

Record Number: 240
Author, Monographic: Langham, E. J.
Author Role:
Title, Monographic: Quelques techniques développées pour l'étude de l'écoulement de l'eau dans le manteau nival
Translated Title:
Reprint Status:
Edition:
Author, Subsidiary:
Author Role:
Place of Publication: Québec
Publisher Name: INRS-Eau
Date of Publication: 1973
Original Publication Date:
Volume Identification:
Extent of Work: 15
Packaging Method: pages
Series Editor:
Series Editor Role:
Series Title: INRS-Eau, Rapport de recherche
Series Volume ID: 24
Location/URL:
ISBN: 2-89146-016-2
Notes: Rapport annuel 1973-1974
Abstract: 10.00\$
Call Number: R000024
Keywords: rapport/ ok/ dl

Quelques techniques développées
pour l'étude de l'écoulement de l'eau
dans le manteau nival

INRS-Eau
Université du Québec
C.P. 7500, Sainte-Foy
Québec G1V 4C7

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 24
1973

Rapport rédigé pour
INRS-Eau

par

E.J. Langham

Quelques techniques développées
pour l'étude de l'écoulement de l'eau
dans le manteau nival

INRS-Eau
Université du Québec
C.P. 7500, Sainte-Foy
Québec G1V 4C7

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 24
1973

Rapport rédigé pour
INRS-Eau

par

E.J. Langham

ISBN 2-89146-016-2

DEPOT LEGAL 1973

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés

© 1973 - Institut national de la recherche scientifique

Résumé

Quelques techniques développées pour l'étude de l'écoulement de l'eau dans le manteau nival.

Afin d'étudier les problèmes de l'écoulement de l'eau dans le manteau nival, on avait besoin de techniques d'observation et de mesure. Celles qui existaient au début de ce programme ne convenaient pas précisément à la recherche entreprise; il a donc fallu concevoir de nouvelles techniques d'observation et de mesure.

On décrit d'abord une technique qui utilise des cristaux de glace colorée implantés dans la neige. Ceci permet de suivre le cheminement de l'écoulement de l'eau de fonte.

Ensuite, on donne la description d'une technique complémentaire qui permet de mesurer la teneur en eau liquide des échantillons de neige équivalents à 20 ml. d'eau. Cette dernière utilise un centrifuge à main.

Référence: Langham, E.J. (1973). Quelques techniques développées pour l'étude de l'écoulement de l'eau dans le manteau nival. INRS-Eau, rapport scientifique no 24, 15 p.

QUELQUES TECHNIQUES DEVELOPPEES
POUR L'ETUDE DE L'ECOULEMENT DE L'EAU DANS LA NEIGE

INTRODUCTION

Au Québec, le manteau nival se comporte comme réservoir d'eau emmagasiné pendant l'hiver, dont le déclenchement d'eau liquide est à la fois incertain et incontrôlé. Dans un effort à réduire ces incertitudes, on a conçu les modèles hydrologiques pour l'estimation des débits dans les rivières. Ces modèles incluent une partie traitant de la fonte des neiges. Malheureusement, c'est un aspect très difficile à concevoir parce qu'on a des difficultés à estimer les taux de fonte et les taux de ruissellement provenant de cette fonte.

On distingue deux types de fonte. D'abord, il y a la fonte provoquée par la chaleur provenant du sol, ce qui permet l'emmagasinement de l'eau souterraine pendant l'hiver et ainsi supporte les écoulements hivernaux dans les ruisseaux et rivières provenant de l'eau souterraine. Deuxièmement, il y a une fonte provoquée par les conditions météorologiques en période printanière de fonte. Le deuxième est plus important parce que les quantités d'eau déclenchées sont énormément plus grandes et, d'ailleurs, les problèmes de prévision sont plus difficiles à résoudre.

dre. Ce sont les sources des débâcles printanières telles que les crues, lesquelles nous subissons au Québec tous les ans.

C'est pour attaquer ce problème que, dans les dernières années, on a mis énormément d'efforts dans la recherche pour améliorer les calculs des quantités de neige fondue sur la base journalière. Malheureusement, les problèmes de prévision des crues restent encore difficiles, peut-être à cause des difficultés de calcul des quantités de neige fondue. Il est aussi possible, cependant, que le problème se trouve dans l'acheminement des eaux de fonte vers les rivières. Cette partie du modèle hydrologique n'est presque point attaquée et c'est dans un effort à soulager ce problème que nous avons mis sur pied un programme d'étude de l'écoulement de l'eau de fonte dans la neige.

Il y a donc un besoin d'étude, mais pour conduire ces études, il nous faut des techniques expérimentales que l'on ne possède pas. Pour la poursuite des recherches sur les processus de ruissellement dans le stock de neige, nous avons donc conçu quelques techniques qui permettent d'embarquer sur la recherche nécessaire.

LES BESOINS

Comme l'a souligné Langham (1971), un programme de recherche dont

Le but est de concevoir les modèles doit partir des observations des phénomènes qui peuvent inspirer ces modèles. Ces observations sont qualitatives et elles ont besoin de mesures pour qu'on puisse comprendre l'importance relative des processus observés. Nous savons déjà que l'écoulement dans un milieu poreux est géré par un potentiel gravitationnel et un potentiel capillaire. Nous savons donc ce que sont les forces qui contrôlent l'écoulement mais nous ne connaissons pas le rôle joué par le système "neige". Ce dernier provient du fait que c'est presque impossible de décrire la texture cristallographique de la neige. C'est parce que la neige n'est pas un milieu poreux dont les grains sont séparés et permanents dans leur dimension. Les grains de neige peuvent être collés l'un à l'autre par un processus de fonte et regel ou par le durcissement sec. Par contre, en période de pleine fonte, ils peuvent être tout à fait séparés comme les grains de sable. Ces conditions changent de jour en jour et tenter de mesurer ces propriétés ne semble pas très prometteur. Par contre, nous savons bien que les taux d'écoulement sont fonction de la teneur en eau parce qu'en milieu poreux non saturé, les taux d'écoulement sont fonction de l'épaisseur des films capillaires parmi les grains qui sont, en retour, fonction de la teneur en eau. Pour lancer ces études donc, il semble bon d'avoir d'abord les techniques qui nous permettent de voir les patrons d'écoulement dans la neige et, deuxièmement, d'être capable d'estimer les teneurs en eau et leur répartition spatiale.

TECHNIQUES D'OBSERVATION D'ÉCOULEMENT

On a utilisé, depuis longtemps, les techniques de colorants pour tracer les écoulements dans la neige. Ces techniques ne sont pas cependant assez bonnes pour les buts de nos études. Les techniques de visualisation utilisées fonctionnent ou par le versement d'une solution de colorant sur la neige, ou par la dispersion sur la neige de colorants en poudre. Les deux souffrent du désavantage qu'elles dérangent trop le système qu'on veut étudier. Dans le cas de la solution, on verse tellement d'eau que ce n'est plus l'histoire d'écoulement de l'eau naturelle dans le stock de neige mais plutôt un cas très spécial pour les quantités versées. Dans le cas de la poudre, elle a une couleur assez foncée que la chaleur radiative absorbée n'est point typique du milieu dans lequel se trouve le colorant. La neige fond, donc, à un taux plus élevé que celui de la neige autour et les observations ne représentent pas le vrai écoulement de l'eau de fonte dans la neige.

Pour surmonter ces problèmes, nous introduisons le colorant sous forme de cristaux de glace colorés. Ces cristaux sont placés dans le stock de neige à une profondeur où les effets de rayonnement sont assez faibles: soit quelques pouces en-dessus de la surface. Le colorant que nous utilisons s'appelle "Basic Fuschin". Ce colorant a l'avantage d'avoir un poids moléculaire assez élevé (336), ce qui diminue la séparation du colorant dans le processus de congélation et, en même temps, permet

Les solutions assez concentrées pour avoir une couleur intense sans avoir une molarité trop élevée. D'abord, nous congelons une solution 0.1 % par poids dans les cuvettes pour faire les cubes de glace. La congélation se fait à l'aide de CO₂ solide, ce qui assure une congélation rapide, encore dans le but de minimiser la séparation du colorant des cristaux. Ces cubes de glace sont brisés dans un broyeur de glace, tels que les petites particules ont une grandeur pareille à celle des cristaux de neige dans le stock de neige. Des tuyaux de plastique de 4' de longueur et 1" de diamètre sont remplis de ces cristaux concassés. Un stock de ces tuyaux est gardé dans le congélateur jusqu'à ce qu'on veuille les installer dans le stock de neige.

Pour installer ces tuyaux de cristaux dans le stock de neige, il faut couper un trou horizontal dans le stock de neige avec un tuyau pareil vide. On sort la neige et on remplace le tuyau par un tuyau plein de cristaux colorés. Le tuyau de plastique est retiré sur une tige de bois, telle que les cristaux colorés sont forcés de rester dans le stock de neige. Les cristaux placés de cette façon durent quelques jours dans le stock de neige pendant une période de fonte. La concentration de colorant dans l'eau de fonte qui s'en écoule ne monte pas en dessus d'une molarité de 10^{-3} , donc l'effet sur la température d'équilibre glace/eau est moins que 0.001°C . Ceci assure que l'eau de fonte ajoutée par la présence du colorant n'est pas plus que 6×10^{-6} par unité de masse de la neige, ce qui est une contribution négligeable à la masse

totale de l'eau dans le stock de neige.

Pour étudier l'écoulement de l'eau dans le stock de neige en utilisant ces sources de colorant, on coupe les tranches verticales dans la neige. Dans les conditions de non-saturation, ces surfaces libres verticales n'ont aucun effet sur le régime d'écoulement. Les conditions météorologiques cependant sont normalement telles qu'il y a une fonte continue ou congélation continue sur cette surface verticale. Il faut donc couper une tranche d'environ 6 pouces de la surface précédente afin d'assurer que les écoulements observés sont représentatifs des écoulements actuels dans le stock de neige. Parfois, il y a les zones de saturation dans la neige, surtout quand il y a les couches de glace qui empêchent la descente des eaux de fonte. Dans ce cas, il y a un gaspillage de l'eau de fonte sur la surface verticale car les eaux ne sont plus tenues dans la matrice poreuse par les forces capillaires. Dans ce cas, il faut que les photos soient prises aussitôt que possible après la coupe verticale, autrement les traces de colorant sont plutôt représentatives de l'écoulement sur la surface que de l'écoulement à l'intérieur du stock de neige.

A titre d'exemple on présente en figure 1 une photo de l'écoulement provenant de deux lignes de cristaux installées côte à côte.

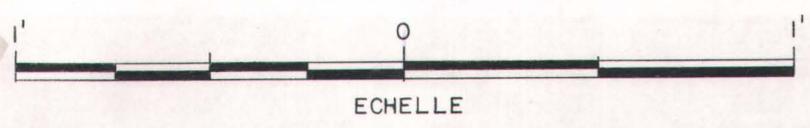


FIGURE 1

Section verticale coupée perpendiculairement à la ligne de cristaux de glace colorée. On a implanté les cristaux dans la neige quelques jours auparavant.

TECHNIQUES DE MESURE DE LA TENEUR EN EAU

Pour compléter ces études observationnelles de l'écoulement comme on a dit ci-dessus, il faut les mesures de teneur en eau. Encore, on a des difficultés avec les techniques disponibles.

La différence d'absorption des microondes entre la glace et l'eau liquide est utilisée pour mesurer le rapport entre les deux formes de la substance "eau" dans la neige. Malheureusement, il est difficile de réaliser l'élégance de cette technique sur le terrain à cause des contraintes physiques. Dans la recherche des techniques qui peuvent être utilisées ainsi, d'autres chercheurs ont proposé diverses sortes de calorimètres. Au début, on a fait fondre un échantillon de la neige en mesurant la chaleur nécessaire. Pendant l'expérience, la neige est bien mélangée pour garder une uniformité thermique. La fin du processus de fonte est reconnue par la montée de température en dessus de 0°C . Un raffinement de cette technique consiste à renverser le processus de changement de phase; c'est-à-dire on gèle le mélange neige/eau plutôt que de le faire fondre (l'avantage étant que la mesure porte sur le changement de phase de l'eau liquide plutôt que le changement de phase de la masse de neige, ce qui est énormément plus grand et cache le petit effet de l'eau liquide).

Malheureusement, aucune technique qui existe déjà n'est suffisamment

bonne pour l'étude des déplacements de l'eau liquide dans la neige; il faut une technique qui est à la fois plus convenable et plus sensible. C'est-à-dire qu'il ne nous faut pas une seule mesure typique de la neige mais plutôt des dizaines de mesures qui nous permettraient de faire les relevés de teneur en eau sur les profils vertical et horizontal. Nous avons pu satisfaire ces exigences à l'aide d'une technique centrifuge que nous avons développée dans ce but.

Si la température de l'air diffère de 0°C , il y a ou un processus continu de fonte des échantillons ou un processus continu de gel des échantillons. Dans les deux cas, il est évident que les mesures de l'eau liquide dans le stock de neige ne sont pas fiables. Afin de surmonter cette difficulté, nous avons fait tourner la centrifuge plusieurs fois en succession, en gardant toujours les mêmes conditions. Chaque fois, l'eau extraite est mesurée et un diagramme graphique est préparé. De cette façon, nous assurons que l'eau fondue dans le processus de centrifuge est à peu près la même pour chaque essai. Ainsi, sur un graphique de mesures successives, les points donnent sur une droite. En extrapolant cette droite vers l'origine, c'est-à-dire le temps précédant le début des centrifuges, on est capable de lire la teneur en eau sans l'influence de fontes fausses.

Les figures 2a et 2b donnent, à titre d'exemples, deux de ces diagrammes pour les températures de 0°C et 3°C respectivement. La

figure 2c montre la dépendance de la pente de ces diagrammes sur la température ambiante. C'est entendu que ce dernier graphique serait linéaire, c'est-à-dire que le taux de fonte créé par la centrifuge est fonction linéaire de la température de l'air en-dessus de 0°C.

En ce qui concerne l'appareil à centrifuge pour ces mesures, c'est une petite centrifuge à main adaptée pour porter les tubes de centrifuge de 50 ml. de volume. Une grille d'acier inoxydable est placée dans chacun de ces tubes, telle qu'elle reste en-dessus de la partie conique du tuyau. Ainsi, quand on fait tourner la centrifuge, le poids de la neige est supporté par la grille. On fait tourner la centrifuge à 50 tours par seconde, ce qui génère une accélération de quelques 100 G. Cette opération est suffisante pour assurer l'extraction de l'eau dans la neige à 95 % près dans le premier tour de la centrifuge. La figure 3 est une photo de ces tubes de centrifuge qui montrent l'eau extraite après l'expérience.

Entre les échantillonnages de la neige, on prend soin de conserver la température de l'appareil aussi près que possible de 0°C afin d'éviter qu'il y ait de la chaleur dans les morceaux qui puisse causer la fonte de l'échantillon. En suivant ces précautions, nous trouvons que les échantillons pris côte à côte dans des circonstances semblables dans la neige ont les mêmes teneurs en eau jusqu'à la précision de mesure. On parle ici de 1 ou 2 cm.³ d'eau liquide et les mesures à une

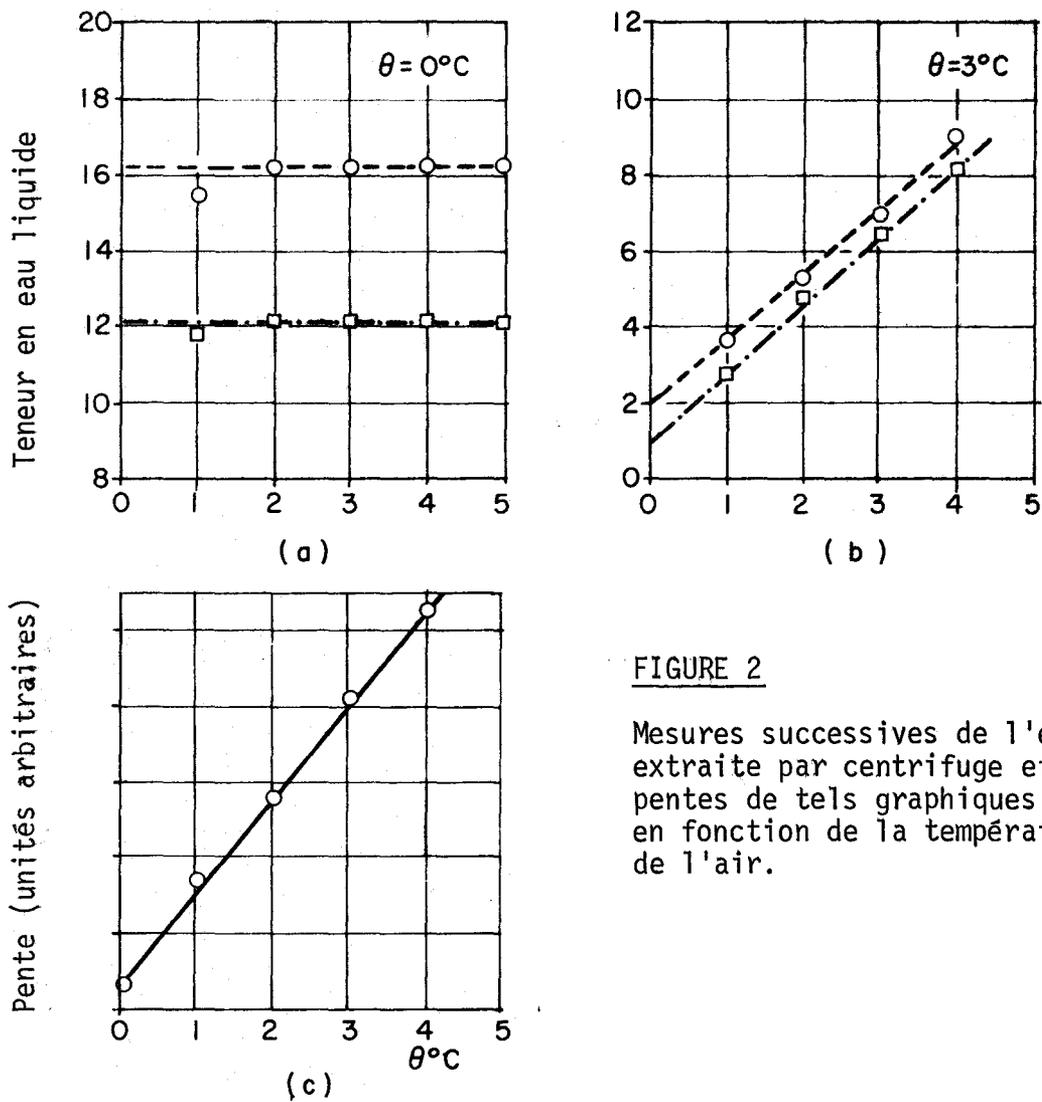


FIGURE 2

Mesures successives de l'eau extraite par centrifuge et pentes de tels graphiques en fonction de la température de l'air.

goutte près, ceci veut dire environ .05 ml. Les échantillons de la neige ont un équivalent en eau de 20 ml. La technique nous donne donc le moyen de faire les mesures de teneur en eau par pourcentage de poids de l'échantillon de neige, d'entre 0 % et 20 % ou plus.

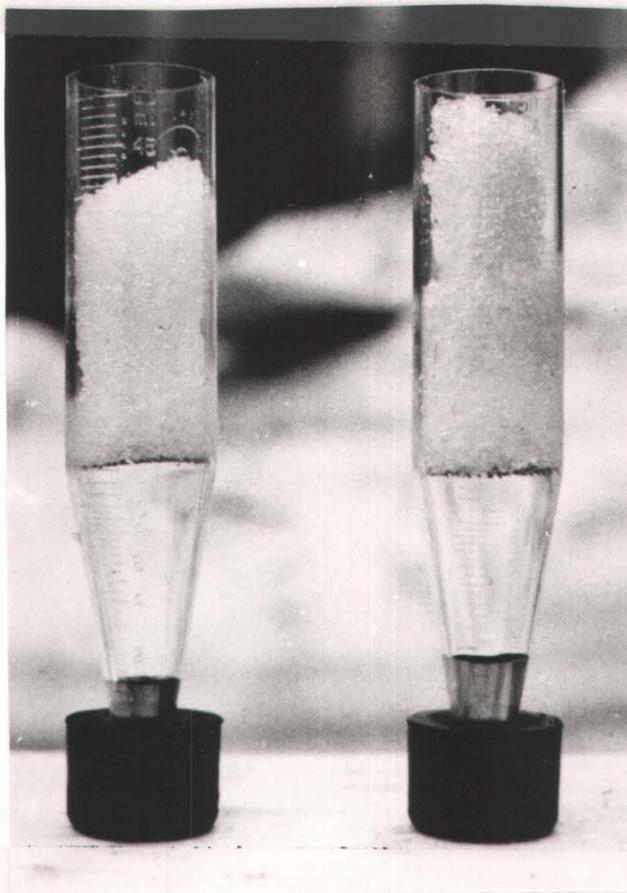


FIGURE 3

Echantillons de la neige après l'extraction de l'eau par centrifuge.

Une accélération de 200 G génère une pression augmentée sur la neige telle que le poids de l'échantillon peut monter jusqu'à quelques kilogrammes. Supposons que ce poids est porté sur un centimètre carré de la grille dans l'éprouvette, la pression sur la neige à ce point est augmentée de

quelques atmosphères. Etant donné que la température de congélation est fonction de la pression telle qu'elle descend d'un degré par 100 atmosphères d'augmentation de pression, on s'attend à ce que la température de fonte soit changée de quelques centièmes de degré C. Le coefficient de chaleur de la glace est d'environ .5 calorie/gramme/degré C; donc, pour un échantillon d'environ 20 ml., la dépression de la température de fusion ne correspond qu'à quelques dixièmes de calorie près. La chaleur latente de fusion de la glace est 80 calories/gramme, et donc la quantité de neige qui peut être fondue à la suite de l'effet de pression augmentée, est tout à fait négligeable, soit quelques millièmes de millilitre.

CONCLUSION

L'utilisation de ces techniques nous a permis de mettre en évidence les régimes d'écoulement dans le stock de neige qui n'ont jamais été vus ni mesurés auparavant. Au printemps 1973, par exemple, on a placé une trentaine de tiges de cristaux colorés et on a étudié les patrons d'écoulement en faisant quelques centaines d'échantillons de la neige. Cette recherche a montré l'importance du rôle des couches de glace dans le comportement de l'eau de fonte dans le stock de neige. C'est surtout important au Québec où nous avons, pendant l'hiver, des périodes où la température monte en-dessus de 0°C. Dans ces temps, on a des fontes à la sur-

face du stock de neige provoquées par les cycles diurnes des conditions météorologiques. C'est probable que de telles séquences d'événements sont à la cause des couches multiples de glace dans le stock de neige. C'est assez commun dans nos latitudes et climats qu'il arrive fréquemment en hiver des chutes de pluie verglaçantes. Le verglas forme une couche de glace imperméable dans le stock de neige qui peut être répétée à plusieurs reprises avec les couches de neige normales entre ces couches de glace. Ces techniques nous ont permis d'étudier le rôle de ces couches de glace dans l'écoulement de l'eau de fonte dans la neige (Langham, 1973a).

Les couches de glace imperméables peuvent emmagasiner l'eau dans la neige ou sous forme de réservoir dynamique (Langham, 1973b) ou même sous forme des états de l'eau dans le stock de neige. Dans le cas des couches multiples, l'effet est encore plus compliqué parce qu'elles sont quasi-perméables et, donc, les propriétés de la neige dans cette région ne sont pas isotropes. L'analyse du comportement du stock de neige qui contient de telles couches est donc assez compliquée et connaître la base théorique pour un modèle est encore dans le domaine de recherche. Il nous faut d'ailleurs des expériences de laboratoire pour comprendre les processus que nous devons modeler. Par exemple, l'imperméabilité d'une couche de glace provenant de la pluie verglaçante n'est pas une chose permanente. Dans l'évolution du stock de neige, il arrive un temps où la couche de neige devient perméable. C'est comme on change tout à coup

toutes les caractéristiques de la neige en ce qui concerne l'écoulement de l'eau là-dedans. Il est probable que cet effet est très important dans l'origine des débâcles printanières car il donne une sorte de front de choc aux écoulements provenant de la neige. Il faut encore des recherches avant que nous puissions résoudre ces questions spéculatives.

REFERENCES

- LANGHAM, E.J. 1971. "A new approach to hydrologic data acquisition".
Journal A.S.C.E. HY12, p. 1965.
- LANGHAM, E.J. 1973a. "The occurrence and movement of liquid water in the snow pack". Symposium on Advanced Techniques and Concepts in Snow and Ice Hydrology, Monterey, U.S.A.
- LANGHAM, E.J. 1973b. "Un modèle de la neige relié à sa méso-structure".
Bulletin A.I.S.H. 18 (1), p. 33.

**SELECTED WATER
RESOURCES ABSTRACTS**

1. Report No.

3. Accession No.

INPUT TRANSACTION FORM

W

2. Title: **SOME TECHNIQUES DEVELOPED FOR THE STUDY OF THE FLOW OF WATER IN SNOWPACK (Quelques techniques développées pour l'étude de l'écoulement de l'eau dans le manteau nival),**

4. Report Date

8. Performing Organization Report No.

6. Author(s)

Langham, E.J.

10. Project No.

9. Organization

Québec Université. Institut National de la Recherche Scientifique-Eau.

11. Contract/Grant No.

13. Type of Report and Period Covered

12. Sponsoring Organization

15. Supplementary Notes

INRS-Eau, Technical Report No 24, 1973. 15 p.

14. Abstract

In order to study the problems of water flowing in the snowpack, there was a need for techniques of observation and measurement. Those in existence at the start of this research programme were insuitable and so it was necessary to devise others.

The first technique described here uses crystals of coloured ice implanted in the snow to allow observation of the flow of meltwater.

This is followed by an account of a complementary method of measuring water content in samples of snow of about 20 ml. water equivalent. The latter uses a hand centrifuge.

17a. Descriptors

*Snowmelt, *Snowpacks, *Melt water, Snow cover, Melting, Snow, Flow Measurement.

17b. Identifiers

*Coloured ice, Water content.

16. COWRR Field & Group 02C

18. Availability

19. Security Class. (Report)

21. No. of Pages

Send To:

20. Security Class. (Page)

22. Price

WATER RESOURCES SCIENTIFIC INFORMATION CENTER
U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR
WASHINGTON, D. C. 20240

14. Preparing M. Cantin

15. Preparing INRS-Eau