

Record Number: 12090
Author, Monographic: Martin, D.//Bernier, M.
Author Role:
Title, Monographic: Enquête destinée à *connaître* et *quantifier* les *attentes* des utilisateurs de technologies satellitaires en vue du suivi du couvert nival
Translated Title:
Reprint Status:
Edition:
Author, Subsidiary:
Author Role:
Place of Publication: Québec
Publisher Name: INRS-Eau
Date of Publication: 1997
Original Publication Date: Février 1997
Volume Identification:
Extent of Work: 84
Packaging Method: pages incluant un annexe
Series Editor:
Series Editor Role:
Series Title: INRS-Eau, rapport de recherche
Series Volume ID: 491
Location/URL:
ISBN: 2-89146-412-5
Notes: Rapport annuel 1996-1997
Abstract: Rapport rédigé pour Environnement Canada dans le cadre du projet CRYSYS.

15.00 \$

Call Number:

R000491

Keywords:

rapport/ ok/ dl

***Enquête destinée à connaître et quantifier
les attentes des utilisateurs de technologies
satellites en vue du suivi du couvert nival
Rapport de recherche #491***

**ENQUÊTE DESTINÉE À CONNAÎTRE 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.

Cependant, afin d'alléger le document, nous n'avons placé en annexe que les versions anglaises de la lettre de présentation et du questionnaire.

Les auteurs.

Table des matières

AVANT-PROPOS

TABLE DES MATIÈRES

1. CADRE DE L'ENQUÊTE.....	1
2. OBJECTIFS SPÉCIFIQUES DE L'ENQUÊTE.....	3
3. MÉTHODOLOGIE UTILISÉE.....	4
4. DÉROULEMENT DE L'ENQUÊTE	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
5. ANALYSE DELPHI.....	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
6. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS	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
7. COMMENTAIRES DES PARTICIPANTS.....	25
CONCLUSION.....	29

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*¹ » 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 ?

¹ 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..

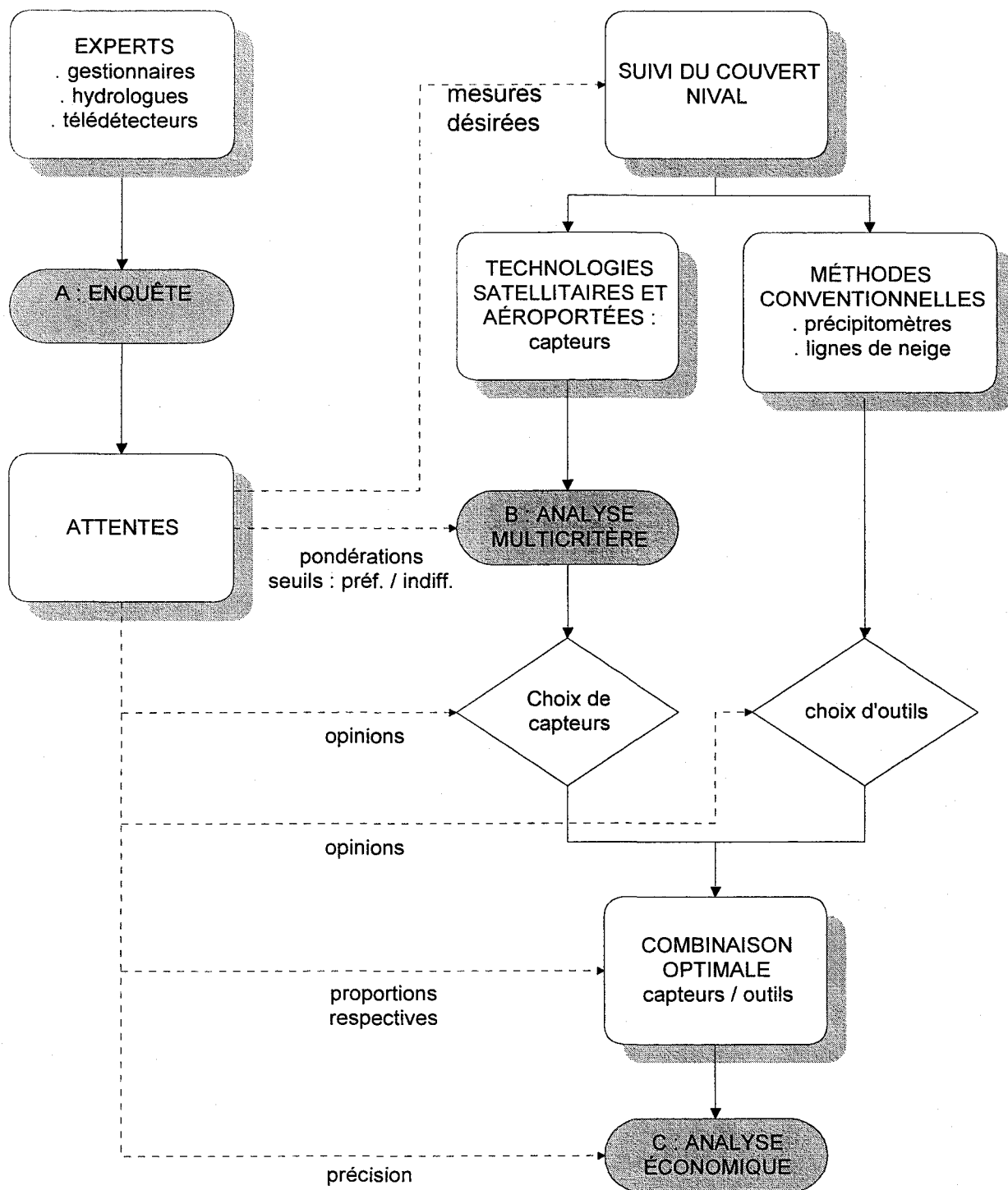


Figure 1 : Plan expérimental

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. À 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 DELPHI² 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'événements 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.

²Dans 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*³ (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 :

³Quelquefois appelé "écart interquartile".

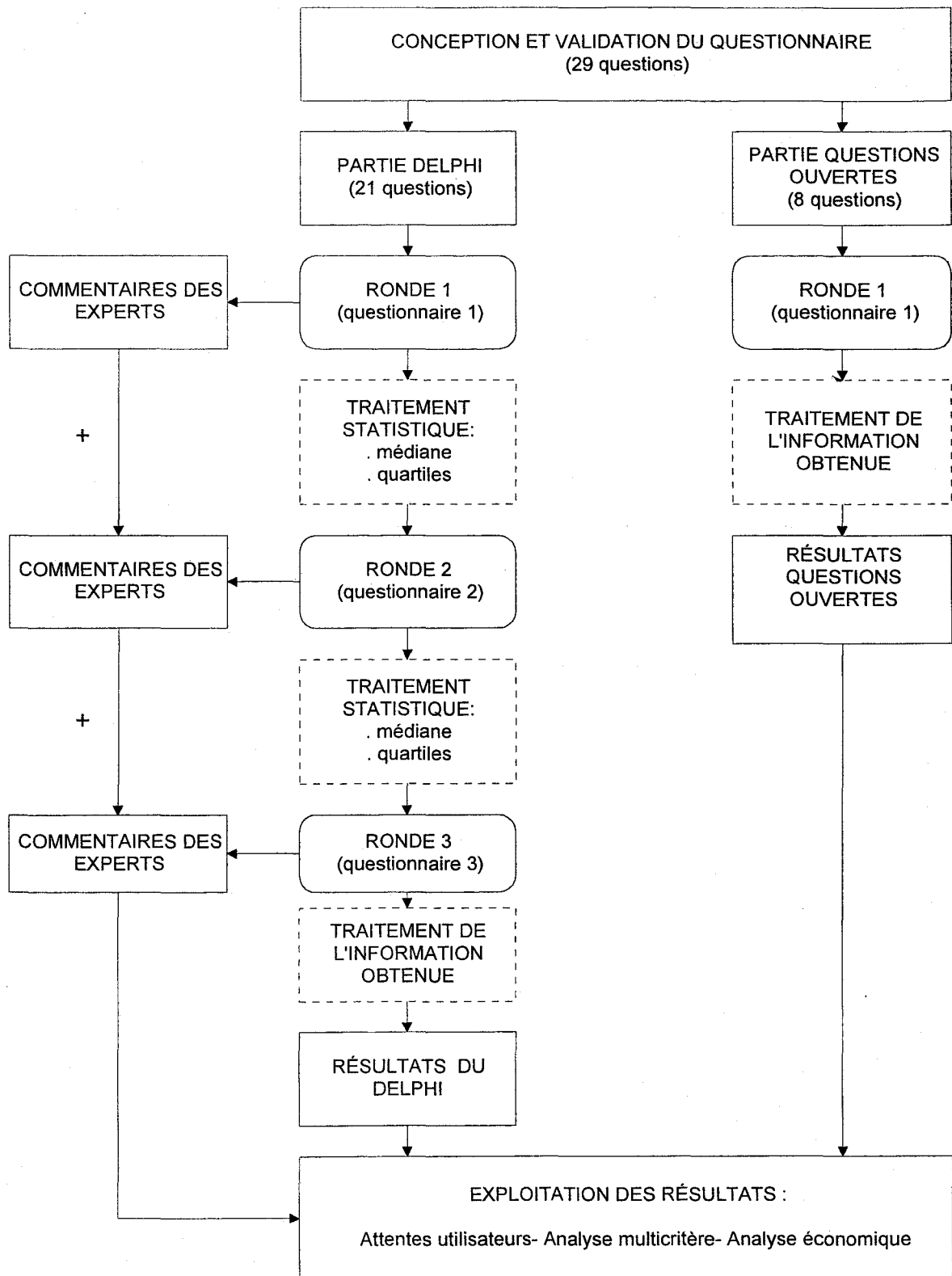


Figure 2 : Déroulement de l'enquête

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 (*télédétecteurs*) 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 *télédétecteurs*) 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 questionnaire⁴. 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*;

⁴ 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-Eau⁵, 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 :

⁵ Cette lettre est présentée en annexe

Tableau 1 : Répartition géographique des premiers questionnaires envoyés

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

1) Spécialiste :	Vous avez une connaissance approfondie du sujet abordé. Vous avez eu une participation majeure dans des projets d'importance portant sur le sujet.
2) Très familier:	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.
3) Familier :	Vous êtes familier avec le sujet. Vous êtes passablement bien informé sur le sujet grâce à vos lectures et conversations.
4) Peu familier :	Vous êtes peu familier avec le sujet et ne possédez qu'une connaissance générale en la matière.

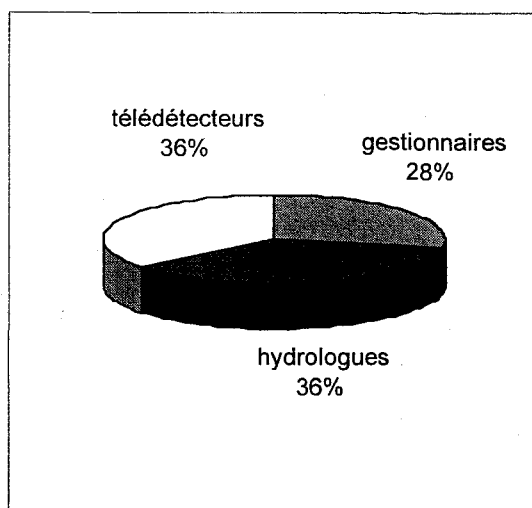
Cette disposition permet à la fois d'éliminer d'éventuelles réponses aberrantes et d'évaluer, au niveau de chaque question ou groupe de questions, le niveau de confiance que l'on peut accorder aux résultats obtenus.

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* (26 %), 14 à la catégorie *Hydrologue* (38 %) et 14 à la catégorie *Télédéacteur* (38%). 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.⁶ 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).

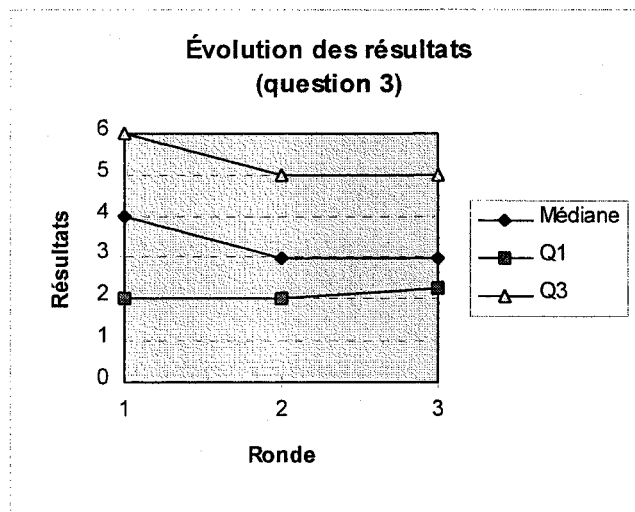
⁶ Il s'agit de ce que Saint-Paul et Tenière-Buchot (1974) appellent la « cristallisation des opinions ».

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)

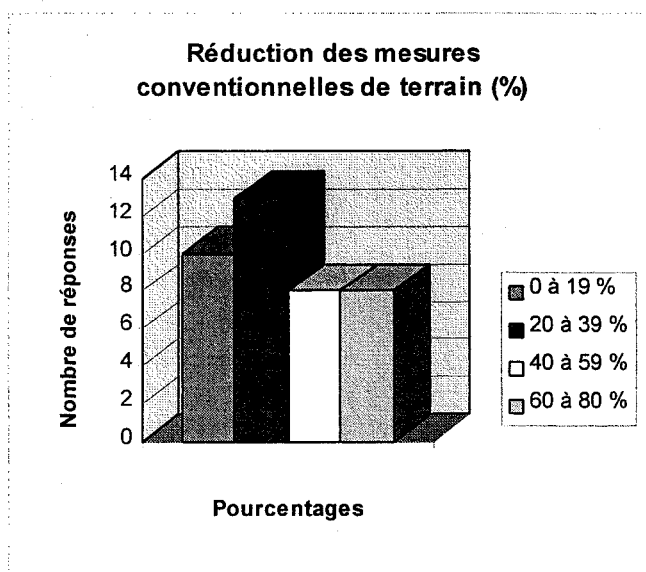
6.2 Considérations générales

Nous commencerons donc l'interprétation des résultats par des informations sur ce que les experts pensent de l'utilisation de la *télédétection* 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.)

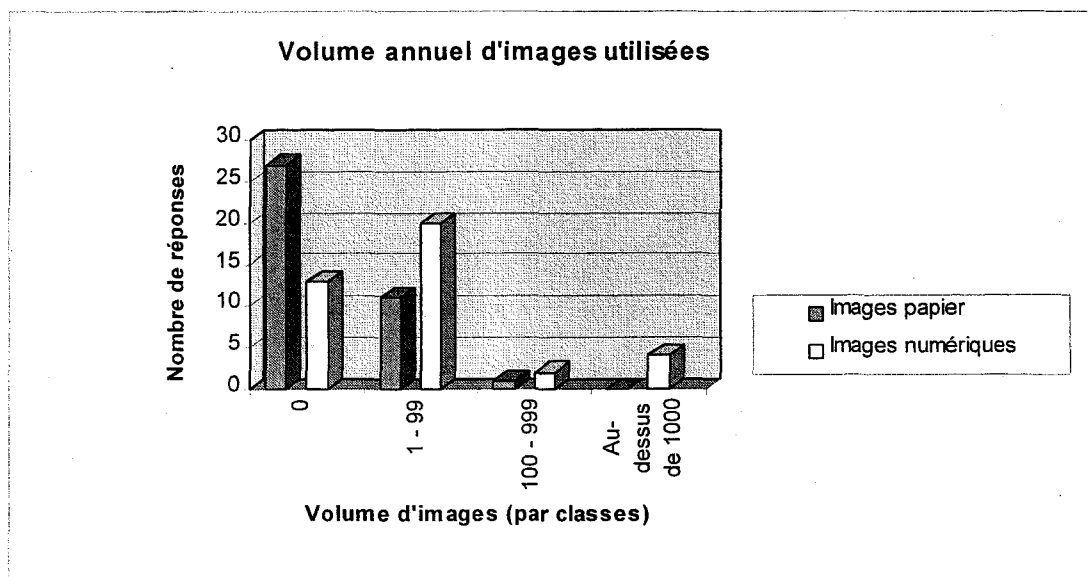
Nous estimions que ces questions, dans bien des cas, débordaient du cadre normal des activités des experts et abordaient une certaine vision du futur de leur part. Elles se prêtaient donc fort bien à ce genre d'analyse.

6.3 Critères économiques

Pour débiter cette seconde partie, une question très générale (ouverte) nous a permis de connaître les *habitudes de consommation (1.3)* 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 km² b) 2 \$ / 100 km² ou 3 \$ / 100 km² (choix de réponses).

56 % des experts (22 experts) ont opté pour le premier choix soit 1 \$ / 100 km².

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 km² ,b) 20 à 29 \$ / 10 km² ou c)30 à 39 \$ / 100 km² (choix de réponses).

72 % des experts (28) ont opté pour la première réponse soit 10 à 19 \$ / 100 km².

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 km² de surface balayée comme *seuil d'indifférence* et 10 \$ / 100 km² 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.

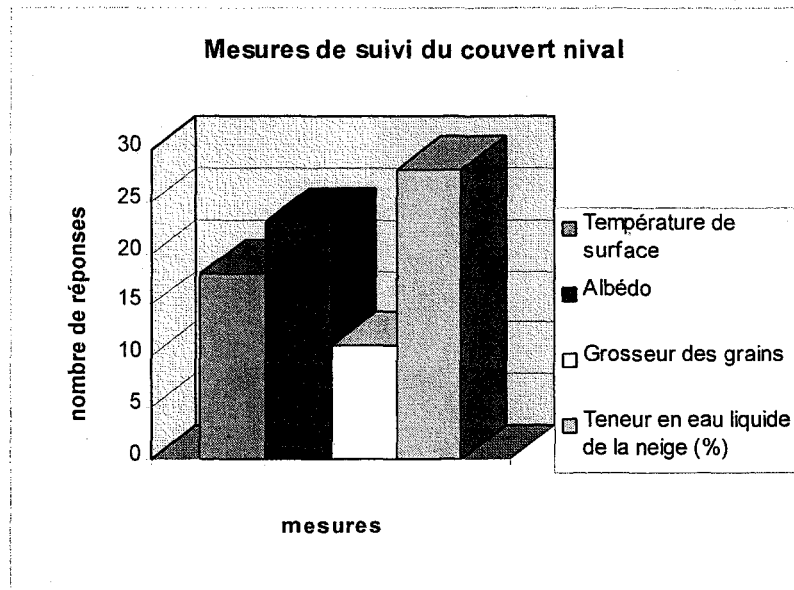
Nous avons, en second lieu, introduit une question dans laquelle nous demandions aux experts s'ils souhaitaient que la technologie leur permette *d'autres caractéristiques du couvert de neige* que les trois caractéristiques mentionnées précédemment. Trente-cinq (35) experts sur trente-neuf (39) souhaitaient 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-types⁷ 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 $\pm$ mm (écart-type)	Précision satisfaisante $\pm$ 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

⁷ Écart-type d'échantillon

réponses 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 20 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 »⁸.

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

⁸ 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.

**SURVEY ON USER'S EXPECTATIONS CONCERNING SNOW COVER
MONITORING WITH ORBITING SENSORS**

Report submitted to
Environment Canada
For the
CRYSYS Project

by
Daniel Martin et Monique Bernier

February 1997

TABLE OF CONTENT

1. CONTEXT OF THE SURVEY	33
2. SPECIFIC GOALS OF THIS SURVEY	35
3. METHODOLOGY	35
4. DEVELOPMENT OF THE SURVEY	36
4.1. FORMATION OF THE GROUP OF EXPERTS	38
4.2. ELABORATION AND DISPATCH OF THE FIRST QUESTIONNAIRES	38
4.3. CHARACTERIZATION OF THE RESPONDENTS	40
5. DELPHI ANALYSIS.	41
5.1 GENERAL OBSERVATIONS :	41
5.2 DURATION OF THE DELPHI SURVEY (NUMBER OF ROUNDS)	41
5.3 DELPHI SURVEY - PARTICIPATION RATE:	43
6. RESULTS ANALYSIS.....	44
6.1 LEVEL OF EXPERTISE	44
6.2 GENERAL OBSERVATIONS	44
7.3 ECONOMIC CRITERIA	45
7.4 TECHNICAL CRITERIA	47
6.5 POLITICAL ASPECT	48
6.6 ACCURACY OF THE SNOW WATER EQUIVALENT ESTIMATION	49
7. COMMENTS FROM THE PARTICIPANTS.....	50
CONCLUSION.....	54
ACKNOWLEDGEMENTS.....	55
REFERENCES.....	55

1. Context of the survey

This survey is the first part of a wider research project. The first goal of this project is to study the processes involved in a technological transfer. The second goal is to evaluate the transferability of remote sensing technologies, which means to show that combined with conventional field measurements, these technologies can be a good tool for snow cover monitoring in large and remote hydroelectric watersheds. Such a tool would be profitable to the hydroelectric companies and economically viable for the whole national community

This project is compatible with the first scientific objective of the CRYSYS project which is to *developp ways of monitoring and understanding regional or global variations of the snow and ice variables*. Snow is the element who is covering most of the cryosphere and satellites are a good tool for regional snow cover monitoring.

The experimental aspect of this research contains the following elements: 1) a survey aimed at experts in various snow-related fields (managers, hydrologists, remote sensing specialists) and designed to evaluate their expectations about new remote sensing technologies, 2) a multicriteria analysis which would result in the classification of competing or complementary sensors and 3) an economic analysis of the best sensors/ground-thruth measurements combination in order to prove the socio-economic usefulness of this technology. This is a three step process (figure 1: A,B,C) that will give a methodological context for the evaluation of the remote sensing technology potential for widespread distribution.

Devised at first to fullfill specific needs in the defense area, most satellite technologies are now creating an interest for new civil applications. This trend is due to the development of data transmission, storage and decoding technics. However, the emergence of new applications doesn't necessarily means that they will be suited for a wide distribution on the market. In fact, the successful tranfer of an application coming from the "technological push" depends on several factors controlling market access for this type of technology. The transferability of these technologies is often compromised by high development costs or low socio-economic usefulness. How can we evaluate the spreading potential of satellite technology? Which factors could act as a brake or as an incentive to the technology transfer?

In a situation of a "technological push", the analysis of a technology's "transferability" should deal with three fundamental questions: 1) the solution to potential users needs, 2) the integration process or how it can replace the old way and his evaluation and 3) the possibility to create parallel incentive measures or measures to reduce the number of obstacles that could prevent a good transfer of technology.

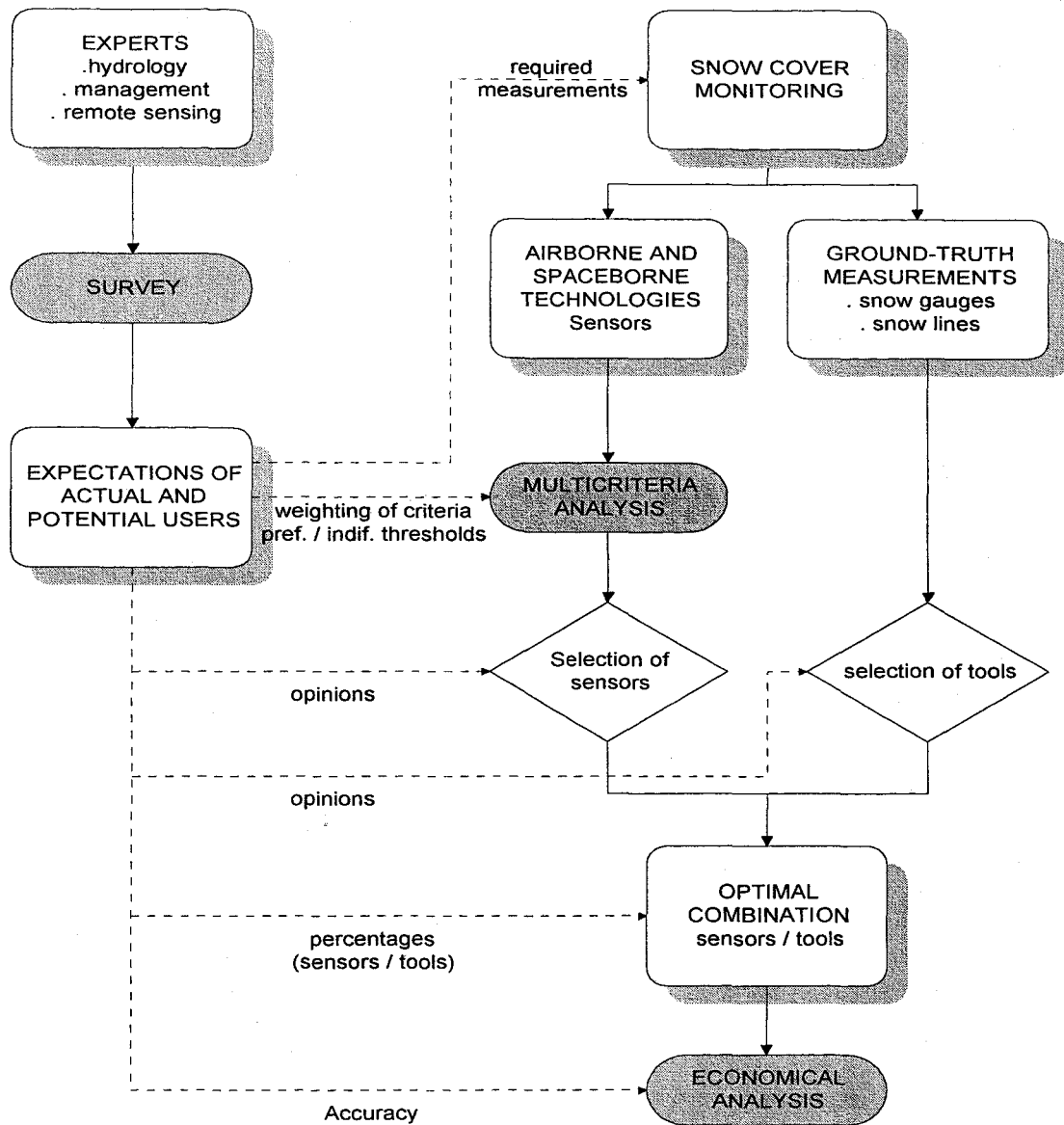


Figure 1 : Diagram of the project

The use of spaceborne technologies for measuring the snow cover characteristics, in order to help reservoir management, is a well suited case to study the transferability of satellite technologies to civil or socio-economic applications. For some years now, hydroelectric companies like Hydro-Québec and Électricité de France have been interested in the combine use of spaceborne observations and conventional field measurements for the snow cover monitoring

of remote and hard to reach hydroelectric watersheds. The remoteness of electricity production sites and the generally large area to monitor in the case of hydroelectric watersheds generate high data acquisition costs for hydrological forecasting. An approach allowing repeated observations of a large area with minimal human intervention is a major advantage in the actual socio-economic context. Moreover, american researchers (Castruccio et al, 1980) have shown that improving the hydrological forecast's accuracy on large watersheds with the help of satellite technology could lead, for hydroelectric production only, to multi-millions n profits.

2. Specific goals of this survey

This survey's goal is to learn and grade the expectations of futur users of spaceborne technology. It is a large-scale work meant to reach specialists scattered around the world. Informations obtained in this survey will be used as the basis for other parts of this project, as can be seen in figure 1.

More specifically, the survey should enable us to:

1. to obtain experts' opinions on remote sensing contribution to the management of large hydroelectric reservoirs located in sparsely settled areas;
2. identify the snow cover characteristics that needed to be monitored;
3. give essential information to a future multicriteria analysis whose role will be to perform a ranking of exixting and potential sensors used for snow cover monitoring. This ranking will be based on criteria selected by the decision makers. These criteria can be conflictual or multidimensional. From such a ranking, we'll be able to identify which sensors are best suited for the desired applications. The survey will particularly be useful to establish the weight of the selected criteria and to define preference or indifference thresholds for some of them;
4. obtain the experts' opinion on the best sensors/ground-thruth combination.

3. Methodology

The survey contains 29 questions : 21 of them are of the DELPHI type and the other eight are open questions. Questions were made according to the type of information desired. DELPHI type questions were used because they provide refined information. The DELPHI method was developped in the fifties by Olaf Helmer at the Rand Corporation. This method was originally designed to obtain and organize opinions from a group of experts about the probabilities of futur events. First a group communication technique, DELPHI became a renowned technical evaluation method such as brainstorming, opinion polls, scenarios and decision analysis techniques. Since its creation, it has been used in several fields such as techmology, management, marketing, medecine, economy, services and social programs. In 1975, Lindstone

and Turoff had already repertoriated 700 different titles of articles, monographies or books mentioning the use of the DELPHI technique.

Compared to the usual group communication techniques, DELPHI differs in:

a) the group size

DELPHI allows a large number of participants, therefore giving a better array of expertise, which is a clear advantage over phone conference or committee meeting.

b) anonymity

A formal questionnaire reduces or eliminates the influence of dominant individuals, which is not always possible with interactive techniques.

c) controlled retroaction

A summary of the previous stage is given to the participants so retroaction allows the experts to review their former answers.

d) group statistics

DELPHI generally uses statistical descriptors such as the median and interquartile spaces. The median is described as the center value of an ordered data set, or the value located halfway between the first and the last data. Being a central tendency measure and being also estimated independently of the distance between data, the median can be considered as a prevention against aberrant values. The dispersion measurement is given by the interquartile space which is the difference between the third (Q3) and the first (Q1) quartile. Each of these two quartiles is located halfway between one of the extreme values and the median.

4. Development of the survey

The survey took place according to the following plan: 1) formation of a group of experts, 2) elaboration of a questionnaire, 3) consulting experts, 4) processing of the questionnaires and results' analysis.

The whole process of the survey is illustrated in figure 2.

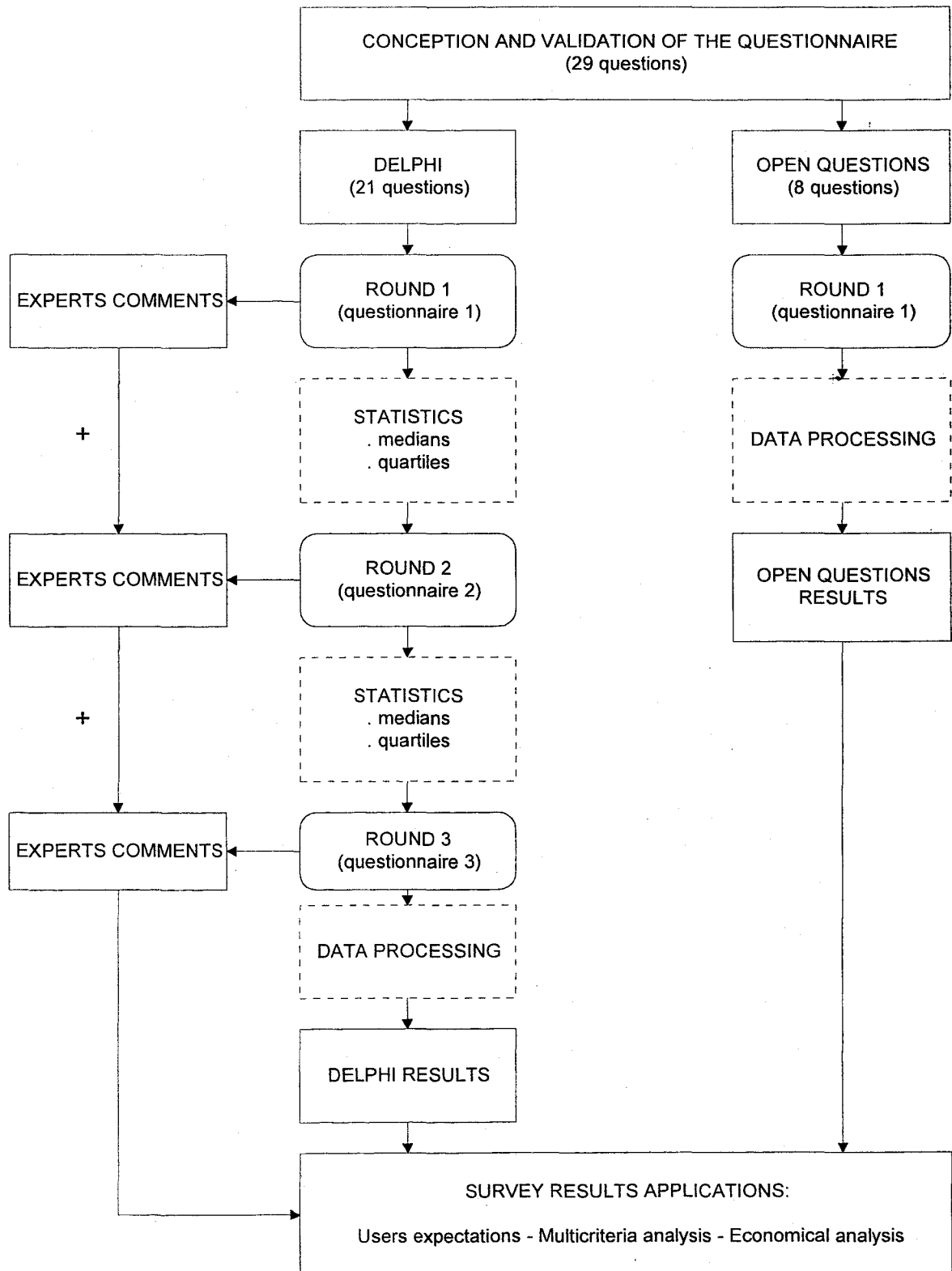


Figure 2 : Development of the survey

4.1. Formation of the group of experts

At first, we wanted to send questionnaires only to hydroelectric companies managers located in countries where snow plays a role in the water supply. Later, we realized that such a restrictive choice was limiting because other snow cover monitoring specialists could give us a good expertise, even if they didn't work in the energy production field. So to the original list, we added specialists in remote sensing and specialists in hydrology. All the experts consulted bear a common knowledge of snow and its importance for hydrological forecasting.

It was however difficult to make a distinct classification of those specialists. In the *manager* category, we put everyone working for an hydroelectric company, whether he or she was an hydrologist, an hydrometeorologist or a manager. This decision was based on the fact that whatever they do, their first concern remains the improvement of hydroelectric production by a better hydrological monitoring. All the participants categorized as remote sensing specialists or hydrologists come majorly from government agencies or universities. This classification has been established according to the information each expert gave. Interpretation errors are possible since information was sometimes insufficient. Such a classification is meant to reduce or eliminate biases caused by the specific agenda of the experts.

The selection of experts was based on:

a) hydroelectric companies administrators

- employees of Hydro-Québec involved in hydrological monitoring
- for other canadian or worldwide hydroelectric companies: Emails were available on the BC-Hydro Internet site

b) specialists in hydrology or remote sensing

- people referenced by INRS-Eau professors;
- recent conference proceedings: *Eastern Snow Conference, Hydrology Workshop, International Geoscience and Remote Sensing Symposium*;
- various publications on remote sensing of snow;
- attending workshops (CRYSYS, PDDR) and conferences (*Eastern Snow Conference*).

4.2. Elaboration and dispatch of the first questionnaires

The questionnaires were elaborated with the help of specialists from INRS-Eau. Three types of answers were possible:

- for DELPHI type questions, grading on a scale of 0 (low) to 10 (high);
- multiple choice answers ;
- quantitative answers (eg. to express expected accuracy for certain data).

The first questionnaire was made of six questions of an economic nature, seventeen questions of a technical nature, one question of a political nature and five questions about the expected quality of the results. For later versions of the questionnaire (round 2 and 3), only the DELPHI type questions were kept.

The economic criteria deal with the financial consequences of introducing remote sensing technologies in an organization, specifically for snow monitoring. The technical criteria were chosen according to their impact on the management of an hydroelectric reservoir. The political criteria helps to define the importance of the sensor's country of origine. Finally, the last group of questions will put the experts' expectations in perspective and will show what they think will come out of these remote sensing technologies.

The package that was sent to each expert contained the survey, an introduction letter from the director of INRS-Eau and a description of the project's methodology (DELPHI and Multicriteria Analysis). 103 french or english surveys were distributed in twelve different countries (table 1).

**Table 1 : Geographic distribution of the questionnaires
(first round)**

COUNTRY	NUMBER OF EXPERTS CONSULTED
Canada	47
United States	20
Japan	6
Norway	6
Switzerland	6
Finland	5
France	5
Italy	4
Austria	1
Belgium	1
New-Zealand	1
United Kingdom	1

In round 1 of the process, the expected period for reply was 10 days. For various reasons, this period was later extended to one month. Since we barely know most of the experts, we asked each participant, as suggested by Saint-Paul and Tenière-Buchot (1974), to give his level of

expertise regarding each question. This level could be 1. Specialists - 2. Very familiar - 3. Familiar - 4. Not very familiar. Often seen in DELPHI type surveys this process was modified to suit our needs. Figure 3 presents a brief description for each level of expertise.

Figure 3 : Description of the knowledge level of the experts

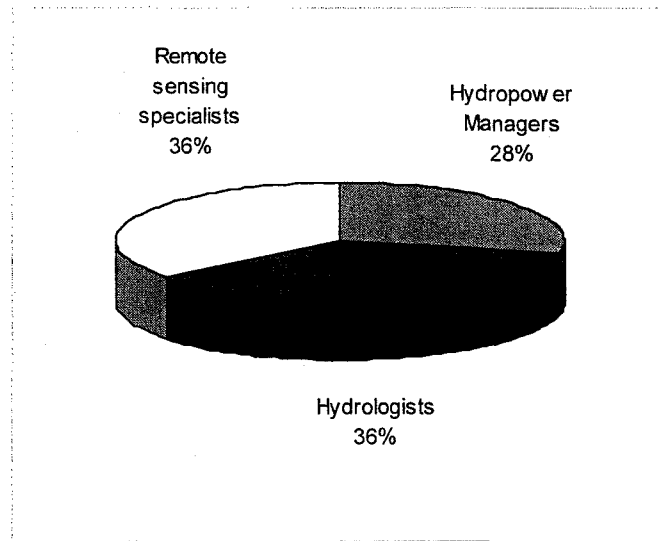
1) Specialist :	You have an exhaustive knowledge of the subject. You already had a major participation in important projects on the subject.
2) Very familiar :	You are very familiar with the subject. You have spent time working on the subject in the past three years. You are familiar with previous studies on the subject.
3) Familiar :	You are familiar with the subject. You are relatively well informed on the subject from readings and conversations.
4) Not much familiar :	You are not very familiar with the subject and only have a general knowledge in this matter.

This exercise gives us a tool to evaluate the level of confidence of each answer.

4.3. Characterization of the respondents

Of the 103 surveys that were sent, 39 were properly filled and returned (37.9%). Only a few questionnaires did not reach the intended expert. Those who did not answer were contacted again by fax or email but to no avail. Among the 39 respondents of round 1, 11 (26%) were categorized as managers, 14 (38%) as hydrologists and 14 (38%) as remote sensing specialists (figure 4).

Figure 4 : Classification of the respondents (round 1)



5. Delphi analysis.

5.1 General observations :

Answers from the DELPHI type questions were processed with MS Excel 5.0. For each answer, the median and interquartile spaces have been calculated. In rounds 2 and 3, each expert was given his earlier answer and the group statistics. He then had the choice to keep or modify his answer. An objective of the DELPHI process is to refine the median and to reduce the interquartile spaces. If the expert decided to keep an answer outside the interquartile spaces, we asked him to give his motivations. Let's note that differences of opinion are important and will be considered later in this paper

5.2 Duration of the DELPHI survey (number of rounds)

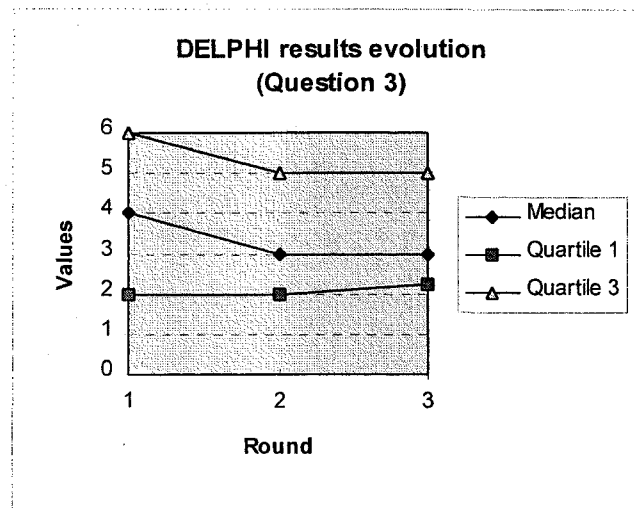
The 8 opened questions were answered once. The 21 DELPHI type questions were asked until results were judged to be satisfying. For these results, we carefully analysed the median and interquartile spaces tendencies. Results for the median are shown in table 2.

Table 2 : Median evolution

Question	Round 1	Round 2	Round 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

In most cases, the median was stable through 3 rounds. For some questions, opinion stabilization was attained in round #2. In all cases, the interquartile spaces constantly narrowed. As an example, figure 5 illustrates two typical DELPHI type results, refining of the median and decreasing of the interquartile spaces. Based on those results, the DELPHI process was stopped after three rounds. Earlier surveys and other studies (Gordon and Helmer, 1964; Borich, 1974) confirm that going further would give no significant gain.

Figure 5



5.3 DELPHI survey - Participation rate:

Table 3 : Participation rate to the survey

Round	Questionnaires released (number)	Questionnaires received (number)	Level of participation (%)
1	103	39	37.9
2	39	31	79.5
3	31	26	83.9

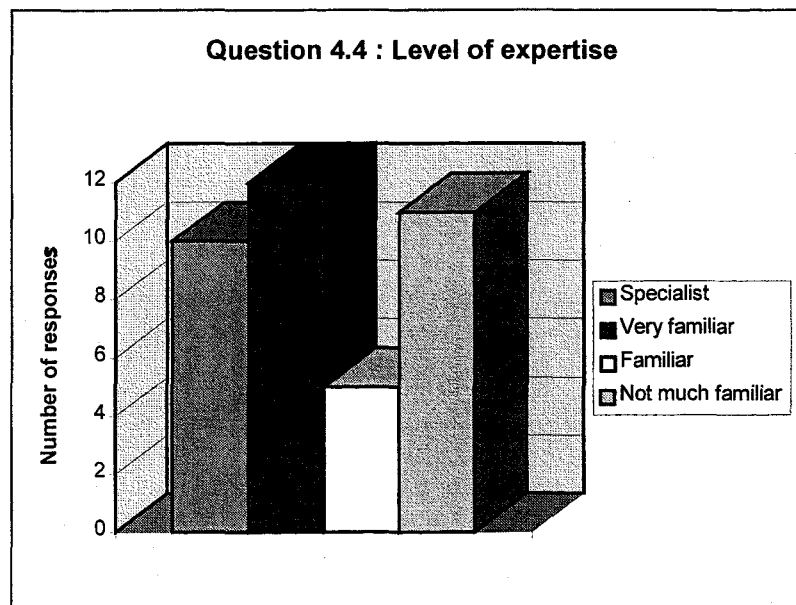
A participation rate of 37% in the first round could seem low but in fact, such results were expected. A lot of questionnaires were distributed (103) because we knew some would be lost and many would stay unanswered. However, we were happy to see that many experts were faithful till the end of the process. Table 3 shows the excellent participation rates of round 2 and 3. Participation rates for this survey are comparable to other DELPHI type surveys. For example, our participation rates have been compared with a DELPHI survey done in 1976 on the future of the Montreal Harbour (Government of Quebec, 1976). It showed participation rates of 41.3% in the first round and 35.9% in the second round.

6. Results analysis

6.1 Level of expertise

For all questions but 2, experts were at least familiar with the subject. About the first exception, *the cost of images*, 41% of the respondents declared not to be *very familiar* with the subject. There could be 3 possible explanations: 1) the expert's organization does not buy images, 2) the organization buys images but the expert is not involved in the process, 3) the expert's organization receive free or low cost images on special agreements. About the second exception, the accuracy of the *snow water equivalent estimation* (4.4; figure 6), we obtained a bimodal distribution of the level of expertise. Figure 6 shows that 57% declared to be *specialist* or *very familiar* with the subject but 41% were only *familiar* or *not very familiar* with it.

Figure 6

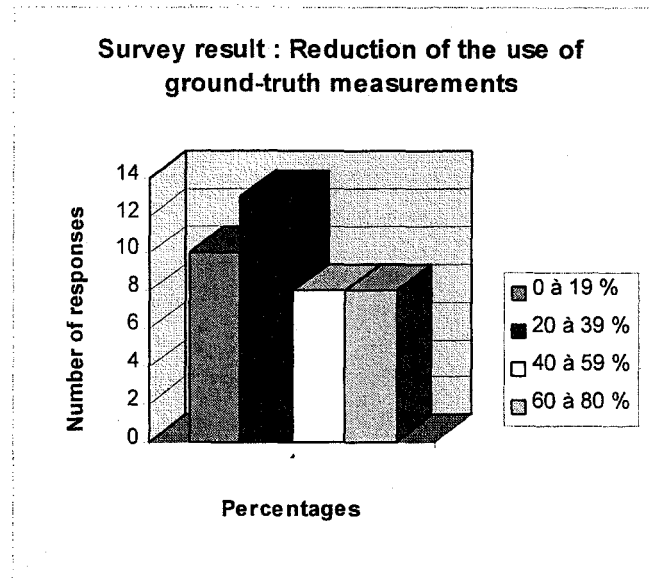


6.2 General observations

It is clear for the experts that introducing a new spaceborne technology could significantly improve the *management of an hydroelectric reservoir* (2.13; 8/10; DELPHI). Moreover, experts think it will also speed up *hydrological forecasting* (4.3; 8/10; DELPHI).

In order to define how much satellite technologies could improve *the management of an hydroelectric reservoir*, we asked experts to specify how much satellite technologies could reduce the use of conventional ground-thruth methods (4.1). The possible choices of answers were a) from 0 to 19%, b) from 20 to 39%, c) from 40 to 59%, d) from 60 to 80%. Results are shown in figure 7 where 33% of the respondents thinks that the conventional ground-thruth measurements should decrease by 20 to 39%.

Figure 7



We also asked the experts their expectations about the *efficiency of the satellite technologies* (2.3). On the time they would hope to save from data acquisition to final product, a DELPHI of 8/10 shows high expectations from the experts. On the accuracy of snow water equivalent estimations (4.2.1) and snowmelt monitoring (4.2.2) experts also think there will be a significant gain because the DELPHI scores were 8/10 on both questions.

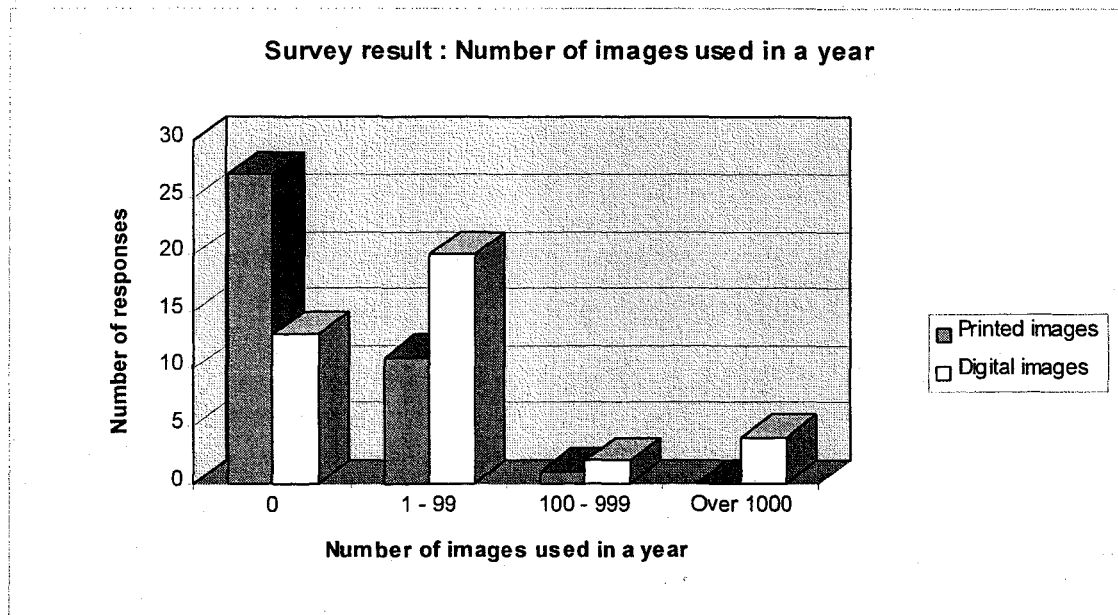
The use of a new technology generally comes with a well appreciated *gain in knowledge* (4.2). The experts agree on this matter as a result of 8/10 on the DELPHI tends to confirm. However, the *gain in prestige* (2.5) or the concurrenial advantage such a technology could give is of a lesser importance for the experts (5/10; DELPHI). *Conviviality* on the other hand (2.6), have the favor of the experts (8/10; DELPHI).

Let's note that because in many cases our questions are beyond the normal expertise of the people consulted, their answers often express their views about the future. This represents a good context for a DELPHI analysis.

6.3 Economic criteria

The first question of this section was intended to learn about the *experts' consumer habits* (1.3). Specifically, we wanted to know how many digital or printed satellite images they were using each year. Figure 8 shows a summary of the answers, regrouped in for classes. It is interesting to see that 66% of the respondents (27) did not use a printed satellite image last year and 33% (13) did not use a digital one. Only a few of the experts have used more then 100 images last year: 1 expert used 250 printed images, 1 expert used 2000 digital images, 1 expert used 3000 digital images.

Figure 8 : Annual volume of images used



To estimate the financial costs of using satellite technologies for snow monitoring, we treated *implantation costs* (1.1) separately from *operating costs* (1.2). The first ones include the purchase or renting of specialized equipment for signal reception and digital image analysis, the costs of staff formation, etc. The second ones refer to the purchase of raw images, some labor costs and costs related to the maintenance and operation of the equipment. Most experts, independantly of their origin or their work, seem to be sensitive to both *implantation* and *operating costs* because the results of the DELPHI were 8/10 in each case.

Also part of this section, we asked the experts how sensitive they were about *the cost of raw satellite images* (1.4) as determined by the distributing agencies. The DELPHI gave a result of 8/10, which is significant. This information will be used to evaluate each sensor in the multicriteria analysis.

Next, we asked the experts the following question (1.5.1) : Assuming that two sensors could give comparable information, what difference in the price of images would not affect you, a) 1\$/100 km², b) 2\$/100 km², c) 3\$/100 km². 56% (22 experts) chose a) 1\$/100 km².

Making the same assumption, we also asked the experts (1.5.2) at what price difference they would have a marked preference for the cheapest image, a) 10 to 19\$/100 km², b) 20 to 29\$/100 km², c) 30 to 39\$/ 100 km². 72% (28) of the experts chose a) 10 to 19\$/100 km².

These two questions could seem ambiguous but the answers were crucial for establishing preference and indifference thresholds on image costs. This will be used in the multicriteria analysis. Since we needed a single answer in each question, we used the answer of the majority.

In the second question, intervals were introduced to clarify the question but only the lower bound was of use. *Finally, the indifference threshold was set at 1\$/100 km² and the preference threshold was set at 10\$/100 km².*

6.4 Technical criteria

The first question of this group is about the *frequency of satellite data acquisition (2.1)*. The DELPHI process showed us that for the experts, it is an important factor. In the 3 rounds of the process, the results stayed at 8/10. This number will also be used in the multicriteria analysis as a weighting factor for the sensors. The frequency of data acquisition is related to the repetitivity, or revisiting frequency. It is the time elapsed between 2 overpasses on a specific location. The following question (2.2.1) was asked : Assuming that two sensors give comparable information, what biggest difference in frequency would not bother you? a) 1 day, b) 3 days, c) 15 days, 30 days. *51% of the respondents said that a 3 days difference in frequency would not bother them.*

Keeping the same assumption, we asked the experts (2.2.2): what difference in frequency will be big enough to make you choose a sensor over the other? a) 10 to 19 days, b) 20 to 29 days, c) 30 to 39 days. *95% of the respondents chose a) 10 to 19 days.*

Like for the questions about the cost of images, those questions are used to define an indifference and a preference threshold. *For repetitivity, the indifference threshold is set at 3 days and the preference threshold is finally set at 10 days.*

In the multicriteria analysis, the *operational status of a sensor (2.7)* will be considered. So for this study, we selected sensors with various operational status. Some have been orbiting for many years, others have just been launched. We also had to consider sensors still to be launched but with a big potential for snow monitoring. In the survey, the question asking about the importance of the operational status gave a DELPHI score of 9/10. This shows the importance of this factor to the experts.

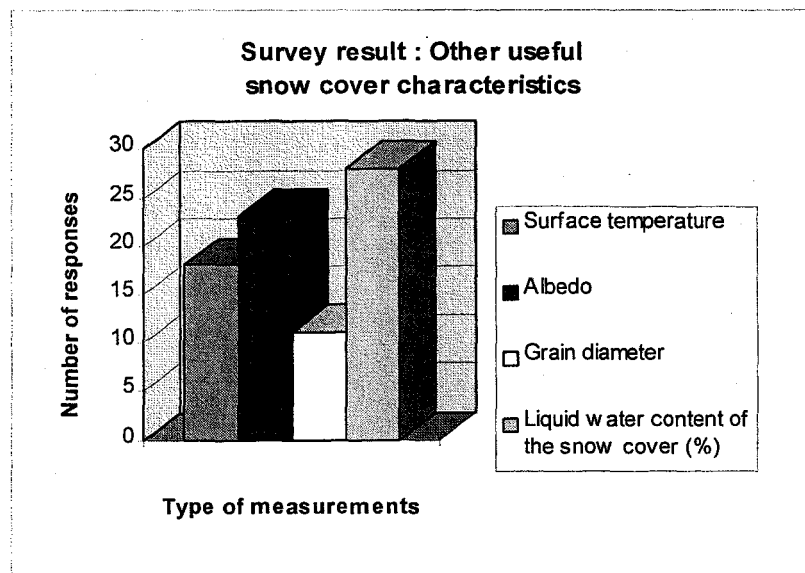
Many spaceborne or airborne remote sensing technologies are part of a long-term development plan. Often, there is a *continuity in the space programs* (eg. SPOT, Landsat). We asked experts if they would consider this as an important factor when using satellite technologies (2.8). A result of 8/10 on the DELPHI process shows that longevity is indeed a preoccupation. This information will also serve in the multicriteria analysis.

The *sensor's versatility* is his ability to acquire simultaneously more than one type of information (2.11). For this particular study, we defined versatility as:

1. The ability to *simultaneously provide several snow cover measurements (2.11.1)*;
2. The ability to simultaneously provide *other types of measurements* (eg. soil moisture)(2.11.2).

Because versatility is an important factor, we asked a separate question for each aspect. Both scored 8/10 on the DELPHI process. Again, this information will be used in the multicriteria analysis. The first aspect dealt with the principal measurements of the snow cover : *spatial distribution of the snow cover, spatial distribution of wet snow, spatial distribution of the snow water equivalent*. The survey was useful in learning how important those measurements were to the experts. Spatial distribution of the snow water equivalent got a score of 10/10 on the DELPHI process, *spatial distribution of the snow cover* got a score of 8/10 and *spatial distribution of the wet snow* got a score of 7/10. Those informations will also serve in the multicriteria analysis. The second aspect of versatility was explored by asking the experts if they would like the sensor to acquire other characteristics of the snow cover. 35 of the 39 experts said yes. We then suggested some new characteristics and results are shown in figure 9.

Figure 9



Most of the watersheds associated with hydroelectric production cover a large area. We asked the experts to evaluate the *ability of a sensor to acquire data on a large territory with a minimal number of images (2.12)*. This criterion is considered important since it scored 8/10 on the DELPHI process. This information will be used later in the multicriteria analysis.

6.5 Political aspect (question #3) :

We consider that the *sensor's country of origin* is important when financial contribution from states or provinces are at stake or when cooperation between countries include a choice of technology. One question of the survey asked the experts what they think about that. The DELPHI process gave a score of 3/10, the lowest of the survey. Even so, this information will be used in the multicriteria analysis. Such a score will help to give a lower weight to this criteria (5% compared with 13% for the *cost of images*).

6.6 Accuracy of the snow water equivalent estimation

With an opened question, we asked the experts to quantify the accuracy (mm) they hoped for and the accuracy (mm) they would find acceptable for the *estimation of the snow water equivalent* (4.4). The range of answers was very large. About the accuracy they hoped for, the experts gave answers ranging from ± 0.5 mm to ± 30 mm (mean: 10.5 mm, STD : 8.1 mm). About the accuracy they would find acceptable, the range of answers goes from ± 2 mm to ± 80 mm (mean: 22.6 mm, STD: 18.5 mm).

Those results were classified according to the three categories of experts (*managers, hydrologists and remote sensing specialists*) and statistics were calculated. Table 4 shows the results

Table 4 : Accuracy of the snow water equivalent :
averages (standard deviations) of the obtained results, by *professional category*

Professional category	Responses (in %)	Expected accuracy $\pm$ mm (standard deviation)	Satisfying accuracy $\pm$ mm (standard deviation)
Managers	8 / 11 (73 %)	7 (5)	14 (10)
Hydrologists	14 / 14 (100 %)	10 (7)	19 (15)
Remote sensing specialists	10 / 14 (71 %)	14 (10)	33 (24)

As can be seen, some *managers* and *remote sensing specialists* did not answer this question. *Hydrologists* are more knowledgeable in the matter and they all gave an answer. *It is obvious that accuracy requirements differ from one category of experts to the other.* The large standard deviation was a sign that we should only keep the answers from experts who were at least familiar with the subject. So we removed 3 answers from *managers* (4 other did not answer), 2 from *hydrologists* and none from the *remote sensing specialists* (4 did not answer).

Table 5 shows the new results

**Table 5 : Accuracy of the measurement of the snow liquid water content :
averages of the obtained results, by *professional category* after removing the answers
of the individuals considering themselves as *not much familiar* with the subject**

Professionnal category	Responses (in %)	<i>Expected accuracy</i> +/- mm (standard deviation)	<i>Satisfying accuracy</i> +/- mm (standard deviation)
Managers	3 / 11 (27 %)	5 (4)	10 (7)
Hydrologists	12 / 14 (86 %)	10 (8)	20 (15)
Remote sensing specialists	10 / 14 (71 %)	14 (10)	33 (24)

This exercise, suggested by Saint-Paul and Tenière-Buchot (1974), was effective in reducing dispersion for the first 2 categories. Results in the third category remained unchanged.

The range of results was however expected. It is well known that *managers* are more demanding when you talk about accuracy. For a snow cover with a 20 mm water equivalent, they would hope for a relative accuracy of 2.5%. Since *hydrologists* are probably more familiar with remote sensing, they would hope for an accuracy of 5% but would accept 10%. Finally, answers from *remote sensing specialists* are probably related to their personal experience because some hope for an accuracy of 3% and others only for 30%.

7. Comments from the participants

At each stage of the DELPHI process, we asked the experts to give us comments when they did not agree with the majority of participants or simply when they feel up to it. Most of the comments were given in the last two rounds. These comments helped the experts to be more specific about an answer, to justify it, or in certain cases, to clarify the question. Only the relevant comments were kept.

7.1 Costs associated with the implantation (1.1) and operation of a new technology (1.2)

Most of the experts told they were sensitive about the costs associated with the implantation and operation of a new technology. For a research center who depends on an external financing, these costs are an important factor to consider before going on with a project. However many people said that long term benefice prevailed over immediate costs. These

comments show us how crucial it is to make a cost/benefice analysis before introducing a new technology in an organization. Some people also mentionned that the operation costs should be viewed on a time basis as they would decrease with the mastering of the technology.

It is obvious that implantation and operation costs could be somewhat dissuasive when you talk about the satellites technology. However, as the experts showed, there are ways to attenuate these costs.

7.2 The cost of satellite imagery (1.4)

Many people insist on the fact that for the time being, the overpriced images limit the use of the remote sensing technology. However, even if most of the experts are sensitive about the cost of an image, one participant stated that compared to the analysis, development and distribution costs of the final product, an image is relatively cheap. Finally, it is interesting to see that because they charged the client, many experts did not consider the price of an image as an important factor.

7.3 Frequency of acquisition (2.1)

Many experts pertinently mentionned that the frequency of information acquisition (sensor repetitivity) was directly related to the type of information desired. Hydroelectric companies are a good exemple since for them, the frequency of acquisition is not crucial, unless they need information about the snow melting process. For one of the experts, receiving information weekly was enough. For another, a two week period was acceptable, unless the clouds could mask the desired information. This means that a greater frequency of acquisition would be needed.

7.4 Time saving (2.3)

This question referred to the awaited efficacy of a new technology, specifically on the time saved from the image acquisition to the final product. One particular expert mentionned that with satellite technology, the preprocessing of data was quite time consuming. Some people also mentionned that to be operational, it was important to work on a real-time or quasi real-time basis. Finally, someone said that a gain in information quality was more important than the time we could expect to save with satellite technology.

7.5 Prestige (2.5)

This is a good exemple of an ambiguous question. Thus, a canadian expert prefers to talk of a concurrential gain rather than a matter of prestige. According to him, an advantage which comes from a technological advancement could lead to a better final product. For another expert, the importance of a new technology lies more in the quality of the results than in any gain of prestige.

7.6 Simplicity of use 2.6)

An expert mentionned that to be efficient, a new technology should be user-friendly. Another expert added that a non user-friendly technology could create new and unexpected costs to the user. More experts insist that a complex technology is more expensive to implement or maintain and that it could eventually leads to a lost of interest from the users.

7.7 Operational status (2.7)

An expert said that we have to rely on what is existing but also be prepared to use futur and promising sensors. However, to many experts, the operational status of a sensor is capital when implanting a system.

7.8 Longivity of the technology (2.8)

Someone mentionned that it always takes time for an organization to get used to a new technology and to master it. Within a long term development plan, the adaptation to a second or a third generation of sensors from a same familly (eg: SPOT) should however be less time consuming. This comment revives the debate about the necessity to go on with RADARSAT II.

7.9 Importance of some snow measurements (2.9)

We asked the experts to grade the following snow measurements: extent of the snow cover, wet snow spatial distribution, snow water equivalent spatial distribution.

Some interesting comments were made about the wet snow spatial distribution. One expert mentionned that this was an important information for the melting models. Another added that knowing the frontier between wet and dry snow was a key element for reliable prediction of the melting process. Finally, a finnish participant said that the wet snow spatial distribution was the hottest subject in microwave sensing of snow.

7.10 Versatility of the sensor (2.11.2)

The results of our survey showed that many experts would like to have information on the soil moisture. This interest was also obvious in a recent workshop on remote sensing in hydrology attended by the author of this survey. One norwegian expert is quite pessimistic about getting the soil moisture from satellites. According to him, sensors are unable to give good estimates in woody or heterogenous areas. Another expert would expect from the sensors, more data on vegetation and surface temperatures. This information would help to analyze the data on the snow cover. A canadian expert also mentionned that he would like to have some information on the vegetation to help in estimating evapotranspiration. Another norwegian expert finally stated that soil moisture and vegetation state would be both useful but that they are hard to get in non agricultural areas (which represents more than 95% of the Norway landscape).

7.11 Field of view of a sensor (2.12)

Many canadian experts wish that a sensor would be able to entirely cover the large watersheds of this country. Another expert pointed out that the covered area was to be balanced with the loss in information which results from a loss in spatial resolution. The key is to find the optimal configuration.

7.12 Satellite technology and the management of the hydroelectric reservoirs (2.13)

Most of the experts are convinced that satellite technologies could help to improve the management of hydroelectric reservoirs. However, people who actually work for hydroelectric companies were less enthusiastic. They said that if there were an improvement, it would not necessarily be significant and that satellite technologies would not change their managing methods.

7.13 Sensor's origin (3)

For most of the experts, the country that build and operates the sensor is of no consequence. Thus, few comments were made on this question. However, an expert said that the development of RADARSAT had greatly influenced radar research in Canada. He also mentionned that financing was available for canadian users by the Canadian Space Agency. So in a way, the country of origin of a sensor could be significant. Another canadian participant added that using local (national) technologies was one of the goals of his company.

7.14 Improvement of the snow water equivalent estimation by integrating satellite technologies and conventional field measurements (4.2.1)

A norwegian expert pointed out that passive micro-waves could be very useful for the estimation of the snow water equivalent if the sensor's spatial resolution was better (higher). To justify the high mark he gave on this question, an american expert mentionned that he has already achieved estimation improvement in his work.

7.15 Satellite technologies and Hydrological forecasting (4.3)

An american expert mentionned that the non traditional sources of data never improved the rate at which hydrological prediction were made. Many experts from Quebec told us that satellite technologies should improve the quality of the predictions rather than the speed at witch they are made. This opinion is shared by an american and a french expert who say that more data should increase the quality of the predictions

Conclusion

The elaboration of the questionnaire was without a doubt, the more delicate phase of this survey. From this experience, we learned that it is worthwhile to first test the questionnaire on a small sample of experts in order to avoid misinterpretation. The more precise you want an answer to be, the more comprehensible must be the question. Problems occured particularly with the questions about preference and indifference thresholds.

To obtain good results, a lot of questionnaires must be sent. This process become expensive if you want to do an international survey. It is also essential to anticipate delays from the respondents and to think of a systematic recontacting process (fax, email, etc). In this study, it took 8 months from the elaboration of the first questionnaire to the analysis of the last one. The use of the DELPHI process is the principle reason for such a long period. The lenght of the survey also discouraged renowned specialists who stopped responding before the end of the process. However, we would use this technique again because it gave more accurate results than a conventional survey. Even if the medians were very stable throughout the three rounds, the convergence mecanism worked very well because final interquartile spaces are in all cases, lower than initial ones.

Globally, this survey gave us the opportunity to go beyond the original goals. For the snow cover characteristics, the survey showed the importance of the principal types of measurements (spatial distribution of snow, wet snow or snow water equivalent) and the expectations about other types of data that a satellite should acquire (surface temperature, albedo, grain size, water liquid content of snow). Also, we obtained essential information for the pursuit of the multicriteria analysis on the satellite sensors (weighting of the criterias, preference and

indifference thresholds). Those data are more detailed than what we previously obtained from a small local survey.

However, the principal achievement of this survey was to get the experts' opinion on the improvement that could result from using satellite technologies to help managing large and remote hydroelectric reservoirs. The positive views of the experts is an encouragement for the continuation of our study. Moreover, this survey fits perfectly with our philosophy about methods for decision support because it uses an interactive process.

Finally, our wishes are that the results of this survey will be used in other projects than this thesis and that they will benefit everyone.

Acknowledgements

The authors thank Mr François Marquis for his contribution to the conception of the questionnaires and to the data processing, Mrs Nathalie Fortin, Mr Yves Gauthier for the english translation of the text and Dr Jean-Pierre Fortin for his useful technical advice at the different stages of the project. This survey was funded by the CRYSYS program (Environment Canada).

References

- 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

Annexe
Annex



Université du Québec

Institut national de la recherche scientifique

INRS EAU

2800, rue Einstein, suite 105

Casa postale 7500

Sainte-Foy, Québec, Canada

G1V 4C7

Téléphone: (418) 654-2524

Télécopieur: (418) 654-2660 (administration)

(418) 654-2600 (professeurs)

Quebec, March 18, 1996

Mr K.L. GIESE

National Remote Sensing Hydrologie Program

Office of Hydrology, National Weather Service, NOAA

6301 34th Avenue South

Minneapolis, Minnesota 55450-2985,

U.S.A.

Dear Sir,

As director of INRS-Eau, I would appreciate your collaboration to help us realize the research project of Daniel Martin, a member of a research team working on hydrology, here at INRS-Eau. This research team is pursuing studies related to *airborne and spaceborne snow cover monitoring technologies*. The aim of those studies is to improve reservoir management for hydropower generation in countries where snow represents an important part of annual runoff. Recognizing your expertise in this field (hydrology-management-research), we seek your cooperation for the evaluation of these new technologies.

The first section of this project essentially consists of a survey meant to *know and rate* the expectations of actual or potential users of remote sensing technologies in hydrology. This survey contains two types of questions : DELPHI type questions and open, general questions. The DELPHI type questions will mainly be used to supply information to a MULTICRITERIA ANALYSIS¹ meant to establish a preliminary ranking among the new snow cover monitoring technologies. The open questions will allow us to evaluate your needs in images and your expectations regarding measured parameters.

The DELPHI survey is an iterative method that makes use of expert's opinion without the need for them to meet. You will be asked, as expert, to provide quantified estimations and revise them. The DELPHI section of this survey contains 26 questions and will take place in three stages. You will express your evaluations by using the provided scales (evaluation on a scale from 0 to 10, percentage) or by ticking the appropriate answer. It is important that you answer all questions. The questions of the second and third stages will be the same as those of the first

¹ You will find more informations on DELPHI survey and MULTICRITERIA ANALYSIS in the following pages.

stage and will come with the statistical results (median, interquartile space) of the preceding stage. These results will be given without mentioning their origin. This way, the participants will remain anonymous.

It should only take a few minutes of your time to fill out this questionnaire. To avoid ambiguities, explanatory notes have been added to certain questions. If questionnaires are sent to several persons belonging to the same work unit, we would appreciate individual answers, for a better quality of the results. We ask you, as far as possible, to send questionnaires back within *ten days*. Your collaboration is essential to ensure the normal course of this project and the progress of scientific knowledge in the field of hydrology and remote sensing of snow.

We thank you in advance for your contribution.

Yours sincerely,

The Director of INRS-Eau

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'JP Villeneuve', written over the printed name.

JEAN-PIERRE VILLENEUVE

Encl.

EXPERT'S PROFILE	
NAME	
WORK UNIT	
EXPERT'S DUTIES	1.
	2.
	3.
	4.
	Others :
EDUCATIONAL LEVEL : College, university : undergraduate, graduate	
E-MAIL : (address)	

INTRODUCTION TO THE QUESTIONNAIRE AND IMPORTANT NOTES

1. The questionnaire is divided as follows :

1. Questions on economic criteria :	6
2. Questions on technical criteria :	17
3. Question on the political aspect :	1
4. Questions on the quality of the results :	5
TOTAL NUMBER OF QUESTIONS :	29

2. For the first questionnaire, each expert is expected to rate his own knowledge of each subject. The following rating, based on the knowledge of the subject, should be used :

1) Specialist :	You have an exhaustive knowledge of the subject. You already had a major participation in important projects on the subject.
2) Very familiar :	You are very familiar with the subject. You have spent time working on the subject in the past three years. You are familiar with previous studies on the subject.
3) Familiar :	You are familiar with the subject. You are relatively well informed on the subject from readings and conversations.
4) Not much familiar :	You are not very familiar with the subject and only have a general knowledge in this matter.

3. Each expert must give an answer and tick the appropriate box, no matter what level his knowledge of the subject is.

4. For questions on image prices, the canadian dollar has been used as monetary unit. The following table contains the current exchange rates :

Country (pays)	Currency (devise)	Rate of exchange (équivalence) 1 \$ can. = ... foreign units (devises étrangères)	Rate of exchange (équivalence) 1 for. un. (dev. étr.) = ... \$ can.
Canada	Dollar	1,00	1,00
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

ADDITIONAL INFORMATION

1. About the multicriteria analysis...

For the first part of our ranking of airborne and spaceborne sensors, the multicriteria method PROMETHEE II has been chosen (Preference Ranking Organization **M**ETHODS for **E**nrichment **E**valuations) because it seemed to be one of the most users-friendly method for decision makers and analysts.

Those who developed PROMETHEE, J.P. Brans et al. (1984), use a *generalized criteria* to express the choices made by the decision makers. Among the six generalized criteria, we have selected those who seemed the most relevant for our analysis.

Among the chosen functions for the *generalized criteria*, it is necessary to fix some parameters to define the preference (p) and indifference (q) thresholds. Regarding *prices of raw images*, a *V type function* has been chosen. Finally, a *step function (IV type)* has been selected in the multicriteria analysis, to explain the revisiting frequency.

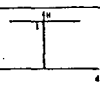
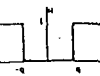
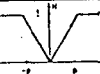
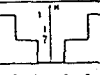
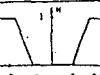
2. About DELPHI...

Developed in the fifties by Olaf Helmer at the Rand Corporation, the DELPHI method originally intended to be a procedure to obtain and organize opinions of a group of specialists about the probabilities of future events.

Afterwards, DELPHI became a renowned technical evaluation method for its systematic and orderly approach to resolve complex problems as are brainstorming, opinion polls, scenarios and decision analysis technics.

DELPHI is a group communication technic that makes use of experts' opinion without the need for them to meet. It is usually a two or three stages process.

3. Criteria functions for PROMETHEE

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 plateau	$H(d) = \begin{cases} 0, & d < q; \\ \frac{1}{2}, & q < d < p; \\ 1, & \text{autrement} \end{cases}$		q, p
V. Critère à préférence linéaire avec zone 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 (linéaire) - gaussien	$H(d) = 1 - \exp\left(-\frac{d^2}{2\sigma^2}\right)$		σ

No 1 QUESTIONNAIRE

I. ECONOMIC CRITERIA :

Economic criteria are related to financial effects resulting from the introduction and use of airborne and spaceborne snow cover monitoring technologies.

This part is divided into six (6) questions.

Explanatory note :

The first two (2) questions are general and concern costs. The *establishment costs*, due to the introduction of a new technology, will be distinguished from the *operating costs*, caused by the use of this technology. The *establishment costs* may include buying or renting specialized equipment for data acquisition processing, staff training, etc. The *operating costs* refer to the purchase of raw images, labour costs related to data processing and maintenance costs of equipment.

1.1 Establishment costs of a new technology :

Question : In a general cost reduction context and considering your operating budget, rate, on a scale from 0 to 10, the importance you attach to the establishment costs of a new technology in your organization.

Your answer : _____ Evaluation : 0 low → 10 high

Knowledge level (establishment costs of a new technology). Tick, please :

☐ Specialist ☐ Very familiar ☐ Familiar ☐ Not much familiar

1.2 Operating costs of a new technology :

Question : In a general cost reduction context and considering your operating budget, rate, on a scale from 0 to 10, the importance you attach to the operating costs of a new technology:

Your answer : _____ Evaluation : 0 low → 10 high

Knowledge level (operating costs of a new technology) :

☐ Specialist ☐ Very familiar ☐ Familiar ☐ Not much familiar

1.3 Number of images used in a year (if applicable) :

Please, give an estimate of the number, in each category :

Printed images : _____

Digital images : _____

1.4 Price of raw images :

Question : In your operating budget, rate, on a scale from 0 to 10, the importance you attach to the price of images as fixed by distributing agencies :

Your answer : _____ Evaluation : 0 low → 10 high

1.5 Specific questions on preference or indifference parameters regarding raw image prices :

1.5.1. Question : Let us assume that two sensors give approximately the same information. Would you choose indifferently either sensor if the difference between the image prices was (only one answer, please) :

a) 1 \$ / 100 km². ☐

b) 2 \$ / 100 km². ☐

c) 3 \$ / 100 km². ☐

1.5.2. Question : For two sensors giving the same information, would you express a marked preference for a sensor whose images are cheaper if the price difference between the images of the two sensors was between (only one answer, please) :

a) 10\$ and 19\$ / 100 km² ☐

b) 20\$ and 29\$ / 100 km² ☐

c) 30\$ and 39 \$ / 100 km² ☐

Knowledge level (prices of images) :

☐ Specialist ☐ Very familiar ☐ Familiar ☐ Not much familiar

II. TECHNICAL CRITERIA :

In this section, technical criteria which can have an important impact on the management of hydroelectric facilities have been selected.

This part is divided into seventeen (17) questions.

2.1 Frequency of data acquisition :

Question : *On a scale from 0 to 10, rate the importance you attach to the frequency of data acquisition for snow cover monitoring.*

Your answer : _____ Evaluation : 0 low 0 high

Knowledge level (frequency of data acquisition) :

☐ Specialist ☐ Very familiar ☐ Familiar ☐ Not much familiar

2.2 Specific questions on preference or indifference parameters for the revisiting frequency of the sensor :

Explanatory note :

The revisiting frequency of a sensor is the time interval between two consecutive revisit opportunities over a given location on the Earth. For selected sensors of the study, the frequency varies between four times a day and once in 35 days.

2.2.1 Question : *Let us assume two sensors give the same information. Would you choose indifferently either sensor if the difference between the revisiting frequency of the two sensors was (only one answer, please)? :*

- a) 1 day ☐
- b) 3 days ☐
- c) 15 days ☐
- d) 30 days ☐

2.2.2. Question : For two sensors giving the same information, would you express a preference for the sensor whose revisiting frequency is the highest (shorter time interval between overpasses) if the revisiting frequency difference between the two sensors was between the following values :

a) 10 and 19 days ☐

b) 20 and 29 days ☐

c) 30 and 39 days ☐

Knowledge level (revisiting frequency) :

☐ Specialist ☐ Very familiar ☐ Familiar ☐ Not much familiar

2.3. Time saving :

Question : On a scale from 0 to 10, rate the importance you attach to the expected efficiency of the new technology for snow cover monitoring (essentially concerning time saving from data acquisition to production of results) :

Your answer : _____ Evaluation : 0 low → 10 high

Knowledge level (expected efficiency of a new technology) :

☐ Specialist ☐ Very familiar ☐ Familiar ☐ Not much familiar

2.4 Acquisition of new knowledge :

Question : On a scale from 0 to 10, rate the importance you attach to the acquisition of new knowledge obtained by the introduction of a new technology :

Your answer : _____ Evaluation : 0 low → 10 high

Knowledge level (acquisition of new knowledge) :

☐ *Specialist* ☐ *Very familiar* ☐ *Familiar* ☐ *Not much familiar*

2.5 Prestige :

Question : *On a scale from 0 to 10, rate the importance you attach to the fact that the use of a new technology could allow you to dissociate from your competitors (greater prestige):*

Your answer : _____ *Evaluation : 0 low ➡ 10 high*

Knowledge level (greater prestige) :

☐ *Specialist* ☐ *Very familiar* ☐ *Familiar* ☐ *Not much familiar*

2.6. Easiness of use of a new technology :

Question : *On a scale from 0 to 10, rate the importance you attach to the easiness of use of a new technology :*

Your answer : _____ *Evaluation : 0 low ➡ 10 high*

Knowledge level (easiness of use of a new technology) :

☐ *Specialist* ☐ *Very familiar* ☐ *Familiar* ☐ *Not much familiar*

2.7. Operational status :

Explanatory note :

The selected sensors of the study may have a different operational status : some have been in orbit for several years, others have just been launched. Sensors whose launching is planned in a few years and seem to have a promising potential for snow cover monitoring have also been considered. Since it is proper to consider this criterion in the analysis, we ask you to give your opinion on this criterion.

Question : *With due regard to decisions that have to be taken now regarding the use of a specific sensor, rate, on a scale from 0 to 10, the importance you attach to the operational status of the sensor :*

Your answer : _____ Evaluation : 0 low $\Rightarrow$ 10 high

Knowledge level (operational status of the sensor) :

☐ Specialist ☐ Very familiar ☐ Familiar ☐ Not much familiar

2.8. Technological evolution :

Question : *Several airborne and spaceborne technologies are part of long-term development plans. On a scale from 0 to 10, rate the importance you attach to the longevity of the program to which the technology you would eventually use or are actually using is related:*

Your answer : _____ Evaluation : 0 low $\Rightarrow$ 10 high

Knowledge level (technological evolution) :

☐ Specialist ☐ Very familiar ☐ Familiar ☐ Not much familiar

2.9. Importance of three specific snow cover monitoring measurements :

The following questions refer to three accurate snow cover monitoring measurements.

Question : We ask you to quantify the importance you attach to each of these measurements (on a scale from 0 to 10) :

2.9.1. Spatial distribution of the snow cover (snow-covered areas vs. snow-free areas) :

Your answer : _____ Evaluation : 0 low $\Rightarrow$ 10 high

2.9.2. Spatial distribution of wet snow :

Your answer : _____ Evaluation : 0 low $\Rightarrow$ 10 high

2.9.3. Spatial distribution of snow water equivalent :

Your answer : _____ Evaluation : 0 low $\Rightarrow$ 10 high

2.10. Estimation of other snow cover characteristics :

Question : Would you wish, with airborne and spaceborne sensors, to estimate snow cover characteristics other than those mentioned in question 2.9 ? :

Yes: ☐

No : ☐

If yes, which ones :

Surface temperature : ☐

Albedo : ☐

Grain diameter : ☐

Liquid water content of the snow cover (%) : ☐

Knowledge level (snow cover monitoring measurements) :

☐ *Specialist* ☐ *Very familiar* ☐ *Familiar* ☐ *Not much familiar*

2.11. Versatility of the technology :

Explanatory note :

In the two following questions, we have considered that the versatility of a new technology could be understood at two levels :

1. The possibility to provide, simultaneously, several snow cover measurements.
2. The possibility to provide other measurements than snow cover ones. -

2.11.1. Question : *On a scale from 0 to 10, rate the importance you attach to the ability of a technology to provide simultaneously several snow cover measurements :*

Your answer : _____ *Evaluation : 0 low → 10 high*

Knowledge level (ability of the technology to provide several snow cover measurements)

☐ *Specialist* ☐ *Very familiar* ☐ *Familiar* ☐ *Not much familiar*

2.11. 2. Question : On a scale from 0 to 10, we ask you to rate the importance you attach to the ability of a technology to provide other informations than snow cover ones :

Your answer : _____

Evaluation : 0 low $\Rightarrow$ 10 high

Knowledge level (ability of the technology to provide other informations than snow cover ones) :

☐ Specialist ☐ Very familiar ☐ Familiar ☐ Not much familiar

2.12. *Ability of the sensor to gather data on a large area with a minimum of images :*

Explanatory note :

Most of the watersheds used for hydropower generation cover an important territory. However, scanning of a larger area is obtained through a lower spatial resolution of the sensor.

Question : We ask you to express, on a scale from 0 to 10, what you expect from the ability of a sensor to scan a large territory :

Your answer : _____

Evaluation : 0 low $\Rightarrow$ 10 high

Knowledge level (ability of a sensor to scan a large territory) :

☐ Specialist ☐ Very familiar ☐ Familiar ☐ Not much familiar

2.13. Global appreciation on the ability of new technologies to improve the management of reservoirs for hydropower generation :

Question : Generally speaking, do you think the introduction of airborne and spaceborne technologies could provide a significant improvement concerning the management of reservoirs for hydropower generation ? On a scale from 0 to 10, give your appreciation of this general aspect :

Your answer : _____ Evaluation : 0 low $\Rightarrow$ 10 high

Knowledge level (improvement concerning the management of reservoirs for hydropower generation) :

☐ *Specialist* ☐ *Very familiar* ☐ *Familiar* ☐ *Not much familiar*

III. POLITICAL ASPECT :

This part, that contains only one question, offers you the opportunity to express your opinion on the origin of the sensor.

Explanatory note :

We can barely ignore the origin of the sensor when financial contributions from states and provinces are at stake, or when technical collaboration between countries are involved in the technological choices.

Question : We ask you to rate, on a scale from 0 to 10, the importance you attach to the origin of the sensor (country in which the sensor has been developed) :

Your answer : _____ Evaluation : 0 low $\Rightarrow$ 10 high

Knowledge level (political aspect) :

☐ *Specialist* ☐ *Very familiar* ☐ *Familiar* ☐ *Not much familiar*

IV. QUALITY OF THE RESULTS :

In this part, you will have the opportunity to express what you expect regarding the quality of the results provided by airborne and spaceborne snow cover monitoring technologies.

This part is divided into five (5) questions.

4.1. Reduction of the use of conventional ground-truth measurements :

***Question :** In what proportion do you think the introduction of airborne and spaceborne snow cover monitoring technologies would allow the reduction of the use of ground-truth measurements ? :*

a) from 0 to 19 % ☐

b) from 20 to 39 % ☐

c) from 40 to 59 % ☐

d) from 60 to 80 % ☐

Knowledge level (reduction of the use of conventional ground-truth measurements) :

☐ *Specialist* ☐ *Very familiar* ☐ *Familiar* ☐ *Not much familiar*

4.2. Accuracy of the estimation :

4.2.1. Question : *To what extent do you think the integration of airborne and spaceborne snow cover monitoring technologies and conventional ground-truth measurements would allow a significant improvement of the accuracy of the estimation of the snow water equivalent (Rate your appreciation on a scale from 0 to 10) ? :*

Your answer : _____ Evaluation : 0 low $\Rightarrow$ 10 high

Knowledge level (accuracy of the estimation of the snow water equivalent) :

☐ Specialist ☐ Very familiar ☐ Familiar ☐ Not much familiar

4.1.3. Question : *To what extent do you think the integration of airborne and spaceborne snow cover monitoring technologies and conventional ground-truth measurements would allow a significant improvement of the accuracy of snowmelt monitoring ? :*

Your answer : _____ Evaluation : 0 low $\Rightarrow$ 10 high

Knowledge level (accuracy of snowmelt monitoring) :

☐ Specialist ☐ Very familiar ☐ Familiar ☐ Not much familiar

4.3. Forecasting ability :

Question : *To what extent do you think the introduction of airborne and spaceborne technologies would allow to speed up the production of hydrological forecasts ? :*

Your answer : _____ Evaluation : 0 low $\Rightarrow$ 10 high

Knowledge level (production of hydrological forecasts) :

☐ *Specialist* ☐ *Very familiar* ☐ *Familiar* ☐ *Not much familiar*

4.4. Accuracy of the snow water equivalent :

We now ask you to assess the **desired and satisfying accuracy** of the **snow water equivalent measurement (in mm)**, if you are able to do so :

Desired accuracy : +/- _____ *mm*

Satisfying accuracy : +/- _____ *mm*

Knowledge level (accuracy of the snow water equivalent measurement) :

☐ *Specialist* ☐ *Very familiar* ☐ *Familiar* ☐ *Not much familiar*

We thank you for the time you have spent to complete this questionnaire and ask you, at last, to answer one of the following questions :

I intend to continue participating to this survey :

☐

I do not intend to continue participating to this survey :

☐

SIGNATURE OF THE EXPERT : _____

For more information, please contact **Daniel Martin**, person in charge of the survey, at the following address and phone number :

INRS-Eau

Case postale 7500

Sainte-Foy, Québec

Canada

G1V 4C7

Phone : (418) 654-3766

Fax : (418) 654-2562

E-mail : martinda@inrs-eau.quebec.ca