. Évolution de la technologie :

**Question :** *Plusieurs technologies satellitaires et aéroportées s'inscrivent dans des plans de développement à long terme. Sur une échelle de 0 à 10, situez l'importance que vous accordez à la longévité du programme dans lequel s'inscrit la (les) technologie(s) que vous pourriez éventuellement utiliser ou que vous utilisez actuellement :*

Votre réponse : \_\_\_\_\_ Évaluation : 0 faible  $\Rightarrow$  10 élevée

*Votre niveau de connaissance du sujet (évolution de la technologie). Cochez, S.V.P. :*

Spécialiste    Très familier    Familier    Peu familier

## 2.9. Importance de trois mesures spécifiques de suivi du couvert nival :

Les questions suivantes font référence à trois (3) mesures précises de suivi du couvert nival.

*Question* : Nous vous demandons de quantifier l'importance que vous accordez à chacune de ces mesures (sur une échelle de 0 à 10) :

### 2.9.1. Étendue du couvert nival (neige/non neige) :

Votre réponse : \_\_\_\_\_ Évaluation : 0 faible ⇒ 10 élevée

### 2.9.2. Distribution spatiale de la neige humide :

Votre réponse : \_\_\_\_\_ Évaluation : 0 faible ⇒ 10 élevée

### 2.9.3. distribution spatiale de l'équivalent en eau de la neige :

Votre réponse : \_\_\_\_\_ Évaluation : 0 faible ⇒ 10 élevée

## 2.10. Estimation d'autres caractéristiques du couvert nival :

*Question* : Souhaiteriez-vous pouvoir estimer d'autres caractéristiques du couvert de neige que celles mentionnées dans la question 2.9, à l'aide de technologies satellitaires et aéroportées (Cochez une des réponses, S.V.P.) ? :

Oui :

Non :

Si oui, lesquelles (cochez, S.V.P.) :

Température de surface :

Albédo :

Grosseurs des grains :

Teneur en eau liquide  
de la neige (%) :

*Votre niveau de connaissance du sujet (mesures de suivi du couvert nival). Cochez, S.V.P :*

*Spécialiste*    *Très familier*    *Familier*    *Peu familier*

## **2.11. Polyvalence de la technologie :**

### **Note explicative :**

Nous avons considéré, dans les deux questions suivantes, que la polyvalence d'une nouvelle technologie pouvait s'exercer à deux niveaux :

1. La possibilité de fournir, simultanément, plusieurs mesures du couvert nival;
2. La possibilité de fournir d'autres mesures que celles du couvert nival .

**2.11.1. Question :** *Sur une échelle de 0 à 10 , nous vous demandons de situer l'importance que vous accordez à la capacité qu'a la technologie de fournir simultanément plusieurs mesures du couvert nival :*

*Votre réponse : \_\_\_\_\_ Évaluation : 0 faible → 10 élevée*

*Votre niveau de connaissance du sujet (capacité de la technologie de fournir simultanément plusieurs mesures du couvert nival). Cochez, S.V.P :*

*Spécialiste*    *Très familier*    *Familier*    *Peu familier*

2.11. 2. Question : Sur une échelle de 0 à 10, nous vous demandons de situer l'importance que vous accordez à la capacité d'une technologie de fournir des informations autres que celles du couvert nival :

Votre réponse : \_\_\_\_\_ Évaluation : 0 faible  $\Rightarrow$  10 élevée

Votre niveau de connaissance du sujet (capacité de la technologie de fournir d'autres informations que celles du couvert nival). Cochez, S.V.P :

Spécialiste  Très familier  Familier  Peu familier

2.12 Capacité du capteur de recueillir des données sur une grande étendue avec un minimum d'images :

Note explicative :

La plupart des bassins hydrographiques associés aux installations hydroélectriques (réservoirs et centrales) couvrent un territoire important. La possibilité d'obtenir un balayage plus étendu se fait néanmoins au détriment de la résolution du capteur.

Question : Nous vous demandons d'exprimer, sur une échelle de 0 à 10, vos attentes sur la capacité d'un capteur de balayer un grand territoire.

Votre réponse : \_\_\_\_\_ Évaluation : 0 faible  $\Rightarrow$  10 élevée

Votre niveau de connaissance du sujet (capacité d'un capteur de balayer un grand territoire). Cochez, S.V.P :

Spécialiste  Très familier  Familier  Peu familier

### 2.13. Appréciation globale sur la capacité des nouvelles technologies d'améliorer la gestion des installations hydroélectriques (réservoirs et centrales) :

*Question : A un niveau global, pensez-vous, que l'introduction de technologies satellitaires et aéroportées soit en mesure d'apporter une amélioration significative au niveau de la gestion des installations hydroélectriques ? Sur une échelle de 0 à 10 , donnez votre appréciation sur ce point très général:*

*Votre réponse :* \_\_\_\_\_

*Évaluation : 0 faible ⇒ 10 élevée*

*Votre niveau de connaissance du sujet (amélioration de la gestion des installations hydroélectriques). Cochez, S.V.P :*

*Spécialiste*    *Très familier*    *Familier*    *Peu familier*

### III. L' ASPECT POLITIQUE :

**Cette partie, qui ne comporte qu'une question, vous offre l'opportunité de donner votre opinion sur l'origine du capteur.**

#### **Note explicative :**

Il est difficile d'ignorer l'origine du capteur lorsque des contributions financières d'états ou de provinces pour des projets d'envergure sont en jeu ou lorsque des programmes de coopération technique entre pays sont impliqués dans les choix technologiques.



**Question :** Nous vous demandons de situer, sur une échelle de 0 à 10, l'importance que vous accordez à l'origine du capteur (pays concepteur du capteur):

Votre réponse : \_\_\_\_\_

Évaluation : 0 faible → 10 élevée

Votre niveau de connaissance du sujet (aspect politique). Cochez, S.V.P :

Spécialiste    Très familier    Familier    Peu familier

#### IV QUALITÉ DES RÉSULTATS :

Dans cette partie, vous aurez l'opportunité de formuler vos attentes sur la qualité attendue des résultats par l'introduction de technologies satellitaires et aéroportées de suivi du couvert de neige.

Cette partie comporte cinq (5) questions.

##### 4.1. Réduction de l'utilisation des mesures conventionnelles de terrain :

**Question :** Dans quelle proportion pensez-vous que l'introduction de technologies satellitaires et aéroportées de suivi du couvert nival pourrait permettre de réduire l'utilisation de mesures conventionnelles de terrain (une seule réponse, S.V.P) ?:

a) de 0 à 19 %                     

b) de 20 à 39 %                   

c) de 40 à 59 %                   

d) de 60 à 80 %

*Votre niveau de connaissance du sujet (réduction de l'utilisation de mesures conventionnelles de terrain). Cochez, S.V.P :*

*Spécialiste*    *Très familier*    *Familier*    *Peu familier*

#### **4.2. Précision d'estimation :**

**4.2.1. Question :** *Dans quelle mesure pensez-vous que l'intégration de technologies satellitaires et aéroportées de suivi du couvert nival et de mesures conventionnelles de terrain devrait permettre une amélioration significative de la précision de l'estimation de l'équivalent en eau de la neige (Situez votre appréciation sur une échelle de 0 à 10)? :*

*Votre réponse : \_\_\_\_\_ Évaluation : 0 faible  $\Rightarrow$  10 élevée*

*Votre niveau de connaissance du sujet (précision de l'estimation de l'équivalent en eau de la neige) . Cochez, S.V.P :*

*Spécialiste*    *Très familier*    *Familier*    *Peu familier*

**4.1.3. Question :** *Dans quelle mesure pensez-vous que l'intégration de technologies satellitaires et aéroportées de suivi du couvert nival et de mesures conventionnelles de terrain devrait permettre une amélioration significative de la précision du suivi de la période de fonte (Situez votre appréciation sur une échelle de 0 à 10)? :*

*Votre réponse : \_\_\_\_\_ Évaluation : 0 faible  $\Rightarrow$  10 élevée*

*Votre niveau de connaissance du sujet (précision du suivi de la période de fonte). Cochez, S.V.P :*

*Spécialiste*    *Très familier*    *Familier*    *Peu familier*

### 4.3. Capacité prévisionnelle :

**Question** : Dans quelle mesure pensez-vous que l'introduction de technologies satellitaires et aéroportées devrait permettre d'accélérer l'émission de prévisions hydrologiques (Situez votre appréciation sur une échelle de 0 à 10)? :

Votre réponse : \_\_\_\_\_ Évaluation : 0 faible → 10 élevée

Votre niveau de connaissance du sujet (l'émission de prévisions hydrologiques). Cochez, S.V.P :

Spécialiste    Très familier    Familier    Peu familier

### 4.4. Précision de l'équivalent en eau de la neige :

Nous vous demandons maintenant de chiffrer la précision *souhaitable* et *satisfaisante* sur la mesure de l'équivalent en eau de la neige (en mm), si vous êtes en mesure de le faire :

Précision souhaitable : +/- \_\_\_\_\_ mm

Précision satisfaisante : +/- \_\_\_\_\_ mm

Votre niveau de connaissance du sujet (précision sur la mesure de l'équivalent en eau de la neige). Cochez, S.V.P :

Spécialiste    Très familier    Familier    Peu familier

**Nous vous remercions du temps consacré à la complétion du questionnaire et nous vous demandons, pour terminer, de répondre à l'une des questions suivantes (cochez, S.V.P) :**

*J'ai l'intention de continuer à participer à cette enquête :*

*Je n'ai pas l'intention de continuer à participer à cette enquête :*

**SIGNATURE DE L'EXPERT :** \_\_\_\_\_

Pour de plus amples renseignements, veuillez contacter **Daniel Martin**, *responsable de l'enquête* à l'adresse et aux numéros suivants :

**INRS-Eau**

Case postale 7500

Sainte-Foy, Québec

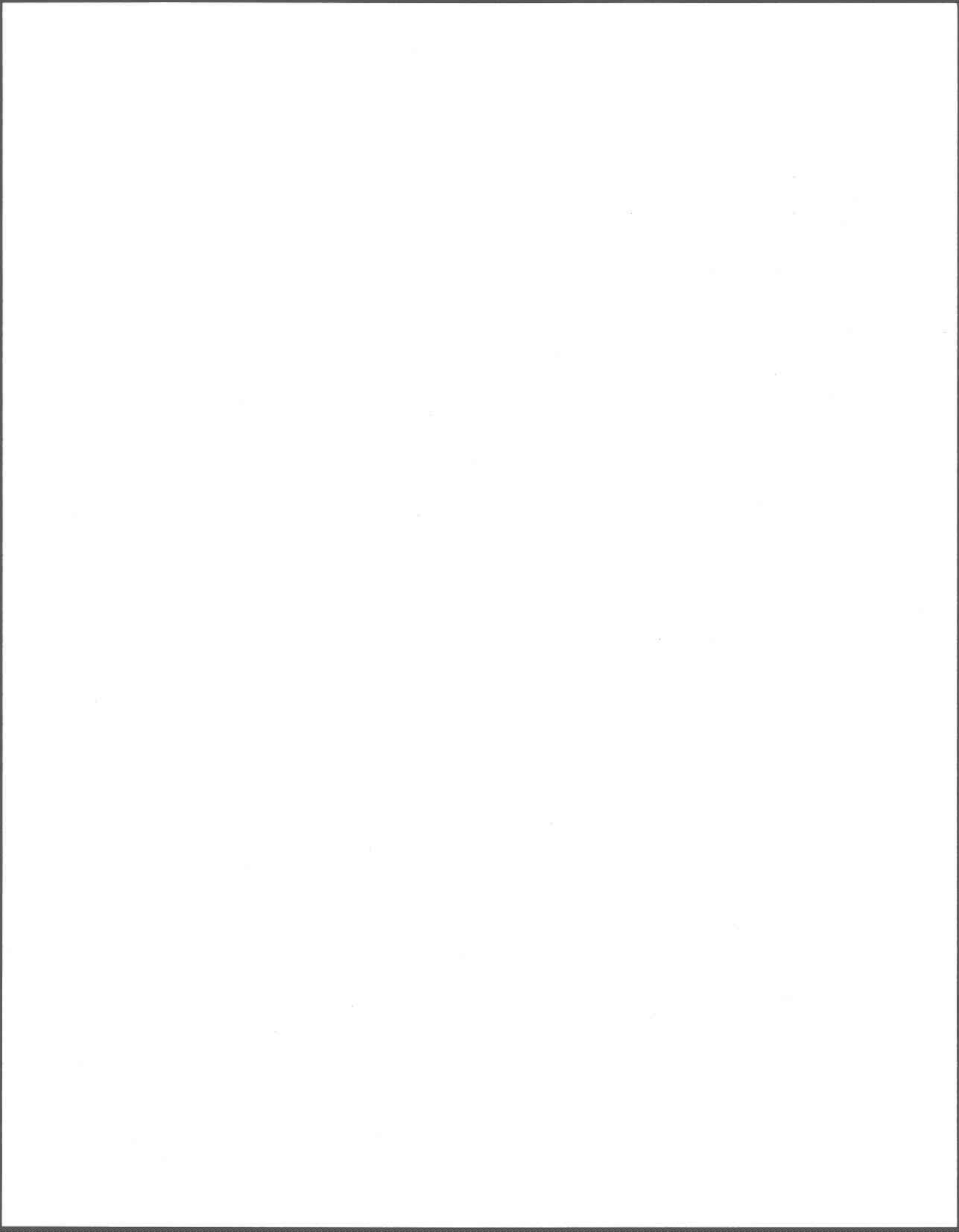
Canada

G1V 4C7

Tél : (418) 654-3766

Télécopieur : (418) 654-2562

Courrier électronique : [martinda@inrs-eau.uquebec.ca](mailto:martinda@inrs-eau.uquebec.ca)



**Article 2 : Survey (version anglaise abrégée de l'enquête)**

L'INRS ne détient pas les droits pour diffuser cette version de l'article. Vous pouvez le consulter dans la version papier de cette thèse :

Martin, D., Bernier, M. et Sasseville, J. L.(1996) Survey on expectations of actual and potential users of remote sensing technologies in hydrology. Dans: *3<sup>rd</sup> International Workshop on Application of Remote Sensing in Hydrology*, NHRI Symposium no 17 pp. 167-181.

### **Article 3 : Analyse multicritère**



L'INRS ne détient pas les droits pour diffuser cette version de l'article. Vous pouvez le consulter dans la version papier de cette thèse :

Martin, D. et Bernier, M. (1997). Analyse multicritère de capteurs satellitaires pour le suivi du couvert nival. *Can. J. Remote Sens. / J. Can. Télédétection* 23(3): 264-275.

## **Article 4 : Analyse financière**

L'INRS ne détient pas les droits pour diffuser cette version de l'article. Vous pouvez le consulter à l'adresse suivante :

Martin, D., Bernier, M. et Sasseville, J.L. (1999). Évaluation financière de l'intégration de technologies satellitaires, pour le suivi du couvert nival, au sein d'une entreprise hydroélectrique (Le cas de l'utilisation du satellite Radarsat I dans le bassin de la rivière La Grande (Québec)). *Int. J. Remote Sens.* 20(10): 2033-2048.

<http://www.scopus.com/source/sourceInfo.url?sourceId=22674>

## **Article 5 : Diffusion des technologies satellitaires**

L'INRS ne détient pas les droits pour diffuser cette version de l'article. Vous pouvez le consulter dans la version papier de cette thèse :

Martin, D., Bernier, M. et Sasseville, J.L. (1999). Évaluation financière de l'intégration de technologies satellitaires, pour le suivi du couvert nival, au sein d'une entreprise hydroélectrique (Le cas de l'utilisation du satellite Radarsat I dans le bassin de la rivière La Grande (Québec)). *Int. J. Remote Sens.* 20(10): 2033-2048.